

Gestión del Agua Lluvia: Soluciones Sostenibles y Convencionales para el Drenaje Pluvial en Puerto Villamil, Galápagos

Ing. Giancarlo Bravo Coello
Arq. Karla Paulina Bravo Coello
Dra. Clemencia Coello León





© Ing. Giancarlo Bravo Coello
Arq. Karla Paulina Bravo Coello
Dra. Clemencia Coello León

© Editorial Grupo Compás, 2025
Guayaqui, Ecuador
www.grupocompas.com
<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 2025

ISBN: 978-9942-33-901-0

Distribución online

 Acceso abierto

Cita

Bravo, G., Bravo, K., Coello, C. (2025) Gestión del Agua Lluvia: Soluciones Sostenibles y Convencionales para el Drenaje Pluvial en Puerto Villamil, Galápagos. Editorial Grupo Compás

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Prólogo

El diseño de infraestructuras resilientes es una de las mayores responsabilidades de la ingeniería moderna. La capacidad de transformar los entornos urbanos y rurales mediante soluciones técnicas que no solo resuelvan problemas inmediatos, sino que también garanticen la sostenibilidad a largo plazo, es el reto que enfrenta cada ingeniero que se dedica a mejorar las ciudades y sus sistemas. En un mundo donde los cambios climáticos y la urbanización acelerada redefinen nuestras realidades, la planificación y ejecución de sistemas de drenaje pluvial eficiente se ha convertido en una necesidad fundamental.

Este libro se adentra en los aspectos técnicos y conceptuales de un sistema de alcantarillado pluvial, una pieza clave de infraestructura urbana, cuya implementación adecuada puede significar la diferencia entre la protección de un ecosistema y el colapso de una comunidad. A través de su desarrollo, el diseño de un sistema de drenaje pluvial no solo responde a un problema de ingeniería hidráulica, sino también a la urgencia de crear soluciones sostenibles y adaptadas a las condiciones geográficas y climáticas locales. La adecuada gestión de las aguas pluviales es vital para mitigar riesgos asociados a inundaciones, erosión y contaminación del agua, entre otros.

Este libro invita a ingenieros, estudiantes y profesionales del área a profundizar en un campo crucial para el futuro de nuestras ciudades. Al final, el desafío sigue siendo el mismo: construir infraestructuras que no solo resuelvan problemas, sino que los prevengan, protejan a las personas y preserven el entorno. Solo con un diseño ingenieril bien fundamentado y adaptado será posible avanzar hacia un futuro más seguro y sostenible.

Arq. Karla Paulina Bravo Coello.

PRESENTACIÓN

El crecimiento urbano acelerado y desordenado ha generado problemas significativos en la gestión de recursos hídricos, particularmente en lo que respecta a las aguas pluviales. La falta de infraestructura adecuada y planificación en la gestión de drenaje pluvial ha tenido consecuencias graves, como inundaciones, contaminación y riesgo de desastres naturales. La implementación de sistemas eficientes de alcantarillado pluvial es clave para garantizar la sostenibilidad y la calidad de vida en las zonas urbanas.

En la Isla Isabela, particularmente en Puerto Villamil, se ha evaluado la necesidad urgente de un sistema de alcantarillado pluvial adaptado a las condiciones geográficas y climáticas de la zona. Para ello, se ha utilizado una metodología basada en datos hidrológicos y climáticos locales, así como en el análisis de la infraestructura existente. Esta evaluación permite comprender mejor los desafíos que enfrenta la isla y las posibles soluciones constructivas alternativas a la tecnología convencional de zanjas abiertas.

La falta de planificación adecuada en la gestión de aguas pluviales puede tener consecuencias perjudiciales tanto para las personas como para el medio ambiente. Es esencial tomar medidas efectivas y adaptadas al contexto local para mitigar los impactos de las lluvias intensas y promover la sostenibilidad en la infraestructura urbana. Este estudio busca aportar soluciones prácticas y sostenibles para asegurar un futuro más resiliente y seguro para las comunidades de Santa Isabela y el ecosistema que depende de su bienestar.

DEDICATORIA

A aquellos que, con su dedicación y visión, construyen infraestructuras que no solo mejoran nuestras ciudades, sino que también respetan y armonizan con el entorno natural, creando un legado sostenible para las generaciones futuras.

ÍNDICE GENERAL

Prólogo	1
Presentación	2
Dedicatoria	3
ÍNDICE GENERAL	4
ABREVIATURAS	9
SIMBOLOGÍA	10
CAPÍTULO 1	11
Introducción.....	11
Antecedentes	13
Localización	14
Estudios previos	14
Problemática que resolver	15
Justificación.....	16
Objetivos.....	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO 2	18
Desarrollo del proyecto.....	18
Marco conceptual	18
Conceptos claves.....	18
Gestión de agua pluviales	19
Alcantarillado Pluvial.....	20
Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible	21
Pavimentos permeables.....	22
Alcorques estructurales	23
Jardines de lluvia	24
Cunetas verdes	25
Almacenamiento subterráneo	27
Aspectos Hidrológicos para el Diseño de Drenaje Urbano.....	28
Aspectos Hidráulicos del Diseño de Drenaje	28
Diseño de Sistemas de Alcantarillado: Gravedad y Bombeo.....	28
Dimensionamiento de Conductos: Diámetro y Pendiente.....	28
Modelos de Flujo en Redes de Drenaje	29
Costos y Viabilidad Económica.....	29
Normativa y Regulaciones	29
Legislación Nacional e Internacional en Drenaje Urbano.....	29
Marco metodológico.....	30
Trabajo de laboratorio o gabinete	32
Tabulación de datos	34
Solución a diseñar.....	38
Tiempo de recorrido.....	38
Tiempo de concentración.....	38
Intensidad de lluvia.....	39

Área de aportación	39
Caudal.....	40
Caudal de infiltración.....	40
Caudal de diseño.....	41
Cantidad de sumideros	41
Diámetro de tubería	44
Flujo a tubo lleno.....	45
Relaciones hidráulicas.....	46
Flujo real en la sección	46
Esfuerzo cortante	48
Altura de velocidad.....	48
Energía específica para el flujo real	49
Número de Froude	49
Análisis de régimen	50
Energía específica para flujo crítico	52
Diámetro de pozo.....	52
Radio de curvatura.....	53
Caída del pozo.....	54
Pérdidas de energía.....	56
Cotas para tramos iniciales.....	58
Cotas y profundidades para tramos posteriores	59
CAPÍTULO 3	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
Diseño de la solución	62
Análisis de alternativas.....	62
Parámetros de evaluación.....	62
Ponderación de los criterios	64
Asignación de calificaciones.....	65
Alternativa escogida	73
Trazado de la red.....	74
Cálculo de sumideros	75
Coeficiente de escorrentía y área de aportación por pozo	75
Tiempo de recorrido.....	76
Tiempo de concentración.....	76
Intensidad de lluvia.....	77
Caudal de diseño.....	78
Tirante real en la cuneta	79
Ancho mojado	80
Área transversal	82
Velocidad del flujo.....	82
Tirante de control	84
Capacidad de drenaje	85
Cantidad de sumideros	86
Cálculo de tuberías y pozos.....	87
Tiempo de concentración.....	88

Intensidad de lluvia.....	89
Área de aportación.....	90
Caudal.....	90
Caudal infiltrado por el sistema de drenaje sostenible.....	91
Caudal de diseño.....	92
Diámetro de tubería.....	92
Flujo a tubo lleno.....	94
Relaciones hidráulicas.....	95
Flujo real en la sección.....	96
Esfuerzo cortante.....	98
Altura de velocidad.....	99
Energía específica para el flujo real.....	99
Número de Froude.....	100
Análisis de régimen.....	101
Energía específica para flujo supercrítico.....	103
Diámetro de pozo.....	104
Radio de curvatura.....	105
Caída del pozo.....	106
Pérdidas de energía.....	108
Cotas y profundidades para tramos posteriores.....	109
Resultados.....	116
Análisis de resultados.....	119
Especificaciones técnicas.....	120
Colocación de estructuras metálicas para señalización.....	120
Avisos de obra y rutas alternas.....	120
Provisión e instalación de malla de protección.....	121
Pasarela para zanja.....	121
Limpieza y desbroce del terreno.....	122
Trazado y replanteo.....	122
Rotura y desalojo de pavimentos.....	123
Reparación de la calzada.....	123
Excavación a máquina, profundidad de 0 a 2 m.....	124
Excavación a máquina, profundidad de 2 a 4 m.....	124
Excavación a máquina, profundidad de 3 a 4.5 m.....	124
Entibado metálico.....	125
Nivelación de zanja.....	125
Aplicación de material de mejoramiento.....	126
Cama de arena.....	126
Compactación lateral con material granular.....	126
Reposición de material granular tipo lastre.....	127
Provisión e instalación de cintas de seguridad.....	127
Transporte y disposición del material excavado.....	128
Pozo de revisión de hormigón armado de 0 a 2m, con tapa de acero.....	128
Pozo de revisión de hormigón armado de 2 a 4m, con tapa de acero.....	128
Pozo de revisión de hormigón armado mayores de 4m, con tapa de acero.....	129

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 160mm (6") 6m.....	130
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 200mm (8") 6m.....	130
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 250mm (10") 6m...	131
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 315mm (12") 6m...	131
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 355mm (14") 6m...	132
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 400mm (16") 6m...	132
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 450mm (18") 6m...	133
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 500mm (20") 6m...	133
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 595mm (24") 6m...	134
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 670mm (27") 6.5m	134
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 747mm (30") 6.5m	135
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 823mm (33") 6.5m	135
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 898mm (36") 6.5m	136
Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 1051mm (42") 6.5m	136
136	
Materiales e Instalación de los SUDs.....	137
Materiales e Instalación de los SUDs.....	137
APU	138
Volumenes de obra.....	140
Colocación de estructuras metálicas para señalización.....	140
Avisos de obra y rutas alternas.....	140
Provisión e instalación de malla de protección.....	141
Pasarela para zanja.....	141
Limpieza y desbroce del terreno.....	142
Trazado y replanteo.....	142
Rotura y desalojo de pavimentos.....	142
Reparación de la calzada.....	143
Excavación a máquina, profundidad de 0 a 2 m.....	143
Excavación a máquina, profundidad de 2 a 4 m.....	144
Excavación a máquina, profundidad mayores de 4 m.....	144
Entibado metálico.....	144
Nivelación de zanja.....	145
Aplicación de material de mejoramiento.....	145
Cama de arena.....	146
Compactación lateral con material granular.....	146
Reposición de material granular tipo lastre.....	146
Provisión e instalación de cintas.....	147
Transporte y disposición del material excavado.....	147
Pozo de revisión de hormigón armado de 0 a 2m, incluye tapa de acero.....	147
Pozo de revisión de hormigón armado de 2 a 4m, incluye tapa de acero.....	148
Pozo de revisión de hormigón armado mayores de 4m, incluye tapa de acero.....	148
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 160mm (6").....	148
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 200mm (8").....	149
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 250mm (10").....	149
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 315mm (12").....	149

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 355mm (14")	150
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 400mm (16")	150
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 450mm (18")	150
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 500mm (20")	151
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 595mm (24")	151
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 670mm (27")	151
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 747mm (30")	151
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 823mm (33")	152
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 898mm (36")	152
Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 1051mm (42")	152
Materiales e Instalación de los SUDs	153
Sistema de almacenamiento.....	153
Presupuesto referencial.....	153
Cronograma valorado	160
CAPÍTULO 4	166
Conclusiones Y Recomendaciones.....	166
Conclusiones.....	166
Recomendaciones	166
BIBLIOGRAFÍA.....	168

ABREVIATURAS

ESPOL: Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASTM: American Society for Testing and Materials

NACE: National Association of Corrosion Engineers

SSC: Electrodo de Plata Cloruro de Plata

CSE: Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre

HWL: High Water Level

LWL: Low Water Level

CIS: Inspección paso a paso, medición de potenciales de encendido

MPY: Milésimas de pulgadas por año

SUDS: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

IDF: Intensidad-Duración-Frecuencia

PVC: Policloruro de vinilo

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

FCD: Fundación Charles Darwin

SIMBOLOGÍA

m Metro

mm/h Milímetros por hora

I Intensidad de lluvia

L Longitud del tramo

n Coeficiente de rugosidad de Manning

Q Caudal

S Pendiente longitudinal

T Ancho mojado

t_c Tiempo de concentración

v Velocidad del flujo

y Tirante

CAPÍTULO 1

Introducción

La gestión de aguas pluviales es esencial en entornos urbanos debido a los desafíos que presenta la escorrentía. La acumulación de agua de lluvia no controlada puede provocar impactos significativos en los ecosistemas, incluyendo inundaciones, saturación de sistemas de alcantarillado, erosión del suelo y contaminación de cuerpos de agua ((Kravchenko et al., 2024a).

Globalmente en áreas con alta actividad antropogénica, la infiltración de aguas pluviales puede introducir una variedad de contaminantes en los acuíferos subterráneos, como nutrientes, metales pesados y compuestos orgánicos. Estos contaminantes no solo se acumulan, sino que interactúan en el subsuelo, formando contaminantes secundarios aún más perjudiciales (Karamoutsou et al., 2024).

La movilización de sustancias tóxicas durante el proceso de infiltración puede comprometer la calidad del agua subterránea, haciendo crucial la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible para mitigar estos riesgos y proteger tanto los recursos hídricos como la salud pública(Dong et al., 2024).

En el contexto de eventos climáticos extremos, la gestión sostenible de aguas pluviales se vuelve aún más relevante. Es indispensable reducir el volumen de escorrentía, mejorar la calidad del agua y proporcionar beneficios adicionales en la calidad de los entornos urbanos, al tiempo que se promueve la conservación de la biodiversidad(Karamoutsou et al., 2024).

La recopilación de información sobre frecuencia de precipitaciones y la magnitud de la escorrentía permite analizar el comportamiento del agua en diferentes escenarios climáticos, lo que es clave para diseñar estrategias efectivas de manejo. Las proyecciones de volúmenes de agua a gestionar permiten prevenir inundaciones y aliviar la presión sobre los sistemas de drenaje existentes (Yang et al., 2024) .

Herramientas avanzadas para la generación de modelos geograficos e hidrológicos permiten identificar áreas críticas para diseñar sistemas más eficientes y sostenibles. Este enfoque, basado en datos fiables, asegura que el sistema de red de alcantarillado pluvial sea efectivo, económico y resiliente frente a cambios climáticos y urbanísticos (Senes et al., 2021).

La data analizada previamente al diseño de la red de alcantarillado pluvial permite adaptar la propuesta a las condiciones específicas de cada área urbana. El conocimiento de las precipitaciones, la topografía y el uso del suelo mejora la capacidad de producción y gestión del flujo de agua, reduciendo el riesgo de inundaciones y desbordamientos (Allende-Prieto et al., 2018)

Las Islas Galápagos, ubicadas en el Océano Pacífico ecuatoriano, presentan un clima subtropical con una estación lluviosa y una seca, influenciada por la corriente de Humboldt. Los suelos volcánicos jóvenes son típicos, con baja fertilidad orgánica. Geográficamente, las islas muestran una gran variedad de hábitats debido a su origen volcánico. La Isla Isabela, la más grande del archipiélago, destaca por su diversidad ecológica y volcanes activos como Sierra Negra y Alcedo. Su rica biodiversidad la convierte en un foco crucial para la conservación, enfrentando desafíos como el turismo masivo y especies invasoras (Maestro, M.; Pérez-Cayeiro, M.L.; Reyes, H.; Chica-Ruiz, J.A., 2024).

Santa Isabela presenta un clima tropical marino con temperaturas estables y variaciones estacionales significativas. La temporada de lluvias, de diciembre a mayo, conlleva frecuentes precipitaciones que pueden afectar la infraestructura de alcantarillado, mientras que la temporada seca, de junio a noviembre, presenta desafíos de abastecimiento hídrico (Alzqueta Pérez, 2014).

Además, los fenómenos de El Niño y La Niña introducen variabilidad interanual, influyendo en la cantidad de precipitación y, por ende, en la gestión de recursos y la sostenibilidad del sistema de alcantarillado. La planificación adaptativa es crucial para mitigar los impactos climáticos (Burbano, D.V. et al., 2022).

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Isabela indica que el sistema de alcantarillado sanitario existente descarga hacia una estación de bombeo deficiente, que sobrelleva saturaciones durante las lluvias, generando colapsos y descargas no controladas en fuentes de agua como la laguna Poza de los Flamings (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela, 2023).

De tal forma, es necesario aportar soluciones constructivas alternativas a la tecnología convencional de zanjas abiertas, debido a la alta complejidad del suelo rocoso. Estas alternativas de gestión de pluviales buscan atender la escorrentía superficial, el riesgo de inundación por encharcamiento y diferentes tipos de contaminación.

Los objetivos del proyecto incluyen determinar datos de partida para una solución alternativa y sostenible, analizar diversas alternativas constructivas y desarrollar un diseño detallado de la red de alcantarillado pluvial, incluyendo planos, especificaciones técnicas y presupuesto. Este enfoque integral busca no solo resolver problemas técnicos, sino también proteger la salud pública y el medio ambiente de Santa Isabela, contribuyendo a la sostenibilidad de las Islas Galápagos.

Antecedentes

La Isla Isabela, la más grande del archipiélago de Galápagos, destaca por su inmensa biodiversidad y relevancia ecológica. Su ubicación en el Pacífico ecuatorial la expone a fenómenos climáticos extremos, como El Niño, que provocan lluvias intensas y alteraciones en las corrientes marinas. Estos fenómenos no solo impactan gravemente la vida silvestre, que muestra una limitada capacidad para adaptarse a estos cambios, sino que también afectan la economía local, dada la importancia del turismo en la región (Dueñas et al., 2021).

Dentro de Isabela, Puerto Villamil emerge como el principal núcleo urbano y el centro neurálgico de las actividades económicas y sociales. Esta área, siendo crucial para la economía local, alberga la mayor parte de los servicios e infraestructuras de la isla. Su importancia económica hace que Puerto Villamil sea especialmente susceptible a los problemas relacionados con la gestión del agua, exacerbados por los fenómenos climáticos extremos que afectan a la isla en su conjunto (Walsh & Mena, 2012).

Durante la temporada de lluvias, que abarca de diciembre a mayo, Isabela experimenta intensas precipitaciones que pueden alcanzar hasta 300 milímetros. La baja permeabilidad del suelo rocoso de la isla contribuye a la generación de escorrentías superficiales, lo que incrementa la susceptibilidad a inundaciones. La red de alcantarillado sanitario, sobrecargada por la incorporación de aguas lluvias, se satura rápidamente, afectando tanto a la estación de bombeo como a las unidades de la planta de tratamiento (Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal de Isabela, 2023).

Aunque en la última década se han realizado inversiones significativas en la mejora de sistemas de aguas residuales y captación de agua potable, el sistema de alcantarillado pluvial aún está en desarrollo. Se busca ampliar su cobertura en un 50% para el año 2027. La falta de un sistema pluvial adecuado agrava los problemas de gestión del agua, contamina fuentes de agua y afecta negativamente al turismo, la principal actividad económica de la isla (Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos, 2016).

Localización

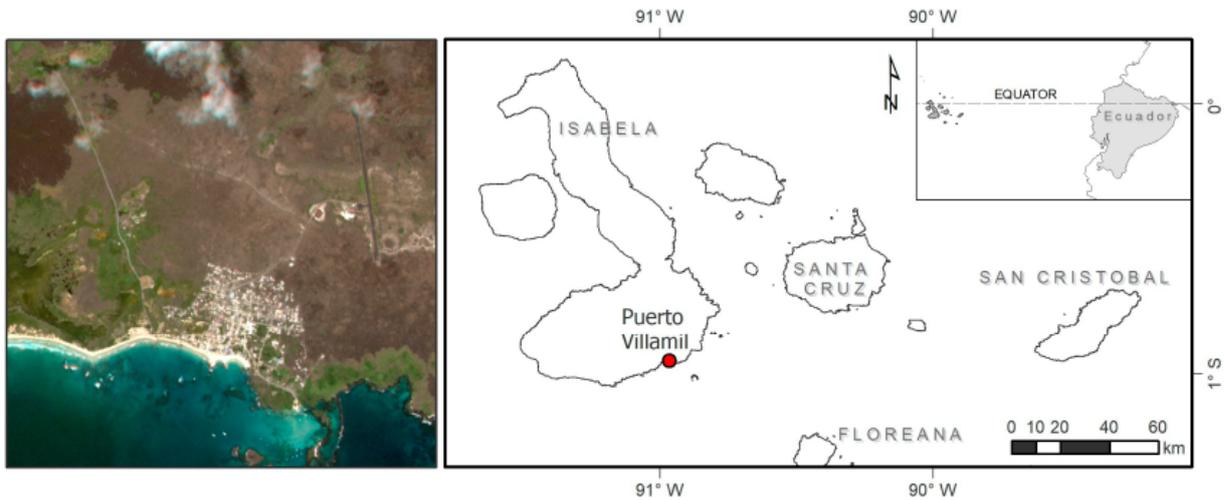


Figura 0.1 Localización Santa Isabela, Galápagos [Benítez, F., Mena, C., Zurita, L, 2018].

El presente proyecto se desarrollará en el lado este de Puerto Villamil (Figura 0.1), la principal ciudad de la isla Santa Isabela en el archipiélago de las Galápagos. Puerto Villamil, con una población en crecimiento de aproximadamente 2,200 habitantes, se enfrenta a desafíos significativos en términos de infraestructura urbana, particularmente en lo relacionado con el sistema de alcantarillado pluvial. La geografía volcánica de la isla, que presenta suelos con una permeabilidad altamente variable, desde muy permeables hasta extremadamente duros, dificulta el uso de métodos de excavación convencionales (Reyes et al., 2017).

Por lo tanto, este proyecto adoptará enfoques sostenibles e innovadores, como la gestión de aguas pluviales mediante alcantarillado y tecnologías adaptadas a las condiciones geográficas únicas de la región, garantizando así la preservación del frágil ecosistema de las Galápagos. Este enfoque se basa en investigaciones previas que han abordado los problemas relacionados con la gestión del agua en las islas.

Estudios previos

En el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial para áreas urbanas y entornos ecológicamente sensibles, los estudios previos resaltan la relevancia de los sistemas de bajo impacto (LID, por sus siglas en inglés) y las tecnologías de drenaje urbano sostenible (SUDS). Estos enfoques tienen como objetivo mitigar los efectos negativos

de la urbanización sobre la calidad y cantidad del agua, mediante la implementación de dispositivos como biofiltros, estanques de detención y pavimentos permeables. Dichos dispositivos son evaluados conforme a normativas actuales, con el fin de reducir la erosión, mejorar el flujo base y eliminar contaminantes, todo ello protegiendo el entorno natural (Elliott & Trowsdale, 2007).

De igual manera, otras investigaciones destacan la necesidad de integrar estos enfoques sostenibles, especialmente en áreas vulnerables. Proyectos en ciudades como Melbourne, Australia, han adoptado estas soluciones con éxito, demostrando su capacidad para reducir significativamente el impacto ambiental. Esto ha motivado a la creación de normativas internacionales que promueven la adopción de tecnologías como la infiltración, la bioretención y la captación de aguas pluviales, por encima de métodos convencionales como las zanjas abiertas. Estas estrategias no solo mejoran la calidad del agua, sino que también protegen los ecosistemas locales, favoreciendo un desarrollo urbano más sostenible (Maheepala et al., 2001).

El análisis de estos enfoques puede servir como una referencia valiosa para la implementación de alternativas de drenaje pluvial sostenible en áreas ecológicamente sensibles, como las Islas Galápagos. Por ello, se han identificado áreas de mejora tomando como base las experiencias de diseño aplicadas en otros contextos.

Problemática que resolver

Las Islas Galápagos, ubicadas en el Pacífico ecuatorial, son un entorno natural de gran importancia ecológica y económica, pero también extremadamente vulnerable a fenómenos climáticos como El Niño, que trae consigo lluvias intensas, elevadas temperaturas y alteraciones en las corrientes marinas. Estos cambios afectan significativamente a la vida silvestre, que a menudo carece de la capacidad para adaptarse a las alteraciones de su ecosistema, aumentando así el riesgo de inundaciones en la región (WWF y Conservación Internacional, 2011).

En Santa Isabela, se han realizado importantes inversiones en infraestructura durante la última década, enfocadas en los sistemas de aguas residuales y de captación de agua potable. Sin embargo, la falta de un sistema de alcantarillado pluvial adecuado sigue siendo un desafío no resuelto, generando riesgos tanto sociales como ambientales, especialmente en Puerto Villamil, donde se concentran las principales actividades humanas de la isla (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela, 2023).

El GAD Municipal de Isabela ha subrayado la urgencia de implementar soluciones para el manejo de aguas pluviales, ya que la falta de un sistema adecuado ha contribuido al colapso de la red sanitaria durante las lluvias, poniendo en peligro la salud pública y el bienestar de la comunidad.

La baja permeabilidad del suelo rocoso volcánico agrava la escorrentía superficial, y sin un sistema adecuado para gestionar las lluvias intensas, se producen colapsos en los sistemas existentes, provocando la descarga incontrolada de aguas pluviales en fuentes de agua potable y acuíferos subterráneos. Esta situación no solo amenaza el medio ambiente, sino también el turismo, que es la principal actividad económica de la isla (FCD, PNG y Consejo de Gobierno de Galápagos, 2010).

El desarrollo de un sistema de alcantarillado pluvial sostenible para Puerto Villamil es esencial para mitigar estos riesgos y debe adaptarse a las condiciones geológicas y climatológicas específicas de Santa Isabela. Un diseño que incluya un análisis topográfico detallado, el estudio del caudal de escorrentía y alternativas a la tecnología de zanja abierta. Esto permitiría minimizar el riesgo de inundaciones, protegiendo tanto el medio ambiente como las actividades económicas cruciales de la región, en armonía con las exigencias del entorno natural y las necesidades de la comunidad (Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos, 2016).

¿Cómo realizar un diseño sostenible de red de alcantarillado pluvial adaptada a las condiciones geológicas de Santa Isabela, minimizando el riesgo de inundaciones?

Justificación

El diseño de un sistema de alcantarillado pluvial para Puerto Villamil se presenta como una solución crucial para enfrentar problemas actuales de gestión del agua en esta isla volcánica y reserva natural. La infraestructura existente es insuficiente para manejar las intensas lluvias y la escorrentía, lo que ha llevado a frecuentes inundaciones y contaminación de fuentes de agua, afectando la economía local y el turismo. Un sistema eficiente no solo mitigará estos problemas, sino que también promoverá la sostenibilidad de la isla (Jalbert et al., 2024).

Al implementar un sistema de alcantarillado pluvial en Puerto Villamil, mejorará la calidad del agua y se reducirá la contaminación, respondiendo así al ODS 6. Esta intervención es crucial para disminuir el riesgo de contaminación de fuentes de agua dulce y para promover la reutilización segura del recurso, lo cual es esencial para la sostenibilidad ambiental de la isla (Taweesan et al., 2024).

Además, la iniciativa se alinea con el ODS 11, que busca crear ciudades más resilientes y seguras. Un sistema adecuado de gestión pluvial ayudará a mitigar el riesgo de desastres por inundaciones, protegiendo tanto a la población local como a la infraestructura crítica de Santa Isabela. En un entorno vulnerable a condiciones climáticas extremas, esta medida resulta vital (Min & Tashiro, 2024).

También se apoya el ODS 14, centrado en la conservación de océanos y mares. Mediante la gestión efectiva de las escorrentías superficiales, se previene la contaminación marina, protegiendo la biodiversidad y promoviendo un entorno

saludable para la vida acuática, aspecto fundamental para una isla cuya economía y ecosistema dependen del estado de sus aguas (Reichelt-Brushett, 2023).

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela, ha reconocido la gravedad del problema de las inundaciones, destacando la urgente necesidad de implementar soluciones que mitiguen el impacto de las lluvias intensas, que han causado inundaciones recurrentes en varias áreas. Dada la creciente frecuencia de eventos climáticos severos, abordar estos problemas de manera inmediata es esencial para asegurar un futuro más seguro y sostenible para Santa Isabela y sus habitantes.

El impacto positivo de este proyecto en la comunidad local es significativo, mejorando la salud pública y fortaleciendo la capacidad de la isla para manejar fenómenos climáticos extremos. La participación comunitaria en la gestión del sistema garantizará un enfoque sostenible y equitativo, asegurando que las soluciones sean tanto efectivas como inclusivas.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de alcantarillado pluvial para el sector este de Puerto Villamil, Galápagos, mediante la aplicación de soluciones convencionales y de drenaje urbano sostenible para una correcta gestión de las aguas pluviales que aporte calidad de vida de la comunidad.

Objetivos Específicos

- Obtener datos de partida para el diseño de una red de alcantarillado pluvial en el sector este de Puerto Villamil, aplicando soluciones convencionales y de drenaje urbano sostenible.
- Evaluar alternativas que integren sistemas convencionales y de drenaje urbano sostenible para definir la solución constructiva óptima en el diseño del alcantarillado pluvial de Puerto Villamil, bajo criterios de eficiencia y sostenibilidad.
- Diseñar la alternativa seleccionada empleando modelos computacionales especializados, abarcando la generación de planos, especificaciones técnicas y presupuesto referencial.

CAPÍTULO 2

DESARROLLO DEL PROYECTO

Marco conceptual

Conceptos claves

Intensidad de lluvia: Refiere a la cantidad de precipitación caída por unidad de tiempo, generalmente medida en milímetros por hora (mm/h). Para su cálculo, se utilizan datos históricos de lluvia, ajustados según periodos de retorno, que indican la probabilidad de que un evento de lluvia ocurra en un determinado tiempo. En hidrología, la intensidad se modela frecuentemente mediante el uso de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), que relacionan la intensidad de la precipitación con su duración y la frecuencia esperada. Estos cálculos son esenciales para diseñar infraestructuras de drenaje y prevenir inundaciones (Xiao & Vasconcelos, 2023).

Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF): Herramientas hidrológicas que permiten estimar la intensidad de lluvias extremas para diferentes duraciones y frecuencias de ocurrencia. Se utilizan en el diseño de sistemas de drenaje y para prever eventos de precipitación intensa (Saldarriaga et al., 2024).

Coefficiente de escorrentía: Valor adimensional que representa la proporción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial en un área específica. Este coeficiente depende de varios factores, como el tipo de suelo, la cobertura del terreno, la pendiente y las características de impermeabilidad de la superficie. Por ejemplo, superficies impermeables como pavimentos o techos tienen coeficientes elevados (C entre 0.7 y 0.95), mientras que áreas permeables, como suelos vegetados, tienen valores más bajos (C entre 0.05 y 0.3). En el diseño de sistemas de drenaje, es esencial seleccionar el coeficiente adecuado para estimar con precisión los caudales máximos de escorrentía, ya que este valor determina cuánto volumen de agua llegará a las redes de drenaje en eventos de lluvia (Diogo & do Carmo, 2019).

Método racional: Técnica clásica utilizada para calcular el caudal máximo de escorrentía superficial en pequeñas cuencas urbanas. Se basa en la fórmula $Q=C \times i \times A$, donde Q es el caudal máximo, C es el coeficiente de escorrentía, i es la intensidad de precipitación obtenida de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), y A es el área de drenaje. Este método asume que el caudal máximo ocurre cuando toda la cuenca contribuye simultáneamente a la escorrentía, lo que sucede después de que ha transcurrido el tiempo de concentración. Es una herramienta rápida y eficiente, pero puede subestimar o sobreestimar el caudal si no se ajustan correctamente los parámetros, especialmente en cuencas con características complejas o en condiciones de urbanización creciente (Xiao & Vasconcelos, 2023).

Infraestructura Verde: Soluciones basadas en la naturaleza para gestionar recursos como el agua y mejorar el entorno urbano. Incluye elementos como techos verdes, jardines de lluvia y zanjas vegetadas que absorben agua superficial, mejoran la calidad del agua y promueven la biodiversidad. Estos sistemas no solo ayudan a mitigar inundaciones al reducir el flujo de agua pluvial, sino que también aportan beneficios sociales y estéticos, como áreas recreativas y mejoras en la salud mental de la población. Además, contribuyen a la sostenibilidad al reducir el consumo energético y promover la resiliencia urbana (Wang et al., 2024) .

Zanja Abierta: Canal de drenaje superficial utilizado en áreas urbanas y rurales para guiar las aguas pluviales hacia sistemas de almacenamiento o cuerpos de agua naturales. Permiten una gestión económica y eficiente del flujo superficial, reduciendo la velocidad de la escorrentía y facilitando la infiltración (Qin, Y., 2020).

Gestión de agua pluviales

El diseño de redes de alcantarillado se basa en la ingeniería hidráulica, considerando la topografía y la capacidad de los conductos para garantizar un flujo eficiente. Se diseña tradicionalmente para aprovechar la gravedad, seleccionando diámetros y pendientes adecuados. En terrenos planos, se emplean estaciones de bombeo para evitar excavaciones profundas, optimizando así los costos operativos. El proceso de diseño incluye la recopilación de datos, selección del trazado, diseño hidráulico, optimización de costos y simulación para verificar el diseño, finalizando con la documentación y aprobación del proyecto (Saldarriaga et al., 2024).

La gestión de aguas pluviales en el contexto de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y sistemas de alcantarillado convencionales es crucial en climas tropicales, donde las lluvias intensas pueden generar inundaciones severas. Estos enfoques buscan capturar, almacenar, y tratar el agua de lluvia de manera eficiente, reduciendo la escorrentía superficial y minimizando el riesgo de desbordamientos en los sistemas de drenaje. Los SUDS incluyen una combinación de soluciones verdes como bioretención, pavimentos permeables y jardines de lluvia, que permiten la infiltración y mejoran la calidad del agua, mientras que los sistemas de alcantarillado convencionales, aunque más efectivos en la canalización rápida, pueden verse superados durante eventos extremos de lluvias intensas (Grigg, 2024)

En el sudeste asiático, el concepto de “ciudades esponja” ha demostrado ser particularmente exitoso. Este enfoque utiliza infraestructuras verdes, como jardines de lluvia y pavimentos permeables, junto con sistemas tradicionales de alcantarillado para absorber y gestionar el agua de tormentas de manera más eficaz. En ciudades como Suzhou, China, la implementación de tecnologías híbridas que combinan infraestructuras tradicionales y soluciones sostenibles ha logrado reducir el volumen de escorrentía en un 91 %, superando los estándares de gestión de aguas pluviales (Y. Zhang et al., 2021).

Estos sistemas han permitido no solo la mitigación de inundaciones, sino también la mejora de la calidad del agua mediante la reducción de sólidos suspendidos (Abellán García et al., 2021a).

Otro caso destacado es el uso de análisis espaciales para identificar la ubicación óptima de SUDS en áreas urbanas. En estudios realizados en Serbia, se utilizó un enfoque de planificación espacial que permitió identificar las zonas más adecuadas para la implementación de soluciones naturales de manejo de aguas pluviales, como jardines de lluvia y pavimentos permeables. Esta estrategia maximiza la eficiencia de los sistemas de drenaje en áreas urbanas propensas a inundaciones, mejorando la resiliencia hídrica (Grigg, 2024).

En España, se ha investigado cómo la integración de SUDS con los sistemas de alcantarillado convencionales mejora la capacidad de las ciudades para manejar tormentas extremas. Se demostró que estas soluciones combinadas no solo disminuyen el riesgo de inundaciones, sino que también ayudan a la adaptación de las ciudades al cambio climático, aumentando la capacidad de almacenamiento y la eficiencia en el manejo de aguas pluviales (Rodríguez-Rojas et al., 2024)

Alcantarillado Pluvial

Sistema diseñado para recolectar y gestionar el agua de lluvia en áreas urbanas, evitando inundaciones y daños. Este sistema incluye una red de tuberías, zanjas y otros elementos que capturan y canalizan el agua superficial hacia ríos, lagos u otras zonas de almacenamiento. Además de su función principal de drenaje, también puede incluir infraestructuras verdes que permiten la infiltración y el almacenamiento temporal del agua, reduciendo así el impacto de las lluvias intensas en el entorno urbano y promoviendo la sostenibilidad (Anvigh et al., 2024).

Este sistema tiene como principal función capturar y canalizar las aguas pluviales, previniendo inundaciones y minimizando la contaminación de los cuerpos de agua cercanos. En climas tropicales, donde las precipitaciones suelen ser intensas, es crucial que tanto los sistemas convencionales como los SUDS trabajen conjuntamente para enfrentar desafíos de inundación y calidad del agua. El diseño de estos sistemas incluye componentes tanto grises como verdes, como pavimentos permeables, tanques de almacenamiento subterráneos y sistemas de bioretención, que optimizan la capacidad de infiltración y retención de agua en áreas urbanizadas (Y. Zhang et al., 2024)

Un estudio realizado en Costa Rica evaluó la adaptación de un sistema de alcantarillado pluvial convencional mediante la implementación de un prototipo de bio-retención y almacenamiento temporal de aguas pluviales. Este proyecto experimental mostró cómo un enfoque híbrido que combina alcantarillado tradicional con infraestructura verde puede reducir significativamente la escorrentía y mejorar la retención del agua de lluvia. Los investigadores también destacaron la importancia de considerar factores socio-ecológicos al implementar soluciones tecnológicas, como la seguridad y la aceptación

por parte de los residentes urbanos. Este enfoque híbrido puede ser clave para mejorar la resiliencia urbana en climas tropicales altamente urbanizados (Chapa et al., 2020).

Por otro lado, un análisis en la ciudad de Lyon, Francia, investigó el comportamiento hidrodinámico de diferentes estructuras de drenaje subterráneo. Utilizando técnicas avanzadas de infiltración, los investigadores midieron la capacidad de los sistemas de infiltración y almacenamiento subterráneo para manejar grandes volúmenes de agua de lluvia. Los resultados mostraron que los sistemas de alcantarillado pluvial combinados con soluciones sostenibles mejoran la eficiencia del manejo de aguas pluviales, reduciendo tanto la contaminación como el riesgo de inundación. Este tipo de estudio es relevante para climas tropicales que enfrentan retos similares debido a la intensidad de las lluvias (Bouarafa et al., 2019)

La optimización de las redes de alcantarillado pluvial es importante y se puede aplicar la implementación de técnicas avanzadas de simulación y rediseño. Este enfoque permite mejorar el rendimiento del sistema durante eventos de lluvias extremas, sugiriendo que la combinación de intervenciones tecnológicas, como el aumento del diámetro de tuberías y la implementación de sistemas redundantes, es eficaz para reducir riesgos de inundación en ciudades tropicales (Muttill et al., 2023a)

Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible

Investigaciones internacionales han la vinculación de los sistemas sostenibles de drenaje urbano (SUDS) en la eliminación de micro plásticos del escurrimiento urbano, esto resalta la importancia de estas tecnologías en la minimización del impacto ambiental. Se han evaluado diversos SUDS, como humedales, estanques de detención, bio retención y pavimentos permeables, demostrando su eficacia en la retención de micro plásticos. La adopción de estas tecnologías es esencial para mitigar la contaminación, proteger los ecosistemas frágiles y preservar la biodiversidad en regiones vulnerables (García-Haba et al., 2023).

Los sistemas de alcantarillado pluvial sostenibles están direccionados hacia la eficiencia de la gestión de aguas pluviales, integrando soluciones naturales como techos verdes, pavimentos permeables y/o jardines de lluvia. Estos sistemas permiten reducir la escorrentía superficial, mejorar la calidad del agua y disminuir el riesgo de inundaciones en zonas urbanas. En el estudio de Sulis et al. (2024), se aplicó un modelo de simulación para diseñar un sistema de SuDS en Querétaro, México, que logró una disminución significativa en la vulnerabilidad ante inundaciones. El sistema demostró su efectividad al asegurar un suministro confiable de agua y reducir el impacto de las lluvias extremas.

Los modelos computacionales son herramientas esenciales para simular el comportamiento de los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SuDS). Estos modelos permiten predecir la eficiencia de las infraestructuras verdes en diferentes escenarios de precipitación y urbanización, mejorando la planificación y diseño de sistemas resilientes.

Los modelos evalúan parámetros como la reducción de caudales de escorrentía y la mejora de la calidad del agua mediante la retención e infiltración (Sulis et al., 2024).

Pavimentos permeables

Los pavimentos permeables son una solución clave en los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) porque su implementación en diseños permite que actúen en la gestión de agua pluvial en áreas urbanas eficientemente.

Estos pavimentos permiten que el agua se filtre a través de su superficie en lugar de escurrir, reduciendo así la escorrentía superficial y ayudando a prevenir inundaciones. Existen varios tipos de pavimentos permeables, como el asfalto permeable, el concreto permeable y los bloques de concretos entrelazados (PICP) (Hu et al., 2018).

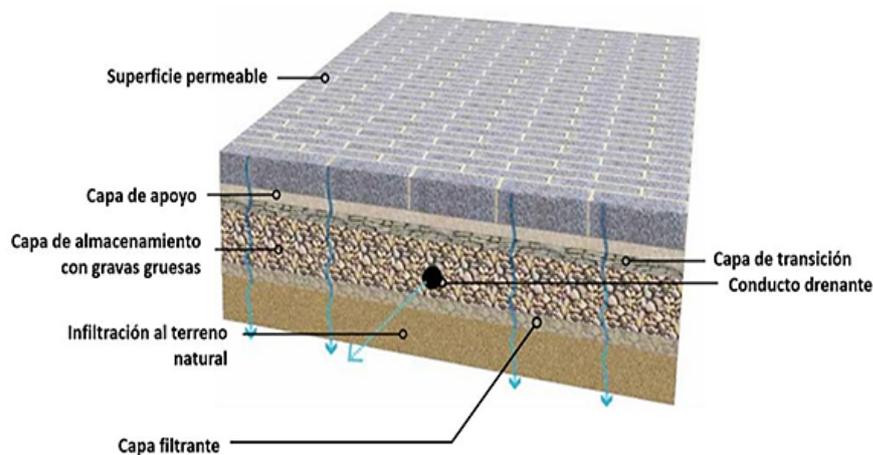


Figura 0.2 Pavimento permeable [De la Fuente García et al., 2021]

Cada uno de estos materiales tiene características específicas que influyen en su efectividad para controlar la escorrentía. Por ejemplo, el concreto permeable ha demostrado ser altamente eficiente en reducir el flujo pico de agua, mientras que los bloques de concreto entrelazados muestran una mayor resistencia a la obstrucción por sedimentos, lo que los hace ideales en zonas con tráfico pesado. Estos pavimentos no solo mejoran la gestión del agua, sino que también contribuyen a la sostenibilidad urbana al permitir la recarga de acuíferos y la reducción de temperaturas superficiales en las ciudades (Martins Vaz et al., 2021).

En climas tropicales, donde las precipitaciones intensas y la rápida urbanización presentan desafíos únicos, los pavimentos permeables han demostrado su eficacia en varios estudios. Un ejemplo es el caso de China, donde se evaluaron tres tipos de pavimentos permeables como parte de la construcción de "ciudades esponja", un enfoque innovador para mitigar los riesgos de inundación. El estudio reveló que los

pavimentos permeables podían reducir el escurrimiento superficial en hasta un 40%, dependiendo del tipo de pavimento y su estado de mantenimiento (Hu et al., 2018).

En Brasil, investigaciones han analizado cómo estos pavimentos pueden ser utilizados para captar y reutilizar agua pluvial en edificios, lo que ayuda a enfrentar la escasez de agua y contribuye a la resiliencia urbana frente al cambio climático (Martins Vaz et al., 2021).

Ambos casos ilustran cómo los pavimentos permeables pueden integrarse de manera efectiva en climas tropicales, no solo como una medida de drenaje, sino también como una solución sostenible para gestionar los recursos hídricos en zonas urbanas densamente pobladas.

Alcorques estructurales

Los alcorques estructurales son una solución clave dentro de la infraestructura verde-azul en las ciudades, especialmente en el manejo de aguas pluviales como parte de los

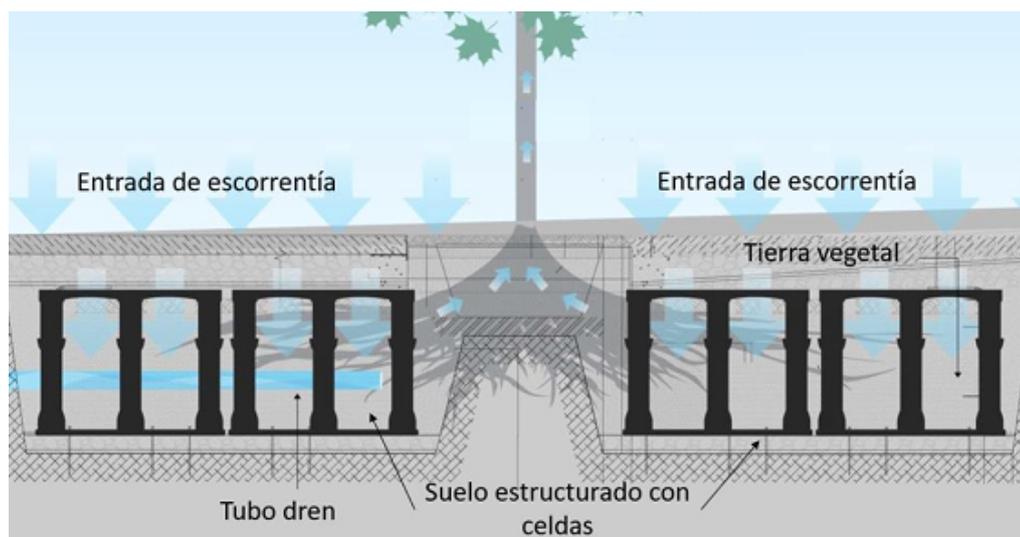


Figura 0.3 Alcorques estructurales [De la Fuente García et al., 2021]

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Estos sistemas consisten en zonas de plantación de árboles diseñadas para capturar y gestionar el agua de lluvia que cae en superficies impermeables, permitiendo su infiltración en el suelo en lugar de que se desplace directamente hacia los desagües. Los alcorques pueden estar combinados con sistemas de biorretención, donde el agua se filtra a través de medios especializados antes de almacenarse temporalmente o infiltrarse completamente (Novak et al., 2023).

Este tipo de solución no solo ayuda a reducir la escurrimiento superficial, sino que también proporciona beneficios adicionales, como la mejora de la calidad del agua y la salud de los árboles urbanos al reducir el estrés hídrico y mejorar el ambiente del suelo. Un estudio realizado en Praga mostró cómo la optimización de estos alcorques puede influir

significativamente en la cantidad de agua que se maneja, destacando la importancia de ajustar los parámetros de diseño para maximizar la eficiencia tanto en el manejo del agua como en el crecimiento saludable de los árboles (Novak et al., 2023).

En climas tropicales, los desafíos relacionados con la alta pluviosidad y la escasez de espacio urbano requieren soluciones innovadoras. Un ejemplo de aplicación exitosa es el sistema modular de biorretención en Singapur, donde se investigó el uso de alcorques estructurales con árboles como *Talipariti tiliaceum* para la gestión de escorrentías en un entorno tropical altamente urbanizado (Lim et al., 2021).

Este sistema logró reducir significativamente contaminantes como sólidos suspendidos, fósforo y nitrógeno, con una eficiencia de más del 90%. Además, el sistema mostró una notable capacidad para mejorar la calidad del agua, mitigando así las inundaciones urbanas y mejorando la infiltración en áreas con limitaciones de espacio. Este tipo de solución resulta ser especialmente eficaz en áreas tropicales con alta densidad urbana, demostrando que los alcorques estructurales pueden ofrecer beneficios multifacéticos tanto para el control del agua como para la salud ambiental (Lim et al., 2021).

Jardines de lluvia

Los jardines de lluvia son sistemas de bioretención diseñados para captar, infiltrar y tratar el agua de escorrentía en áreas urbanas, proporcionando una solución sostenible para la gestión de las aguas pluviales dentro de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Estos espacios vegetados son depresiones que capturan el agua de superficies impermeables, como techos y calles, permitiendo que el agua se infiltre en el suelo, disminuyendo la carga sobre los sistemas de drenaje convencionales y mejorando la calidad del agua al filtrar contaminantes. Los jardines de lluvia no solo son una herramienta eficaz para mitigar las inundaciones urbanas, sino que también ayudan a mejorar la biodiversidad y a crear espacios estéticamente agradables en las ciudades (Kravchenko et al., 2024).



Figura 0.4 Jardines de lluvia [Indira et al., 2022]

En climas tropicales, como los de algunas regiones de China y Japón, los jardines de lluvia han demostrado ser altamente efectivos para reducir la escorrentía y mejorar la calidad del agua. En un estudio realizado en China, se investigó la integración de jardines de lluvia en áreas urbanas degradadas, demostrando su capacidad para gestionar de manera eficiente las fuertes lluvias y, al mismo tiempo, mejorar la estética urbana y la biodiversidad a través del uso de plantas herbáceas autóctonas. Estos jardines también actúan como filtros naturales que mejoran la calidad del agua al eliminar sólidos suspendidos y nutrientes antes de que el agua llegue a los cuerpos receptores (Shi et al., 2024).

En Japón, se evaluó el rendimiento de jardines de lluvia en la reducción de contaminantes como nitrógeno y fósforo en áreas urbanas densamente pobladas, mostrando una reducción significativa en la cantidad de contaminantes y en el volumen de escorrentía durante eventos de lluvia intensa (Zhang et al., 2020).

Otro ejemplo relevante proviene de un estudio en Corea del Sur, donde los jardines de lluvia se utilizaron para tratar el agua de escorrentía en áreas urbanas y mejorar la infiltración de agua al suelo. Durante un monitoreo de cinco años, se descubrió que los jardines de lluvia eran capaces de reducir eficientemente sólidos suspendidos y nutrientes, aunque la capacidad de infiltración se reducía con el tiempo debido a la acumulación de sedimentos. Sin embargo, se desarrolló un modelo predictivo basado en aprendizaje profundo que podría ser utilizado para optimizar el mantenimiento y rendimiento de estos sistemas en el futuro (Jeon et al., 2021).

Finalmente, un estudio en Japón evaluó cómo los jardines de lluvia pueden mitigar inundaciones y mejorar la calidad del agua en entornos urbanos sometidos a rápidos procesos de urbanización. El uso de estos sistemas en combinación con el modelo de gestión de aguas pluviales mostró una reducción significativa en los volúmenes de escorrentía y contaminantes durante diferentes periodos de retorno de lluvia, demostrando su eficacia como soluciones de bajo impacto para el manejo del agua en áreas tropicales (Zhang et al., 2020).

Cunetas verdes

Las cunetas verdes, también conocidas como grassed swales, son canales vegetados utilizados en los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Estos sistemas permiten la captación, transporte y filtración de agua pluvial mientras reducen el volumen y la velocidad de la escorrentía, ofreciendo beneficios como la mejora de la calidad del agua y la reducción de contaminantes. Además, las cunetas verdes promueven la infiltración de agua al subsuelo, ayudando a la recarga de acuíferos (Sañudo-Fontaneda et al., 2020).

Estas infraestructuras verdes pueden integrarse de manera sencilla en proyectos urbanos, ofreciendo soluciones sostenibles para la gestión del agua en zonas altamente impermeabilizadas. En términos de diseño, las cunetas verdes pueden variar en longitud, pendiente y vegetación utilizada, ajustándose a las características del entorno y las necesidades de manejo de escorrentías (Lucke et al., 2014).



Figura 0.5 Cuneta verde a través del área periurbana [Sulis et al. ,2024]

En climas tropicales, como el de Singapur, las cunetas verdes han mostrado ser altamente efectivas para la reducción de contaminantes como los sólidos suspendidos totales, fósforo total y nitrógeno total, lo cual ha sido observado en estudios de monitoreo realizados durante 15 meses. Estos sistemas no solo mejoraron la calidad del agua, sino que también redujeron significativamente los volúmenes de escorrentía, lo que ayuda a mitigar los riesgos de inundaciones en áreas urbanas densamente pobladas (Neo et al., 2022).

Asimismo, en China, se investigó la efectividad de la combinación de cunetas verdes con pavimentos permeables en la reducción de la escorrentía pluvial. Los resultados indicaron que esta combinación es especialmente eficaz en la reducción de picos de flujo, logrando una mayor eficiencia en comparación con el uso individual de cada sistema (Xie et al., 2017).

Otros estudios han demostrado que las cunetas verdes también son capaces de manejar condiciones climáticas extremas. Por ejemplo, en Australia, se realizaron experimentos de simulación que mostraron que las cunetas verdes pueden eliminar hasta un 80 % de los sólidos suspendidos en los primeros 10 metros de su longitud, mejorando la calidad del agua y reduciendo la necesidad de infraestructuras de tratamiento adicionales. Estos sistemas también mostraron una gran capacidad para reducir los niveles de fósforo en la escorrentía, lo que refuerza su valor en áreas urbanas que enfrentan problemas de contaminación del agua (Lucke et al., 2014).

Además, otro estudio realizado bajo condiciones de sequía prolongada y lluvias intensas demostró que las cunetas verdes pueden mantener altas tasas de infiltración, lo que las convierte en una solución robusta para la gestión del agua en entornos afectados por el cambio climático. Las cunetas verdes representan una solución eficaz y sostenible para la gestión de aguas pluviales en climas tropicales, donde las lluvias intensas y la urbanización acelerada crean desafíos para la infraestructura de drenaje (Boogaard, 2022).

Almacenamiento subterráneo

El almacenamiento subterráneo en los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) es una estrategia fundamental para gestionar el agua de lluvia de manera eficiente en entornos urbanos. Este método se basa en la instalación de estructuras bajo la superficie que permiten capturar, almacenar y, posteriormente, liberar el agua de lluvia de forma controlada. En climas tropicales, donde las precipitaciones intensas son comunes, el almacenamiento subterráneo es crucial para mitigar inundaciones y mejorar la recarga de acuíferos. Estos sistemas pueden incluir desde cámaras de almacenamiento bajo pavimentos permeables hasta grandes depósitos subterráneos que retienen el agua temporalmente antes de liberarla lentamente en el suelo o en redes de drenaje (Charlesworth et al., 2016).



Figura 0.6 Almacenamiento subterráneo [De la Fuente García et al., 2021]

Un estudio realizado en Brasil evaluó la viabilidad de implementar SUDS, incluido el almacenamiento subterráneo, en cuencas urbanas. Los resultados mostraron que este tipo de almacenamiento es efectivo para prevenir inundaciones y optimizar la infiltración en áreas urbanizadas, demostrando ser una solución adaptable a diferentes tipos de suelos y condiciones geológicas (Failache et al., 2022). Este enfoque no solo mitiga los impactos de las lluvias intensas, sino que también contribuye a la gestión eficiente del agua en zonas con variaciones estacionales extremas de precipitación, comunes en climas tropicales.

Otra investigación en China destacó el uso de modelos para simular el almacenamiento subterráneo en suelos subtropicales. Estos modelos permiten prever cómo el agua se almacena y fluye a través del suelo, ayudando a optimizar el diseño de estos sistemas en climas que experimentan tanto periodos de sequía como lluvias intensas. Los resultados indicaron que el almacenamiento subterráneo puede reducir significativamente la escorrentía superficial, lo que mejora la calidad del agua y la disponibilidad hídrica en estos entornos (Verrot et al., 2019)

Es decir, que mediante un enfoque holístico de almacenamiento subterráneo en combinación con otras soluciones de SUDS, como techos verdes y pavimentos permeables, fue evaluado en un estudio sobre drenaje sostenible. Este tipo de infraestructura verde es clave para adaptarse al cambio climático y mejorar la resiliencia de las ciudades tropicales, mitigando los impactos tanto de sequías como de inundaciones (Scholz, 2015)

Aspectos Hidrológicos para el Diseño de Drenaje Urbano

Los aspectos hidrológicos, como las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y el Método Racional, son fundamentales para diseñar infraestructuras de drenaje que puedan gestionar eventos de lluvia intensa. Estas herramientas permiten prever el comportamiento hidrológico de una cuenca urbana, dimensionando adecuadamente las redes de drenaje en función de la capacidad de transporte del agua pluvial (Saldarriaga et al., 2024).

Aspectos Hidráulicos del Diseño de Drenaje

Diseño de Sistemas de Alcantarillado: Gravedad y Bombeo

El diseño de sistemas de alcantarillado en áreas urbanas se basa en el uso de la gravedad para transportar el agua pluvial hacia los puntos de descarga, reduciendo la necesidad de energía. Sin embargo, en terrenos planos o con desniveles insuficientes, se utilizan estaciones de bombeo para garantizar un flujo adecuado. El uso eficiente de estas estaciones es clave para optimizar los costos operativos y evitar sobreexcavaciones profundas (Anvigh et al., 2024).

Dimensionamiento de Conductos: Diámetro y Pendiente

El dimensionamiento de los conductos de drenaje se basa en la determinación del caudal máximo de escorrentía, la selección de un diámetro adecuado y el establecimiento de pendientes suficientes para asegurar un flujo constante sin causar sedimentación. Las curvas IDF y el método racional ayudan a definir los parámetros de diseño, garantizando que las tuberías soporten eventos de lluvia extremos sin riesgo de desbordamiento (Diogo & do Carmo, 2019).

Modelos de Flujo en Redes de Drenaje

Los modelos hidráulicos permiten simular el comportamiento del agua en redes de drenaje, evaluando la capacidad de los sistemas para manejar los volúmenes de agua pluvial generados durante tormentas. Estos modelos son herramientas indispensables en la fase de diseño y en la operación de sistemas complejos, asegurando que el flujo sea óptimo y que no se presenten cuellos de botella o puntos de falla (Wang et al., 2024).

Costos y Viabilidad Económica

El análisis de costos de capital (CAPEX) y costos operativos (OPEX) es esencial para determinar la viabilidad económica de los proyectos de drenaje. Los sistemas convencionales tienden a tener un CAPEX inicial menor, pero los sistemas sostenibles, como los SuDS, ofrecen ahorros significativos en OPEX debido a su capacidad para reducir los costos de mantenimiento y operación a largo plazo (García-Haba et al., 2023).

Los SuDS no solo proporcionan beneficios ambientales y sociales, como la mejora de la calidad del agua y la reducción de las inundaciones, sino que también son rentables a largo plazo. El análisis de costo-beneficio a largo plazo demuestra que, aunque su implementación inicial puede ser más costosa, las ventajas económicas y la reducción del impacto ambiental compensan con creces estos costos (Sulis et al., 2024).

Las infraestructuras verdes, como techos verdes y jardines de lluvia, tienen la capacidad de reducir los costos en todo el ciclo de vida de un proyecto. Estas soluciones no solo disminuyen los costos de operación y mantenimiento, sino que también generan ahorros significativos en términos de mitigación de inundaciones y mejora de la salud pública (Wang et al., 2024).

Normativa y Regulaciones

Legislación Nacional e Internacional en Drenaje Urbano

La legislación sobre drenaje urbano aplicable en las Islas Galápagos se centra en la protección de sus ecosistemas únicos y la implementación de tecnologías sostenibles para la gestión de aguas pluviales (Anvigh et al., 2024).

Las normas tanto nacionales como internacionales están diseñadas para mitigar los impactos ambientales y adaptarse a las condiciones específicas de las islas. Un estudio realizado en la Isla Santa Cruz destacó la importancia de integrar sistemas de alcantarillado pluvial con soluciones sostenibles, como el uso de pavimentos permeables y tanques de almacenamiento subterráneos. Este enfoque se alinea con la legislación ecuatoriana, que promueve el desarrollo sostenible en áreas vulnerables como las Galápagos. Estas soluciones, junto con la Ley Especial para la Conservación y el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Galápagos, aseguran la protección del medio

ambiente al tiempo que permiten un desarrollo urbano controlado y resiliente (Ragazzi et al., 2016)

En otro estudio sobre los desafíos de los sistemas de drenaje urbano en Brasil, se identificaron barreras importantes para mejorar la infraestructura de drenaje en regiones tropicales, lo que ofrece lecciones valiosas para la planificación en Galápagos. Uno de los principales problemas es la falta de financiamiento y el mantenimiento insuficiente de los sistemas de alcantarillado. Para abordar estos desafíos, se propone la implementación de soluciones híbridas, combinando infraestructura verde con sistemas convencionales. Estas estrategias permiten un manejo más eficaz de las aguas pluviales, reduciendo la escorrentía superficial y mejorando la capacidad de los sistemas de drenaje para soportar tormentas intensas (Francisco et al., 2023) .

Esto refuerza la necesidad de diseñar sistemas adaptables a las condiciones locales, como en el caso de las Islas Galápagos, donde las características volcánicas del suelo y el rápido crecimiento urbano demandan soluciones innovadoras.

La integración de los sistemas de drenaje con los principios de sostenibilidad urbana es clave para asegurar la protección de las Galápagos a largo plazo. Los SUDS ofrecen beneficios como la reducción de inundaciones, la mejora de la calidad del agua y la mitigación de los efectos del cambio climático. La legislación vigente en Ecuador, junto con las recomendaciones internacionales, fomenta el uso de tecnologías de bajo impacto que son fácilmente replicables y que requieren un mantenimiento mínimo, lo cual es esencial en áreas remotas como las Galápagos.

Marco metodológico

La metodología empleada en este proyecto sigue un enfoque tipo Tradicional o Secuencial, donde cada etapa del proceso se desarrolla de manera secuencial y ordenada. A continuación, en la Figura 0.7, se indicara el diagrama de flujo:

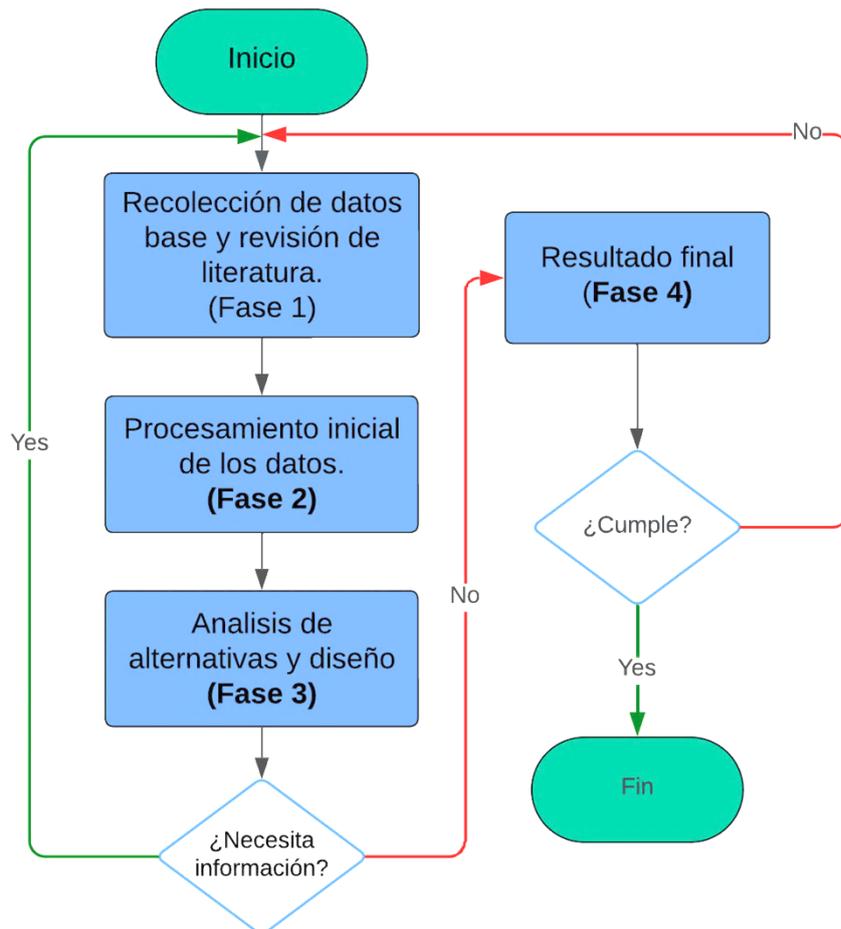


Figura 0.7. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto [Elaboración propia]

- **Fase 1: Recolección de Datos y Análisis Meteorológicos.**

La primera fase del proyecto se inicia con una revisión exhaustiva de la bibliografía existente sobre el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial, para establecer un marco teórico sólido. A continuación, se procede a la recolección de datos meteorológicos y topográficos cruciales para el diseño del sistema de alcantarillado en Santa Isabela. Esto incluye la obtención de datos que sirve como una base para el proyecto, así como un primer diagnóstico de la problemática.

- **Fase 2: Diseño hidrológico.**

En esta fase, se calcula los caudales de diseño necesarios para manejar el volumen de agua esperado durante eventos de lluvia. Utilizando la información meteorológica y topográfica previamente recolectada, se analiza las características del flujo de agua en la isla para garantizar que el sistema de alcantarillado sea capaz de manejar eficazmente las escorrentías. Además, se define la microcuenca, la dirección del flujo de agua, el uso del suelo y teniendo en cuenta las características del terreno para optimizar el diseño del sistema. Esta evaluación integral permite adaptar el diseño a las condiciones

específicas de Santa Isabela, asegurando un manejo eficiente del agua pluvial y la prevención de problemas de inundación.

- **Fase 3: Evaluación de Alternativas y diseño.**

Para esta fase se lleva a cabo análisis comparativos para identificar cuál de las alternativas propuestas optimiza mejor el manejo de aguas lluvias, considerando factores técnicos, económicos, ambientales y sociales. Con base en los datos obtenidos en las fases anteriores, se diseña la alternativa seleccionada para el sistema de alcantarillado pluvial, evaluando su eficiencia hidráulica y su adaptación al terreno.

- **Fase 4: Documentación**

Finalmente, se elabora los Análisis de Precios Unitarios (APUs), el presupuesto detallado y el cronograma valorado del proyecto. Además, se realiza las especificaciones técnicas correspondientes y los planos de detalle del sistema de alcantarillado pluvial, incluyendo el diseño final de las estructuras y su disposición en el terreno.

Trabajo de laboratorio o gabinete

El trabajo de laboratorio o gabinete implicará el procesamiento de los datos recolectados y el análisis para el diseño del sistema de alcantarillado:

- **Análisis de Datos Meteorológicos:** Para el análisis de datos meteorológicos, se utilizarán las curvas IDF del INAMHI para San Cristóbal debido a la falta de datos específicos para Santa Isabela. Aunque San Cristóbal y Santa Isabela son islas distintas, comparten condiciones climáticas y meteorológicas similares por su proximidad geográfica en el Archipiélago de Galápagos. Esta similitud en los patrones de precipitación hace que las curvas IDF de San Cristóbal sean una representación razonable de las condiciones en Santa Isabela. La ausencia de datos meteorológicos locales específicos obliga a recurrir a los datos más cercanos disponibles, y el uso de las curvas IDF de San Cristóbal permitirá una estimación adecuada del riesgo de inundación, lo cual es crucial para diseñar un sistema de drenaje eficaz en Santa Isabela. En estudios anteriores, la aplicación de datos meteorológicos de una isla vecina ha demostrado ser suficientemente precisa para la planificación y diseño de sistemas de drenaje en la región.

- **Estudio de Datos Topográficos:** Los modelos digitales de terreno (MDT) proporcionados por el GAD Isabela, junto con los Modelos Digitales de Elevación (DEM) de la NASA Figura 0.8, se utilizaron para obtener datos topográficos de alta precisión de la zona de estudio. Estos datos fueron fundamentales para generar superficies y definir el área de drenaje. Se analizaron para calcular el área de la cuenca de aporte,

realizar los cálculos de pendientes del terreno y verificar la precisión de las mediciones topográficas. Además, estos modelos permitieron determinar las áreas de escurrimiento y analizar el comportamiento del agua durante los eventos de lluvia, lo cual fue clave para el diseño del sistema de alcantarillado pluvial.

Ç

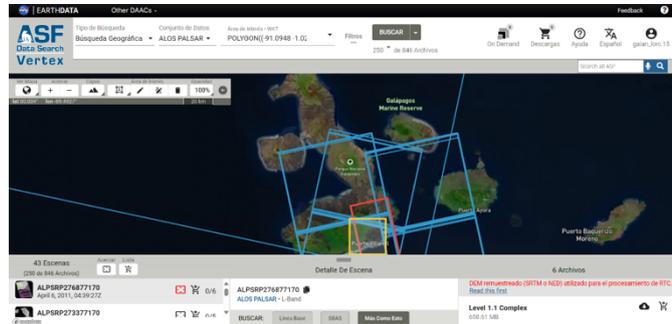


Figura 0.8. Plataforma Earth data, extracción de los datos topográficos [Alaska Satellite Facility NASA, 2024]

- **Periodo de diseño:** Para la Tabla 0.1 se debe seleccionar teniendo en cuenta el tipo de sistema y el área de drenaje, ya que estos factores son fundamentales para garantizar la durabilidad y eficiencia del sistema. Considerar estas variables asegura que el sistema se adapte adecuadamente a las condiciones de manejo del agua y a los eventos extremos esperados.

Tipo de sistema	Tipo de conducto	Área de drenaje	T retorno [años]
Micro drenaje	Zona residencial, comercial	≤ 2	2-5
	Tuberías de cualquier zona	> 10	10
	Tuberías de cualquier zona	> 10	10
Macro drenaje	Canales de hormigón y vegetación	≤ 1000	10-25
	Canales de hormigón	> 1000	10
	Canales mixtos de hormigón y vegetación		50
	Canales incluyendo el borde libre		100

Tabla 0.1. Periodos de diseño según [INEN, 1997]

- **Análisis del Uso del Suelo mediante el Software ESA:** Se empleó el software de la Agencia Espacial Europea (ESA) para obtener información detallada sobre el uso del suelo en la zona de estudio Figura 0.9. Estos datos se utilizaron para determinar el coeficiente de escorrentía, un parámetro fundamental en el diseño de los sistemas de drenaje pluvial.

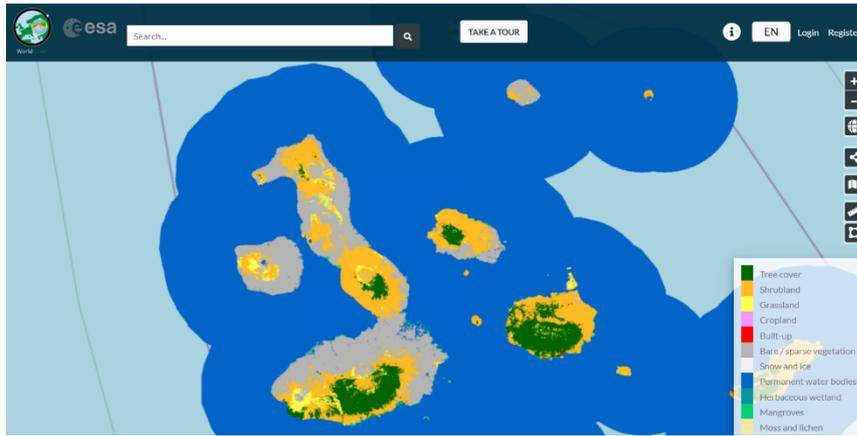


Figura 0.9. Extracción de la información de uso del suelo
[European Space Agency, 2024]

- Coeficiente de Escorrentía: Se utilizó la tabla de coeficientes de escorrentía del EMAAP-Q (2009) para determinar los valores adecuados según las características de la superficie y el período de retorno.
- Relaciones Hidráulicas: Las relaciones hidráulicas se utilizaron para conocer el comportamiento del flujo de agua en una sección de tubería. Los datos fueron obtenidos de la literatura técnica, específicamente del trabajo de López Cualla (2000).
- Rangos de Velocidades y Coeficiente de Rugosidad: La CPE INEN 9-1 establece que la velocidad en la tubería no debe ser menor a 0.45 m/s para evitar la retención de sólidos y se recomienda una velocidad de 0.60 m/s.
- Esfuerzo Cortante: Se debe verificar la condición de autolimpieza para cada tramo de la red, donde el esfuerzo cortante medio debe ser al menos de 1 Pa, según EMAAP-Q (2009).

Tabulación de datos

La información recolectada en las fases previas del proyecto será tabulada para su análisis y posterior aplicación en el diseño del sistema de alcantarillado pluvial.

Curvas IDF: Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de San Cristóbal Figura 0.11 ,serán utilizadas como base para el cálculo de caudales. Estos datos se tabularán para mostrar las diferentes intensidades de lluvia según el período de retorno y la duración del evento de lluvia.

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0221	SAN CRISTOBAL	5 < 120	$i = 99.7843 * T^{0.2536} * t^{-0.3417}$	0.9836	0.9675
		120 < 1440	$i = 734.3316 * T^{0.3077} * t^{-0.7719}$	0.9920	0.9841

Figura 0.10. Ecuaciones de Intensidad de Lluvia según [INAMHI, 2015]

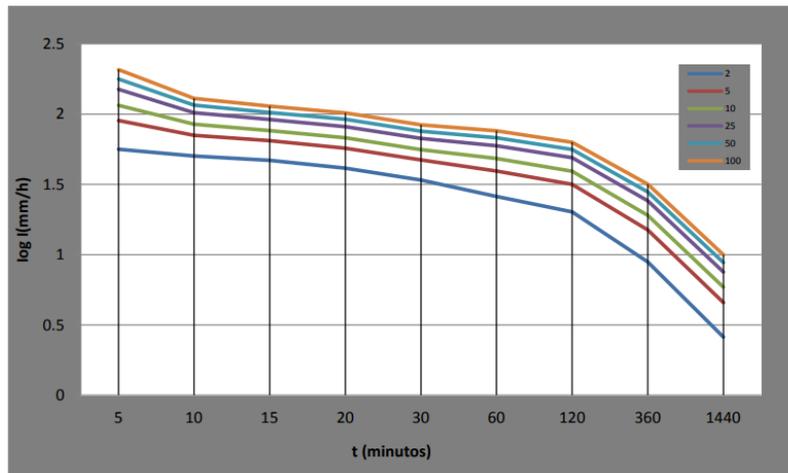


Figura 0.11. Curvas IDF según [INAMHI, 2015]

Datos topográficos: Los modelos digitales de elevación (DEM) Figura 0.13 y de las pendientes del terreno Figura 0.12, se las utilizarán para el procesamiento en programas de información geográfica. Estos datos permitirán la delimitación de las microcuencas y la identificación de las áreas de escurrimiento.



Figura 0.12 Curvas de nivel [Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela, 2023]

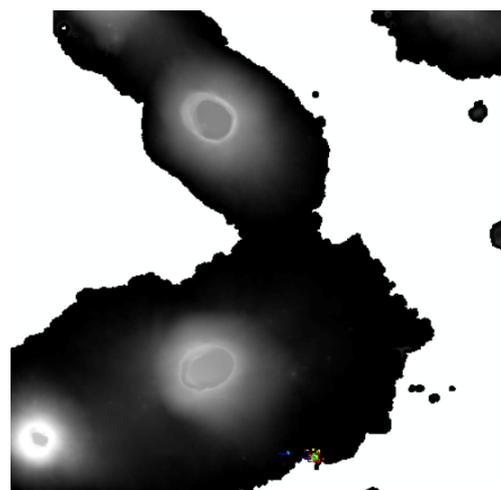


Figura 0.13. Archivo DEM de elevaciones [Alaska Satellite Facility NASA, 2024]

Coeficientes de escorrentía: Se tabularán los coeficientes de escorrentía ha utilizar (Tabla 0.1) y se graficarán los usos del suelo (Figura 0.1).

VALORES USADOS PARA DETERMINAR UN COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE			
Descripción del Área	Período de Retorno (años)		
	2	5	10
Asfáltico	0.73	0.77	0.81
Concreto / Techo	0.75	0.8	0.83
Zonas verdes (jardines, parques, etc), cubierta de pasto el 50% del área			
- Plano 0-2%	0.32	0.34	0.37
- Promedio 2-7%	0.37	0.4	0.43
- Pendiente superior a 7%	0.40	0.43	0.45
Zonas verdes (jardines, parques, etc), cubierta de pasto del 50 al 75% del área			
- Plano 0-2%	0.25	0.28	0.3
- Promedio 2-7%	0.33	0.36	0.38
- Pendiente superior a 7%	0.37	0.4	0.42
Zonas verdes (jardines, parques, etc), cubierta de pasto mayor al 75% del área			
- Plano 0-2%	0.21	0.23	0.25
- Promedio 2-7%	0.29	0.32	0.35
- Pendiente superior a 7%	0.34	0.37	0.4
Área de Cultivos			
- Plano 0-2%	0.31	0.34	0.36
- Promedio 2-7%	0.35	0.36	0.38
- Pendiente superior a 7%	0.39	0.42	0.44
Pastizales			
- Plano 0-2%	0.25	0.28	0.3
- Promedio 2-7%	0.33	0.36	0.38
- Pendiente superior a 7%	0.37	0.4	0.42
Bosques			
- Plano 0-2%	0.22	0.25	0.28
- Promedio 2-7%	0.31	0.34	0.36
- Pendiente superior a 7%	0.35	0.39	0.41

Tabla 0.2 Valores de coeficiente de escorrentía [EMAAP- Q, 2009]

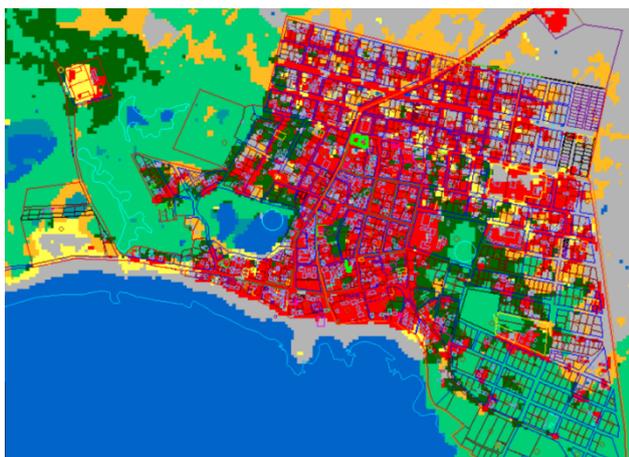


Figura 0.14. Usos del suelo [Elaboración propia]

Parámetros hidráulicos: Las relaciones hidráulicas (Tabla 0.3) y las velocidades máximas (Tabla 0.4) se presentarán en tablas para asegurar que el sistema cumpla con los criterios hidráulicos necesarios para evitar problemas como la acumulación de sedimentos en las tuberías.

$\left(\frac{Q_{Dis}}{Q_o}\right)_r$	$\left(\frac{V}{V_o}\right)_r$	$\left(\frac{d}{D}\right)_r$	$\left(\frac{R}{R_o}\right)_r$	$\left(\frac{H}{D}\right)_r$
0.01	0.292	0.092	0.239	0.041
0.02	0.352	0.124	0.315	0.067
0.03	0.040	0.148	0.370	0.086
0.04	0.427	0.165	0.410	0.102
0.05	0.453	0.182	0.449	0.116
0.06	0.473	0.196	0.481	0.128
0.07	0.492	0.210	0.510	0.140
0.08	0.505	0.220	0.530	0.151
0.09	0.520	0.232	0.554	0.161
0.10	0.540	0.248	0.586	0.170
0.11	0.553	0.258	0.606	0.179
0.12	0.570	0.270	0.630	0.188
0.13	0.580	0.280	0.650	0.197
0.14	0.590	0.289	0.668	0.213
0.15	0.600	0.298	0.686	0.213

Tabla 0.3. Relaciones hidráulicas [López Cualla, 2000]

Material	Velocidad máxima	Coefficiente de rugosidad
Hormigón con uniones de mortero	4	0.013
Hormigón con uniones de neopreno	3.5 - 4	0.013
Asbesto cemento	4.5 - 5	0.011
Plástico	4.5	0.011

Tabla 0.4. Rango de velocidades y coeficientes de rugosidad [INEN, 1997]

Solución a diseñar

La solución al problema planteado se desarrollará siguiendo estos pasos:

Tiempo de recorrido

El tiempo de recorrido (t_r) en sistemas de alcantarillado pluvial se calcula como el tiempo que tarda el agua en atravesar cada tramo del sistema. Este tiempo depende de la velocidad de flujo y la longitud del tramo.

$$t_r = \frac{L}{60 * v} \quad (1)$$

Donde:

L (longitud del tramo) se mide en [m], obtenido de los planos.

v (velocidad de flujo) se expresa en [m/s], se utiliza un valor 1.2 m/s inicialmente y después se lo cambia según el valor de velocidad obtenido de la ecuación (12 o

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (t_c) en sistemas de alcantarillado pluvial urbanos se calcula sumando el tiempo de recorrido (t_r), que es el tiempo que tarda el agua en atravesar cada tramo del sistema, y el tiempo inicial (t_i), que corresponde al tiempo necesario para que el escurrimiento comience en el primer tramo.

$$t_c = t_i + t_r \quad (2)$$

Donde:

t_i (tiempo inicial) dato de partida con unidades en [min].

tr (tiempo de recorrido) calculado a través de una velocidad de recorrido y la distancia recorrida con unidades en [min].

Intensidad de lluvia

Para calcular la intensidad de lluvia (I), se empleará las siguientes formulas sacadas de las curvas IDF anteriormente mencionadas:

$$I = 99.7843 \times T^{0.2536} \times t^{-0.3417} \quad 5min < t < 120min \quad (3)$$

$$I = 734.3316 \times T^{0.3077} \times t^{-0.7719} \quad 120min < t < 1440min \quad (4)$$

Donde:

T (periodo de retorno) con unidades en [años], se lo obtiene mediante tablas.

t (tiempo de concentración) con unidades en [min], determinada en la ecuación (2).

Área de aportación

Área propia

El área de aportación propia se calcula identificando las pendientes del terreno que dirigen el flujo de agua hacia los sumideros, delimitando así la cuenca que contribuye a cada sumidero. Se mide el área total en metros cuadrados y se determina el flujo de agua que se dirigirá al pozo a través de los sumideros, considerando la intensidad de la precipitación y las características del terreno.

Área acumulada

Es la suma de las áreas propias de las tuberías que la preceden. Se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$A_{Acumulada} = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad (5)$$

Donde:

A_1, A_2, A_3, A_n (áreas de las tuberías anteriores) con unidades en [ha]

Caudal

Utilizando el Método Racional, se calculará el caudal de diseño (Q) aplicando la fórmula:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} \quad (6)$$

Donde:

C (coeficiente de escorrentía) con unidades adimensionales, se determina por la cobertura del suelo, pendientes y sus correspondientes áreas.

I (intensidad de la lluvia) con unidades en [mm/h].

A (área de la cuenca de aporte) con unidades en [ha], determinada en la ecuación (5).

Caudal de infiltración

Despreciando la influencia del gradiente hidráulico en la expresión de Darcy, se obtiene la siguiente fórmula de caudal:

$$Q_{infil} = k * A_{SUDs} \quad (7)$$

Donde:

k (permeabilidad de escorrentía) con unidades en [m/s], se determina por el tipo de suelo del sector.

I (intensidad de la lluvia) con unidades en [mm/h].

A_{SUDs} (área de los SUDs) con unidades en [ha], se determina según la disponibilidad del terreno.

Caudal de diseño

Se calcula de la resta del caudal total que aporta a la tubería con el caudal de infiltración.

$$Q_{Dis} = Q - Q_{infil} \quad (8)$$

Donde:

Q (caudal) con unidades de [m³/s] valor calculado con la ecuación (6).

Q_{infil} (caudal) con unidades de [m³/s] valor calculado con la ecuación (7).

Cantidad de sumideros

Tirante real en la cuneta

El tirante (y) calcula a través de la fórmula general de Manning simplificada para cunetas, en este caso se debe despejar el valor de la profundidad como se muestra en la ecuación (14):

$$y = \left(\frac{Q \times n}{0.375 \times Z \times S^{1/2}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (9)$$

Donde:

Z (inverso de la pendiente transversal) con unidades de [m/m], es el diámetro requerido ajustado al comercial.

S (pendiente de la cuneta) con unidades de [m/m], obtenido de las elevaciones del terreno.

n (coeficiente de rugosidad de Manning) con unidades de [s/(m^{1/3})], se determina usando tablas.

Q (caudal) con unidades de [m³/s] valor calculado con la ecuación (6).

Ancho mojado

Para calcular el ancho mojado (T) en la cuneta usando solo el tirante y la pendiente transversal, podemos emplear la siguiente fórmula:

$$T = y \times Z \quad (10)$$

Donde:

y tirante real en la cuneta (profundidad del flujo) en unidades de [m], calculado previamente con la ecuación (9).

Z (inverso de la pendiente transversal) con unidades de [m/m], es el diámetro requerido ajustado al comercial.

Área transversal

Para calcular el área transversal de una cuneta trapezoidal o triangular, podemos hacer una aproximación considerándola como un triángulo.

$$A_{transversal} = \frac{y \times T}{2} \quad (11)$$

Donde:

y tirante real en la cuneta (profundidad del flujo) en unidades de [m], calculado previamente con la ecuación (9).

T ancho mojado de la cuneta en unidades de [m], calculado usando la ecuación (10).

Velocidad del flujo

Para calcular la velocidad del flujo [v] en una cuneta, utilizamos la relación entre el caudal y el área transversal.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (12)$$

Donde:

Q (caudal) con unidades de [m³/s] valor calculado con la ecuación (6)

A (área transversal) en unidades de [m²], calculado usando la ecuación (11).

Tirante de control

Es el valor máximo que puede tomar el tirante, antes de que la calle se inunde.

$$y_c = \frac{T_c}{Z} \quad (13)$$

Donde:

T_c ancho mojado de la cuneta en unidades de [m], es el ancho mojado máximo antes de que se inunde la calle.

Z (inverso de la pendiente transversal) con unidades de [m/m], es el diámetro requerido ajustado al comercial.

Capacidad de drenaje

Se calcula el Caudal (Q_s) a través de la fórmula general de Manning simplificada para cunetas:

$$Q_s = \frac{0.375 \times y^{\frac{8}{3}} \times Z \times S^{1/2}}{n} \quad (14)$$

Donde:

y tirante real en la cuneta (profundidad del flujo) en unidades de [m], calculado previamente con la ecuación (9).

Z (inverso de la pendiente transversal) con unidades de [m/m], es el diámetro requerido ajustado al comercial.

S (pendiente de la cuneta) con unidades de [m/m], obtenido de las elevaciones del terreno.

n (coeficiente de rugosidad de Manning) con unidades de [s/(m^{1/3})], se determina usando tablas.

Cantidad de sumideros

La cantidad de sumideros (N) en una cuneta se determina en función del caudal de escorrentía y la capacidad de drenaje de cada sumidero, así como la pendiente de bombeo de la calle y la altura de la cuneta. La fórmula básica para calcular la cantidad de sumideros es:

$$N = \frac{Q_{Dis}}{Q_s} \quad (15)$$

Donde:

Q_{Dis} (caudal de diseño) con unidades de [L/s], calculado previamente con la ecuación (6.

Q_s (capacidad de drenaje) con unidades de [L/s], calculado previamente con la ecuación (14.

Diámetro de tubería

El diámetro necesario de la tubería, D_{Req} , se calculará utilizando la ecuación de Manning. Deberá ser, como mínimo, igual al diámetro normativo establecido según (INEN, 1997) y se debe ajustar al diámetro comercial. Este cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$D_{Dis} = 1.548 \left(\frac{n * Q_{Dis}}{\sqrt{S}} \right)^{3/8} \quad (16)$$

Donde:

n (coeficiente de rugosidad de Manning) con unidades de [s/(m^{1/3})], determinado mediante tablas.

Q_{Dis} (caudal de diseño) con unidades de [L/s].

S (pendiente de la tubería) con unidades de [m/m], obtenido de las elevaciones del terreno.

Flujo a tubo lleno

Caudal a tubo lleno

El caudal (Q_o) se determina bajo la condición de tubo lleno, considerando el diámetro adoptado y haciendo uso de la ecuación de Manning descrita por (Chow Ven Te, 1994).

$$Q_o = 312 * \frac{D_{Dis}^{8/3} * S^{1/2}}{n} \quad (17)$$

Donde:

D_{Dis} (diámetro adoptado para la tubería) con unidades de [m], es el diámetro requerido ajustado al comercial.

S (pendiente de la tubería) con unidades de [m/m], obtenido de las elevaciones del terreno.

n (coeficiente de rugosidad de Manning) con unidades de [s/(m^{1/3})], se determina usando tablas.

Radio hidráulico a tubo lleno

El radio hidráulico a tubo lleno se obtiene de su relación con el diametro de la tubería.

$$R_{h0} = \frac{D_{Dis}}{4} \quad (18)$$

Velocidad a tubo lleno

La velocidad a tubo lleno (V_o) se obtiene de la relación del caudal a tubo lleno con el área de la tubería.

$$V_o = \frac{R_{h0}^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (19)$$

Donde:

R_{ho} (radio hidráulico en flujo lleno), con unidades de [m].

S (pendiente de la tubería) con unidades de [m/m], obtenido de las elevaciones del terreno.

n (coeficiente de rugosidad de Manning) con unidades de [s/(m^{1/3})], se determina usando tablas.

Relaciones hidráulicas

Las relaciones hidráulicas sirven para conocer el comportamiento del flujo de agua en una sección (López Cualla, 2000). Se obtienen a partir de la relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubería llena, ingresando en la Tabla 0.3.

$$\left(\frac{Q_{Dis}}{Q_o}\right)_r \rightarrow \left(\frac{V}{V_o}\right)_r, \left(\frac{d}{D}\right)_r, \left(\frac{R}{R_o}\right)_r, \left(\frac{H}{D}\right)_r \quad (20)$$

Donde:

$\left(\frac{Q_{Dis}}{Q_o}\right)_r$ (relación entre caudal de diseño y caudal a tubo lleno).

$\left(\frac{V}{V_o}\right)_r$ (relación entre velocidad real y velocidad a tubo lleno).

$\left(\frac{d}{D}\right)_r$ (relación entre lámina de agua y diámetro interno de la tubería).

$\left(\frac{R}{R_o}\right)_r$ (relación entre radio hidráulico real y radio hidráulico a tubo lleno).

$\left(\frac{H}{D}\right)_r$ (relación entre profundidad hidráulica y diámetro interno de la tubería).

Flujo real en la sección

Haciendo uso de las relaciones hidráulicas se obtienen las propiedades hidráulicas de la sección, mediante las expresiones mostradas a continuación.

Velocidad

$$V = V_o * \left(\frac{V}{V_o}\right)_r \quad (21)$$

Donde:

V_o (velocidad a tubería llena), con unidades de [m/s].

$\left(\frac{V}{V_o}\right)_r$ (relación entre velocidad real y velocidad a tubo lleno).

Altura de lámina de agua

$$d = D_{Dis} * \left(\frac{d}{D}\right)_r \quad (22)$$

Donde:

d (altura de la lámina de agua), con unidades de [m].

D_{Dis} (diámetro adoptado para la tubería), con unidades de [m].

$\left(\frac{d}{D}\right)_r$ (relación entre lámina de agua y diámetro interno de la tubería).

Radio hidráulico

$$R_h = \frac{D_{Dis}}{4} * \left(\frac{R}{R_o}\right)_r \quad (23)$$

Donde:

D_{Dis} (diámetro adoptado para la tubería), con unidades de [m].

$\left(\frac{R}{R_o}\right)_r$ (relación entre radio hidráulico real y radio hidráulico a tubo lleno).

Profundidad hidráulica

$$H = D_{Dis} * \left(\frac{H}{D}\right)_r \quad (24)$$

Donde:

D_{Dis} (diámetro adoptado para la tubería), con unidades de [m].

$\left(\frac{H}{D}\right)_r$ (relación entre profundidad hidráulica y diámetro interno de la tubería).

Esfuerzo cortante

$$\tau = \gamma * R_h * S \quad (25)$$

Donde:

γ (peso específico del agua), con un valor de 9810 [N/m³].

R_h (radio hidráulico para la sección de flujo), con unidades de [m].

S (pendiente de la tubería), con unidades de [m/m].

Altura de velocidad

Es definida como la altura que puede alcanzar las partículas de agua por efecto de su energía cinética en una sección de la tubería, se determina haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$h_v = \frac{V^2}{2 * g} \quad (26)$$

Donde:

V (velocidad real en la tubería), con unidades de [m/s].

g (aceleración gravitacional), con un valor de 9.81 [m/s²].

Energía específica para el flujo real

Es la energía total en una sección de la tubería, se expresada en términos de altura mediante la siguiente expresión.

$$E = d + h_v \quad (27)$$

Donde:

d (altura de la lámina de agua), con unidades de [m].

h_v (altura de velocidad), con unidades de [m].

Número de Froude

El empate de las tuberías con los colectores depende del régimen de flujo, este se calcula mediante la expresión mostrada a continuación.

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g * H}} \quad (28)$$

Donde:

V (velocidad real en la tubería), con unidades de [m/s].

g (aceleración gravitacional), con un valor de $9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

H (altura de la profundidad hidráulica), con unidades de $[\text{m}]$.

Análisis de régimen

Para el caso de tuberías en régimen supercrítico se debe evaluar el régimen crítico para determinar la caída en el pozo.

Para el análisis del régimen crítico se emplea la solución explícita de Vatankhah & Easa para tirante en tuberías de sección circular, mediante relaciones de flujo (Vatankhah & Easa, 2011).

Relación de flujo

$$\varepsilon_c = \frac{Q_{Dis}^2 * 10^{-6}}{g * D_{Dis}^5} \quad (29)$$

Donde:

ε_c : Relación de flujo en una sección circular.

Q_{Dis} : Caudal de diseño, en $[\text{L/s}]$.

g : Aceleración gravitacional, $9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

D_{Dis} : Diámetro adoptado para la tubería, en $[\text{m}]$.

Tirante crítico

$$y_c = D_{Ad} * (1 + 13.6 * \varepsilon_c^{-2.1135} - 13 * \varepsilon_c^{-2.1})^{-0.1156} \quad (30)$$

Donde:

y_c : Tirante crítico, en $[\text{m}]$.

D_{Dis} : Diámetro adoptado para la tubería, en $[\text{m}]$.

ε_c : Relación de flujo.

Ángulo crítico

Expresa el nivel de lámina de agua

$$\theta_c = 2 * \text{ArcCos} \left(1 - \frac{2 * y_c}{D_{Dis}} \right) \quad (31)$$

Donde:

θ_c : Ángulo crítico, en [rad].

y_c : Tirante crítico, en [m].

D_{Dis} : Diámetro adoptado para la tubería, en [m].

Área crítica

$$A_c = \frac{(100 * D_{Dis})^2}{8} * (\theta_c - \text{Sen}(\theta_c)) \quad (32)$$

Donde:

A_c : Área crítica, en [cm²].

θ_c : Ángulo crítico, en [rad].

D_{Dis} : Diámetro adoptado para la tubería, en [m].

Velocidad crítica

$$V_c = \frac{Q_{Dis}}{A_c} \quad (33)$$

Donde:

V_c : Velocidad crítica, en [m/s].

Q_{Dis} : Caudal de diseño, en [m³/s].

A_c : Área crítica, en [ha].

Energía específica para flujo crítico

$$E_c = y_c + \frac{V_c^2}{2 * g} \quad (34)$$

Donde:

E_c : Energía específica para condición de flujo crítico, en [m].

y_c : Tirante crítico, en [m].

V_c : Velocidad crítica, en [m/s].

g : Aceleración gravitacional, 9.81 [m/s²].

Diámetro de pozo

Diámetro requerido para el pozo de revisión en función de la geometría de las conexiones entre tuberías se determina mediante la siguiente expresión.

$$D_{P_Dis} = \frac{D_{Ext_s}}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (35)$$

Donde:

D_{P_Dis} : Diámetro requerido del pozo, en [m].

D_{Ext_s} : Diámetro exterior de la tubería de salida del pozo, en [m].

α : Ángulo de giro entre la tubería actual y la tubería siguiente, en [rad].

El diámetro mínimo para el pozo según el régimen de flujo.

$$D_{P_min} \geq k_r * D_{Ext_s} * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (36)$$

Donde:

D_{P_min} : Diámetro mínimo del pozo, en [m].

k_r : Coeficiente de régimen de flujo, 2 para subcrítico y 12 para supercrítico.

D_{Ext_s} : Diámetro exterior de la tubería de salida del pozo, en [m].

α : Ángulo de giro entre la tubería actual y la tubería siguiente, en [rad].

La normativa CPE INEN 9-1 establece que, el diámetro mínimo para el pozo en función del diámetro de las tuberías conectadas.

Diámetro de la tubería [mm]	Diámetro del pozo [m]
Menos o igual a 550	0.90
Mayor a 550	Diseño especial

Tabla 0.5 Diámetro mínimo de pozo según el diámetro de la tubería [CPE INEN 9-1].

Radio de curvatura

Depende el ángulo de giro entre dos tuberías y se calcula mediante la siguiente expresión.

$$R_c = \frac{D_{P_Dis}}{2 * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (37)$$

Donde:

R_c : Radio de curvatura, en [m].

D_{P_Dis} : Diámetro adoptado para el pozo, en [m].

α : Ángulo de giro entre la tubería actual y la tubería siguiente, en [rad].

Este parámetro puede obviarse cuando el ángulo de giro entre dos tuberías sea cercano a cero ya que provee de valores muy grandes para los cuales la pérdida por giro es despreciable.

Caída del pozo

Incremento de altura

En caso de que el régimen de flujo en supercrítico se debe considerar un incremento de altura debido a las pérdidas.

$$E_p = 0.589 * D_{Ad_s} * \left(\frac{Q_{Dis} * 10^{-3}}{D_{Dis_s} * \sqrt{g * D_{Dis_s}}} \right)^{2.67} \quad (38)$$

Donde:

E_p : Incremento de altura debido a las pérdidas, en [m].

D_{Dis_s} : Diámetro adoptado para la tubería de salida del pozo, en [m].

Q_{Dis} : Caudal de diseño, en [L/s].

g : Aceleración gravitacional, 9.81 [m/s²].

Factor de entrada

Para realizar el empate por la línea de energía, se debe evaluar mediante la siguiente ecuación si la entrada se encuentra sumergida o no.

$$F_e = \frac{Q_{Dis} * 10^{-3}}{\sqrt{g * D_{Dis_s}^5}} \quad (39)$$

Donde:

F_e : Factor de entrada, entrada sumergida $\leq 0.62 <$ entrada no sumergida.

Q_{Dis} : Caudal de diseño, en [L/s].

g : Aceleración gravitacional, 9.81 [m/s²].

D_{Dis_s} : Diámetro adoptado para la tubería de salida del pozo, en [m].

Altura de caída del pozo para entrada no sumergida

La caída del pozo depende de la energía específica en el régimen crítico y los incrementos por pérdidas, se determina mediante la siguiente ecuación.

$$H_c = k_c * (E_c + E_p) \quad (40)$$

Donde:

H_c : Altura de caída del pozo, en [m].

k_c : Coeficiente de caída.

E_c : Energía específica para condición de flujo crítico, en [m].

E_p : Incremento de altura debido a las pérdidas, en [m].

Para la cual, el coeficiente de caída en función de la relación entre el diámetro del pozo y el diámetro de la tubería se obtiene a partir de la siguiente tabla.

$\frac{D_{P_Dis}}{D_{Dis_s}}$	k_c
<1.3	1.5
1.3 – 1.6	1.4
1.6 – 2.0	1.3
>2.0	1.2

Tabla 0.6 Coeficiente de caída según la relación entre diámetros [López Cualla, 2000]

Altura de caída del pozo para entrada sumergida

La caída del pozo depende de la energía específica en el régimen crítico y los incrementos por pérdidas, se determina mediante la siguiente ecuación.

$$H_c = k_c * D_{Dis_s} * (0.7 + 1.91 * F_e^2) \quad (41)$$

Donde:

H_c : Altura de caída del pozo, en [m].

k_c : Coeficiente de caída.

D_{Dis_s} : Diámetro adoptado para la tubería de salida del pozo, en [m].

F_e : Factor de entrada.

Pérdidas de energía

En el diseño de sistemas de alcantarillado se consideran dos tipos de pérdidas en tuberías para el empate de cotas.

Pérdida por transición

Estas pérdidas dependen de la variación de velocidad en la transición entre dos tuberías, se estiman mediante la siguiente expresión.

$$\Delta H_t = k_t * |h_{V_s} - h_{V_a}| \quad (42)$$

Donde:

ΔH_t : Pérdida de energía por transición, en [m].

k_t : Coeficiente de transición, Aumento $k=0.1$, Disminución $k=0.2$.

h_{V_s} : Altura de velocidad en la siguiente tubería, en [m].

h_{V_a} : Altura de velocidad en la actual tubería, en [m].

Pérdida por cambio de dirección

Estas pérdidas dependen del ángulo de giro entre dos tuberías, se estiman mediante expresión mostrada a continuación.

$$\Delta H_d = k_d * \left(\frac{h_{V_s} + h_{V_a}}{2} \right) \quad (43)$$

Donde:

ΔH_d : Pérdida de energía por cambio de dirección, en [m].

k_d : Coeficiente de cambio de dirección.

h_{V_s} : Altura de velocidad en la tubería siguiente, en [m].

h_{V_a} : Altura de velocidad en la tubería actual, en [m].

En donde el coeficiente de cambio de dirección depende la relación entre el radio de curvatura entre las tuberías y el diámetro adoptado de la tubería de salida, el coeficiente se obtiene partir de la tabla mostrada a continuación.

Régimen de flujo	$\frac{R_c}{D_{Dis_s}}$	k_d
Subcrítico	1.0 – 1.5	0.40
	1.5 – 3.0	0.20
	>3	0.05
Supercrítico	6.0 – 8.0	0.40
	8.0 – 10.0	0.20
	>10.0	0.05

Tabla 0.7. Coeficiente de cambio de dirección según el régimen del flujo y la relación radio de curvatura y diámetro de salida [López Cualla, 2000]

Estas pérdidas pueden despreciarse para tramos en donde el giro entre las tuberías sea cercano a cero.

Pérdida absoluta

Es la suma de las perdidas por transición y cambio de dirección, es aplicada en el proceso de empate de cota de energía para el diseño de las tuberías.

$$\Delta H_e = \Delta H_t + \Delta H_d \quad (44)$$

Donde:

ΔH_e : Pérdida absoluta de energía, en [m].

ΔH_t : Pérdida de energía por transición, en [m].

ΔH_d : Pérdida de energía por cambio de dirección, en [m].

Perdida por caída

La caída produce una pérdida de energía en el flujo, esta pérdida se determina mediante la siguiente expresión.

$$H_p = H_c - d \quad (45)$$

Donde:

H_p : Pérdida de energía por caída, en [m].

H_c : Altura de caída del pozo, en [m].

d : Altura de la lámina de agua, en [m].

Cotas para tramos iniciales

Cota de energía para tramos iniciales

La cota de energía inicial (CEi) de un tramo se calcula sumando la cota de batea inicial (CBi) y la energía específica (E), por otro lado, para obtener la cota de energía final (CEf), se resta a la cota de energía inicial el producto de la pendiente (S) por la longitud de la tubería (L).

$$CE_i = CB_i + E \quad (46)$$

$$CE_f = CE_i - S * L \quad (47)$$

Cota batea para tramos iniciales – Supercrítico

La cota de batea inicial (CBi) se calcula sumando la cota del nivel inicial (CLi) y la profundidad del flujo (d). Para la cota de batea final (CBf), se resta de la cota de batea inicial el producto de la pendiente (S) por la longitud de la tubería (L).

$$CB_i = CL_i + d \quad (48)$$

$$CB_{i_critico} = CL_{f_a} - H_c \quad (49)$$

$$CB_f = CB_i - S * L \quad (50)$$

Cota clave para tramos iniciales

La cota clave inicial (CCi) se calcula restando la cota de referencia inicial (CRi) con el ajuste de la cota clave inicial (PCCi). Por otro lado, la cota clave final (CCf) se obtiene restando a la cota clave inicial el producto de la pendiente (S) por la longitud de la tubería (L).

$$CC_i = CR_i - PCC_i \quad (51)$$

$$CC_f = CC_i - S * L \quad (52)$$

Cotas y profundidades para tramos posteriores

Cota de energía

Para la cota de energía inicial del tramo (CE_i), se considera la cota de energía final del tramo anterior menos sus pérdidas. En el caso de la cota de energía final (CE_f) se usa la cota de energía inicial menos la pendiente por la longitud de la tubería.

$$CE_i = CE_{f_a} - \Delta H_{e_a} \quad (53)$$

$$CE_f = CE_i - S * L \quad (54)$$

Cota batea

La cota de batea inicial se calcula con la cota de energía inicial menos la energía específica. Para la cota de batea final se le resta la pendiente por la longitud de tubería a la cota de batea inicial.

$$CB_i = CE_i - E \quad (55)$$

$$CB_f = CB_i - S * L \quad (56)$$

Cota clave

Para la cota clave inicial se debe sumar el diámetro adquirido con la cota de batea inicial, por otro lado, la cota clave final se calcula con la resta de la cota clave inicial con la pendiente por la longitud.

$$CC_i = CB_i + D_{Dis} \quad (57)$$

$$CC_f = CC_i - S * L \quad (58)$$

Cota de lámina de agua

La cota de lámina inicial se calcula con la suma de la cota de batea inicial con la altura de lámina de agua. En el caso de la cota de lámina final se le resta a la cota de lámina inicial la pendiente por la longitud de tubería.

$$CL_i = CB_i + d \quad (59)$$

$$CL_f = CL_i - S * L \quad (60)$$

Profundidad de cota clave

La profundidad de cota clave inicial y final se calcula con la resta de la cota de rasante menos la cota clave.

$$PCC_i = CR_i - CC_i \quad (61)$$

$$PCC_f = CR_f - CC_f \quad (62)$$

Profundidad de cota batea

La profundidad de cota batea inicial y final se calcula con la resta de la cota de rasante menos la cota batea.

$$PCB_i = CR_i - CB_i \quad (63)$$

$$PCB_f = CR_f - CB_f \quad (64)$$

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño de la solución

Análisis de alternativas

Se realizó la evaluación de alternativas mediante un análisis cualitativo empleando la matriz comparativa de Pugh, haciendo uso de parámetros de evaluación característicos de los sistemas de recolección de aguas servidas.

Parámetros de evaluación

Para el análisis comparativo de las opciones de alcantarillado pluvial, se seleccionaron criterios que responden tanto a las características específicas de los sistemas de drenaje como a los desafíos existentes en Santa Isabela. Además, se tuvieron en cuenta las necesidades prioritarias de la comunidad local.

A continuación, se describe lo evaluado en cada criterio utilizados en la evaluación de las alternativas al alcantarillado convencional de zanja abierta:

- **Inversión de Capital (CAPEX)**

El costo inicial requerido para implementar cada una de las soluciones. Esto incluye el precio de los materiales, maquinaria, mano de obra especializada, y cualquier otro gasto relacionado con la construcción e instalación del sistema.

Ejemplos de preguntas clave:

¿Cuánto cuesta adquirir los materiales y tecnologías necesarias?

¿Cuánto presupuesto se necesita para la mano de obra y equipos?

- **Costos Operativos (OPEX)**

Los gastos recurrentes asociados con la operación y el mantenimiento del sistema una vez construido. Se incluye la energía necesaria para el funcionamiento, los costos de reparación, el personal encargado de su gestión y otros gastos que se generan a largo plazo.

Ejemplos de preguntas clave:

¿Cuánto cuesta operar y mantener el sistema a lo largo del tiempo?

¿Requiere un mantenimiento constante o es un sistema que se mantiene solo con mínima intervención?

- **Duración del proceso constructivo**

El tiempo que se necesita para implementar la solución desde el inicio de la construcción hasta que el sistema esté operativo. Este criterio tiene en cuenta factores como la disponibilidad de materiales, permisos y la logística del proyecto.

Ejemplos de preguntas clave:

¿Cuánto tiempo tomará completar la construcción?

¿Hay factores que podrían retrasar la finalización del proyecto?

- **Nivel de complejidad**

La dificultad técnica asociada con la implementación y operación del sistema, incluyendo la necesidad de tecnologías avanzadas, personal especializado y la dificultad de integración con la infraestructura existente.

Ejemplos de preguntas clave:

¿Qué tan técnicamente exigente es la implementación?

¿Se requiere personal altamente capacitado para operar o instalar el sistema?

- **Riesgos laborales**

Los riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores involucrados en la construcción, operación y mantenimiento del sistema. Esto incluye la exposición a condiciones peligrosas, maquinaria pesada, excavaciones profundas, etc.

Ejemplos de preguntas clave:

¿Existen riesgos importantes para los trabajadores durante la construcción?

¿Qué medidas de seguridad adicionales se deben implementar para reducir el riesgo?

- **Disponibilidad de proveedores**

La facilidad para adquirir los materiales, equipos y servicios necesarios para implementar la solución. Esto depende de la existencia de proveedores en la región o la necesidad de importar componentes específicos.

Ejemplos de preguntas clave:

¿Los materiales y equipos necesarios están disponibles localmente?

¿Cuáles son los tiempos de entrega de los proveedores?

- **Daños Ambientales y Adaptabilidad**

El impacto que la solución tendrá sobre el medio ambiente, tanto durante la construcción como en su operación a largo plazo. También se evalúa la capacidad del sistema para adaptarse a cambios climáticos, como la intensificación de lluvias debido a fenómenos como El Niño.

Ejemplos de preguntas clave:

¿La implementación de la solución afectará de manera negativa el entorno natural?

¿El sistema es lo suficientemente flexible para adaptarse a posibles cambios en el clima o en las condiciones locales?

- **Impacto en la Comunidad**

Cómo la implementación del sistema afectará a la comunidad local. Se incluye la posible interrupción de actividades económicas durante la construcción, la aceptación del proyecto por parte de la población y los beneficios a largo plazo para la calidad de vida. Ejemplos de preguntas clave:

¿Cómo reaccionará la comunidad ante la implementación del sistema?

¿Beneficiará este proyecto a la comunidad en términos de calidad de vida, reducción de inundaciones, y protección de recursos hídricos?

Ponderación de los criterios

Para establecer la importancia relativa de cada criterio en la selección de la mejor alternativa de alcantarillado pluvial, se utiliza el método de Proceso de Jerarquía Analítica (AHP). Este método permite descomponer el problema en una estructura jerárquica, asignando pesos a cada criterio mediante comparaciones pareadas.

En este caso, se evaluarán ocho criterios: inversión de capital, costos operativos, duración de la construcción, complejidad del sistema, riesgos laborales, disponibilidad de proveedores, daños ambientales y adaptabilidad, e impacto en la comunidad. Cada uno será comparado con el resto para determinar su influencia en la decisión final. El AHP, presentado en la Tabla 0.8 y Tabla 0.9, facilita que los criterios más relevantes, según el contexto específico de Santa Isabela y su vulnerabilidad ambiental, reciban un mayor peso en el análisis comparativo de alternativas.

Matriz de comparación de criterios	Inversión de Capital	Costos Operativos	Duración del proceso constructivo	Nivel de complejidad	Riesgos laborales	Disponibilidad de proveedores	Daños Ambientales y Adaptabilidad	Impacto en la Comunidad
Inversión de Capital	1	5	3	2	4	2	3	2
Costos Operativos	1/5	1	2	1/2	2	1	1/3	1/4
Duración del proceso constructivo	1/3	1/2	1	1/3	1/2	1/3	1/4	1/5
Nivel de complejidad	1/2	2	3	1	2	1/2	1/2	1/3
Riesgos laborales	1/4	1/2	2	1/2	1	1/3	1/3	1/4
Disponibilidad de proveedores	1/2	1	3	2	3	1	1/2	1/3

Daños Ambientales y Adaptabilidad	1/3	3	4	2	3	2	1	1/2
Impacto en la Comunidad	1/2	4	5	3	4	3	2	1
Suma	3.62	17	23	11.33	19.50	10.17	7.92	4.87

Tabla 0.8. Matriz de comparación de criterios [Elaboración propia]

Matriz de Normalizada	Inversión de Capital	Costos Operativos	Duración del proceso constructivo	Nivel de complejidad	Riesgos laborales	Disponibilidad de proveedores	Daños Ambientales y Adaptabilidad	Impacto en la Comunidad	Total
Inversión de Capital	0.28	0.29	0.13	0.18	0.21	0.20	0.38	0.41	26%
Costos Operativos	0.06	0.06	0.09	0.04	0.10	0.10	0.04	0.05	7%
Duración del proceso constructivo	0.09	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	4%
Nivel de complejidad	0.13	0.12	0.14	0.09	0.10	0.05	0.06	0.07	10%
Riesgos laborales	0.03	0.08	0.07	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	5%
Disponibilidad de proveedores	0.07	0.12	0.14	0.18	0.15	0.10	0.06	0.07	11%
Daños Ambientales y Adaptabilidad	0.20	0.16	0.09	0.18	0.15	0.20	0.13	0.10	15%
Impacto en la Comunidad	0.27	0.20	0.14	0.26	0.21	0.30	0.25	0.21	23%

Tabla 0.9. Matriz normalizada [Elaboración propia]

Asignación de calificaciones

En este apartado se evaluarán las alternativas propuestas al método tradicional de zanja abierta para la instalación de sistemas de alcantarillado pluvial en Santa Isabela. Las alternativas a analizar incluyen: Pavimentos Permeables con Almacenamiento Subterráneo, Cunetas Verdes con Almacenamiento Subterráneo, y el Sistema de Alcantarillado Tradicional combinado con Alcorques Estructurales o Jardines de Lluvia

Lineales. Estas tecnologías fueron seleccionadas por su capacidad de reducir la escorrentía, mejorar la calidad del agua y minimizar el impacto ambiental, al mismo tiempo que ofrecen soluciones eficientes para enfrentar los desafíos del sistema tradicional en áreas sensibles.

A continuación, en la Tabla 0.10, se presenta una evaluación detallada de la alternativa Pavimentos Permeables con Almacenamiento Subterráneo, considerando criterios clave como la inversión de capital, los costos operativos, la duración del proceso constructivo, entre otros. Los resultados obtenidos proporcionan una visión integral sobre la viabilidad y los desafíos asociados con la implementación de estas tecnologías en el contexto de los proyectos de infraestructura en Santa Isabela.

Criterios de evaluación	Pavimentos Permeables con Almacenamiento Subterráneo	Calificación
Inversión de Capital	La instalación de pavimentos permeables con almacenamiento subterráneo implica una inversión inicial moderada a alta, dependiendo del material permeable utilizado y los sistemas subterráneos de almacenamiento como AquaCell.	6
Costos Operativos	Los costos operativos son bajos, ya que estos sistemas requieren mantenimiento limitado, como limpieza para evitar colmatación y verificar la permeabilidad.	8
Duración del proceso constructivo	La instalación de pavimentos permeables puede ser más lenta en comparación con pavimentos tradicionales, ya que requiere la preparación adecuada del terreno y la colocación de capas de almacenamiento subterráneo, pero es moderadamente rápida.	6
Nivel de complejidad	Los pavimentos permeables requieren conocimientos especializados para su instalación y un diseño adecuado para asegurar la eficiencia de la infiltración y el almacenamiento subterráneo, aunque no es un sistema extremadamente complejo.	8
Riesgos laborales	Los riesgos laborales son bajos, aunque existen riesgos asociados con la manipulación de materiales y la instalación de los sistemas subterráneos.	7
Disponibilidad de proveedores	La disponibilidad de proveedores para pavimentos permeables y sistemas de almacenamiento subterráneo como AquaCell es amplia en muchas regiones, aunque podría variar dependiendo de la localización.	8

Daños Ambientales y Adaptabilidad	El sistema tiene un bajo impacto ambiental, ayudando a reducir la escorrentía superficial y mejorando la infiltración, lo que reduce el riesgo de inundaciones y la contaminación de cuerpos de agua cercanos.	9
Impacto en la Comunidad	El impacto en la comunidad es generalmente positivo, ya que los pavimentos permeables reducen los problemas de escorrentía y el almacenamiento subterráneo no afecta la superficie urbana de forma significativa.	9

Tabla 0.10. Evaluación de la alternativa de Pavimentos Permeables con almacenamiento subterráneo [Elaboración propia]

En la Tabla 0.11 se presenta una evaluación de la alternativa de Alcantarillado Tradicional combinado con Alcorques Estructurales o Jardines de Lluvia Lineales. Esta tabla resume la calificación de factores importantes como inversión de capital, costos operativos, y el impacto ambiental, entre otros. Los datos reflejan la efectividad y las consideraciones asociadas con la adopción de esta combinación de métodos para gestionar las aguas pluviales en áreas urbanas, minimizando el impacto en el sistema de alcantarillado y proporcionando beneficios estéticos y ambientales.

Criterios de evaluación	Alcorques Estructurales y Jardines de Lluvia Lineales	Calificación
Inversión de Capital	Los alcorques estructurales y jardines de lluvia lineales requieren una inversión moderada, especialmente en áreas urbanas donde la modificación del espacio público es costosa.	7
Costos Operativos	Los costos operativos son bajos, ya que el mantenimiento incluye la limpieza periódica de los alcorques o jardines de lluvia y la revisión de la capacidad de filtración, lo que requiere un monitoreo básico.	8

Duración del proceso constructivo	La instalación de jardines de lluvia o alcorques estructurales es relativamente rápida, dependiendo de la escala del proyecto, pero podría demorar más en áreas de alta densidad urbana debido a las restricciones del espacio.	8
Nivel de complejidad	La planificación y el diseño pueden ser complejos debido a las restricciones de espacio en áreas urbanas, pero el proceso de instalación en sí no requiere tecnología avanzada.	5
Riesgos laborales	Los riesgos laborales asociados con la instalación de estos sistemas son bajos, y el trabajo se realiza en superficie, lo que minimiza la exposición a peligros en comparación con otros métodos.	8
Disponibilidad de proveedores	La disponibilidad de componentes y proveedores para la instalación de alcorques estructurales y jardines de lluvia es alta, y estos sistemas son comunes en muchas ciudades.	9
Daños Ambientales y Adaptabilidad	Los jardines de lluvia y alcorques estructurales tienen un impacto ambiental positivo, mejorando la calidad del aire y el paisaje urbano, y ayudando a gestionar las escorrentías en áreas urbanas.	8
Impacto en la Comunidad	El impacto en la comunidad es positivo, ya que estos sistemas mejoran el paisaje urbano, añaden vegetación y espacios verdes, y reducen las inundaciones sin afectar de manera significativa el tráfico o la vida urbana.	8

Tabla 0.11 Evaluación de la alternativa de Alcorques estructurales y jardines de lluvia lineales [Elaboración propia]

La Tabla 0.12 presenta una evaluación detallada de la alternativa de Cunetas Verdes con Almacenamiento Subterráneo. Esta tabla muestra la calificación en varios criterios relevantes, tales como inversión de capital, costos operativos, y el impacto en la comunidad. Los resultados reflejan la eficacia y los posibles desafíos del uso de cunetas

verdes junto con sistemas de almacenamiento subterráneo en la gestión de aguas pluviales en áreas urbanas.

Criterios de evaluación	Cunetas Verdes con Almacenamiento Subterráneo	Calificación
Inversión de Capital	La instalación de cunetas verdes con almacenamiento subterráneo tiene un costo moderado, pero puede elevarse dependiendo de la capacidad del sistema subterráneo y la preparación del terreno.	6
Costos Operativos	Los costos operativos son bajos, ya que el mantenimiento de las cunetas verdes y los sistemas de almacenamiento subterráneo requiere solo la limpieza y revisión periódica de las conexiones y canales de filtración.	7
Duración del proceso constructivo	La instalación de cunetas verdes es relativamente rápida, aunque la colocación de almacenamiento subterráneo puede prolongar el proceso dependiendo de las características del terreno.	6
Nivel de complejidad	El sistema de cunetas verdes y almacenamiento subterráneo requiere planificación y diseño detallado, pero la tecnología no es compleja y es de fácil implementación con equipos convencionales de construcción.	7
Riesgos laborales	Los riesgos laborales son bajos, ya que las cunetas verdes se instalan a nivel de superficie, lo que reduce los riesgos de excavación profunda o el uso de maquinaria pesada.	8
Disponibilidad de proveedores	Los proveedores de materiales y componentes para cunetas verdes y almacenamiento subterráneo son generalmente accesibles, con una alta disponibilidad de sistemas como AquaCell para el almacenamiento de agua.	8

Daños Ambientales y Adaptabilidad	Este sistema tiene un impacto ambiental positivo al fomentar la infiltración y reducir la escorrentía en áreas urbanas, lo que beneficia tanto al ecosistema urbano como al control de inundaciones.	9
Impacto en la Comunidad	El impacto en la comunidad es generalmente positivo, ya que las cunetas verdes añaden vegetación y reducen las inundaciones, además de integrarse bien en paisajes urbanos, mejorando la estética de las áreas públicas.	9

Tabla 0.12 Evaluación de la alternativa de Cunetas Verdes con almacenamiento subterráneo [Elaboración propia]

A continuación, en la Tabla 0.13, se detalla la evaluación de la metodología tradicional de zanja abierta. La tabla muestra la calificación de aspectos clave como inversión de capital, costos operativos y el impacto ambiental. Los resultados obtenidos permiten comprender mejor las ventajas y desventajas de este método tradicional en comparación con las alternativas más modernas.

Criterios de evaluación	Zanja abierta	Calificación
Inversión de Capital	El método tradicional de zanja abierta tiene un coste inicial relativamente bajo en comparación con técnicas más avanzadas. La inversión se centra en maquinaria de excavación y mano de obra. Sin embargo, los costos pueden aumentar si se requiere restauración de superficies y reparaciones después de la instalación.	7
Costos Operativos	Los costos operativos son moderados. Aunque el mantenimiento de las tuberías no suele ser elevado, los costos asociados con la restauración de superficies y el impacto en el tráfico pueden aumentar el gasto operativo a largo plazo.	7

Duración del proceso constructivo	La zanja abierta puede tener tiempos de construcción relativamente largos debido a la necesidad de excavar, instalar tuberías y luego restaurar la superficie. Esto puede causar interrupciones significativas en áreas urbanas o de tráfico intenso.	5
Nivel de complejidad	La zanja abierta es un método menos complejo en términos de tecnología y equipos. Sin embargo, la gestión del proceso puede ser desafiante debido a la necesidad de coordinar la excavación, instalación y restauración.	6
Riesgos laborales	Este método presenta riesgos laborales significativos debido a las excavaciones abiertas. Los trabajadores están expuestos a riesgos de colapsos de zanjas, maquinaria pesada y condiciones de trabajo peligrosas.	6
Disponibilidad de proveedores	La disponibilidad de proveedores para maquinaria de excavación y tuberías es amplia y accesible en la mayoría de las regiones, lo que facilita la implementación del método tradicional.	10
Daños Ambientales y Adaptabilidad	La zanja abierta tiene un impacto ambiental considerable, ya que implica la remoción y posible destrucción de vegetación, y puede afectar a la fauna y el hábitat natural. La restauración del terreno puede ser costosa y lenta.	3
Impacto en la Comunidad	El impacto en la comunidad puede ser alto debido a las interrupciones causadas por las excavaciones, el tráfico desviado y las molestias asociadas con la restauración de superficies. Las áreas afectadas pueden experimentar problemas de tráfico y accesibilidad.	5

Tabla 0.13 Evaluación de la metodología tradicional de zanja abierta [Elaboración propia]

Alternativa escogida

En la Tabla 0.14, se realizó un análisis utilizando la Matriz de Pugh para comparar diversas alternativas al sistema convencional de zanja abierta en el proyecto de alcantarillado pluvial en Santa Isabela. El análisis permitió identificar la opción más viable en términos de eficiencia y beneficios para la comunidad, mostrando que una de las alternativas supera al sistema tradicional al ofrecer un enfoque más adecuado y sostenible para las necesidades locales.

Matriz de Pugh - Análisis de alteranivas al sistema conveccional de zanja abierta					
Criterio de evaluación	Factor de peso	Puntuación de las alternativas			Sistema convencional
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
Inversión de Capital	25.9%	6	7	6	8
Costos Operativos	6.7%	8	8	7	8
Duración del proceso constructivo	4.1%	6	8	6	5
Nivel de complejidad	9.5%	8	5	7	6
Riesgos laborales	5.1%	7	8	8	6
Disponibilidad de proveedores	11.1%	8	9	8	10
Daños Ambientales y Adaptabilidad	15.0%	9	8	9	3
Impacto en la Comunidad	22.7%	9	8	9	5

Total	100%	7.7	7.6	7.6	6.7
-------	------	-----	-----	-----	-----

Tabla 0.14 Matriz de Pugh [Elaboración propia]

El análisis comparativo realizado con la Matriz de Pugh ha demostrado que, en comparación con el sistema convencional de zanja abierta, las alternativas evaluadas presentan mejores resultados en términos de sostenibilidad y eficacia. La Alternativa 1 (Pavimentos Permeables con Almacenamiento Subterráneo) destaca ligeramente como la opción más viable, con una puntuación total de 7.7. Esto se debe a su capacidad para gestionar las aguas pluviales de manera eficiente, minimizando el impacto ambiental y optimizando el uso del espacio urbano.

Alternativa 2 (Cunetas Verdes con Almacenamiento Subterráneo) y Alternativa 3 (Alcantarillado Tradicional con Alcorques Estructurales o Jardines de Lluvia Lineales) también ofrecen soluciones sostenibles y viables, con puntuaciones muy cercanas (7.6), y aunque presentan beneficios similares en cuanto a la gestión del agua y la adaptabilidad al entorno, presentan ligeras diferencias en la inversión de capital y la complejidad de implementación.

Por otro lado, el sistema tradicional de zanja abierta, con una puntuación de 6.7, sigue siendo una opción conocida y relativamente económica. Sin embargo, su impacto negativo en el medio ambiente y la comunidad lo convierte en una opción menos favorable a largo plazo. A la luz de estos resultados, Alternativa 1 se destaca como la opción más adecuada para el proyecto de alcantarillado pluvial en Santa Isabela, al equilibrar sostenibilidad, eficiencia operativa y menor impacto comunitario.

Trazado de la red

Este apartado detalla el trazado del sistema de alcantarillado tradicional y el área donde se aplicara los sistemas de drenaje sostenible (SUDs), que se implementará en Puerto Villamil como se muestra en la Figura 0.15. La disposición de las tuberías se basará en la topografía local, con los siguientes criterios:

- Profundidad de instalación: La profundidad mínima será de 1.2 metros, pudiendo considerarse una instalación con una profundidas menor en ciertas áreas utilizando relleno adecuado. Se buscará no exceder 4 metros para controlar costos.
- Pendiente mínima: Se establecerá una pendiente mínima de 0.5% para garantizar un flujo eficiente de las aguas pluviales.



Figura 0.15 Trazado de la red [Elaboración propia].

Cálculo de sumideros

Coefficiente de escorrentía y área de aportación por pozo

Usando los datos de uso de suelo mostrados en la Figura 0.14 y la información de la Tabla 0.2 Valores de coeficiente de escorrentía [EMAAP- Q, 2009]Tabla 0.2, se obtiene el valor de los coeficientes de escorrentía. Para este ejemplo se tendrá en cuenta la información del pozo 17 que es el que aporta a la tubería 16.

Pozo 17					
Aporte	Area [ha]	Coefficiente de escorrentía	Longitud de la calle [m]	Pendiente longitudinal [%]	Ancho de la calle [m]
1	0.131	0.78	70.1	0.3	6
2	0.118	0.78	72.52	0.3	7
3	0.404	0.52	147.31	0.3	7

Tabla 0.15 Descripción del pozo 17 [Elaboración propia]

Tiempo de recorrido

Haciendo uso de la ecuación (1, se calcula el valor del tiempo de recorrido usando como dato de partida una velocidad de 1.2 m/s.

C0	C4	C6	C8
Aporte	Longitud	Velocidad	Tiempo recorrido
243	70.10	1.20	0.97
229	72.52	1.20	1.01
222	147.31	1.20	2.05

Tabla 0.16 Tiempo de recorrido [Elaboración propia]

$$t_r = \frac{L}{60 * v}$$

Aporte 1

$$t_r = \frac{70.1}{60 * 1.2} = 0.97 \text{ min}$$

Aporte 2

$$t_r = \frac{72.52}{60 * 1.2} = 1.01 \text{ min}$$

Aporte 3

$$t_r = \frac{147.31}{60 * 1.2} = 2.05 \text{ min}$$

Tiempo de concentración

A partir de la ecuación 2, el tiempo de concentración (tc) se determina combinando el tiempo inicial (ti) y el tiempo de recorrido (tr), considerando un tiempo inicial establecido de 10 minutos.

C0	C8	C9
Aporte	Tiempo recorrido	Tiempo concentración
243	0.97	10.97
229	1.01	11.01
222	2.05	12.05

Tabla 0.17 1.1.1.1 Tiempo de concentración [Elaboración propia]

$$t_c = t_i + t_r$$

Aporte 1

$$t_c = 10 + 0.97 = 10.97 \text{ min}$$

Aporte 2

$$t_c = 10 + 1.01 = 11.01 \text{ min}$$

Aporte 3

$$t_c = 10 + 2.05 = 12.05 \text{ min}$$

Intensidad de lluvia

Haciendo uso de las fórmulas derivadas de las curvas IDF ecuación (3), se calcula la intensidad de lluvia (I) considerando un periodo de retorno de 5 años.

C0	C2	C10	C11
Aporte	Area	Periodo de retención	Intensidad
243	0.13	5.00	66.20
229	0.12	5.00	66.13
222	0.40	5.00	64.12

Tabla 0.18 Intensidad de lluvia [Elaboración propia]

$$I = 99.7843 \times T^{0.2536} \times t^{-0.3417}$$

Aporte 1 $I = 99.7843 \times 5^{0.2536} \times 10.97^{-0.3417} = 66.20 \text{ mm/h}$

Aporte 2 $I = 99.7843 \times 5^{0.2536} \times 11.01^{-0.3417} = 66.12 \text{ mm/h}$

Aporte 3 $I = 99.7843 \times 5^{0.2536} \times 12.05^{-0.3417} = 64.12 \text{ mm/h}$

Caudal de diseño

Mediante el Método Racional (ecuación (6), se determina el caudal de diseño (Q_{Dis}) considerando un coeficiente de escorrentía (C) que depende de factores como la cobertura del suelo y la pendiente.

C0	C2	C11	C12
Aporte	Area	Intensidad	Caudal
243	0.13	66.20	18.74
229	0.12	66.13	16.85
222	0.40	64.12	37.69

Tabla 0.19 Caudal de diseño [Elaboración propia]

$$Q_{Dis} = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Aporte 1 $Q_{Dis} = \frac{0.78 \times 66.21 \times 0.131}{360} = 0.019 \frac{m^3}{s} = 18.74 \frac{l}{s}$

Aporte 2 $Q_{Dis} = \frac{0.78 \times 66.12 \times 0.118}{360} = 0.017 \frac{m^3}{s} = 16.85 \frac{l}{s}$

Aporte 3 $Q_{Dis} = \frac{0.78 \times 64.12 \times 0.118}{360} = 0.038 \frac{m^3}{s} = 37.69 \frac{l}{s}$

Tirante real en la cuneta

El tirante real en la cuneta (y) se calcula utilizando la fórmula simplificada de Manning para cunetas, en la cual se debe despejar el valor de la profundidad, como se muestra en la ecuación (14).

C0	C5	C12	C29	C30	C20
Aporte	Pendiente	Caudal	n	Z	y
243	0.003	18.74	0.02	50.00	4.98
229	0.003	16.85	0.02	50.00	4.77
222	0.003	37.69	0.02	50.00	6.38

Tabla 0.20 Tirante real en la cuneta [Elaboración propia]

$$y = \left(\frac{Q \times n}{0.375 \times Z \times S^{1/2}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

$$\text{Aporte 1} \quad y = \left(\frac{\frac{18.74}{1000} \times 0.02}{0.375 \times \frac{1}{0.02} \times 0.003^{1/2}} \right)^{\frac{3}{8}} = 0.050 \text{ m} = 4.98 \text{ cm}$$

$$\text{Aporte 2} \quad y = \left(\frac{\frac{16.85}{1000} \times 0.02}{0.375 \times \frac{1}{0.02} \times 0.003^{1/2}} \right)^{\frac{3}{8}} = 0.048 \text{ m} = 4.77 \text{ cm}$$

$$\text{Aporte 3} \quad y = \left(\frac{\frac{37.69}{1000} \times 0.02}{0.375 \times \frac{1}{0.02} \times 0.003^{1/2}} \right)^{\frac{3}{8}} = 0.064 \text{ m} = 6.38 \text{ cm}$$

Ancho mojado

El ancho mojado (T) se calcula como el producto entre el tirante (y) y el inverso de la pendiente transversal (Z), utilizando la ecuación (10):

C0	C20	C30	C21
Aporte	y	Z	T
243	4.98	50.00	248.79
229	4.77	50.00	238.57
222	6.38	50.00	318.86

Tabla 0.21 Ancho mojado [Elaboración propia]

$$T = y \times Z$$

Aporte 1 $T = 4.98 \times \frac{1}{0.02} = 248.8 \text{ cm}$

Aporte 2 $T = 4.77 \times \frac{1}{0.02} = 238.6 \text{ cm}$

Aporte 3 $T = 6.68 \times \frac{1}{0.02} = 318.9 \text{ cm}$

Área transversal

El área transversal ($A_{transversal}$) se calcula utilizando la ecuación (11):

C0	C12	C23	C22
Aporte	Caudal	Atrans	V Real
243	18.74	0.066	0.30
229	16.85	0.061	0.30
222	37.69	0.112	0.37

Tabla 0.22 Área transversal [Elaboración propia]

$$A_{transversal} = \frac{y \times T}{2}$$

Aporte 1 $A_{transversal} = \frac{5.14 \times 257}{2} = 660.49 \text{ cm}^2 = 0.066 \text{ m}^2$

Aporte 2 $A_{transversal} = \frac{4.94 \times 247}{2} = 610.09 \text{ cm}^2 = 0.061 \text{ m}^2$

Aporte 3 $A_{transversal} = \frac{6.68 \times 334}{2} = 1115.56 \text{ cm}^2 = 0.112 \text{ m}^2$

Velocidad del flujo

La velocidad del flujo (v) se calcula utilizando la relación entre el caudal (Q) y el área transversal (A), según la ecuación (12):

C0	C20	C21	C23
Aporte	y	T	Atrans
243	4.98	248.79	0.066
229	4.77	238.57	0.061
222	6.38	318.86	0.112

Tabla 0.23 Velocidad del flujo [Elaboración propia]

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

Aporte 1 $v = \frac{0.019}{0.066} = 0.284 \frac{m}{s}$

Aporte 2 $v = \frac{0.017}{0.061} = 0.276 \frac{m}{s}$

Aporte 3 $v = \frac{0.038}{0.112} = 0.338 \frac{m}{s}$

Ahora con esta velocidad calculada se vuelve a calcular el tiempo de recorrido, tiempo de concentración, intensidad y el caudal.

C0	C24	C25	C26	C27
Aporte	t recorrido	t concentr	Intensidad	Caudal
243	3.86	13.86	61.12	17.31
229	4.08	14.08	60.79	15.49
222	6.62	16.62	57.44	33.77

Tabla 0.24 Valores corregidos con la nueva velocidad de recorrido [Elaboración propia]

Tirante de control

El tirante de control (y_{co}) se calcula utilizando la relación entre el tirante crítico (T_{co}) y el inverso de la pendiente transversal (Z), mediante la ecuación (13):

C0	C30	C37	C38
Aporte	Z	Tco	yco
243	50.00	350.00	7.00
229	50.00	300.00	6.00
222	50.00	350.00	7.00

Tabla 0.25 Tirante de control [Elaboración propia]

$$y_{co} = \frac{T_{co}}{Z}$$

Aporte 1

$$y_c = \frac{6/2}{1/0.02} = 0.06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

Aporte 2
$$y_c = \frac{7/2}{1/0.02} = 0.07 \text{ m} = 7 \text{ cm}$$

Aporte 2
$$y_c = \frac{7/2}{1/0.02} = 0.07 \text{ m} = 7 \text{ cm}$$

Capacidad de drenaje

La capacidad de drenaje (Q_s) en una cuneta se determina aplicando la ecuación (14 de flujo basada en el coeficiente de Manning y los parámetros geométricos y hidráulicos:

C0	C5	C29	C30	C37	C38	C39
Aporte	Pendiente	n	Z	Tc	yc	Qs
243	0.003	0.02	50.00	350.00	7.00	42.74
229	0.003	0.02	50.00	300.00	6.00	28.33
222	0.003	0.02	50.00	350.00	7.00	42.74

Tabla 0.26 Capacidad de drenaje [Elaboración propia]

$$Q_s = \frac{0.375 \times y^{\frac{8}{3}} \times Z \times S^{1/2}}{n}$$

Aporte 1
$$Q_s = \frac{0.375 \times 0.06^{\frac{8}{3}} \times \frac{1}{0.02} \times 0.003^{1/2}}{0.02} = 0.028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 28.33 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$\text{Aporte 2} \quad Q_s = \frac{0.375 \times 0.07^{\frac{8}{3}} \times \frac{1}{0.02} \times 0.003^{1/2}}{0.02} = 0.043 \frac{m^3}{s} = 42.74 \frac{l}{s}$$

$$\text{Aporte 3} \quad Q_s = \frac{0.375 \times 0.07^{\frac{8}{3}} \times \frac{1}{0.02} \times 0.003^{1/2}}{0.02} = 0.043 \frac{m^3}{s} = 42.74 \frac{l}{s}$$

Cantidad de sumideros

El número de sumideros necesarios (N) se determina dividiendo el caudal de diseño (Q_{dis}) entre la capacidad de drenaje de la cuneta (Q_s), ecuación (15):

C0	C27	C39
Aporte	Caudal	Q _s
243	17.31	42.74
229	15.49	28.33
222	33.77	42.74

Tabla 0.27 Cantidad de sumideros [Elaboración propia]

$$N = \frac{Q_{Dis}}{Q_s}$$

$$\text{Aporte 1} \quad N = \frac{17.31}{28.33} = 0.61 \rightarrow 1 \text{ Sumidero}$$

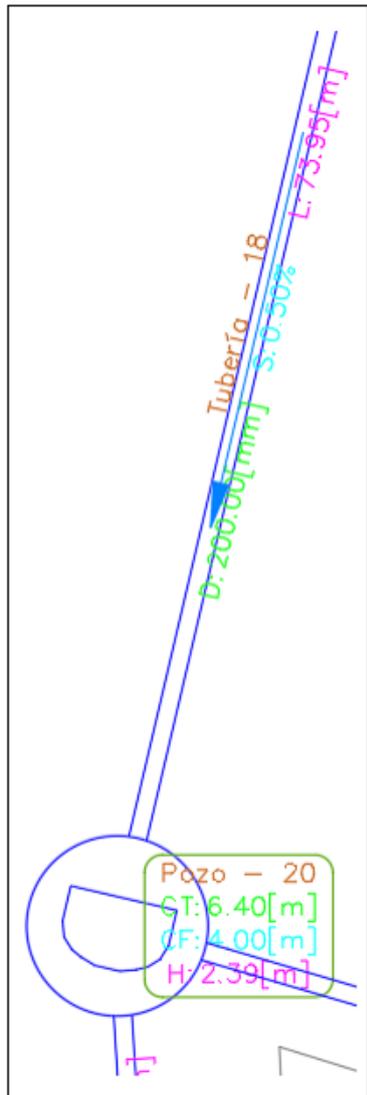
$$\text{Aporte 2} \quad N = \frac{15.49}{42.74} = 0.36 \rightarrow 1 \text{ Sumidero}$$

Aporte 3

$$N = \frac{37.69}{42.74} = 0.88 \rightarrow 1 \text{ Sumidero}$$

Cálculo de tuberías y pozos

Como ejemplo de utilizara la tubería 18 que va desde el pozo 19 a pozo 20.



Datos	Tubería 18
Cota rasante inicial (Pozo 19)	6.8 msnm
Cota rasante final (Pozo 20)	6.4 msnm
Longitud del tramo	74 m
Área de aporte	0.57 ha
Pendiente	0.5
Número de manning	0.011 s/m ^{1/3}
Ángulo de giro	16°

Tabla 0.28 Datos iniciales para la tubería 18

[Elaboración propia]

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (t_c) se determina combinando el tiempo inicial (t_i) y el tiempo de recorrido (t_r), considerando como el tiempo inicial el tiempo de concentración del tramo anterior.

C0	C5	C9	C10	C11	C12
Inicial	Inicial	Asumido	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Longitud	Velocidad	Tiempo de concentración		
	L_Tubería	V Prueba	T inicial	T recorrido	T de conc.
	[m]	[m/s]	[min]	[min]	[min]
18	74	2.12	19.7	0.6	20.3

Tabla 0.29 Tiempo inicial, de recorrido y de concentración [Elaboración propia]

Tiempo de recorrido

Haciendo uso de la ecuación (1), se calcula el valor del tiempo de recorrido usando como dato de partida una velocidad de 2.12 m/s, calculado en el apartado 0.

$$t_r = \frac{L}{60 * v}$$

$$t_r = \frac{74}{60 * 2.12} = 0.60 \text{ min}$$

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (t_c) se calcula como la suma del tiempo inicial (t_i) y el tiempo de recorrido (t_r), ecuación (2):

$$t_c = t_i + t_r$$

$$t_c = 19.7 + 0.60 = 20.3 \text{ min}$$

Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia (I) se calcula utilizando la fórmula obtenida a partir de las curvas IDF, ecuación (3).

C0	C10	C11	C12	C13	C14
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado	Normado	Calculado
Tubería	Tiempo de concentración			Coeficiente	Intensidad de lluvia
	T inicial	T recorrido	T de conc.	Periodo de ret.	
	[min]	[min]	[min]	[Años]	
18	19.7	0.6	20.3	5	63.7

Tabla 0.30 Intensidad de lluvia [Elaboración propia]

$$I = 99.7843 \times T^{0.2536} \times t^{-0.3417}$$

$$I = 99.7843 \times 5^{0.2536} \times 20.3^{-0.3417} = 63.7 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

Área de aportación

El cálculo del área de aportación acumulada ($A_{Acumulada}$) se realiza sumando las áreas individuales de cada contribución, ecuación (5):

C0	C6	C7
Inicial	Inicial	Inicial
Tubería	Área	
	Propia	Acumulada
	[Ha]	[Ha]
18	0.57	21.95

Tabla 0.31 Área de aportación [Elaboración propia]

$$A_{Acumulada} = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$$

$$A_{Acumulada} = 0.57 + 0.65 + 0.73 + 3.21 + \dots = 21.95 \text{ ha}$$

Caudal

El caudal (Q) se calcula utilizando la fórmula del Método Racional, ecuación (6):

C0	C6	C7	C8	C14	C18
Inicial	Inicial	Inicial	Normado	Calculado	Calculado
Tubería	Área		Coefficiente	Intensidad de lluvia	Caudal
	Propia	Acumulada	C (escur.)		sin SUDs
	[Ha]	[Ha]	[Adimensional]		[L/s]
18	0.57	21.95	0.53	53.7	1742

Tabla 0.32 Caudal [Elaboración propia]

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

$$Q = \frac{0.53 \times 53.7 \times 21.95}{360} = 1.742 \frac{m^3}{s} = 1742 \frac{l}{s}$$

Caudal infiltrado por el sistema de drenaje sostenible

El caudal infiltrado (Q_{infil}) se calcula considerando la permeabilidad y el área del sistema de drenaje sostenible (SUDs), utilizando la ecuación (7):

C0	C15	C16	C17
Inicial	Asumido	Calculado	Calculado
Tubería	SUDs		
	Permeabilidad K	Area SUDs	Caudal filtrado
	[m/s]	[Ha]	[L/s]
18	0.00010	0.677	676.9

Tabla 0.33 Caudal infiltrado por el sistema de drenaje sostenible [Elaboración propia]

$$Q_{infil} = k * A_{SUDs}$$

$$Q_{infil} = 0.0001 * 0.677$$

$$Q_{infil} = 676.9 \frac{L}{s}$$

Caudal de diseño

El caudal de diseño (Q_{Dis}) se calcula restando el caudal infiltrado (Q_{infil}) al caudal sin SUDs (Q), de acuerdo con la ecuación (8):

C0	C17	C18	C19
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Caudal	Caudal	Caudal
	filtrado	sin SUDs	De diseño
	[L/s]	[L/s]	[L/s]
18	676.9	1742.0	1065.2

Tabla 0.34 Caudal de diseño [Elaboración propia]

$$Q_{Dis} = Q - Q_{infil}$$

$$Q_{Dis} = 1742 - 676.9$$

$$Q_{Dis} = 1065.2 \frac{L}{s}$$

Diámetro de tubería

El diámetro requerido de la tubería ($DDis$) se calcula utilizando la fórmula de Manning (ecuación (16)) para determinar el diámetro hidráulico en función del caudal de diseño (Q_{Dis}), la pendiente (S) y el coeficiente de rugosidad (n).

C0	C20	C21	C22	C23	C22	C23	C22	C23
Inicial	Asumido	Normado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Asumido	Asumido
Tubería	Pendiente	Manning	Diámetro requerido		Diámetro req verdadero		Diámetro Comercial	
	S	n_Tubería	En metros	En pulgadas	Tramos anteriores			
	[%]	[s/m ^{1/3}]	[m]	[pulg]	[m]	[pulg]	[m]	[pulg]
18	0.5	0.011	0.805	31.7	34.00	0.860	36	0.91

Tabla 0.35 Diámetro de tubería [Elaboración propia]

$$D_{Dis} = 1.548 \left(\frac{n * Q_{Dis}}{\sqrt{S}} \right)^{3/8}$$

$$D_{Dis} = 1.548 \left(\frac{0.011 * 1.065}{\sqrt{0.005}} \right)^{3/8} = 0.805 \text{ m} = 31.7 \text{ in}$$

$$D_{Dis} = 36 \text{ in} = 0.91 \text{ m}$$

Flujo a tubo lleno

C0	C28	C29	C30
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Tubo lleno		
	Rh 0	Q_0	V_0
	[m]	[L/s]	[m/s]
18	0.23	1480	2.27

Tabla 0.36 Flujo a tubo lleno (caudal, radio hidráulico y velocidad) [Elaboración propia]

Caudal a tubo lleno

El caudal máximo que puede transportar una tubería llena (Q_o) se calcula utilizando la ecuación (17):

$$Q_o = 312 * \frac{D_{Dis}^{8/3} * S^{1/2}}{n}$$

$$Q_o = 312 * \frac{0.91^{8/3} * 0.005^{1/2}}{0.0011} = 1480 \frac{l}{s} = 1.480 \frac{m^3}{s}$$

Radio hidráulico a tubo lleno

El radio hidráulico a tubo lleno se calcula con la ecuación (18):

$$R_{h0} = \frac{D_{Dis}}{4}$$

$$R_{h0} = \frac{0.91}{4} = 0.23 \text{ m}$$

Velocidad a tubo lleno

Para calcular la velocidad a tubo lleno se utilizo la ecuación (19):

$$V_o = \frac{R_{h0}^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}}{n}$$

$$V_o = \frac{0.23^{\frac{2}{3}} * 0.005^{1/2}}{0.011} = 2.27 \text{ m/s}$$

Relaciones hidráulicas

Las relaciones hidráulicas permiten comparar parámetros como caudal, velocidad, altura del flujo y radio hidráulico con las condiciones de tubo lleno.

C0	C31	C32	C33	C34	C35	C36
Inicial	Calculado	Tabla	Tabla	Tabla	Tabla	Condición
Tubería	Relaciones Hidráulicas					
	Q/Q_0	V/V_0	d/D	R/R_0	H/D	
	[Adimensional]	[Adimensional]	[Adimensional]	[Adimensional]	[m/s]	Condición
18	0,72	0,955	0,705	1,182	0.67	CUMPLE

Tabla 0.37 Relaciones hidráulicas [Elaboración propia]

$$\left(\frac{Q_{Dis}}{Q_o}\right)_r \rightarrow \left(\frac{V}{V_o}\right)_r, \left(\frac{d}{D}\right)_r, \left(\frac{R}{R_o}\right)_r, \left(\frac{H}{D}\right)_r$$

$$\left(\frac{1065.2}{1480}\right)_r = (0.72)_r \rightarrow (0.955)_r, (0.705)_r, (1.182)_r, (0.67)_r$$

$$\left(\frac{H}{D}\right)_r = 0.67 \leq 0.85$$

Flujo real en la sección

C0	C37	C38	C39	C40	C41	C46
Inicial	Calculado	Condición	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Velocidad		T recorrido 2	Lamina de agua	Radio Hidráulico	Profundida Hidraulica
	V		Corregido	d	R	H
	[m/s]	Condición	[min]	[m]	[m]	[m]
18	2.17	CUMPLE	0.6	0.64	0.27	0.58

Tabla 0.38 Flujo real en la sección [Elaboración propia]

Velocidad

La velocidad real del flujo se calcula ajustando la velocidad a tubo lleno con la relación hidráulica correspondiente, ecuación (21):

$$V = V_o * \left(\frac{V}{V_o}\right)_r$$

$$V = 2.27 * (0.955)_r = 2.17 \frac{m}{s}$$

$$0.9 \leq V = 2.17 \leq 3 \rightarrow \text{Si cumple}$$

Comparando con la velocidad usada al inicio

$$\%error = \left(\frac{2.17 - 2.12}{2.17} \right) = 2.5\% \rightarrow \text{Variación mínima}$$

Altura de lámina de agua

La altura de la lámina de agua (d) dentro de la tubería se calcula multiplicando el diámetro de diseño (Dis) por la relación hidráulica correspondiente (d/D)_r (ecuación (22)) :

$$d = D_{Dis} * \left(\frac{d}{D} \right)_r$$

$$d = 0.91 * (0.705)_r = 0.64 \text{ m}$$

Radio hidráulico

El radio hidráulico (Rh) se calcula multiplicando el radio hidráulico a tubo lleno (Rh0) por la relación hidráulica correspondiente (R/Ro)_r (ecuación (23)):

$$R_h = R_{h0} * \left(\frac{R}{R_o} \right)_r$$

$$R_h = 0.23 * (1.182)_r = 0.27 \text{ m}$$

Profundidad hidráulica

La profundidad hidráulica (H) se calcula multiplicando el diámetro de la tubería requerido (D_{Dis}) por la relación hidráulica correspondiente (H/D)_r (ecuación (24):

$$H = D_{Dis} * \left(\frac{H}{D}\right)_r$$

$$H = 0.91 * (0.64)_r = 0.58 \text{ m}$$

Esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante (τ) se calcula utilizando la ecuación (25):

C0	C20	C41	C42	C43
Inicial	Asumido	Calculado	Calculado	Condición
Tubería	Pendiente	Radio Hidráulico	Esfuerzo	
	S	R	Tao	
	[%]	[m]	[N/m ²]	Condición
18	0.5	0.27	11.9	CUMPLE

Tabla 0.39 Esfuerzo cortante [Elaboración propia]

$$\tau = \gamma * R_h * S$$

$$\tau = 9810 * 0.27 * 0.005 = 11.9 \frac{N}{m^2}$$

Altura de velocidad

La altura de velocidad se calcula con la ecuación (26):

C0	C37	C38	C40
Inicial	Calculado	Condición	Calculado
Tubería	Velocidad		Altura de velocidad
	V		$(V1^2)/(2*g)$
	[m/s]	Condición	[m]
18	2.17	CUMPLE	0.24

Tabla 0.40 Altura de velocidad [Elaboración propia]

$$h_v = \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_v = \frac{2.17^2}{2 * 9.81} = 0.24 \text{ m}$$

Energía específica para el flujo real

La energía específica para el flujo real se calcula sumando la lámina de agua (d) y la altura de velocidad (h_v), ecuación (27):

C0	C40	C40	C45
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Lamina de agua	Altura de velocidad	Energía

	d	$(V1^2)/(2*g)$	E
	[m]	[m]	[m]
18	0.64	0.24	0.88

Tabla 0.41 Energía específica para el flujo real [Elaboración propia]

$$E = d + h_v$$

$$E = 0.487 + 0.156$$

Número de Froude

El número de Froude se calcula utilizando la ecuación (28):

C0	C37	C46	C47	C48
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado	Condición
Tubería	Velocidad	Profundida Hidraulica	Numero de froude	
	V	H	NF	
	[m/s]	[m]	[Adimensional]	Tipo de flujo
18	2.17	0.58	0.9	Subcrítico

Tabla 0.42 Número de Froude [Elaboración propia]

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g * H}}$$

$$NF = \frac{2.17}{\sqrt{9.81 * 0.58}} = 0.9$$

Análisis de régimen

C0	C22	C23	C19	C49	C50	C51	C62	C63
Inicial	Asumido	Asumido	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Diametro Comercial		Caudal	Relación de flujo	Tirante crítico	teta critico	Area crítica	Velocidad crítica
			De diseño	ec	Yc	θ	Ac	Vc
	[m]	[pulg]	[L/s]	Adimensional	[m]	[°]	[m^2]	[m/s]
16	36	0.91	1065.2	0.19	0.61	3.83	0.46	0.47

Tabla 0.43 Análisis de régimen [Elaboración propia]

Relación de flujo

La relación de flujo se calcula utilizando la ecuación (29):

$$\epsilon_c = \frac{Q_{Dis}^2 * 10^{-6}}{g * D_{Dis}^5}$$

$$\varepsilon_c = \frac{1.065^2 * 10^{-6}}{9.81 * 0.91^5} = 0.19$$

Tirante crítico

Utilizando la ecuación (30 se calcula el tirante critico:

$$y_c = D_{Dis} * (1 + 13.6 * \varepsilon_c^{-2.1135} - 13 * \varepsilon_c^{-2.1})^{-0.1156}$$

$$y_c = 0.91 * (1 + 13.6 * 0.19^{-2.1135} - 13 * 0.19^{-2.1135})^{-0.1156} = 0.62 \text{ m}$$

Ángulo crítico

Se calculo en angulo critico usando la siguiente ecuación (31:

$$\theta_c = 2 * \text{ArcCos} \left(1 - \frac{2 * y_c}{D_{Dis}} \right)$$

$$\theta_c = 2 * \text{ArcCos} \left(1 - \frac{2 * 0.62}{0.91} \right) = 3.83^\circ$$

Área crítica

El area crítica se calculo haciendo uso de la ecuación (32:

$$A_c = \frac{(100 * D_{Dis})^2}{8} * (\theta_c - \text{Sen}(\theta_c))$$

$$A_c = \frac{(100 * 0.91)^2}{8} * (3.83 - \text{Sen}(3.83)) = 0.46 \text{ m}$$

Velocidad crítica

Utilizando la ecuación (33) se calcula la velocidad crítica:

$$V_c = \frac{Q_{Dis}}{A_c}$$

$$V_c = \frac{1.065^2}{0.46} = 2.38 \frac{m}{s}$$

Energía específica para flujo supercrítico

Para calcular la energía específica para flujo supercrítico (E_c), se utilizó la ecuación (34):

C0	C49	C63	C78
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Tirante crítico	Velocidad crítica	Supercrítico en estructuras alargadas con caída
	Y_c	V_c	Energía específica para supercrítico E_c
	Adimensional	[m/s]	[m]
18	0.61	2.38	0.88

Tabla 0.44 Energía específica para flujo supercrítico [Elaboración propia]

$$E_c = y_c + \frac{V_c^2}{2 * g}$$

$$E_c = 0.61 + \frac{0.61^2}{2 * 9.81} = 0.88 \text{ m}$$

Diámetro de pozo

Se utilizaron las ecuaciones (35) para calcular el diámetro del pozo:

C0	C64	C67	C68	C69
Inicial	Calculado	Calculado	Normado	Calculado
Tubería	Diametro de pozo Dp_Dis	Diametro minimo de pozo Dp_min	Diametro de pozo segun la NEC	Diametro de pozo adoptado
	[m]	[m]	[m]	[m]
18	0.9	0.3	0.9	1.4

Tabla 0.45 Diámetro de pozo [Elaboración propia]

$$D_{P_Dis} = \frac{D_{Ext_s}}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

$$D_{P_Dis} = \frac{0.91}{\cos\left(\frac{16}{2}\right)} = 0.9 \text{ m}$$

El diámetro mínimo para el pozo según el régimen de flujo.

$$D_{P_min} \geq k_r * D_{Ext_s} * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$D_{P_min} \geq 2 * 0.91 * \tan\left(\frac{16}{2}\right) = 0.3 \text{ m}$$

Radio de curvatura

Para calcular el radio de curvatura (R_c), se utilizó la ecuación (37):

C0	C69	C70
Inicial	Calculado	Calculado
Tubería	Diametro de pozo adoptado	Radio de curvatura r_c
	[m]	[m]
18	1.4	4.67

Tabla 0.46 Radio de curvatura [Elaboración propia]

$$R_c = \frac{D_{P_Dis}}{2 * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

$$R_c = \frac{1.4}{2 * \tan\left(\frac{16}{2}\right)} = 4.67 \text{ m}$$

Caída del pozo

C0	C22	C23	C19	C19	C76	C77	C80
Inicial	Asumido	Asumido	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Diametro Comercial		Caudal	Incremento por pérdidas	Factor de entrada Fe	Coeficiente de caída kc	Altura de caída del pozo Hc
			De diseño	Ep			
	[m]	[pulg]	[L/s]	[m]	[Adimensional]	[Adimensional]	[m]
18	36	0.91	1065.2	0.04	0.43	1.40	1.29

Tabla 0.47 Caída del pozo [Elaboración propia]

Incremento de altura

Se utilizó la ecuación (38) para calcular el incremento de altura:

$$E_p = 0.589 * D_{Dis,s} * \left(\frac{Q_{Dis} \times 10^{-3}}{D_{Dis,s} \times \sqrt{g \times D_{Dis,s}}} \right)^{2.67}$$

$$E_p = 0.589 * 0.91 * \left(\frac{1065.2 \times 10^{-3}}{0.91 \times \sqrt{g \times 0.91}} \right)^{2.67} = 0.04 \text{ m}$$

Factor de entrada

Para calcular el factor de entrada, se utilizó la ecuación (39):

$$F_e = \frac{Q_{Dis} \times 10^{-3}}{\sqrt{g \times D_{Dis_s}^5}}$$

$$F_e = \frac{1065.2 \times 10^{-3}}{\sqrt{9.81 \times 0.91^5}} = 0.43$$

$$F_e = 0.43 \leq 0.62 \rightarrow \text{Entrada sumergida}$$

Altura de caída del pozo para entrada sumergida

La altura de caída del pozo fue calculada usando la ecuación (40):

$$H_c = k_c * D_{Dis_s} * (0.7 + 1.91 * F_e^2)$$

$$H_c = 1.4 * 0.91 * (0.7 + 1.91 * 0.217^2) = 1.29 \text{ m}$$

Pérdidas de energía

C0	C40	C65	C66	C72	C73	C74	C81
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado	Coefficiente	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	$(V1^2)/(2 * g)$	Coefficiente de transición k_t	Pérdida por transición H_t	Coefficiente de cambio de dirección k_d	Pérdida por cambio de dirección H_d	Pérdida absoluta H_e	Pérdida de energía por caída H_p
	[m]	[Adimensional]	[m]	[Adimensional]	[m]	[m]	[m]
18	0.27	Acelerado	0.002	0.05	0.012	0.014	0.65

Tabla 0.48 Pérdidas de energía [Elaboración propia]

Pérdida por transición

Se utilizó la ecuación (42) para calcular la pérdida por transición:

$$\Delta H_t = k_t * |h_{v_s} - h_{v_a}|$$

$$\Delta H_t = 0.1 * |0.29 - 0.27| = 0.002 \text{ m}$$

Pérdida por cambio de dirección

Para calcular la pérdida por cambio de dirección, se utilizó la ecuación (43):

$$\Delta H_d = k_d * \left(\frac{h_{v_s} + h_{v_a}}{2} \right)$$

$$\Delta H_d = 0.05 * \left(\frac{0.29 + 0.27}{2} \right) = 0.012$$

Pérdida absoluta

La pérdida absoluta fue calculada, a partir de la ecuación (44):

$$\Delta H_e = \Delta H_t + \Delta H_d$$

$$\Delta H_e = 0.002 + 0.012 = 0.014 \text{ m}$$

Perdida por caída

Se utilizo la ecuación (45, para calcula la perdida por caída:

$$H_p = H_c - d$$

$$H_p = 1.29 - 0.64 = 0.65 \text{ m}$$

Cotas y profundidades para tramos posteriores

Cota de energía

La cota de energía (CE) se refiere al nivel de energía del flujo en una sección del sistema de tuberías (ecuación (53), considerando la pérdida de altura debida a la pendiente (S) y la longitud del tramo (L) (ecuación (54):

C0	C5	C20	C90	C91	C92
Inicial	Inicial	Asumido	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Longitud	Pendiente	Cota energía		
	L_Tubería	S	De	A	Entrada del tramo siguiente
	[m]	[%]	[m]	[m]	[m]
18	74	0.5	4.8	4.5	4.5

Tabla 0.49 Cota de energía [Elaboración propia]

C0	C90	C91	C92
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Cota energía		
	De	A	Entrada del tramo siguiente
	[m]	[m]	[m]
17	5.4	4.8	4.8

Tabla 0.50 Cota de energía del tramo anterior [Elaboración propia]

$$CE_i = CE_{f_a} - \Delta H_{e_a}$$

$$CE_i = 4.8 \text{ msnm}$$

$$CE_f = CE_i - S * L$$

$$CE_f = 4.8 - 0.005 * 74 = 4.5 \text{ msnm}$$

Cota batea

La cota batea (CB) representa la altura del fondo de la conducción o tubería en términos de energía total (ecuación (55)), por otro lado, considerando la pendiente del tramo y la energía específica del flujo se calcula la cota de batea final (ecuación (56)):

C0	C5	C20	C45	C90	C86	C87
Inicial	Inicial	Asumido	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Longitud	Pendiente	Energía	Cota energía	Cota batea	
	L_Tubería	S	E	De	De	A
	[m]	[%]	[m]	[m]	[m]	[m]
18	74	0.5	0.88	4.8	3.9	3.6

Tabla 0.51 Cota batea [Elaboración propia]

$$CB_i = CE_i - E$$

$$CB_i = 4.8 - 0.88 = 3.9 \text{ msnm}$$

$$CB_f = CB_i - S * L$$

$$CB_f = 3.9 - 0.005 * 74 = 3.6 \text{ msnm}$$

Cota clave

La cota clave (CC) se refiere a la altura del nivel superior de la tubería desde el nivel del mar, sumando el diámetro comercial de la tubería a la cota batea (ecuación (57)), por otro lado, considerando la pendiente del tramo y la energía específica del flujo se calcula la cota clave final (ecuación (58)):

C0	C5	C20	C22	C23	C86	C87	C84	C85
Inicial	Inicial	Asumido	Asumido	Asumido	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Longitud	Pendiente	Diámetro Comercial		Cota batea		Cota clave	
	L_Tubería	S			De	A	De	A
	[m]	[%]	[m]	[pulg]	[m]	[m]	[m]	[m]
18	74	0.5	36	0.91	3.9	3.6	4.9	4.5

Tabla 0.52 Cota clave [Elaboración propia]

$$CC_i = CB_i + D_{Dis}$$

$$CC_i = 3.9 + 0.91 = 4.9 \text{ msnm}$$

$$CC_f = CC_i - S * L$$

$$CC_f = 4.9 - 0.005 * 74 = 4.5 \text{ msnm}$$

Cota de lámina de agua

La cota de lámina de agua (CL) es el nivel al que se encuentra la superficie del agua dentro de la tubería. Se calcula sumando la lámina de agua (d) a la cota batea (ecuación (59)), por otro lado, considerando la pendiente del tramo y la energía específica del flujo se calcula la cota de lamina final (ecuación (60)):

C0	C5	C20	C40	C86	C87	C88	C89
Inicial	Inicial	Asumido	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Longitud	Pendiente	Lamina de agua	Cota batea		Cota lámina	
	L_Tubería	S	d	De	A	De	A
	[m]	[%]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
18	74	0.5	0.64	3.9	3.6	4.6	4.3

Tabla 0.53 Cota de lámina de agua [Elaboración propia]

$$CL_i = CB_i + d$$

$$CL_i = 3.9 + 0.64 = 4.6 \text{ msnm}$$

$$CL_f = CL_i - S * L$$

$$CL_f = 4.6 - 0.005 * 74 = 4.3 \text{ msmn}$$

Profundidad de cota clave

La profundidad de cota clave (PCC) representa la distancia vertical entre la cota rasante (CR) del terreno y la cota clave (CC) de la tubería (ecuaciones (61)-(62)):

C0	C82	C83	C84	C85	C93	C94
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Cota rasante		Cota clave		Profundidad a cota clave	
	De	A	De	A	De	A
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
18	6.8	6.4	4.9	4.5	1.94	1.87

Tabla 0.54 Profundidad de cota clave [Elaboración propia]

$$PCC_i = CR_i - CC_i$$

$$PCC_i = 6.8 - 4.9 = 1.94m$$

$$PCC_f = CR_f - CC_f$$

$$PCC_f = 6.4 - 4.5 = 1.87 m$$

Profundidad de cota batea

La profundidad de cota batea (PCb) representa la distancia vertical entre la cota rasante (CR) del terreno y la cota batea (CB) de la tubería (ecuaciones (63)-(64)) :

C0	C82	C83	C86	C87	C95	C96
Inicial	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Cota rasante		Cota batea		Profundidad a cota batea	
	De	A	De	A	De	A
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
18	6.8	6.4	3.9	3.6	2.85	2.78

Tabla 0.55 Profundidad de cota batea [Elaboración propia]

$$PCB_i = CR_i - CB_i$$

$$PCB_i = 6.8 - 3.9 = 2.85 \text{ m}$$

$$PCB_f = CR_f - CB_f$$

$$PCB_f = 6.4 - 3.6 = 2.78 \text{ m}$$

Resultados

A continuación se mostraran los resultados mas relevantes de las 136 tuberías resultantes:

C0	C1	C2	C5	C20	C26	C35	C37	C42	C93	C94	C95	C96
Inicial	Inicial	Inicial	Inicial	Asumido	Asumido	Tabla	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Pozos		Longitud	Pendiente	Diámetro	H/D	Velocidad	Fuerza tractiva	Profundidad de cota clave		Profundidad de cota batea	
	Inicial	Final	[m]	[%]	[pulg]	[Adimen]	[m/s]	[Pa]	Inicial [m]	Final [m]	Inicial [m]	Final [m]
1	74	53	57	0.8	6	0.85	0.90	3.60	1.20	1.66	1.35	1.81
2	2	3	118	0.5	16	0.71	1.30	5.40	1.45	2.61	1.86	3.02
3	3	4	108	0.5	20	0.64	1.50	6.70	2.59	2.70	3.10	3.21
4	4	5	137	0.5	24	0.57	1.60	7.70	2.67	2.33	3.28	2.94
5	5	6	106	0.5	27	0.49	1.60	8.40	2.28	1.88	2.97	2.57
6	6	7	80	0.5	27	0.52	1.70	8.60	1.96	2.04	2.65	2.73
7	7	8	38	0.5	30	0.75	2.00	10.10	2.20	2.41	2.96	3.17
8	8	9	32	0.5	30	0.74	2.00	10.10	2.48	3.44	3.24	4.20
9	9	10	92	0.5	42	0.74	2.60	15.80	3.19	1.28	4.26	2.35
10	11	12	52	0.5	16	0.71	1.30	5.40	1.32	1.56	1.73	1.97
11	12	13	69	0.5	16	0.69	1.30	5.40	1.57	1.92	1.98	2.33
12	13	14	114	0.5	18	0.55	1.30	5.80	1.87	1.34	2.33	1.80
13	14	15	108	0.5	18	0.85	1.50	6.20	1.43	1.88	1.89	2.34
14	15	7	105	0.5	20	0.78	1.50	6.80	1.88	1.54	2.39	2.05
15	16	17	120	0.5	20	0.55	1.40	6.40	1.80	2.36	2.31	2.87
16	17	18	73	0.5	36	0.53	2.00	11.40	2.49	1.97	3.40	2.88
17	18	19	50	0.5	36	0.62	2.10	11.80	2.07	1.91	2.98	2.82

Tabla 0.56 Resultados de tuberías 1 al 17 [Elaboración propia]

C0	C1	C2	C5	C20	C26	C35	C37	C42	C93	C94	C95	C96
Inicial	Inicial	Inicial	Inicial	Asumido	Asumido	Tabla	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Pozos		Longitud	Pendiente	Diámetro	H/D	Velocidad	Fuerza tractiva	Profundidad de cota clave		Profundidad de cota batea	
	Inicial	Final	[m]	[%]	[pulg]	[Adimen]	[m/s]	[Pa]	Inicial [m]	Final [m]	Inicial [m]	Final [m]
18	19	20	74	0.5	36	0.64	2.20	11.90	1.94	1.87	2.85	2.78
19	20	21	109	0.5	36	0.80	2.30	12.20	1.98	2.37	2.89	3.28
20	21	9	32	0.5	36	0.78	2.30	12.20	2.37	3.23	3.28	4.14
21	22	23	87	0.5	10	0.53	0.90	3.30	1.20	1.61	1.45	2.47
22	23	3	41	0.5	14	0.58	1.10	4.60	2.24	2.06	2.60	2.42
23	24	25	55	0.5	8	0.85	0.90	2.80	1.20	1.46	1.40	1.52
24	25	4	68	0.5	12	0.80	1.10	4.00	1.32	1.02	1.62	1.32
25	26	27	120	0.5	24	0.46	1.50	7.30	1.19	1.65	1.80	2.26
26	27	17	67	0.5	33	0.49	1.90	10.30	1.98	2.38	2.82	3.22
27	28	29	109	0.5	24	0.55	1.60	7.70	2.02	2.51	2.63	3.12
28	29	30	48	0.5	24	0.58	1.60	7.80	2.57	2.09	3.18	2.70
29	30	27	77	0.5	27	0.47	1.60	8.30	2.04	2.00	2.73	2.69
30	31	32	103	0.5	18	0.55	1.30	5.80	1.62	1.18	2.08	1.64
31	32	33	24	0.5	20	0.65	1.50	6.70	1.26	1.46	1.77	1.97
32	90	91	61	0.5	14	0.51	1.10	4.50	1.20	1.47	1.56	1.95
33	33	34	76	0.5	24	0.44	1.50	7.20	1.43	1.77	2.04	2.38
34	1	48	59	0.5	12	0.52	1.00	3.70	1.20	1.47	1.50	1.11

Tabla 0.57 Resultados de tuberías del 18 al 34 [Elaboración propia]

C0	C1	C2	C5	C20	C26	C35	C37	C42	C93	C94	C95	C96
Inicial	Inicial	Inicial	Inicial	Asumido	Asumido	Tabla	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Pozos		Longitud	Pendiente	Diámetro	H/D	Velocidad	Fuerza tractiva	Profundidad de cota clave		Profundidad de cota batea	
	Inicial	Final	[m]	[%]	[pulg]	[Adimen]	[m/s]	[Pa]	Inicial [m]	Final [m]	Inicial [m]	Final [m]
35	35	36	1	0.5	12	0.54	1.00	4.50	1.86	1.95	1.56	2.14
36	36	37	1	0.5	14	0.54	1.70	4.50	1.86	1.70	1.76	1.34
37	37	38	1	0.5	12	0.65	1.00	3.90	1.86	2.51	2.76	2.87
38	38	39	1	0.5	12	0.57	1.70	3.90	1.76	1.99	1.79	2.18
39	39	40	1	0.5	12	0.57	1.70	3.90	1.76	3.46	4.71	4.15
40	40	41	1	0.5	30	0.48	1.70	8.20	3.26	3.26	4.15	4.05
41	41	42	1	0.5	10	0.70	0.90	3.90	1.86	2.28	1.89	1.96
42	42	43	1	0.5	10	0.65	0.90	3.30	2.42	3.18	3.07	3.70
43	43	44	1	0.5	14	0.54	1.70	4.50	2.82	2.59	1.78	2.95
44	44	45	1	0.5	14	0.68	1.20	4.70	2.64	2.48	3.00	2.84
45	45	46	1	0.5	16	0.73	1.30	5.40	2.50	2.64	2.91	3.05
46	46	47	1	0.5	16	0.58	1.70	4.50	2.86	2.59	1.78	2.95
47	47	48	1	0.5	14	0.69	1.20	4.70	1.42	1.43	1.78	1.79
48	48	49	1	0.5	16	0.53	1.20	3.10	1.36	1.06	1.79	1.47
49	49	50	1	0.5	20	0.54	1.40	6.40	1.16	1.37	1.67	1.88
50	50	51	1	0.5	36	0.51	1.30	11.30	2.61	2.80	3.82	3.71
51	51	52	1	0.5	10	0.77	1.00	3.30	2.11	1.20	1.39	1.45
52	52	53	1	0.5	10	0.47	0.90	3.30	1.58	0.69	1.83	0.94

Tabla 0.59 Resultados de tuberías del 35 al 51 [Elaboración propia]

C0	C1	C2	C5	C20	C26	C35	C37	C42	C93	C94	C95	C96
Inicial	Inicial	Inicial	Inicial	Asumido	Asumido	Tabla	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Pozos		Longitud	Pendiente	Diámetro	H/D	Velocidad	Fuerza tractiva	Profundidad de cota clave		Profundidad de cota batea	
	Inicial	Final	[m]	[%]	[pulg]	[Adimen]	[m/s]	[Pa]	Inicial [m]	Final [m]	Inicial [m]	Final [m]
52	52	53	1	0.5	12	0.57	1.58	4.98	4.91	4.88	1.83	2.85
53	53	54	1	0.5	8	0.80	0.90	2.90	1.20	1.58	1.40	1.63
54	54	55	1	0.5	24	0.64	1.70	8.00	2.05	2.30	2.66	2.91
55	55	56	1	0.5	8	0.73	0.90	2.90	2.00	2.34	2.20	2.14
56	56	57	1	0.5	30	0.47	1.70	9.20	3.33	3.81	4.09	4.87
57	57	58	1	0.5	10	0.56	0.90	3.20	1.20	1.36	1.45	1.77
58	58	59	1	0.5	10	0.55	0.90	3.20	1.20	1.36	1.45	1.77
59	59	60	1	0.5	6	0.85	0.90	3.10	1.20	1.47	1.35	1.35
60	60	61	1	0.5	10	0.58	0.90	3.20	1.15	1.22	1.40	1.47
61	61	62	1	0.5	12	0.65	1.00	3.90	1.23	1.17	1.53	1.47
62	62	63	1	0.5	14	0.62	1.20	4.70	1.18	1.34	1.54	1.70
63	63	64	1	0.5	24	0.47	1.40	6.60	1.19	1.69	1.80	2.26
64	64	65	1	0.5	8	0.47	0.90	3.50	1.73	2.19	1.93	2.29
65	65	66	1	0.5	12	0.54	1.00	3.90	0.76	1.43	1.09	2.07
66	66	67	1	0.5	14	0.60	1.10	4.60	1.76	1.97	2.12	2.33
67	67	68	1	0.5	24	0.59	1.80	8.80	2.64	2.94	3.33	3.63
68	68	69	1	0.5	24	0.52	1.70	8.20	2.42	2.72	3.03	3.33
69	69	70	1	0.5	6	0.40	0.90	4.10	1.50	1.84	1.29	1.86

Tabla 0.58 Resultados de tuberías del 52 al 68 [Elaboración propia]

C0	C1	C2	C5	C20	C26	C35	C37	C42	C93	C94	C95	C96
Inicial	Inicial	Inicial	Inicial	Asumido	Asumido	Tabla	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
Tubería	Pozos		Longitud	Pendiente	Diámetro	H/D	Velocidad	Fuerza tractiva	Profundidad de cota clave		Profundidad de cota batea	
	Inicial	Final	[m]	[%]	[pulg]	[Adimen]	[m/s]	[Pa]	Inicial [m]	Final [m]	Inicial [m]	Final [m]
120	122	123	1	0.5	10	0.48	0.90	3.20	0.30	1.67	0.65	1.98
121	123	124	1	0.5	16	0.45	0.90	3.20	1.56	1.29	2.33	2.40
122	124	125	1	0.5	22	0.42	1.00	3.90	1.83	1.80	2.43	2.54
123	125	126	1	0.5	18	0.52	1.30	5.30	1.87	1.46	1.58	1.99
124	126	127	1	0.5	18	0.53	1.30	5.30	1.34	1.64	1.88	2.98
125	127	128	1	0.5	18	0.53	1.30	5.30	1.87	1.46	1.58	1.99
126	128	129	1	0.5	18	0.53	1.30	5.30	1.34	1.64	1.88	2.98
127	129	130	1	0.5	12	0.59	1.90	10.00	0.87	2.96	3.97	4.76
128	131	131	0	0.5	20	0.56	1.40	6.50	1.41	1.56	1.93	2.87
129	132	133	1	0.5	12	0.68	0.90	3.30	0.75	0.79	0.78	1.24
130	133	134	1	0.5	12	0.56	1.00	3.80	0.38	1.29	1.25	1.98
131	134	135	1	0.5	12	0.57	1.90	3.80	0.29	1.02	1.96	1.72
132	135	136	1	0.5	27	0.63	0.90	3.40	2.26	2.28	2.46	2.48
133	136	137	1	0.5	16	0.58	0.90	3.40	0.83	1.84	0.88	2.39
134	137	138	1	0.5	12	0.58	1.00	4.50	1.58	1.38	2.96	1.56
135	138	139	1	0.5	16	0.52	1.70	5.20	1.38	0.98	1.69	1.93

Tabla 0.61 Resultados de tuberías del 120 al 136 [Elaboración propia]

Se modelo el trazado en el software libre SWMM, donde se comprobo la capacidad (Figura 0.16) de la tubería y sus velocidades (Figura 0.17).

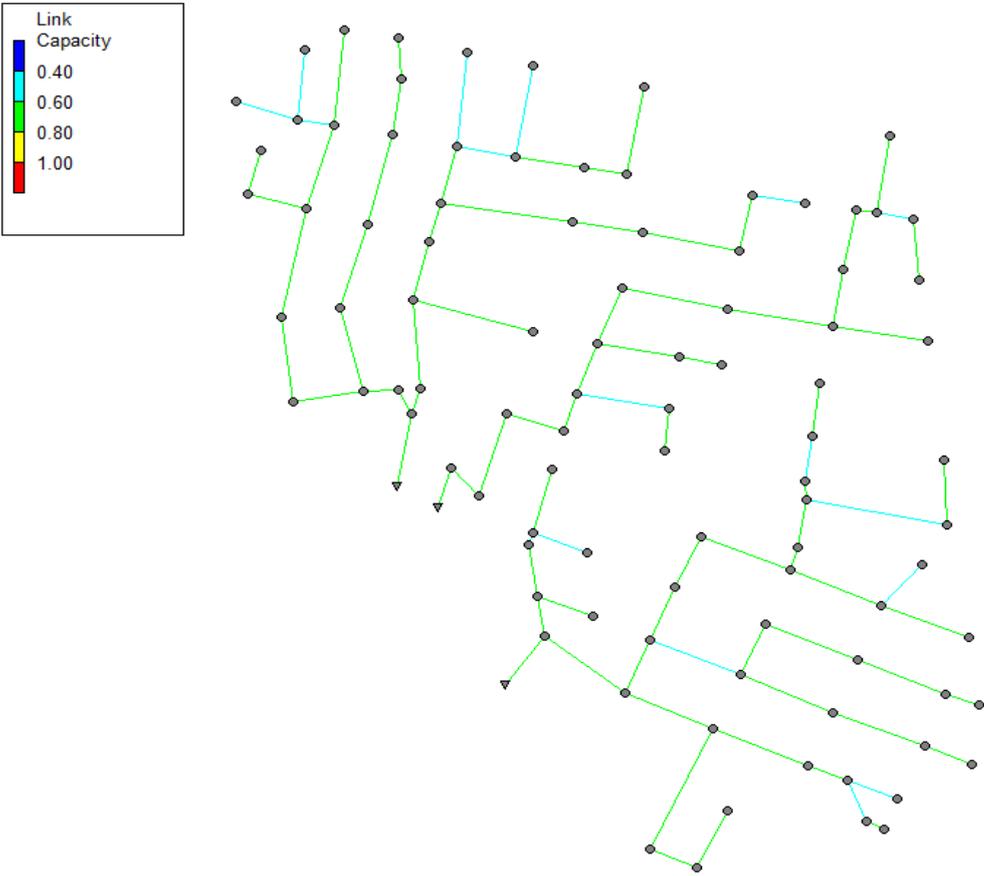


Figura 0.16 Rangos de capacidades del sistema de alcantarillado en la plataforma SWMM [Elaboración propia]

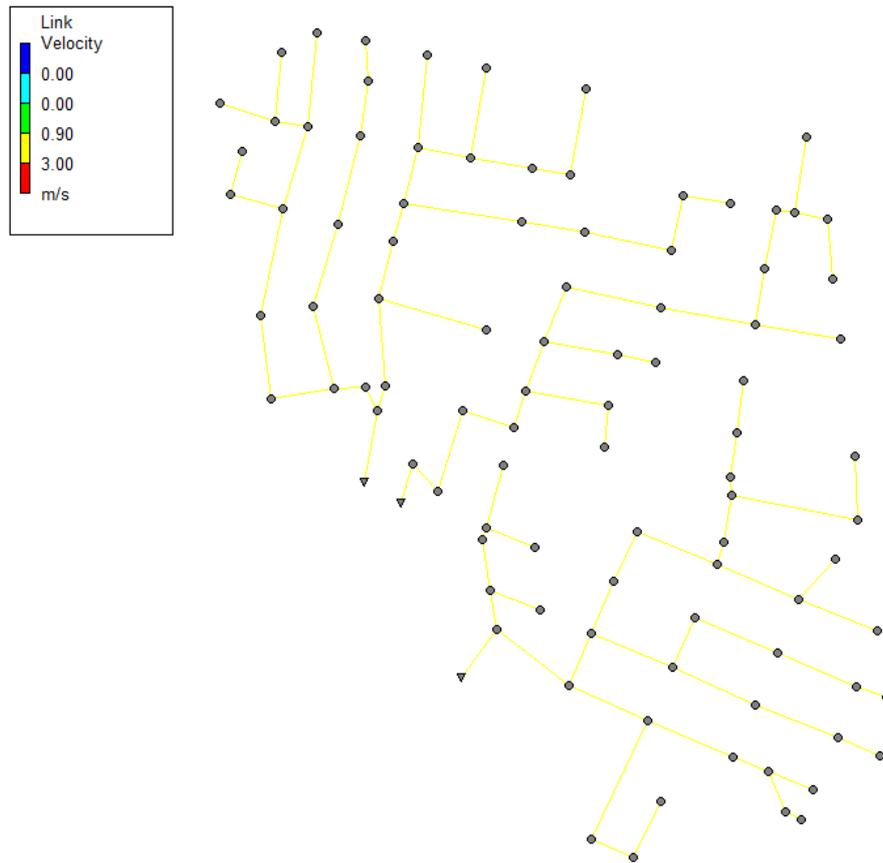


Figura 0.17 Rangos de velocidades del sistema de alcantarillado en la plataforma SWMM [Elaboración propia]

Análisis de resultados

El análisis de la red de alcantarillado pluvial presenta información crucial sobre la distribución y las características de cada tramo de tubería, lo que nos permite evaluar el comportamiento del flujo en cada sección. Al observar los datos de longitud, pendiente y diámetro, se puede inferir que los tramos de tubería están diseñados con una pendiente moderada del 0.5%, lo que asegura que el flujo del agua se mantiene constante, evitando estancamientos o desbordamientos. La longitud de los tramos varía entre 32 metros y 137 metros, lo que permite cubrir adecuadamente el área sin generar distorsiones en el flujo.

En términos de capacidad, los diámetros de las tuberías varían entre 6 y 42 pulgadas, lo cual es adecuado para manejar un rango amplio de caudales. Las tuberías con mayor diámetro, como las de 42 pulgadas, corresponden a tramos donde el flujo de agua es más significativo, lo que garantiza que la capacidad de evacuación sea adecuada. La

relación H/D también juega un papel importante al indicar la proporción entre el diámetro y la altura, la es de 0,6 metros en promedio.

Además, las velocidades del flujo, que oscilan entre 0.49 m/s y 2.60 m/s, son consistentes con los valores esperados para sistemas de alcantarillado pluvial, lo que sugiere que el diseño está optimizado para evitar el riesgo de sedimentación o bloqueo de las tuberías. La fuerza tractiva de promedio de 5.7 pascales, muestra que los valores no presentan un riesgo significativo de sedimentación, lo que asegura un transporte eficiente del agua pluvial.

Especificaciones técnicas

Colocación de estructuras metálicas para señalización

Descripción: Comprende el suministro e instalación de letreros de tipo caballete destinados a informar a la comunidad sobre las actividades y a advertir sobre posibles peligros. El caballete deberá ser retirado al finalizar las actividades diarias.

Materiales mínimos: Letrero metálico tipo caballete.

Equipo mínimo: Herramientas menores.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, pintor, hojalatero, peón.

Unidad: Unidad (u).

Medición y pago: El pago se realizará por unidad, según el material utilizado y registrado en la obra.

Avisos de obra y rutas alternas.

Descripción: Se refiere a la instalación de señalización reflectante para alertar sobre posibles accidentes de tráfico, especialmente en áreas donde las vías están cerradas debido a obras. Las señales deben ubicarse a una distancia adecuada que permita su visibilidad y otorgue a los ciudadanos el tiempo necesario para reaccionar, colocándose en el lado derecho de la vía o en lugares específicos.

Materiales mínimos: Rótulo metálico.

Equipo mínimo: Herramientas menores.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, pintor, hojalatero, peón.

Unidad: Unidad (u).

Medición y pago: El pago se efectuará por unidad, de acuerdo con el material utilizado y registrado en la obra.

Provisión e instalación de malla de protección.

Descripción: Consiste en la provisión e instalación de mallas de seguridad para delimitar el área de trabajo.

Materiales mínimos: Malla de polietileno HDPE.

Equipo mínimo: Herramientas menores.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, peón.

Unidad: Unidad (u).

Medición y pago: Se realizará el pago por unidad, en función del material utilizado y registrado en la obra.

Pasarela para zanja.

Descripción: Facilita el tránsito de peatones en áreas temporalmente afectadas por la instalación de tuberías. Se elabora con tablonces sobre vigas de madera, utilizando tablonces con un espesor de 6 cm y vigas con una sección de 14x16 cm.

Materiales mínimos: Malla de polietileno HDPE.

Equipo mínimo: Herramientas menores, clavos de 2½, tablonces y vigas de madera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, peón, carpintero.

Unidad: Unidad (u).

Medición y pago: El pago se realizará por unidad, conforme al material utilizado y registrado en la obra.

Limpieza y desbroce del terreno

Descripción: Comprende la eliminación de la capa vegetal, desechos y estructuras menores. Se delimita el área de trabajo para prevenir interferencias y algunos materiales se reubican de manera temporal. La limpieza se realiza de forma continua a lo largo del proceso constructivo, incluyendo actividades como excavaciones y pozos.

Materiales mínimos: Sacos de yute.

Equipo mínimo: Herramientas manuales.

Mano de obra calificada: Peón.

Unidad: Metro cuadrado (m²).

Medición y pago: Se pagará por metro cuadrado (m²) de trabajo realizado, de acuerdo con los precios estipulados en el contrato.

Trazado y replanteo.

Descripción: Implica el trazado y replanteo de la red de alcantarillado pluvial, lo que incluye la instalación de puntos verticales de control para asegurar la nivelación adecuada. Al finalizar esta actividad, se procede a la aprobación para realizar la excavación o se toman datos de tramos que presenten problemas.

Materiales mínimos: Estación total, teodolito, niveles y cintas métricas.

Equipo mínimo: Equipos de precisión.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, topógrafo, cadenero.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y pago: Se pagará por metro lineal realizado.

Rotura y desalojo de pavimentos.

Descripción: Consiste en la remoción del pavimento flexible para permitir la instalación de la red de alcantarillado, trasladando los escombros a la zona designada para su disposición.

Equipo mínimo: Herramientas menores, excavadora de oruga de 140 hp, retroexcavadora (con taladro hidráulico), volqueta de 20 toneladas y cortadora de pavimento asfáltico.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, peón, operador de excavadora y retroexcavadora, operador de equipo liviano y chofer de volquetas.

Unidad: Metro cuadrado (m²).

Medición y pago: Se pagará por cada metro cuadrado de material utilizado y registrado en obra.

Reparación de la calzada.

Descripción: Consiste en la reposición de la calzada utilizando material bituminoso sobre una base, asegurando el cumplimiento de las pendientes y bombeos de la carretera. Es necesario desviar el tránsito para llevar a cabo la imprimación del asfalto.

Equipo mínimo: Herramientas menores, escoba mecánica autopropulsada y distribuidor de asfalto.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, peón, operador de barredora y operador de distribuidor de asfalto.

Unidad: Metro cuadrado (m²).

Medición y pago: Se pagará por cada metro cuadrado de material utilizado y registrado en obra.

Excavación a máquina, profundidad de 0 a 2 m.

Descripción: Consiste en la excavación a máquina para realizar zanjas que faciliten la instalación de pozos y tuberías. El ancho de la zanja se determina para permitir el adecuado trabajo de colocación de tuberías y su posterior relleno. La profundidad mínima debe ser de 2 metros más el diámetro externo de la tubería, y se debe evitar realizar excavaciones durante la temporada de lluvias.

Equipo mínimo: Herramientas menores y retroexcavadora de 95 hp.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, peón y operador de retroexcavadora.

Unidad: Metro cúbico (m³).

Medición y pago: Se pagará por cada metro cúbico de material utilizado y registrado en obra.

Excavación a máquina, profundidad de 2 a 4 m.

Descripción: Se trata de una excavación a máquina similar a la de 0 a 2 m, pero para profundidades que alcanzan hasta 4 m. Para excavaciones que superen los 2 m de profundidad, se implementará un talud de 1:16.

Equipo mínimo: Herramientas menores y retroexcavadora de 95 hp.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, peón y operador de retroexcavadora.

Unidad: Metro cúbico (m³).

Medición y pago: Se pagará por metro cúbico de material utilizado y registrado en obra.

Excavación a máquina, profundidad de 3 a 4.5 m.

Descripción: Esta excavación es similar a las anteriores, pero abarca profundidades

Mayores de 4 m, con consideraciones adicionales para garantizar la estabilidad y seguridad.

Equipo mínimo: Herramientas menores y retroexcavadora de 95 hp.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, peón y operador de retroexcavadora.

Unidad: Metro cúbico (m³).

Medición y pago: Se pagará por metro cúbico de material utilizado y registrado en obra.

Entibado metálico.

Descripción: Este trabajo consiste en la instalación de entibados metálicos tipo cajón para prevenir deslizamientos en zanjas de más de 1.5 metros de profundidad o en áreas con materiales sueltos. Si el entibado no garantiza la seguridad, se suspenderán los trabajos hasta que se implementen otras medidas de soporte.

Materiales mínimos: Cinta de peligro.

Equipos mínimos: Excavadora de oruga de 140 hp y cajón metálico.

Mano de obra: Maestro mayor, operador de excavadora y peón.

Unidad de medida: Metro cuadrado (m²).

Forma de pago: Se pagará por metro cuadrado instalado y registrado en obra.

Nivelación de zanja.

Descripción: Se llevará a cabo la nivelación manual del fondo de la zanja, utilizando material de mejoramiento en terrenos irregulares o propensos a asentamientos, seguido de un proceso de compactación.

Materiales mínimos: Material de mejoramiento.

Equipos mínimos: Vibro apisonador.

Mano de obra: Maestro mayor y peón.

Unidad de medida: Metro lineal (m).

Forma de pago: Se pagará por metro lineal nivelado y registrado.

Aplicación de material de mejoramiento.

Descripción: Se preparará el fondo de la zanja con cascajo grueso para la colocación de tuberías y pozos, bajo la supervisión del fiscalizador.

Materiales mínimos: Cascajo grueso.

Equipos mínimos: Vibro apisonador.

Mano de obra: Maestro mayor y peón.

Unidad de medida: Metro cúbico (m³).

Forma de pago: Se pagará por metro cúbico empleado y registrado.

Cama de arena.

Descripción: Se colocará arena compactada en el fondo de la zanja para asegurar un soporte uniforme para las tuberías.

Materiales mínimos: Arena fina.

Equipos mínimos: Vibro apisonador.

Mano de obra: Maestro mayor y peón.

Unidad de medida: Metro cúbico (m³).

Forma de pago: Se pagará por metro cúbico registrado en obra.

Compactación lateral con material granular.

Descripción: Se compactará grava triturada para cubrir las tuberías, manteniendo un grosor igual a la mitad del diámetro de la tubería.

Materiales mínimos: Grava triturada de 3/4".

Equipos mínimos: Herramienta menor.

Mano de obra: Maestro mayor y peón.

Unidad de medida: Metro cúbico (m³).

Forma de pago: Se pagará por metro cúbico de material utilizado.

Reposición de material granular tipo lastre.

Descripción: Se usará material granular para el relleno de áreas sometidas a tráfico, compactando mecánicamente y ajustando la pendiente y alineación.

Materiales mínimos: Material de subbase.

Equipos mínimos: Vibro apisonador.

Mano de obra: Peón.

Unidad de medida: Metro lineal (m).

Forma de pago: Se pagará por metro lineal en obra.

Provisión e instalación de cintas de seguridad.

Descripción: Se llevará a cabo la instalación de cinta de peligro en áreas de trabajo, en color naranja y negro, reponiéndola según lo indique la fiscalización.

Materiales mínimos: Cinta de peligro.

Equipos mínimos: Herramienta menor.

Mano de obra: Peón.

Unidad de medida: Metro lineal (m).

Forma de pago: Se pagará por metro lineal registrado en obra.

Transporte y disposición del material excavado.

Descripción: Se procederá al retiro del material excedente de la obra con volquetas, las cuales deben contar con una lona para evitar la dispersión del material en la vía.

Equipos mínimos: Volqueta.

Mano de obra: Chofer de volqueta y peón.

Unidad de medida: Metro cúbico (m³).

Forma de pago: Se pagará por metro cúbico registrado.

Pozo de revisión de hormigón armado de 0 a 2m, con tapa de acero.

Descripción: Este rubro incluye la instalación de un pozo de revisión de hormigón armado, con una base de hormigón ciclópeo para estabilidad, cuyas dimensiones se determinan según los planos. La mezcla de hormigón incluye aditivos impermeabilizantes, y el pozo se ajusta para evitar desviaciones superiores a 0.5 cm. La tapa de acero se incluye para cubrir el pozo de forma adecuada.

Materiales mínimos: Cemento Portland, grava triturada, arena, encofrado metálico, piedra bola Ø=20 cm, tubería de hormigón Ø=90 cm, tapa de acero y pintura anticorrosiva.

Equipos mínimos: Concreteira, excavadora oruga 140 hp, vibrador de manguera.

Mano de obra: Maestro mayor, albañil, operador de excavadora, carpintero, peón.

Unidad de medida: Unidad (u).

Forma de pago: Se pagará por unidad instalada y registrada en obra.

Pozo de revisión de hormigón armado de 2 a 4m, con tapa de acero.

Descripción: Este rubro cubre la instalación de un pozo de revisión de hormigón armado, con base de hormigón ciclópeo para estabilidad. Las dimensiones se

ajustan a los planos, pero el contratista puede proponer modificaciones. El pozo utiliza hormigón con aditivos impermeabilizantes y se instala sin desviaciones mayores a 0.5 cm. La tapa será de acero.

Materiales mínimos: Cemento Portland, grava triturada, arena, encofrado metálico, piedra bola $\varnothing=20$ cm, tubería de hormigón $\varnothing=90$ cm, tapa de acero y pintura anticorrosiva.

Equipos mínimos: Concretera, excavadora oruga 140 hp, vibrador de manguera.

Mano de obra: Maestro mayor, albañil, operador de excavadora, carpintero, peón.

Unidad de medida: Unidad (u).

Forma de pago: Se pagará por unidad instalada y registrada en obra.

Pozo de revisión de hormigón armado mayores de 4m, con tapa de acero.

Descripción: Este rubro incluye la instalación de un pozo de revisión de hormigón armado, con base de hormigón ciclópeo para estabilidad, siguiendo las dimensiones del plano. El material utilizado es hormigón armado con aditivos impermeabilizantes y se instala sin desviaciones superiores a 0.5 cm. La tapa del pozo será de acero para garantizar la protección y acceso adecuado.

Materiales mínimos: Cemento Portland, grava triturada, arena, encofrado metálico, piedra bola $\varnothing=20$ cm, tubería de hormigón $\varnothing=90$ cm, tapa de acero y pintura anticorrosiva.

Equipos mínimos: Concretera, excavadora oruga 140 hp, vibrador de manguera.

Mano de obra: Maestro mayor, albañil, operador de excavadora, carpintero, peón.

Unidad de medida: Unidad (u).

Forma de pago: Se pagará por unidad instalada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 160mm (6") 6m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 de 160 mm de diámetro, para alcantarillado. Estas tuberías deben ser resistentes a la presión de las aguas residuales y adecuadas para su uso en sistemas de alcantarillado.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 160 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 200mm (8") 6m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 de 200 mm de diámetro, para alcantarillado. Estas tuberías deben ser resistentes a la presión de las aguas residuales y adecuadas para su uso en sistemas de alcantarillado.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 200 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 250mm (10") 6m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 de 250 mm de diámetro, para alcantarillado. Estas tuberías deben ser resistentes a la presión de las aguas residuales y adecuadas para su uso en sistemas de alcantarillado.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 250 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 315mm (12") 6m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 de 315 mm de diámetro, para alcantarillado. Estas tuberías deben ser adecuadas para transportar aguas residuales con alta presión.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 315 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 355mm (14") 6m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 de 355 mm de diámetro, para alcantarillado. Estas tuberías deben ser adecuadas para soportar altas presiones en el sistema de alcantarillado.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 355 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 400mm (16") 6m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 de 400 mm de diámetro, para alcantarillado. Estas tuberías deben ser adecuadas para soportar altas presiones en el sistema de alcantarillado.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 400 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 450mm (18") 6m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 de 450 mm de diámetro, para alcantarillado. Las tuberías deben cumplir con los estándares de resistencia a la presión y a la abrasión, y ser aptas para el transporte de aguas residuales.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 450 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 500mm (20") 6m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 de 500 mm de diámetro, para alcantarillado. Las tuberías deben ser aptas para transportar aguas residuales a altas presiones sin pérdida de eficacia.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 500 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 595mm (24") 6m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 de 595 mm de diámetro, para alcantarillado. Estas tuberías son necesarias para redes de alcantarillado de pequeño diámetro.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 595 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 670mm (27") 6.5m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 Plus de 670 mm de diámetro, para alcantarillado. Las tuberías de mayor diámetro son necesarias para transportar grandes volúmenes de agua residual a alta presión.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 Plus 670 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 747mm (30") 6.5m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 Plus de 747 mm de diámetro, para alcantarillado. Las tuberías de mayor diámetro son necesarias para transportar grandes volúmenes de agua residual a alta presión.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 Plus 747 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 823mm (33") 6.5m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 Plus de 823 mm de diámetro, para alcantarillado. Las tuberías de mayor diámetro son necesarias para transportar grandes volúmenes de agua residual a alta presión.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 Plus 823 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 898mm (36") 6.5m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 Plus de 898 mm de diámetro, para alcantarillado. Las tuberías de mayor diámetro son necesarias para transportar grandes volúmenes de agua residual a alta presión.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 Plus 898 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Suministro e instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 1051mm (42") 6.5m

Descripción: Este rubro consiste en el suministro e instalación de tuberías de PVC Novafort S8 Plus de 1051 mm de diámetro, para alcantarillado. Las tuberías de mayor diámetro son necesarias para transportar grandes volúmenes de agua residual a alta presión.

Materiales mínimos: Tubería de PVC Novafort S8 Plus 1051 mm

Equipo mínimo: Herramienta menor, excavadora de oruga 140 hp, concretera de 1 saco, vibrador de manguera.

Mano de obra calificada: Maestro mayor, albañil, peón.

Unidad: Metro lineal (m).

Medición y forma de pago: Se lo pagará por metro lineal, de la cantidad usada y registrada en obra.

Materiales e Instalación de los SUDs

Descripción: Este rubro comprende el suministro e instalación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), diseñados para captar, filtrar y almacenar aguas pluviales de forma eficiente y sostenible. Incluye la excavación, instalación de material filtrante, colocación de tuberías perforadas de PVC y el relleno con material granular, asegurando el correcto funcionamiento hidráulico del sistema.

Materiales mínimos: Material de mejoramiento (lastre < 2"), agua, sistema filtrante (geotextil permeable), tubería perforada de PVC de 4".

Equipo mínimo: Herramientas menores, retroexcavadora de 95 hp.

Mano de obra calificada: Maestro mayor en ejecución de obras civiles, operador de retroexcavadora, engrasador, peón, plomero.

Unidad: Metro cuadrado (m²).

Medición y forma de pago: El pago se realizará por metro cuadrado de sistema instalado, según la cantidad efectivamente empleada y registrada en la obra.

Materiales e Instalación de los SUDs

Descripción: Este rubro abarca la instalación de un sistema de almacenamiento de aguas pluviales mediante módulos AquaCell. Incluye la excavación, instalación de celdas de almacenamiento con geotextil protector y el acondicionamiento necesario para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema. Este sistema es utilizado para la retención temporal y filtración de aguas pluviales, minimizando el impacto de inundaciones.

Materiales mínimos: Módulos AquaCell CELDA RD con kit, geotextil permeable.

Equipo mínimo: Herramientas menores, retroexcavadora de 95 hp.

Mano de obra calificada: Maestro mayor en ejecución de obras civiles, operador de retroexcavadora, peón, oficial, técnico.

Unidad: Metro cuadrado (m²).

Medición y forma de pago: El pago se realizará por metro cuadrado de sistema instalado, según la cantidad efectivamente empleada y registrada en la obra.

APU

El análisis de precios unitarios (APU) detalla los costos asociados a cada actividad constructiva, desglosándolos en equipos, mano de obra, materiales, transporte y costos indirectos, lo que permite una planificación eficiente del presupuesto. Se incluye un ejemplo de APU, a continuación:

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO: Diseño de Alcantarillado Pluvial en el Sector Este de Puerto Villamil, Galápagos: Aplicación de Soluciones Convencionales y de Drenaje Urbano Sostenible					
RUBRO:	REPOSICIÓN DE MATERIAL GRANULAR TIPO LASTRE.			No.	4.9
				UNIDAD:	m3
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora $C=AxB$	Rendimiento R	Costo $D=CxR$
Herramientas menores (5% M.O.)		0.05			0.06
Retroexcavadora 95 hp	0.25	28.00	7.00	0.08	0.57
Compactador manual	1.00	4.00	4.00	0.08	0.33
SUBTOTAL M					0.96
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad A	Jornal/HR B	Costo Hora $C=AxB$	Rendimiento R	Costo $D=CxR$
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0.25	4.29	1.07	0.08	0.09
Operador de retroexcavadora	0.25	4.29	1.07	0.08	0.09
Engrasador	0.10	3.87	0.39	0.08	0.03
Operador de equipo liviano	1.00	3.87	3.87	0.08	0.32
Peón	2	3.83	7.66	0.08163	0.63

SUBTOTAL N				1.15
MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unit. B	Costo C=AxB
Material de mejoramiento lastre < 2", incluye transporte	m3	1.25	11.00	13.75
Agua	m3	0.10	2.00	0.20
SUBTOTAL O				13.95
TRANSPORTE				
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unit. B	Costo C=AxB
SUBTOTAL P				0.00
	COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)			16.05
	COSTOS INDIRECTOS Y UTILIDADES 20%			3.21
	COSTO TOTAL			19.26

	VALOR OFERTADO	19.30
--	----------------	-------

Tabla 0.64 Ejemplo de APU, Reposición de material granular tipo lastre [Elaboración propia].

Volumenes de obra

Colocación de estructuras metálicas para señalización.

La colocación de estructuras metálicas para señalización se planificó considerando la extensión y las necesidades específicas del proyecto. Se determinó la instalación de dos unidades, ya que estas son suficientes para cubrir las zonas de trabajo y proporcionar la visibilidad adecuada para garantizar la seguridad. Este cálculo responde a un análisis de las áreas intervenidas y la distancia requerida entre las estructuras para maximizar su efectividad.

Resultados	Cantidad	Medición
Unidades	2	u

Tabla 0.65 Cantidad de estructuras metálicas para señalización [Elaboración propia].

Avisos de obra y rutas alternas.

La instalación de avisos de obra y señalización de rutas alternas se estableció con base en las características del proyecto y la necesidad de garantizar la seguridad vial en las zonas intervenidas. Se definió la colocación de dos unidades estratégicamente ubicadas, suficientes para informar a la población sobre las obras en curso y las rutas alternativas disponibles, asegurando así una gestión eficiente del tránsito.

Resultados	Cantidad	Medición
Unidades	2	u

Tabla 0.66 Cantidad de señalizaciones [Elaboración propia].

Resultados	Cantidad	Medición
Ancho	25	m
Largo	100	m
Perimetro	900	m

Tabla 0.67 Longitud de malla de protección [Elaboración propia].

Provisión e instalación de malla de protección.

La provisión e instalación de la malla de protección se llevó a cabo considerando las dimensiones y el perímetro del área a intervenir. Se determinó un ancho de 25 metros y un largo de 100 metros para cubrir eficazmente la zona de trabajo, con un perímetro total de 900 metros. Estas medidas aseguran la delimitación adecuada del espacio, garantizando la seguridad del personal y de los transeúntes en las inmediaciones de la obra.

Pasarela para zanja.

La pasarela para zanja fue diseñada para facilitar el acceso seguro sobre las zanjas de excavación durante el desarrollo de la obra. Con un ancho de zanja de 3 metros y una zona de seguridad de 2 metros a lo largo de su recorrido, la pasarela se extendió por una longitud total de 28 metros. Estas dimensiones aseguran que se pueda transitar de manera segura, minimizando riesgos para los trabajadores y transeúntes mientras se mantiene la operatividad del proyecto.

Resultados	Cantidad	Medición
Ancho de zanja	3	m
Zona de seguridad	2	m
Longitud	28	m

Tabla 0.68 Longitud de pasarela para zanja [Elaboración propia].

Limpieza y desbroce del terreno.

Limpieza y desbroce del terreno fue una actividad esencial para preparar el área de trabajo antes de las excavaciones. Se realizó sobre un área de 6.03105 hectáreas, con una longitud de recorrido de 10,051.75 metros y un ancho de zanja de 3 metros. Este proceso de limpieza incluyó la eliminación de vegetación y otros obstáculos para garantizar que el terreno estuviera adecuado para las fases posteriores de la construcción, asegurando un entorno seguro y eficiente para las labores de obra.

Resultados	Cantidad	Medición
Ancho de zanja	3	m
Longitud	10051.75	m
Área	6.03105	ha

Tabla 0.69 Área de limpieza y desbroce [Elaboración propia].

Trazado y replanteo.

Trazado y replanteo fue una fase clave en el proyecto, que consistió en marcar y definir las líneas de construcción de acuerdo con los planos de diseño. Se llevó a cabo a lo largo de una longitud de 10,051.75 metros, lo que permitió establecer con precisión las rutas y ubicaciones para las siguientes actividades.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud	10051.75	m

Tabla 0.70 Longitud para trazado y replanteo [Elaboración propia].

Rotura y desalojo de pavimentos.

Rotura y desalojo de pavimentos es una actividad esencial que involucra la demolición del pavimento existente para dar paso a las obras de infraestructura. En este caso, se trabajó sobre una longitud de 1,774 metros y un ancho de 3 metros, lo que resultó en un área total de 7,120 m².

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud	1774	m
Ancho	3	m
Área	7120	m ²

Tabla 0.71 Área de rotura de pavimentos [Elaboración propia].

Reparación de la calzada.

La reparación de la calzada es una fase crucial que asegura que las superficies de rodaje estén en condiciones óptimas después de la rotura y desalojo del pavimento anterior. Para esta actividad, se trabajó sobre un área total de 7,120 m², lo cual incluye la restauración de la estructura vial afectada por el proyecto.

Resultados	Cantidad	Medición
Área	7120	m ²

Tabla 0.72 Área de reparación de calzada [Elaboración propia].

Excavación a máquina, profundidad de 0 a 2 m.

La excavación a máquina en el rango de profundidad de 0 a 2 metros es una de las etapas fundamentales en la preparación del terreno para las obras. En este caso, se excavó un volumen total de 7,263.08 m³ de material. Este volumen corresponde a la remoción de tierras necesarias para la adecuación del terreno, permitiendo la instalación de infraestructuras subterráneas como tuberías.

Resultados	Cantidad	Medición
Volumen	7263.08	m ³

Tabla 0.73 Volumen de excavación de profundidades de 0 a 2 metros [Elaboración propia].

Excavación a máquina, profundidad de 2 a 4 m.

La excavación a máquina en el rango de profundidad de 2 a 4 metros se realizó para continuar con la preparación del terreno. En este caso, se excavó un volumen total de 5,138.35 m³. Este proceso fue necesario para alcanzar la profundidad requerida en diferentes tramos del proyecto, permitiendo el acceso a capas más profundas del terreno para la instalación de las infraestructuras necesarias.

Resultados	Cantidad	Medición
Volumen	5138.35	m3

Tabla 0.74 Volumen de excavación de profundidades de 2 a 4 metros [Elaboración propia].

Excavación a máquina, profundidad mayores de 4 m.

La excavación a máquina en el rango de profundidad mayor a 4 metros se llevó a cabo para alcanzar las capas más profundas del terreno, fundamentales para el diseño y construcción de las infraestructuras previstas en el proyecto. El volumen total excavado fue de 9,132.55 m³, lo que permitió asegurar una base sólida y adecuada para la instalación de tuberías.

Resultados	Cantidad	Medición
Volumen	9132.55	m3

Tabla 0.75 Volumen de excavación de profundidades mayores de 4 metros [Elaboración propia].

Entibado metálico.

El entibado metálico fue implementado para asegurar la estabilidad de las zanjas durante el proceso de excavación, evitando deslizamientos de tierra que pudieran comprometer la seguridad de los trabajadores y la integridad de las instalaciones. La longitud total del entibado fue de 100 metros, con una altura de zanja de 2.13 metros. Esto resultó en un área de entibado de 417.04 m², proporcionando un refuerzo adecuado en las zonas más críticas del proyecto.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud	100	m
Altura de zanja	2.13	m
Área	417.04	m ²

Tabla 0.76 Área para el entibado metálico [Elaboración propia].

Nivelación de zanja.

La nivelación de la zanja se realizó a lo largo de la totalidad de la ruta, con un total de 10,051.75 metros de longitud. Este proceso fue esencial para garantizar que la base de la zanja estuviera correctamente preparada para la instalación de las tuberías y otros elementos del sistema de alcantarillado, asegurando un alineamiento y pendiente adecuados para un flujo eficiente del agua.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud	10051.75	m

Tabla 0.77 Longitud para nivelación de zanja [Elaboración propia].

Aplicación de material de mejoramiento.

La aplicación de material de mejoramiento involucró un volumen total de 2,829.8 m³, utilizado para estabilizar y fortalecer la base de la zanja. El material debe proporcionar mayor durabilidad y resistencia, asegurando una estructura sólida y estable que permita soportar las cargas de las capas superiores y el tránsito en la superficie.

Resultados	Cantidad	Medición
Volumen	2829.8	m ³

Tabla 0.78 Volumen de material de mejoramiento [Elaboración propia].

Cama de arena.

La cama de arena se implementó con un volumen total de 943.27 m³, destinada a crear una base uniforme y de baja compactación que facilite el asentamiento adecuado de las tuberías. Este material asegura una distribución uniforme de las cargas y protege las estructuras subterráneas contra posibles deformaciones o daños.

Resultados	Cantidad	Medición
Volúmen	943.27	m3

Tabla 0.79 Volumen de cama de arena [Elaboración propia].

Compactación lateral con material granular.

La compactación lateral con material granular requirió un volumen total de 2716.91 m³. Este procedimiento se llevó a cabo para garantizar la estabilidad estructural de las zanjas y evitar desplazamientos del terreno adyacente. El material granular empleado proporciona una densidad adecuada y mejora la capacidad portante del suelo en las áreas intervenidas.

Resultados	Cantidad	Medición
Volúmen	2716.91	m3

Tabla 0.80 Volumen de material granular para compactación lateral [Elaboración propia].

Reposición de material granular tipo lastre.

La reposición de material granular tipo lastre implicó un volumen total de 15,057.29 m³. Este material se utilizó para restaurar la estabilidad y nivelación del terreno tras las intervenciones, asegurando un soporte adecuado para las estructuras sobrepuestas y contribuyendo a la durabilidad del proyecto.

Resultados	Cantidad	Medición
Volúmen	15057.29	m3

Tabla 0.81 Volumen de material granular tipo lastre [Elaboración propia].

Provisión e instalación de cintas.

La provisión e instalación de cintas abarcó una longitud total de 10,051.75 metros. Estas cintas se colocaron a lo largo del recorrido para delimitar áreas de trabajo, garantizar la seguridad en el sitio y proporcionar una señalización clara.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud	10051.75	m

Tabla 0.82 Longitud de cintas [Elaboración propia].

Transporte y disposición del material excavado.

El transporte y disposición del material excavado implicó el manejo de un volumen total de 21,533.98 m³. Este material, generado durante las fases de excavación, fue trasladado y dispuesto en sitios autorizados según las normativas ambientales y de seguridad.

Resultados	Cantidad	Medición
Volumen	21533.98	m3

Tabla 0.83 Volumen de material excavado [Elaboración propia].

Pozo de revisión de hormigón armado de 0 a 2m, incluye tapa de acero.

La construcción de pozos de revisión de hormigón armado de 0 a 2 metros, incluyendo tapas de acero, alcanzó un total de 156 unidades. La selección del material y las dimensiones aseguran la durabilidad y funcionalidad de los pozos dentro del proyecto.

Resultados	Cantidad	Medición
Cantidad	156	u

Tabla 0.84 Cantidad de pozos de 0 a 2 metros [Elaboración propia].

Pozo de revisión de hormigón armado de 2 a 4m, incluye tapa de acero.

La construcción de pozos de revisión de hormigón armado de 2 a 4 metros, equipados con tapas de acero, abarca un total de 101 unidades. Esta cantidad está diseñada para cubrir las necesidades específicas de las áreas con mayor profundidad en el sistema.

Resultados	Cantidad	Medición
Cantidad	101	u

Tabla 0.85 Cantidad de pozos de 2 a 4 metros [Elaboración propia].

Pozo de revisión de hormigón armado mayores de 4m, incluye tapa de acero.

La instalación de pozos de revisión de hormigón armado con profundidades mayores a 4 metros, que incluyen tapas de acero, comprende un total de 15 unidades. Esta cantidad se determina en función de los puntos estratégicos del sistema donde se requiere un acceso robusto y confiable a mayores profundidades, asegurando la funcionalidad y la durabilidad del proyecto.

Resultados	Cantidad	Medición
Cantidad	15	u

Tabla 0.86 Cantidad de pozos mayores de 4 metros [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 160mm (6")

La instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 160 mm (6") abarca una longitud total de 455 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	455	m

Tabla 0.87 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 6" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 200mm (8")

La instalación de tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 200 mm (8") se realizará a lo largo de 590 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	590	m

Tabla 0.88 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 8" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 250mm (10")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 250 mm (10") se instalará a lo largo de 1,744 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	1744	m

Tabla 0.89 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 10" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 315mm (12")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 315 mm (12") se instalará a lo largo de 1,237 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	1237	m

Tabla 0.90 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 12" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 355mm (14")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 355 mm (14") se instalará a lo largo de 1,079 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	1079	m

Tabla 0.91 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 14" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 400mm (16")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 400 mm (16") se instalará a lo largo de 982 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	982	m

Tabla 0.92 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 16" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 450mm (18")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 450 mm (18") se instalará a lo largo de 625 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	625	m

Tabla 0.93 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 18" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 500mm (20")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 500 mm (20") se instalará a lo largo de 528 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	528	m

Tabla 0.94 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 20" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 595mm (24")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 595 mm (24") se instalará a lo largo de 884 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	884	m

Tabla 0.95 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 24" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 670mm (27")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 670 mm (27") se instalará a lo largo de 784 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	784	m

Tabla 0.96 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 27" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 747mm (30")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 747 mm (30") se instalará a lo largo de 389 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	389	m

Tabla 0.97 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 30" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 823mm (33")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 823 mm (33") se instalará a lo largo de 138 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	138	m

Tabla 0.98 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 33" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 898mm (36")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 898 mm (36") se instalará a lo largo de 526 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	526	m

Tabla 0.99 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 36" [Elaboración propia].

Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 1051mm (42")

La tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 de 1051 mm (42") se instalará a lo largo de 92 metros.

Resultados	Cantidad	Medición
Longitud de tuberías	92	m

Tabla 0.100 Longitud de tubería PVC Alcantarillado 42" [Elaboración propia].

Materiales e Instalación de los SUDs

El material y la instalación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDs) cubrirán un área total de 21,235.89 m².

Resultados	Cantidad	Medición
Área	21235.89	m2

Tabla 0.101 Área correspondientes a los SUDs [Elaboración propia].

Sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento ocupará un área de 27.29 m². Este espacio está destinado a la instalación de estructuras o sistemas que permitirán la recolección y almacenamiento de aguas pluviales.

Resultados	Cantidad	Medición
Área	27.29	m2

Tabla 0.102 Área correspondiente al almacenamiento [Elaboración propia].

Presupuesto referencial

A continuación, se presenta el desglose detallado del presupuesto estimado para la ejecución del proyecto (

Presupuesto

No	Descripción	Unidad	Cantidad	APU	Total
1	Seguridad de obra				
1.1	Colocación de estructuras metálicas para señalización.	u	2.00	192.70	385.40
1.2	Avisos de obra y rutas alternas.	u	2.00	149.80	299.60
1.3	Provisión e instalación de malla de protección.	m	900.00	10.80	9720.00
1.4	Pasarela para zanja.	m	28.00	41.30	1156.40
2	Obras preliminares				
2.1	Limpieza y desbroce del terreno.	ha	6.03	248.20	1496.91
2.2	Trazado y replanteo.	m	10051.75	1.10	11056.93
3	Pavimento asfáltico				
3.1	Rotura y desalojo de pavimentos.	m2	7120.00	7.40	52688.00
3.2	Reparación de la calzada.	m2	7120.00	19.70	140264.00
4	Movimientos de tierra				
4.1	Excavación a máquina, profundidad de 0 a 2 m.	m3	7263.08	4.00	29052.32
4.2	Excavación a máquina, profundidad de 2 a 4 m.	m3	5138.35	8.00	41106.80

4.3	Excavación a máquina, profundidad mayores de 4 m.	m3	9132.5 5	14.30	130595. 47
4.4	Entibado metálico.	m2	417.04	36.70	15305.3 7
4.5	Nivelación de zanja.	m	10051. 75	1.60	16082.8 0
4.6	Aplicación de material de mejoramiento.	m3	2829.8 0	19.60	55464.0 8
4.7	Cama de arena.	m3	943.27	25.30	23864.7 3
4.8	Compactación lateral con material granular.	m3	2716.9 1	31.00	84224.2 1
4.9	Reposición de material granular tipo lastre.	m3	15057. 29	19.30	290605. 70
4.1 0	Provisión e instalación de cintas.	m	10051. 75	0.20	2010.35
4.1 1	Transporte y disposición del material excavado.	m3	21533. 98	13.10	282095. 14
5	Sistema de alcantarillado				
5.1	Pozo de revisión de hormigón armado de 0 a 2m, incluye tapa de acero.	u	156.00	296.3 0	46222.5 5
5.2	Pozo de revisión de hormigón armado de 2 a 4m, incluye tapa de acero.	u	101.00	311.4 0	31451.6 4
5.3	Pozo de revisión de hormigón armado mayores de 4m, incluye tapa de acero.	u	15.00	397.8 2	5967.25
5.4	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 160mm (6")	m	455.00	25.00	11375.0 0

5.5	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 200mm (8")	m	590.00	35.40	20886.00
5.6	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 250mm (10")	m	1744.00	56.30	98187.20
5.7	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 315mm (12")	m	1237.00	85.00	105145.00
5.8	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 355mm (14")	m	1079.00	97.40	105094.60
5.9	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 400mm (16")	m	982.00	117.90	115777.80
5.10	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 450mm (18")	m	625.00	144.70	90437.50
5.11	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 500mm (20")	m	528.00	166.90	88123.20
5.12	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 595mm (24")	m	884.00	214.30	189441.20
5.13	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 670mm (27")	m	784.00	243.90	191217.60
5.14	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 747mm (30")	m	389.00	292.60	113821.40
5.15	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 823mm (33")	m	138.00	385.20	53157.60
5.16	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 898mm (36")	m	526.00	501.70	263894.20
5.17	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 1051mm (42")	m	92.00	760.20	69938.40
6	SUDs				

6.1	Materiales e Instalación de los SUDs	m2	21235.89	54.00	1146738.06
6.2	Sistema de almacenamiento	m2	27.29	41.20	1124.35
				Total	3935474.73

Tabla 0.103), que incluye los costos asociados a las actividades de seguridad, obras preliminares, pavimentación, movimientos de tierra, sistema de alcantarillado y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDs).

Presupuesto

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	APU	Total
1	Seguridad de obra				
1.1	Colocación de estructuras metálicas para señalización.	u	2.00	192.70	385.40
1.2	Avisos de obra y rutas alternas.	u	2.00	149.80	299.60
1.3	Provisión e instalación de malla de protección.	m	900.00	10.80	9720.00
1.4	Pasarela para zanja.	m	28.00	41.30	1156.40
2	Obras preliminares				
2.1	Limpieza y desbroce del terreno.	ha	6.03	248.20	1496.91
2.2	Trazado y replanteo.	m	10051.75	1.10	11056.93
3	Pavimento asfáltico				
3.1	Rotura y desalojo de pavimentos.	m2	7120.00	7.40	52688.00
3.2	Reparación de la calzada.	m2	7120.00	19.70	140264.00
4	Movimientos de tierra				
4.1	Excavación a máquina, profundidad de 0 a 2 m.	m3	7263.08	4.00	29052.32
4.2	Excavación a máquina, profundidad de 2 a 4 m.	m3	5138.35	8.00	41106.80
4.3	Excavación a máquina, profundidad mayores de 4 m.	m3	9132.55	14.30	130595.47
4.4	Entibado metálico.	m2	417.04	36.70	15305.37
4.5	Nivelación de zanja.	m	10051.75	1.60	16082.80
4.6	Aplicación de material de mejoramiento.	m3	2829.80	19.60	55464.08
4.7	Cama de arena.	m3	943.27	25.30	23864.73
4.8	Compactación lateral con material granular.	m3	2716.91	31.00	84224.21

4.9	Reposición de material granular tipo lastre.	m3	15057.29	19.30	290605.70
4.10	Provisión e instalación de cintas.	m	10051.75	0.20	2010.35
4.11	Transporte y disposición del material excavado.	m3	21533.98	13.10	282095.14
5	Sistema de alcantarillado				
5.1	Pozo de revisión de hormigón armado de 0 a 2m, incluye tapa de acero.	u	156.00	296.30	46222.55
5.2	Pozo de revisión de hormigón armado de 2 a 4m, incluye tapa de acero.	u	101.00	311.40	31451.64
5.3	Pozo de revisión de hormigón armado mayores de 4m, incluye tapa de acero.	u	15.00	397.82	5967.25
5.4	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 160mm (6")	m	455.00	25.00	11375.00
5.5	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 200mm (8")	m	590.00	35.40	20886.00
5.6	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 250mm (10")	m	1744.00	56.30	98187.20
5.7	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 315mm (12")	m	1237.00	85.00	105145.00
5.8	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 355mm (14")	m	1079.00	97.40	105094.60
5.9	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 400mm (16")	m	982.00	117.90	115777.80
5.10	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 450mm (18")	m	625.00	144.70	90437.50
5.11	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 500mm (20")	m	528.00	166.90	88123.20
5.12	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 595mm (24")	m	884.00	214.30	189441.20
5.13	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 670mm (27")	m	784.00	243.90	191217.60
5.14	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 747mm (30")	m	389.00	292.60	113821.40

5.1 5	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 823mm (33")	m	138.00	385.20	53157.60
5.1 6	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 898mm (36")	m	526.00	501.70	263894.20
5.1 7	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 1051mm (42")	m	92.00	760.20	69938.40
6	SUDs				
6.1	Materiales e Instalación de los SUDs	m2	21235.89	54.00	1146738.06
6.2	Sistema de almacenamiento	m2	27.29	41.20	1124.35
				Total	3935474.73

Tabla 0.103 Desglose de presupuesto [Elaboración propia]

Cronograma valorado

No.	Descripción	P. total	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
1	Seguridad de obra								
1.1	Colocación de estructuras metálicas para señalización.	\$ 385.40	\$ 192.70	\$ 14.82	\$ 14.82	\$ 14.82	\$ 14.82	\$ 14.82	\$ 14.82
1.2	Avisos de obra y rutas alternas.	\$ 299.60	\$ 149.80	\$ 11.52	\$ 11.52	\$ 11.52	\$ 11.52	\$ 11.52	\$ 11.52
1.3	Provisión e instalación de malla de protección.	\$ 9,720.00	\$ 4,860.00	\$ 373.85	\$ 373.85	\$ 373.85	\$ 373.85	\$ 373.85	\$ 373.85
1.4	Pasarela para zanja.	\$ 1,156.40	\$ 578.20	\$ 44.48	\$ 44.48	\$ 44.48	\$ 44.48	\$ 44.48	\$ 44.48
	Subtotal	\$ 11,561.40							
2	Obras preliminares								
2.1	Limpieza y desbroce del terreno.	\$ 1,496.91	\$ 748.45	\$ 57.57	\$ 57.57	\$ 57.57	\$ 57.57	\$ 57.57	\$ 57.57

2.2	Trazado y replanteo.	\$ 11,056.93	\$ 5,528.46	\$ 425.27	\$ 425.27	\$ 425.27	\$ 425.27	\$ 425.27	\$ 425.27
	Subtotal	\$ 12,553.83							
3	Pavimento asfáltico								
3.1	Rotura y desalojo de pavimentos.	\$ 52,688.00	\$ 26,344.00	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46
3.2	Reparación de la calzada.	\$ 140,264.00	\$ 70,132.00	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77
	Subtotal	\$ 192,952.00							
4	Movimientos de tierra								
4.1	Excavación a máquina, profundidad de 0 a 2 m.	\$ 29,052.32	\$ 14,526.16	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40
4.2	Excavación a máquina, profundidad de 2 a 4 m.	\$ 41,106.80	\$ 20,553.40	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03
4.3	Excavación a máquina, profundidad mayores de 4 m.	\$ 130,595.47	\$ 65,297.73	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90
4.4	Entibado metálico.	\$ 15,305.37	\$ 7,652.68	\$ 588.67	\$ 588.67	\$ 588.67	\$ 588.67	\$ 588.67	\$ 588.67
4.5	Nivelación de zanja.	\$ 16,082.80	\$ 8,041.40	\$ 618.57	\$ 618.57	\$ 618.57	\$ 618.57	\$ 618.57	\$ 618.57
4.6	Aplicación de material de mejoramiento.	\$ 55,464.08	\$ 27,732.04	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23
4.7	Cama de arena.	\$ 23,864.73	\$ 11,932.37	\$ 917.87	\$ 917.87	\$ 917.87	\$ 917.87	\$ 917.87	\$ 917.87
4.8	Compactación lateral con material granular.	\$ 84,224.21	\$ 42,112.11	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39
4.9	Reposición de material granular tipo lastre.	\$ 290,605.70	\$ 145,302.85	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14
4.10	Provisión e instalación de cintas.	\$ 2,010.35	\$ 1,005.18	\$ 77.32	\$ 77.32	\$ 77.32	\$ 77.32	\$ 77.32	\$ 77.32

4.11	Transporte y disposición del material excavado.	\$ 282,095.14	\$ 141,047.57	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81
	Subtotal	\$ 970,406.96							

Tabla 0.104 Cronograma valorado del mes 1 al 7, primera parte [Elaboración propia].

5	Sistema de alcantarillado								
5.1	Pozo de revisión de hormigón armado de 0 a 2m, incluye tapa de acero.	\$ 46,222.55	\$ 23,111.27	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79
5.2	Pozo de revisión de hormigón armado de 2 a 4m, incluye tapa de acero.	\$ 31,451.64	\$ 15,725.82	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68
5.3	Pozo de revisión de hormigón armado mayores de 4m, incluye tapa de acero.	\$ 5,967.25	\$ 2,983.63	\$ 229.51	\$ 229.51	\$ 229.51	\$ 229.51	\$ 229.51	\$ 229.51
5.4	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 160mm (6")	\$ 11,375.00	\$ 5,687.50	\$ 437.50	\$ 437.50	\$ 437.50	\$ 437.50	\$ 437.50	\$ 437.50
5.5	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 200mm (8")	\$ 20,886.00	\$ 10,443.00	\$ 803.31	\$ 803.31	\$ 803.31	\$ 803.31	\$ 803.31	\$ 803.31
5.6	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 250mm (10")	\$ 98,187.20	\$ 49,093.60	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43
5.7	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 315mm (12")	\$ 105,145.00	\$ 52,572.50	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04
5.8	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 355mm (14")	\$ 105,094.60	\$ 52,547.30	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10
5.9	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 400mm (16")	\$ 115,777.80	\$ 57,888.90	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99
5.10	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 450mm (18")	\$ 90,437.50	\$ 45,218.75	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37
5.11	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 500mm (20")	\$ 88,123.20	\$ 44,061.60	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35
5.12	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 595mm (24")	\$ 189,441.20	\$ 94,720.60	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20
5.13	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 670mm (27")	\$ 191,217.60	\$ 95,608.80	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52
5.14	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 747mm (30")	\$ 113,821.40	\$ 56,910.70	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75
5.15	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 823mm (33")	\$ 53,157.60	\$ 26,578.80	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52
5.16	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 898mm (36")	\$ 263,894.20	\$ 131,947.10	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78

5.17	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 1051mm (42")	\$ 69,938.40	\$ 34,969.20	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94
	Subtotal	\$1,600,138.14							
6	SUDs								
6.1	Materiales e Instalación de los SUDs	\$1,146,738.06	\$ 573,369.03	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31
6.2	Sistema de almacenamiento	\$ 1,124.35	\$ 562.17	\$ 43.24	\$ 43.24	\$ 43.24	\$ 43.24	\$ 43.24	\$ 43.24
	Subtotal	\$1,147,862.41							

Tabla 0.105 Cronograma valorado del mes 8 al 14, segunda parte [Elaboración propia].

No.	Descripción	P. total	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14
1	Seguridad de obra								
1.1	Colocación de estructuras metálicas para señalización.	\$ 385.40	\$ 192.70	\$ 14.82	\$ 14.82	\$ 14.82	\$ 14.82	\$ 14.82	\$ 14.82
1.2	Avisos de obra y rutas alternas.	\$ 299.60	\$ 149.80	\$ 11.52	\$ 11.52	\$ 11.52	\$ 11.52	\$ 11.52	\$ 11.52
1.3	Provisión e instalación de malla de protección.	\$ 9,720.00	\$ 4,860.00	\$ 373.85	\$ 373.85	\$ 373.85	\$ 373.85	\$ 373.85	\$ 373.85
1.4	Pasarela para zanja.	\$ 1,156.40	\$ 578.20	\$ 44.48	\$ 44.48	\$ 44.48	\$ 44.48	\$ 44.48	\$ 44.48
	Subtotal	\$ 11,561.40							
2	Obras preliminares								
2.1	Limpieza y desbroce del terreno.	\$ 1,496.91	\$ 748.45	\$ 57.57	\$ 57.57	\$ 57.57	\$ 57.57	\$ 57.57	\$ 57.57
2.2	Trazado y replanteo.	\$ 11,056.93	\$ 5,528.46	\$ 425.27	\$ 425.27	\$ 425.27	\$ 425.27	\$ 425.27	\$ 425.27
	Subtotal	\$ 12,553.83							
3	Pavimento asfáltico								
3.1	Rotura y desalojo de pavimentos.	\$ 52,688.00	\$ 26,344.00	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46	\$ 2,026.46
3.2	Reparación de la calzada.	\$ 140,264.00	\$ 70,132.00	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77	\$ 5,394.77
	Subtotal	\$ 192,952.00							
4	Movimientos de tierra								
4.1	Excavación a máquina, profundidad de 0 a 2 m.	\$ 29,052.32	\$ 14,526.16	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40	\$ 1,117.40

4.2	Excavación a máquina, profundidad de 2 a 4 m.	\$ 41,106.80	\$ 20,553.40	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03	\$ 1,581.03
4.3	Excavación a máquina, profundidad mayores de 4 m.	\$ 130,595.47	\$ 65,297.73	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90	\$ 5,022.90
4.4	Entibado metálico.	\$ 15,305.37	\$ 7,652.68	\$ 588.67	\$ 588.67	\$ 588.67	\$ 588.67	\$ 588.67	\$ 588.67
4.5	Nivelación de zanja.	\$ 16,082.80	\$ 8,041.40	\$ 618.57	\$ 618.57	\$ 618.57	\$ 618.57	\$ 618.57	\$ 618.57
4.6	Aplicación de material de mejoramiento.	\$ 55,464.08	\$ 27,732.04	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23	\$ 2,133.23
4.7	Cama de arena.	\$ 23,864.73	\$ 11,932.37	\$ 917.87	\$ 917.87	\$ 917.87	\$ 917.87	\$ 917.87	\$ 917.87
4.8	Compactación lateral con material granular.	\$ 84,224.21	\$ 42,112.11	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39	\$ 3,239.39
4.9	Reposición de material granular tipo lastre.	\$ 290,605.70	\$ 145,302.85	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14	\$ 11,177.14
4.10	Provisión e instalación de cintas.	\$ 2,010.35	\$ 1,005.18	\$ 77.32	\$ 77.32	\$ 77.32	\$ 77.32	\$ 77.32	\$ 77.32
4.11	Transporte y disposición del material excavado.	\$ 282,095.14	\$ 141,047.57	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81	\$ 10,849.81
	Subtotal	\$ 970,406.96							

Tabla 0.106 Cronograma valorado del mes 8 al 14, primera parte [Elaboración propia].

5	Sistema de alcantarillado								
5.1	Pozo de revisión de hormigón armado de 0 a 2m, incluye tapa de acero.	\$ 46,222.55	\$ 23,111.27	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79	\$ 1,777.79
5.2	Pozo de revisión de hormigón armado de 2 a 4m, incluye tapa de acero.	\$ 31,451.64	\$ 15,725.82	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68	\$ 1,209.68
5.3	Pozo de revisión de hormigón armado mayores de 4m, incluye tapa de acero.	\$ 5,967.25	\$ 2,983.63	\$ 229.51	\$ 229.51	\$ 229.51	\$ 229.51	\$ 229.51	\$ 229.51
5.4	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 160mm (6")	\$ 11,375.00	\$ 5,687.50	\$ 437.50	\$ 437.50	\$ 437.50	\$ 437.50	\$ 437.50	\$ 437.50
5.5	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 200mm (8")	\$ 20,886.00	\$ 10,443.00	\$ 803.31	\$ 803.31	\$ 803.31	\$ 803.31	\$ 803.31	\$ 803.31
5.6	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 250mm (10")	\$ 98,187.20	\$ 49,093.60	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43	\$ 3,776.43
5.7	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 315mm (12")	\$ 105,145.00	\$ 52,572.50	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04	\$ 4,044.04
5.8	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 355mm (14")	\$ 105,094.60	\$ 52,547.30	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10	\$ 4,042.10
5.9	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 400mm (16")	\$ 115,777.80	\$ 57,888.90	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99	\$ 4,452.99

5.10	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 450mm (18")	\$ 90,437.50	\$ 45,218.75	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37	\$ 3,478.37
5.11	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 500mm (20")	\$ 88,123.20	\$ 44,061.60	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35	\$ 3,389.35
5.12	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 595mm (24")	\$ 189,441.20	\$ 94,720.60	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20	\$ 7,286.20
5.13	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 670mm (27")	\$ 191,217.60	\$ 95,608.80	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52	\$ 7,354.52
5.14	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 747mm (30")	\$ 113,821.40	\$ 56,910.70	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75	\$ 4,377.75
5.15	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 823mm (33")	\$ 53,157.60	\$ 26,578.80	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52	\$ 2,044.52
5.16	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 898mm (36")	\$ 263,894.20	\$ 131,947.10	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78	\$ 10,149.78
5.17	Tubería PVC Alcantarillado Novafort S8 1051mm (42")	\$ 69,938.40	\$ 34,969.20	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94	\$ 2,689.94
	Subtotal	\$1,600,138.14							
6	SUDs								
6.1	Materiales e Instalación de los SUDs	\$1,146,738.06	\$ 573,369.03	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31	\$ 44,105.31
6.2	Sistema de almacenamiento	\$ 1,124.35	\$ 562.17	\$ 43.24	\$ 43.24	\$ 43.24	\$ 43.24	\$ 43.24	\$ 43.24
	Subtotal	\$1,147,862.41							

Tabla 0.107 Cronograma valorado del mes 8 al 24, segunda parte [Elaboración propia].

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se realizó un análisis del sistema propuesto, logrando una reducción del 38% en el volumen total de escorrentía, lo que permitió disminuir las profundidades de excavación y los diámetros necesarios de las tuberías. Este diseño optimizado resultó en la instalación de 136 tuberías, 136 pozos y 3 descargas, de las cuales 4 pozos requerirán estructuras de caída específicas para su adecuado funcionamiento.

El trazado del sistema fue modelado en el software libre SWMM, donde se verificó que cumple con la capacidad de la tubería, las velocidades y la fuerza tractiva requeridas para un funcionamiento adecuado. Los valores promedio obtenidos para estos parámetros son 0,60 m de relación H/D, 1,3 m/s de velocidad y 5,7 Pa de fuerza tractiva, garantizando así que el diseño cumple con los estándares de eficiencia hidráulica

El área total destinada a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDs) abarca 2.12 hectáreas, dentro de las cuales se consideraron soluciones como pavimentos permeables, alcorques estructurales, jardines de lluvia y cunetas verdes, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al manejo eficiente del agua pluvial.

El presupuesto total del proyecto asciende a \$3,935,474.73, distribuyéndose de la siguiente manera: un 39% destinado a la adquisición e instalación de tuberías, un 30% asignado al desarrollo e implementación de los SUDs, y un 25% correspondiente a las actividades de movimiento de tierras. Este desglose evidencia un enfoque equilibrado entre la infraestructura tradicional y las soluciones sostenibles.

Recomendaciones

Para garantizar el éxito del proyecto y su correcta implementación, es imprescindible realizar estudios adicionales que complementen la información utilizada durante el diseño. Entre ellos, destacan estudios detallados de las características del suelo en Puerto Villamil, ya que las condiciones locales podrían diferir significativamente de las asumidas en el proyecto. Asimismo, es fundamental desarrollar curvas IDF específicas para la zona, ya que se emplearon las de la isla Santa Cruz, lo cual introduce incertidumbre en los parámetros hidrológicos del diseño.

El presupuesto y el cronograma presentados en este proyecto son referenciales y deben ser ajustados durante la fase de ejecución. Se recomienda considerar factores adicionales como la logística asociada al transporte de materiales hacia la isla, la disponibilidad de mano de obra especializada y otros costos indirectos que puedan

surgir. También es crucial incluir un análisis detallado de los aspectos ambientales, como la mitigación de impactos durante la construcción y operación, así como los permisos ambientales necesarios para cumplir con la normativa vigente y proteger la biodiversidad única de la isla.

Además, se sugiere planificar la gestión de residuos de construcción y la recuperación de áreas intervenidas para minimizar el impacto en los ecosistemas locales. La coordinación con entidades locales y nacionales para la obtención de financiamiento, permisos y apoyo técnico será esencial para garantizar la viabilidad del proyecto a largo plazo.

Finalmente, es recomendable desarrollar un sistema de monitoreo continuo que permita evaluar el desempeño del sistema pluvial y ajustar su operación según las condiciones cambiantes del entorno. Este monitoreo, junto con la actualización de los datos hidrológicos y geotécnicos, contribuirá a mantener la sostenibilidad y eficacia del sistema en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abellán García, A. I., Cruz Pérez, N., & Santamarta, J. C. (2021a). Sustainable urban drainage systems in Spain: Analysis of the research on SUDS based on climatology. *Sustainability (Switzerland)*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/su13137258>
- Abellán García, A. I., Cruz Pérez, N., & Santamarta, J. C. (2021b). Sustainable urban drainage systems in Spain: Analysis of the research on SUDS based on climatology. *Sustainability (Switzerland)*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/su13137258>
- Allende-Prieto, C., Méndez-Fernández, B. I., Sañudo-Fontaneda, L. A., & Charlesworth, S. M. (2018). Development of a geospatial data-based methodology for stormwater management in urban areas using freely-available software. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph15081703>
- Anvigh, R. M., Silva, J. F., & Macedo, J. (2024). Designing Sustainable Drainage Systems as a Tool to Deal with Heavy Rainfall—Case Study of Urmia City, Iran. *Sustainability*, 16(17), 7349. <https://doi.org/10.3390/su16177349>
- Boogaard, F. C. (2022). Spatial and Time Variable Long Term Infiltration Rates of Green Infrastructure under Extreme Climate Conditions, Drought and Highly Intensive Rainfall. *Water (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/w14060840>
- Bouarafa, S., Lassabatere, L., Lipeme-Kouyi, G., & Angulo-Jaramillo, R. (2019). Hydrodynamic characterization of Sustainable urban Drainage Systems (SuDS) by using beerkan infiltration experiments. *Water (Switzerland)*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/w11040660>
- Chapa, F., Pérez, M., & Hack, J. (2020). Experimenting transition to sustainable urban drainage systems—identifying constraints and unintended processes in a tropical highly urbanized watershed. *Water (Switzerland)*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/w12123554>
- Charlesworth, S., Warwick, F., & Lashford, C. (2016). Decision-making and sustainable drainage: Design and scale. *Sustainability (Switzerland)*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/su8080782>
- Chow Ven Te. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*.

- De la Fuente García, L., Perales Momparler, S., Rico Cortés, M., Andrés Doménech, I., & Bautista Marco Segura, J. (2021). *Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València*.
- Dittmer, U., Bachmann-Machnik, A., & Launay, M. A. (2020). Impact of combined sewer systems on the quality of urban streams: Frequency and duration of elevated micropollutant concentrations. *Water (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/w12030850>
- Dong, Y., Han, Y., Han, X., Chen, Y., & Zhai, Y. (2024). Sewage Vertical Infiltration Introduced Polygenic Multipollutants into Groundwater. *Water*, 16(16), 2305. <https://doi.org/10.3390/w16162305>
- EMAAP-Q. (2009). *NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PARA LA EMAAP-Q*.
- Failache, M., Pons, N., Pejon, O., & Zuquette, L. (2022). Suitability Zoning for Sustainable Drainage Systems (SuDSs): Application in a Basin in Southern Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/su14052577>
- Francisco, T. H. S., Menezes, O. V. C., Guedes, A. L. A., Maquera, G., Neto, D. C. V., Longo, O. C., Chinelli, C. K., & Soares, C. A. P. (2023). The Main Challenges for Improving Urban Drainage Systems from the Perspective of Brazilian Professionals. *Infrastructures*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/infrastructures8010005>
- Fujimaki, H. (2021). Subsurface drainage and water-saving irrigation in sustainable agriculture. In *Water (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w13101332>
- Grigg, N. S. (2024). Stormwater Management: An Integrated Approach to Support Healthy, Livable, and Ecological Cities. *Urban Science*, 8(3), 89. <https://doi.org/10.3390/urbansci8030089>
- Hu, M., Zhang, X., Siu, Y. L., Li, Y., Tanaka, K., Yang, H., & Xu, Y. (2018). Flood mitigation by permeable pavements in Chinese sponge city construction. *Water (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/w10020172>
- INEN. (1997). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*.
- Indira, M., Silva, V., La, C., Jesús, A., Alfaro, A., Fabián, L., & Ramos, M. (2022). Diseño e implementación de jardines infiltrantes. Gobierno del Estado de

Colima: Instituto para el Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Colectivo Jardines de Lluvia.

- Jeon, M., Guerra, H. B., Choi, H., Kwon, D., Kim, H., & Kim, L. H. (2021). Stormwater runoff treatment using rain garden: Performance monitoring and development of deep learning-based water quality prediction models. In *Water (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 24). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w13243488>
- Jung, Y. E., Jeong, M. M., Jun, H., & Smith, T. (2023). Contemplation of Improvement Efforts to Manage Combined Sewer Overflows †. *Infrastructures*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/infrastructures8100150>
- Karamoutsou, L., Veliou, E., Kvernberg, E. B., & Psilovikos, A. (2024). Urban Stormwater Management: A Sustainable Approach. *Water (Switzerland)*, 16(15). <https://doi.org/10.3390/w16152089>
- Kravchenko, M., Wrzesiński, G., Pawluk, K., Lendo-Siwicka, M., Markiewicz, A., Tkachenko, T., Mileikovskiy, V., Zhovkva, O., Szymanek, S., & Piechowicz, K. (2024a). Improving Urban Stormwater Management Using the Hydrological Model of Water Infiltration by Rain Gardens Considering the Water Column. *Water (Switzerland)*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/w16162339>
- Kravchenko, M., Wrzesiński, G., Pawluk, K., Lendo-Siwicka, M., Markiewicz, A., Tkachenko, T., Mileikovskiy, V., Zhovkva, O., Szymanek, S., & Piechowicz, K. (2024b). Improving Urban Stormwater Management Using the Hydrological Model of Water Infiltration by Rain Gardens Considering the Water Column. *Water (Switzerland)*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/w16162339>
- Lim, F. Y., Neo, T. H., Guo, H., Goh, S. Z., Ong, S. L., Hu, J., Lee, B. C. Y., Ong, G. S., & Liou, C. X. (2021). Pilot and field studies of modular bioretention tree system with talipariti tiliaceum and engineered soil filter media in the tropics. *Water (Switzerland)*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/w13131817>
- López Cualla, R. Alfredo. (2000). *Diseño de acueductos y alcantarillados* (2a. ed.). Alfaomega.
- Lucke, T., Mohamed, M. A. K., & Tindale, N. (2014). Pollutant removal and Hydraulic reduction performance of field grassed swales during runoff simulation experiments. *Water (Switzerland)*, 6(7), 1887–1904. <https://doi.org/10.3390/w6071887>
- Martins Vaz, I. C., Antunes, L. N., Ghisi, E., & Thives, L. P. (2021). Permeable Pavements as a Means to Save Water in Buildings: State of the Art in Brazil. In *Sci* (Vol. 3, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/sci3040036>

- Muttill, N., Nasrin, T., & Sharma, A. K. (2023a). Impacts of Extreme Rainfalls on Sewer Overflows and WSUD-Based Mitigation Strategies: A Review. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w15030429>
- Muttill, N., Nasrin, T., & Sharma, A. K. (2023b). Impacts of Extreme Rainfalls on Sewer Overflows and WSUD-Based Mitigation Strategies: A Review. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w15030429>
- Neo, T. H., Xu, D., Fowdar, H., McCarthy, D. T., Chen, E. Y., Lee, T. M., Ong, G. S., Lim, F. Y., Ong, S. L., & Hu, J. (2022). Evaluation of Active, Beautiful, Clean Waters Design Features in Tropical Urban Cities: A Case Study in Singapore. *Water (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/w14030468>
- Novak, L., Kabelkova, I., Hora, D., & Stransky, D. (2023). Optimization of a Tree Pit as a Blue–Green Infrastructure Object. *Sustainability (Switzerland)*, 15(22). <https://doi.org/10.3390/su152215731>
- Ragazzi, M., Catellani, R., Rada, E. C., Torretta, V., & Salazar-Valenzuela, X. (2016). Management of urban wastewater on one of the Galapagos Islands. *Sustainability (Switzerland)*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/su8030208>
- Rodríguez-Rojas, M. I., Garrido-Jiménez, F. J., Abarca-Álvarez, F. J., & Vallecillos-Siles, M. R. (2024). Advances in the Integration of Sustainable Drainage Systems into Urban Planning: A Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/su16072658>
- Sañudo-Fontaneda, L. A., Roces-García, J., Coupe, S. J., Barrios-Crespo, E., Rey-Mahía, C., Álvarez-Rabanal, F. P., & Lashford, C. (2020). Descriptive analysis of the performance of a vegetated swale through long-term hydrological monitoring: A case study from coventry, uk. *Water (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/w12102781>
- Scholz, M. (2015). Sustainable drainage systems. In *Water (Switzerland)* (Vol. 7, Issue 5, pp. 2272–2274). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w7052272>
- Senes, G., Ferrario, P. S., Cirone, G., Fumagalli, N., Frattini, P., Sacchi, G., & Valè, G. (2021). Nature-based solutions for storm water management—creation of a green infrastructure suitability map as a tool for land-use planning at the municipal level in the province of Monza-Brianza (Italy). *Sustainability (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/su13116124>
- Shi, L., Maruthaveeran, S., Yusof, M. J. M., Zhao, J., & Liu, R. (2024). Exploring Herbaceous Plant Biodiversity Design in Chinese Rain Gardens: A Literature

- Review. In *Water (Switzerland)* (Vol. 16, Issue 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/w16111586>
- Verrot, L., Geris, J., Gao, L., Peng, X., Oyesiku-Blakemore, J., Smith, J. U., Hodson, M. E., Zhang, G., & Hallett, P. D. (2019). A simple modelling framework for shallow subsurface water storage and flow. *Water (Switzerland)*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/w11081725>
- Yang, S. R., Chen, X. R., Huang, H. X., & Yeh, H. F. (2024). Innovation in Water Management: Designing a Recyclable Water Resource System with Permeable Pavement. *Water (Switzerland)*, 16(15). <https://doi.org/10.3390/w16152109>
- Yeom, S., & Ahn, J. (2024). An Experimental Study of the Retention Effect of Urban Drainage Systems in Response to Grate Inlet Clogging. *Sustainability*, 16(17), 7596. <https://doi.org/10.3390/su16177596>
- Zhang, L., Ye, Z., & Shibata, S. (2020). Assessment of rain garden effects for the management of urban storm runoff in japan. *Sustainability (Switzerland)*, 12(23), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su12239982>
- Zhang, Y., Wang, E., & Gong, Y. (2024). A Structural Optimization of Urban Drainage Systems: An Optimization Approach for Mitigating Urban Floods. *Water (Switzerland)*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/w16121696>
- Zhang, Y., Zhao, W., Chen, X., Jun, C., Hao, J., Tang, X., & Zhai, J. (2021). Assessment on the effectiveness of urban stormwater management. *Water (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/w13010004>

Giancarlo Bravo Coello

Máster en Ingeniería Civil con Mención en Construcción y Saneamiento,
Ingeniero Civil graduado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Karla Paulina Bravo Coello

Máster en Arquitectura Mención en Proyectos Arquitectónicos y
Urbanos graduada en la Universidad San Gregorio de Portoviejo,
Arquitecta graduada en la Universidad de Guayaquil.

Clemencia Coello León

Doctora en Ciencias Pedagógicas en Enseñanza de la Matemática
(Pinar del Río – Cuba), Magister en Gerencia de Proyectos Educativos y
Sociales, Geóloga. Docente de la Universidad Técnica Estatal de
Quevedo.

ISBN: 978-9942-33-901-0



Compás
capacitación e investigación