

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE EN
EL DISTRITO DE HUANCAYO – REGIÓN DE JUNÍN CON
ADAPTACIÓN A ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y MODIFICACIÓN DE
LA NORMA TÉCNICA PERUANA CE.040**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Hylary Marina Vasquez Quispe

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Alfredo Miguel Valdivia Moya

ASESOR

Mitchel Jimmy Jara García

Lima, diciembre, 2023

Informe de Similitud

Yo, MITCHEL JIMMY JARA GARCIA, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la carrera de INGENIERIA CIVIL de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada:

DISEÑO DE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE EN EL DISTRITO DE HUANCAYO - REGIÓN DE JUNÍN CON ADAPTACIÓN A ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y MODIFICACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA PERUANA CE.040, de la autora HYLARY MARINA VASQUEZ QUISPE y el autor ALFREDO MIGUEL VALDIVIA MOYA, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 21 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 01/12/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 01 de diciembre de 2023

Apellidos y nombres del asesor: MITCHEL JIMMY JARA GARCIA	
DNI: 40418282	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4436-2858	

Resumen

La metodología de esta tesis es no experimental y se basa en la recopilación de datos directamente de planos de diseño, estaciones meteorológicas y otros documentos descriptivos de la zona de estudio, sin manipulación deliberada de variables, con un enfoque cuantitativo. El estudio se enfoca en la preparación urgente del distrito de Huancayo, especialmente su zona monumental, ante precipitaciones pluviales de 25 años de período de retorno. Se identifica la saturación de la red de alcantarillado en ocho puntos críticos en la zona monumental, resaltando la falta de preparación para eventos climáticos extremos y los notables impactos en la infraestructura y el funcionamiento de la ciudad incluso en lluvias de menor intensidad.

Tras un análisis exhaustivo de las técnicas de gestión de aguas pluviales, con un enfoque especial en cubiertas verdes y pavimentos permeables. Estas técnicas permiten la infiltración del agua de lluvia en el suelo, reduciendo el escurrimiento superficial y evitando la saturación de la red de drenaje. Asimismo, la capacidad de retener temporalmente el agua y liberarla gradualmente posibilita una gestión más efectiva de los picos de lluvia y mejora notablemente la calidad del agua. Se confirma que ambas opciones representan soluciones altamente prometedoras para mejorar significativamente la eficiencia en la gestión de aguas pluviales en Huancayo

Estas conclusiones respaldan firmemente la propuesta de diseñar un sistema de drenaje urbano sostenible del agua en Huancayo. Además de abordar las necesidades hidráulicas, las cubiertas verdes y los pavimentos permeables aportan beneficios ambientales y estéticos, alineándose con principios de sostenibilidad y fomentando la resiliencia de la ciudad ante eventos climáticos extremos.

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por ser nuestra fortaleza durante esta etapa de nuestras vidas.

Además, este trabajo debe ser reconocido al formar parte de una labor conjunta con nuestro asesor de tesis Mitchel Jimmy Jara García y en conjunto con todos aquellos profesores de la facultad que con su paciencia y dedicación supieron guiarnos para lograr el objetivo de la culminación del presente trabajo.

A mi compañero de tesis con quien he compartido momentos de logros y a su vez difíciles a lo largo de todo este tiempo de amistad, gracias por ese apoyo contante.

A nuestros padres que mediante su cariño, consejos, paciencia y comprensión permitieron que este proyecto llegue a concluirse ya que a base de nuestros valores y perseverancia nos enseñaron a lograr nuestros objetivos.

Tabla de Contenidos

Resumen	ii
Agradecimiento	iii
Tabla de Contenidos	iv
Índice de Figuras	viii
Índice de Tablas	x
Introducción	11
Contexto Marco Urbano	11
Contexto Marco Legislativo	12
Normativa Específica, Control y Manejo	13
Normativa Específica, Diseño	13
Preguntas de Investigación	14
Pregunta general	14
Pregunta específica	14
Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivo específico	15
Justificación	16
Marco Teórico	17
Introducción a la Gestión de Agua Pluvial	17
Sistema Urbano de Drenaje Sostenible	18
Clasificación de SUDS	20
Experiencias internacionales	33
Criterios de diseño	34
Inconvenientes al implementar SUDS	36

Métodos para el Análisis Hidrológico e Hidráulico	37
Parámetros de Importancia	37
Método Racional Modificado	41
Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia	43
Hietograma de Diseño	49
Modelamiento Hidrológico e Hidráulico	49
EPA SWMM 5.1	50
Herramientas EPA SWMM 5.1	50
Escenarios Climáticos y su Impacto en la Sostenibilidad	51
Escenario de Lluvias Intensas	51
Escenario de Sequía Prolongada	52
Escenario de Cambio Climático y Aumento del Nivel del Mar	52
Escenario de Urbanización Rápida	52
Escenario de Gestión de Aguas Pluviales	52
Escenario de Reutilización de Agua	53
Normativa Nacional e Internacional sobre drenaje urbano	53
Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial Del Reglamento Nacional De Edificaciones	53
Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos	54
Zona de Estudio	54
Descripción de la Zona de Estudio	54
Distrito De Huancayo	54
Capacidad Hidráulica Del Sistema De Drenaje Actual	56
Análisis De La Capacidad Hidráulica Del Sistema De Drenaje	59
Criterios Geográficos	60
Estudios Geológicos	60

Estudio Hidrológico	62
Metodología	63
Diseño de la Investigación	63
Delimitación Zona de Estudio	63
Recopilación De Datos	63
Levantamiento Fotográfico	65
Procedimiento	75
Recolección de Datos Previos al Diseño	75
Elección de los SUDS a Utilizar	76
Recolección de Parámetro para Modelación	80
Modelación	82
Análisis de los Resultados obtenidos	83
Modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040	84
Modelación	85
Resultados previos al modelamiento	85
Cálculo del hietograma para la zona de estudio	85
Elaboración de modelo básico	92
Modelación Red de Alcantarillado Existente	96
Modelación Red Existente con Cubierta Verde	98
Modelación Red Existente con Pavimento Permeable	106
Modelación Red Existente con Ambos SUDS	112
Modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040	114
Evaluación Crítica de la Normativa Actual en relación con el Drenaje Sostenible	114
Propuesta de Modificaciones y Mejoras para Incorporar en la Norma	116
Análisis y Discusión de Resultados	118

Comparación con el sistema de drenaje actual	118
Conclusiones y Recomendaciones	120
Conclusiones	120
Recomendaciones	122
Bibliografía	124

Índice de Figuras

Figura 1 Efectos de la Impermeabilización del Suelo Sobre la Escorrentía y la Infiltración .	17
Figura 2 Sección Transversal Típica de un Pavimento Permeable.....	24
Figura 3 Sistema de Pavimento Permeable (Tipo A - Infiltración Total).....	25
Figura 4 Sistema de Pavimento Permeable (Tipo B - Infiltración Total).....	25
Figura 5 Sistema de Pavimento Permeable (Tipo C - Infiltración Total).....	26
Figura 6 Sección Típica de una Cubierta Verde Extensiva y sus Componentes	32
Figura 7 Ubicación de la cuenca distrital de Huancayo.....	61
Figura 8	
Ruta seguida para levantamiento Fotográfico.....	64
Figura 9 Puntos críticos ubicado en las intersecciones del Jr. Loreto y la Calle Real.....	65
Figura 10 Punto crítico ubicado en las intersecciones del Jr. Loreto y el Jr. Ancash, cerca de la entidad SUNAT.....	66
Figura 11 Punto crítico ubicado en las intersecciones del Jr. Lima y el Jr. Ancash.....	67
Figura 12 Punto crítico ubicado en las intersecciones del Jr. Lima y la Calle Real cerca al ingreso del INEI.....	68
Figura 13 Punto crítico ubicado en las intersecciones de la Calle Real y el Paseo la Breña, esquina de la Casa del Artesano.....	69
Figura 14 Punto crítico ubicado en las intersecciones de la Calle Real y la Av. Giráldez, esquina de la Pollería LA LEÑA.	70
Figura 15 Cuneta que se une con el sistema de captación de aguas pluviales en las intersecciones de la Calle Real y la Av. Giráldez, esquina de la Pollería LA LEÑA.....	71
Figura 16 Punto crítico ubicado bajo el Puente Giráldez, entre el cruce de la Av. Giráldez y la Av. Ferrocarril.....	71
Figura 17 Comportamiento de la red de alcantarillo ante eventos fuertes de lluvia bajo el Puente Giráldez, entre el cruce de la Av. Giráldez y la Av. Ferrocarril.	72
Figura 18 Puente Giráldez inundado, entre el cruce de la Av. Giráldez y la Av. Ferrocarril.	73
Figura 19 Vertimiento de agua pluvial proveniente de la Av. Ferrocarril hacia la Av. Giráldez, entre el cruce de la Av. Giráldez y la Av. Ferrocarril.	74
Figura 20 Punto crítico ubicado en las intersecciones de la Calle Real y la Av. Giráldez, esquina de la Pollería LA LEÑA.	74
Figura 21 Guía de selección del tipo de sistema a emplear	78
Figura 22 Distribución de tipos de parámetros a utilizar en cubiertas verdes	80
Figura 23 Distribución de tipos de parámetros a utilizar en pavimento permeable	81

Figura 24 Sustento de poligonación en la cuenca de estudio	87
Figura 25 Curva intensidad, duración y Frecuencia - TR 30 años	90
Figura 26 Hietograma precipitación TR 30 años.....	91
Figura 27 Ingreso de datos del hietograma en el modelo	92
Figura 28 Delimitación de subcuencas en zona de estudio	93
Figura 29 Borrador de modelo de la zona de estudio	94
Figura 30 Modelo en EPA SWMM 5.1. de red de drenaje existente en el distrito de Huancayo	95
Figura 31 Capacidad de las tuberías del modelo básico antes de la precipitación	96
Figura 32 Capacidad de las tuberías del modelo básico en el punto máximo de la precipitación.....	97
Figura 33 Perfil de elevación de la red de alcantarillado en el punto máximo de la precipitación.....	98
Figura 34 Parámetros de la capa superficial de la Cubierta Verde.....	101
Figura 35 Parámetros de la capa intermedia de la Cubierta Verde.....	101
Figura 36 Parámetros de la capa drenante de la Cubierta Verde	102
Figura 37 Identificación de zona de impacto de la Cubierta Verde en la zona de estudio ...	103
Figura 38 Capacidad de las tuberías del modelo con cubierta verde en el punto máximo de la precipitación.....	105
Figura 39 Parámetros de la capa SURFACE del Pavimento Permeable	106
Figura 40 Parámetros de la capa PAVEMENT del Pavimento Permeable	107
Figura 41 Parámetros de la capa STORAGE del Pavimento Permeable.....	108
Figura 42 Parámetros de la capa DRAIN del Pavimento Permeable	108
Figura 43 Identificación de zona de impacto del Pavimento Permeable en la zona de estudio	109
Figura 44 Capacidad de las tuberías del modelo con pavimento permeable en el punto máximo de la precipitación.....	111
Figura 45 Perfil de elevación de la red de alcantarillado en el punto máximo de la precipitación.....	112
Figura 46 Capacidad de las tuberías del modelo con cubierta verde y pavimento permeable en el punto máximo de la precipitación	113

Índice de Tablas

Tabla 1 Técnicas de medidas estructurales	22
Tabla 2 Valores del coeficiente Kn.....	39
Tabla 3 Valores máximos recomendados de riesgo admisible	41
Tabla 4 Coeficiente de Duración (Lluvias entre 1 y 48 Horas)	46
Tabla 5 Parámetros de las Capas que Componen los SUDS	51
Tabla 6 Usos del Suelo en el Distrito de Huancayo.....	56
Tabla 7 Colectores principales en la localidad de Huancayo.....	57
Tabla 8 Longitud de colectores secundarias	58
Tabla 9 Coordenadas y precipitación máxima de las estaciones meteorológicas.....	86
Tabla 10 Ajuste de precipitación máxima con las diferentes distribuciones estadísticas.....	88
Tabla 11 Resume de resultado de Intensidad (mm/hr)	89
Tabla 12 Parámetros de SWMM para los diferentes escenarios.....	99
Tabla 13 Porcentaje de área cubierta de Cubierta Verde en subcuencas de zona de estudio	103
Tabla 14 Área de superficie permeable de las subcuencas que intervienen en la implementación del Pavimento Permeable de la zona de estudio	110
Tabla 15 Tabla Resumen de la Frecuencia de Inspecciones por Año según el tipo de Obra en las ciudades de la Región Junín	117

Introducción

Con la finalidad de desarrollar correctamente la tesis es importante definir el límite y el área que abarcará, por tal motivo, se optó por en marcar la tesis en los siguientes contextos: marco urbano y marco legislativo. Por un lado, el marco urbano permitirá conocer la situación actual frente a la implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible y el comportamiento actual de los drenajes. Por otro lado, en el marco legislativo, las diversas leyes y normas vigentes permitirán observar y evaluar el diseño de los drenajes en la actualidad.

Se incluirá las preguntas de investigación, las cuales se irán respondiendo a medida que se desarrollen los capítulos. Asimismo, se presentará nuestro objetivo principal y nuestros objetivos específicos. Los objetivos específicos son los pasos para llegar al objetivo principal, que es la finalidad de la tesis. Finalmente, se dará a conocer las razones por las cuales se escogió desarrollar este tema de tesis.

Contexto Marco Urbano

En la actualidad, la mayoría de las ciudades en Latinoamérica poseen un metabolismo urbano lineal, en cuanto a sistemas de drenajes pluviales, donde el ciclo del agua pluvial se cierra con el agua desembocando en ríos o mares, de las cuales, según la normativa reciben tratamiento antes de desembocar en estos recursos. Sin embargo, al juntarse también con aguas residuales, el volumen del agua aumenta, incrementando los costos energéticos y las infraestructuras en tratamiento. Por otro lado, está la contaminación de la escorrentía pluvial, que al evacuarse la red de alcantarillado causa problemas; por ejemplo, la saturación de la red saneamiento causando inundaciones que afectan el funcionamiento de la ciudad.

A lo largo de los años, el principal objetivo del sistema urbano de drenaje ha sido transportar la escorrentía lo más rápido posible fuera de la ciudad. En la actualidad, se busca diseñar sistemas urbanos de drenaje que permitan captar el agua y poder reutilizarla, de tal

manera que pueda crearse una ciudad sostenible y habitable con el uso del Sistema de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS), este término se explicará con más detalle posteriormente. Existen diferentes métodos para reutilizar el agua pluvial; por ejemplo, mediante la recirculación del agua de lluvia, con el fin de generar una ciudad con equilibrio hídrico, donde se pueda integrar la naturaleza a la vida urbana. Asimismo, el tratamiento de escorrentía para así garantizar su aprovechamiento en los diferentes ambientes urbanos.

La introducción de este nuevo concepto en nuestro actual sistema implicaría un nuevo diseño urbano, en el cuál sea posible implementar una red que divida las aguas blancas, aguas que proceden de efectos meteorológicos, de las aguas negras, agua obtenida después de la intervención humana. Y así conseguir un suministro de agua por calidades con la finalidad de llegar hacia un desarrollo sostenible.

Contexto Marco Legislativo

En nuestro país, el uso y la gestión de las aguas están bajo la responsabilidad de la Autoridad Nacional del Agua. Esta entidad es el ente rector y la máxima autoridad del sistema nacional de gestión de los recursos hídricos, creado mediante el Decreto Legislativo N° 997. Su función principal es asegurar el cumplimiento y la aplicación adecuada de la Ley N° 29338, también conocida como la Ley de Recursos Hídricos. La Autoridad Nacional del Agua tiene la tarea de garantizar la gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos en el país.

Por otro lado, en lo que respecta a la reutilización del agua pluvial para consumo, es necesario contar con un tratamiento y una infraestructura adecuados para su almacenamiento, así como una vía para su distribución. Sin embargo, cabe destacar que no existe una normativa específica para este tipo de reutilización, ya que se considera una alternativa sostenible en el diseño de los sistemas de drenaje. No obstante, es importante que se realicen estudios y se

establezcan lineamientos técnicos para asegurar la calidad del agua y garantizar la protección de la salud pública en el caso de su reutilización para consumo humano.

Normativa Específica, Control y Manejo

Esta ley tiene como principios, según el Artículo III, regir el uso y la gestión integrada de los recursos hídricos dentro del cual se encuentra el principio de sostenibilidad el cual menciona que:

“El uso y gestión sostenible del agua implica la integración equilibrada de los aspectos socioculturales, ambientales y económicos en el desarrollo nacional, así como la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.”

Normativa Específica, Diseño

Para el diseño de las estructuras drenaje y para la propuesta de modificación de la norma técnica CE.040 se tendrá en cuenta las siguientes normas, manuales y libros:

Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

Será usado como guía para el diseño de obras de drenaje superficial y subterránea de la infraestructura vial.

- Norma CE.040 Drenaje Pluvial: establece criterios generales de diseño para la elaboración de proyectos de Drenaje Pluvial Urbano lo que implica: recolección, transporte y evacuación.
- Norma OS.070 Redes de Aguas Residuales: establece criterios generales de diseño para la elaboración de proyectos de redes de alcantarillado de aguas residuales.

- Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile: técnica Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos: aborda los elementos claves del estudio de soluciones alternativas para el manejo de Aguas Pluviales en Chile.
- Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito: establece criterios generales de diseño para la elaboración de proyectos de Drenaje Pluvial Urbano lo que implica: recolección, transporte y evacuación

Por otro lado, para diseño de Concreto Permeable como alternativa de solución para canalizar las aguas pluviales se tomará como referencia a la norma ACI 522R-06 la cual nos provee información sobre métodos de diseño, materiales, propiedades, etc.

Preguntas de Investigación

Pregunta general

¿Cuáles son las medidas y estrategias más efectivas para diseñar un sistema de drenaje urbano sostenible en el distrito de Huancayo que sea resiliente a los cambios climáticos y que cumpla con las consideraciones de gestión de sedimentos propuestas para la modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040?

Pregunta específica

- ¿Cuál es el estado actual de los sistemas de drenaje en el distrito de Huancayo?
- ¿Cuáles son las áreas críticas de la ciudad de Huancayo que presentan mayor vulnerabilidad frente a un evento de inundación pluvial?
- ¿Cómo los cambios climáticos podrían afectar la eficiencia y eficacia del sistema de drenaje propuesto?

- ¿Cuáles son las técnicas de infiltración y retención de aguas pluviales que podrían ser incluidas en el diseño de un sistema de drenaje sostenible para el distrito de Huancayo?
- ¿Qué modificaciones podrían realizarse a la Norma Técnica Peruana CE.040 para incorporar la gestión de sedimentos en los sistemas de drenaje urbano?
- ¿Qué aspectos son necesarios para evaluar la efectividad del sistema de drenaje propuesto a través del modelamiento y la simulación de un evento de lluvia?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema de drenaje urbano sostenible para el distrito de Huancayo que sea resiliente a los cambios climáticos y proponer modificaciones a la Norma Técnica Peruana CE.040 con respecto a la gestión de sedimentos.

Objetivo específico

- Realizar un diagnóstico del estado actual de los sistemas de drenaje en el distrito de Huancayo.
- Identificar las áreas críticas de la ciudad que presentan mayor vulnerabilidad frente a un evento de inundación pluvial.
- Analizar el impacto de los cambios climáticos en el sistema de drenaje propuesto.
- Diseñar un sistema de drenaje sostenible que incluya técnicas de infiltración, retención y tratamiento de aguas pluviales.

- Proporcionar una revisión y propuesta de modificaciones a la Norma Técnica Peruana CE.040 para incorporar la gestión de sedimentos en los sistemas de drenaje urbano.
- Evaluar la efectividad del sistema de drenaje propuesto a través del modelamiento y la simulación de un evento de lluvia.

Justificación

En el Perú, uno de los grandes desafíos radica en la mínima ingeniería necesaria utilizada en la implementación de sistemas de drenaje pluvial. Este problema es especialmente evidente en las regiones de la sierra, donde las intensas lluvias durante un periodo de aproximadamente 4 a 5 meses causan estragos en las áreas urbanas. Una de las regiones más afectadas por esta problemática es Junín, específicamente el distrito de Huancayo, donde en los últimos años las calles se inundan y se dañan debido a un sistema de drenaje ineficiente y obsoleto. Ante esta situación, se consideró la posibilidad de crear un ciclo sostenible de uso del agua pluvial, ya sea mejorando el sistema de drenaje existente o implementando uno nuevo que regule las frecuentes inundaciones en el distrito y aproveche el volumen de agua pluvial desaprovechado.

Marco Teórico

En este capítulo, se desarrollará una perspectiva teórica a través de la revisión exhaustiva de diseños existentes a nivel nacional e internacional. El propósito es generar conocimiento y comprensión basados en la información obtenida. Además, se explicarán conceptos de importancia primordial que resultan necesarios para llevar a cabo un análisis adecuado y demostrar la eficacia del sistema propuesto en comparación con el diseño actual. Se introducirá el concepto de sostenibilidad como una parte fundamental de este análisis, respaldando la teoría presentada con cálculos pertinentes y precisos.

Introducción a la Gestión de Agua Pluvial

Es ampliamente conocido que el agua pluvial, al llegar al suelo, sigue un curso natural en el que parte de ella se infiltra, siendo utilizada por las plantas o convirtiéndose en agua subterránea. Sin embargo, otra parte del agua de lluvia se desplaza superficialmente, lo que se denomina flujo superficial, y contribuye al abastecimiento de cursos de agua como ríos, lagos y arroyos. No obstante, la presencia de actividades urbanas altera significativamente este proceso natural. Como se muestra en la Figura 1, los efectos de la urbanización alteran principalmente en la capacidad de infiltración de las aguas pluviales.

Figura 1

Efectos de la Impermeabilización del Suelo Sobre la Escorrentía y la Infiltración



Nota. Esta figura muestra en 04 imágenes los diferentes escenarios del efecto de la impermeabilización del suelo urbano.

En un área no poblada, llega a infiltrarse aproximadamente un 50 % del agua de lluvia y un 10 % se convierte en escorrentía; pero al tener un área con densidad poblacional alta, el porcentaje de infiltración disminuye excesivamente y el porcentaje de escorrentía se incrementa lo que finalmente termina alimentando a los sistemas de drenaje diseñados.

El desarrollo urbano altera sustancialmente la hidrología de las cuencas donde se produce. En particular, se modifican la red de drenaje y el proceso de transformación lluvia-escorrentía. Como consecuencia de la actividad urbanizadora, los cauces naturales que conformaban la red hidrográfica original suelen ser profundamente alterados, lo que afecta de forma directa a su capacidad de desagüe y por tanto se propicia la existencia de inundaciones. (Dolz Ripollès & Gómez, 1994)

El crecimiento urbano y los cambios en el paisaje tienen un impacto en el flujo natural del agua de lluvia, lo cual genera una serie de desafíos significativos. Uno de los problemas más destacados derivados de un desarrollo urbano desorganizado son las inundaciones. Estas inundaciones ocurren debido a la capacidad insuficiente de los sistemas de drenaje existentes para recolectar el agua pluvial, así como a la falta de mantenimiento y limpieza adecuados de los sistemas de recolección. Además, la disminución de áreas verdes en los entornos urbanos también representa un problema, ya que reduce la capacidad de infiltración del suelo, como se muestra en la Figura 1.

Sistema Urbano de Drenaje Sostenible

Es crucial explorar y analizar las diferentes definiciones de sistemas de drenaje sostenible propuestas por diversos autores. Tener una comprensión clara de las diversas definiciones de sistemas de drenaje sostenible, facilita la identificación de posibles sinergias y enfoques

integrados que puedan optimizar los resultados en términos de eficiencia hídrica, gestión de aguas pluviales y preservación del medio ambiente.

These systems are designed both to manage the environmental risks resulting from urban runoff and to contribute wherever possible to environmental enhancement. So SuDS objectives are to minimize the impacts from the development on the quantity and quality of the runoff and maximize amenity and biodiversity opportunities [Estos sistemas están diseñados tanto para gestionar los riesgos ambientales resultantes de la escorrentía urbana como para contribuir siempre que sea posible al medio ambiente. Entonces, los objetivos de los SUDS son minimizar los impactos del desarrollo en la cantidad y calidad de la escorrentía, y maximizar las oportunidades de amenidad y biodiversidad] (Wood-Ballard, et al., 2015, p. 39).

El objetivo principal de los sistemas de drenaje sostenible es reducir la escorrentía superficial. Además, estos sistemas de drenaje sostenible deben ser capaces de brindar soluciones efectivas y adaptativas, considerando la variabilidad climática y los cambios en los patrones de precipitación, para garantizar un manejo adecuado de las aguas pluviales en diferentes contextos y escenarios. De esta manera, se fomenta la eficiencia hídrica y se minimiza el impacto ambiental, promoviendo un desarrollo sostenible y resiliente frente a los desafíos del cambio climático.

Un sistema de drenaje pluvial sostenible está conformado por un conjunto de elementos de la infraestructura hidráulica urbana integrados con el objetivo de captar, filtrar, retener, transportar, almacenar e infiltrar el agua pluvial al terreno de forma que permita eliminar, de modo natural, su carga contaminante e intento

reproducir el máximo el ciclo hidrológico natural previo al proceso urbanizador (Sánchez, 2009, p. 19).

Tanto la primera como la segunda premisa proporcionan una visión detallada y completa del amplio espectro de factores que abarca un sistema de drenaje urbano sostenible. Estas premisas nos permiten adentrarnos en la complejidad y diversidad de aspectos a considerar, desde el diseño hidráulico y la gestión de aguas pluviales hasta la integración en el entorno urbano y la planificación a largo plazo. Al analizar estos diversos elementos de manera minuciosa, se logra una comprensión más sólida y holística de los desafíos y oportunidades asociados con la implementación de sistemas de drenaje sostenible en áreas urbanas. Además, esta comprensión enriquecida nos brinda las bases necesarias para tomar decisiones informadas y desarrollar estrategias efectivas que promuevan una gestión del agua eficiente, una protección ambiental adecuada y una mejora de la calidad de vida en nuestras ciudades.

Clasificación de SUDS

Con el paso del tiempo, se han explorado diversas metodologías para la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible a nivel global. En consecuencia, en la actualidad, nos encontramos con una amplia diversidad de modalidades de SUDS, adaptadas a las necesidades y particularidades de cada región. “Runoff storage can be provided within an on-site system through the use of structural controls and/or nonstructural features and landscaped areas” [El almacenamiento de escorrentía se puede proporcionar dentro de un sistema en el sitio mediante el uso de controles estructurales y/o características no estructurales y áreas ajardinadas] (Wood-Ballard, et al., 2015, p. 130). Esta clasificación es ampliamente utilizada por diversos autores debido a su simplicidad y su capacidad para englobar la gran cantidad de controles existentes. Su enfoque simple permite una comprensión accesible y facilita la implementación de los controles en diferentes contextos.

Medidas No Estructurales. Se conoce con tal denominación a “Las medidas no estructurales o preventivas son aquellas que no precisan ni actuación directa sobre la red, ni la construcción de ningún tipo de infraestructura” (Fuente, 2015, p. 13). Los objetivos fundamentales de estos tipos de SUDS son, en primer lugar, prevenir la contaminación del agua al minimizar cualquier agente que pueda influir en ella. Adicionalmente, buscan evitar la transferencia de agua de escorrentía hacia zonas de menor altitud, impidiendo su contacto con cualquier elemento contaminante. De acuerdo con Lasa (2015) en el capítulo 1 de Tipología de SUDS "existen diferentes medidas no estructurales; por ejemplo, programas de educación y participación de los ciudadanos con la finalidad de concientizar sobre la importancia de estos, minimizar superficies impermeables para reducir la escorrentía, reutilización del agua pluvial, entre otros".

Por consiguiente, se puede inferir que un SUDS no estructural administra la escorrentía incidiendo de manera indirecta sobre la red de drenaje pluvial. Estas medidas no estructurales complementan las soluciones estructurales en la gestión del agua, abordando aspectos clave como la concienciación, la prevención de la contaminación y la promoción de prácticas sostenibles. Su implementación integral contribuye a lograr una gestión del agua más efectiva, sostenible y resiliente.

Medidas Estructurales. Se reconoce como tal a las “medidas que se encargan de gestionar la escorrentía contaminada mediante algunos elementos constructivos como pueden ser las cubiertas ecológicas, superficies permeables y franjas filtrantes, entre otros” (Valdivieso, nd.). En consonancia con la organización CIRIA, dichos sistemas pueden categorizarse en diferentes técnicas: infiltración, filtración, medidas que incorporan vegetación y métodos de detención y retención. A continuación, se proporcionarán ejemplos de cómo se aborda la escorrentía mediante medidas estructurales, siguiendo la clasificación propuesta por la organización

CIRIA. Estos ejemplos se ilustrarán detalladamente en la Tabla 1: técnicas de medidas estructurales.

Tabla 1

Técnicas de medidas estructurales

Grupos SUDS	Técnica
Infiltración	Pozos de Infiltración
	Zanjas de Infiltración
	Pavimentos Permeables
Filtración	Área de Biorretención
	Zanja Filtrante
Detención y Retención	Depósitos Enterrados o Superficiales de retención
	Estanques de Retención
	Drenaje Geocelular
Uso de Vegetación	Cubiertas Verdes
	Humedales

Nota. En la siguiente tabla se muestran ejemplos de los diferentes sistemas urbanos de drenaje sostenible.

Técnica de Infiltración. La función esencial de estas técnicas radica en posibilitar la infiltración de agua de lluvia en el suelo, lo cual promueve una eficaz recarga del mismo. De este modo, se minimiza el volumen de escorrentía superficial a gestionar por el sistema de drenaje, optimizando su rendimiento. Dentro de las técnicas de infiltración más frecuentemente utilizadas en los SUDS, se encuentran:

- **Pozos de Infiltración:**

También conocidos como pozos secos o sumideros de infiltración, estos consisten en excavaciones profundas rellenas de material permeable que facilitan la infiltración rápida del agua de lluvia en el suelo.

- **Zanjas de Infiltración**

Estas son trincheras llenas con un material poroso, como podría ser grava o rocas, diseñadas para recolectar el agua de escorrentía e infiltrarla en el suelo circundante. En ocasiones, se combinan con tuberías perforadas para optimizar el proceso de infiltración.

- **Concreto Permeable**

Los concretos permeables son pavimentos construidos con el objetivo de permitir que el agua atraviese el pavimento. De esta forma, la escorrentía se infiltre en el terreno o que sea captada, retenida para luego ser gestionada por alguna estructura para su posterior reutilización.

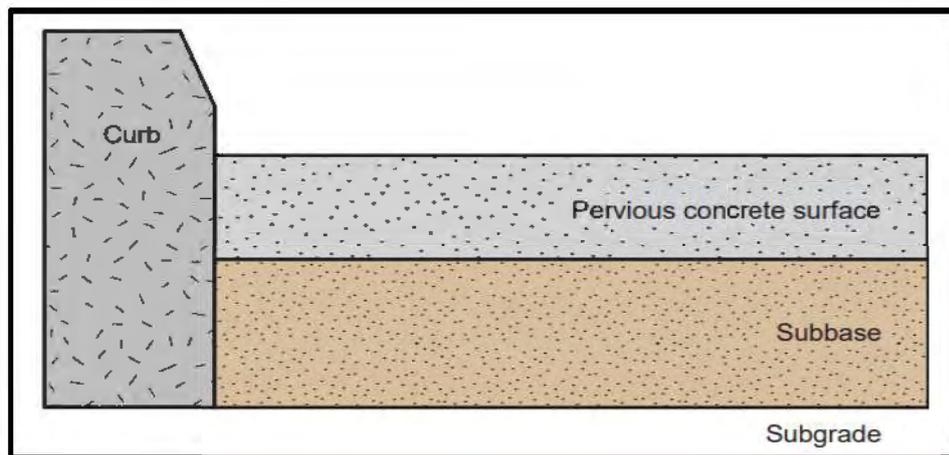
Una de las alternativas a emplear es la implementación de pavimento permeable en las áreas urbanas. Como bien se sabe, gran volumen de escorrentía proveniente de las precipitaciones no llega a infiltrarse en el pavimento y por ende esta escorrentía es trasladada hacia los colectores más cercanos para así continuar con el desfogue usual. Estas aguas pluviales no son aprovechadas, también se es conocido que su volumen llega a superar a la capacidad de la red de drenajes. El pavimento permeable tiene la capacidad de incrementar la infiltración y de esa manera reducir la escorrentía en las avenidas o calles; uno de sus propósitos es recolectar el agua de lluvia lo más rápido posible para así no tener un gran volumen de escorrentía superficial a su vez el agua infiltrada llegaría a ser canalizada para riego de parques y jardines aledaños a tal estructura.

Su uso es fundamental para la recarga aguas subterráneas ya que tiene la capacidad de reducir la escorrentía de aguas pluviales. El uso de esta alternativa cumple con la regulación de aguas pluviales de la Agencia de Protección Ambiental (EPA). De hecho, el uso de hormigón permeable se encuentra entre los mejores Prácticas de manejo (BMP) recomendadas por la EPA para la gestión de la escorrentía de aguas pluviales en un base regional y local. Esta

tecnología de pavimento crea uso de la tierra más eficiente al eliminar la necesidad de retención como estanques, cunetas y otros dispositivos de gestión de aguas pluviales. (Paul et al., 2004).

Figura 2

Sección Transversal Típica de un Pavimento Permeable

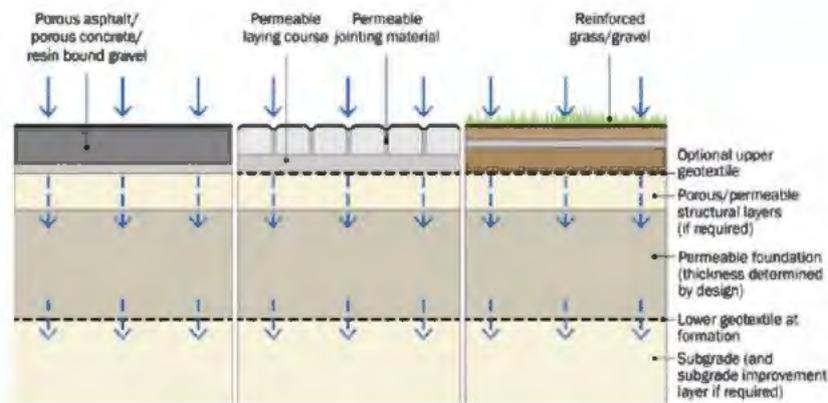


Nota. Adaptada de SUDS Manual, de CIRIA, 2015 (www.scotsnet.org.uk). EC1A 9PN.

A continuación, se expondrán los tres principales tipos de pavimento permeable, detallando sus características y ventajas.

- Tipo A

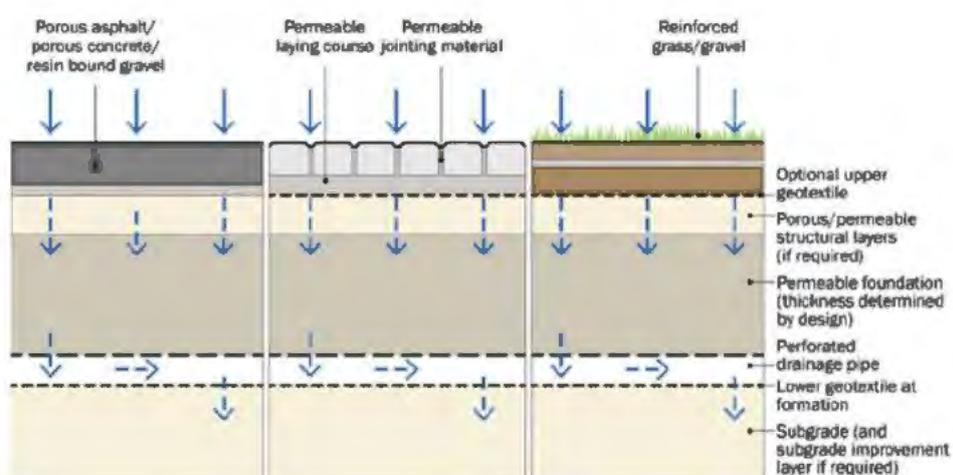
En este sistema, la lluvia pasa por toda la estructura, pero el agua no llega a descargar en ningún alcantarillado o curso de agua existente, pero, este sistema debe contar con un desborde de emergencia en caso haya eventos que sobrepasen al evento de diseño.

Figura 3*Sistema de Pavimento Permeable (Tipo A - Infiltración Total)*

Nota. Adaptada de SUDS Manual, de CIRIA, 2015 (www.scotsnet.org.uk). EC1A 9PN.

- Tipo B

En este caso, la porción de agua que exceda la capacidad de infiltración será trasladada hacia un sistema de drenaje recolector lo cual puede ocurrir a través de un sistema de drenaje directo o a través de tuberías perforadas. De esta manera, al ya no tener acumulación de agua por encima de la subrasante, se reduce el riesgo respecto a la estabilidad del suelo.

Figura 4*Sistema de Pavimento Permeable (Tipo B - Infiltración Total)*

Nota. Adaptada de SUDS Manual, de CIRIA, 2015 (www.scotsnet.org.uk). EC1A 9PN

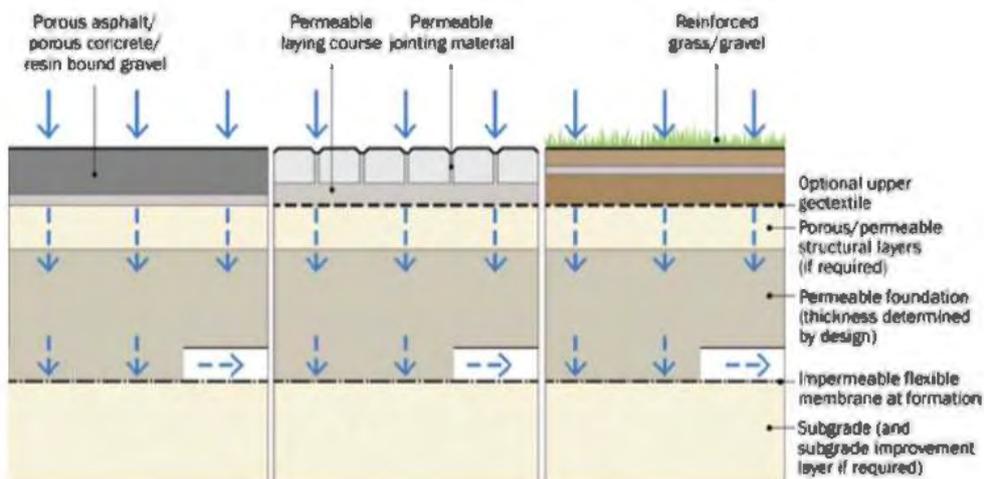
En la Figura 4, se puede apreciar que existe una infiltración parcial proveniente de las precipitaciones cuyo exceso llega a ser trasladado mediante un sistema de drenaje directo o por perforaciones en tuberías.

- Tipo C

Para este caso, el sistema se encuentra envuelto en una membrana impermeable y flexible la cual es colocada en la subrasante haciendo que el agua acumulada sea transportada a través de tuberías perforadas o desagües aleta. Este tipo de sistema que emplea una membrana impermeable suele ser utilizado cuando: Se tiene la presencia de un suelo de baja permeabilidad o resistencia (el cual se puede ver dañado con la infiltración de agua), en caso el agua vaya a recolectarse y ser utilizada y cuando el sitio se encuentra contaminado y debe minimizarse el riesgo de movilización de contaminantes.

Figura 5

Sistema de Pavimento Permeable (Tipo C - Infiltración Total)



Nota. Adaptada de SUDS Manual, de CIRIA, 2015 (www.scotsnet.org.uk). EC1A 9PN

En la Figura 5, se aprecia una infiltración total el cual con una conexión directa hacia un sistema de drenaje.

Técnica de filtración. La técnica de filtración es esencial para gestionar de manera efectiva el agua de lluvia en entornos urbanos. Este enfoque involucra la captación de agua de lluvia desde superficies urbanas, seguida de sistemas de pretratamiento para eliminar sedimentos y contaminantes. Luego, el agua se dirige a áreas de filtración, como Áreas de Biorretención y Zanjas Filtrantes, donde la filtración física y biológica permite eliminar contaminantes y purificar el agua de manera natural. La técnica finaliza con la infiltración en el suelo o el almacenamiento controlado, reduciendo la escorrentía y previniendo inundaciones. El mantenimiento constante es fundamental para asegurar su eficacia.

La filtración en SUDS representa una herramienta valiosa que no solo aborda los problemas de manejo de aguas pluviales en áreas urbanas, sino que también promueve la sostenibilidad y la creación de espacios verdes en las ciudades, contribuyendo así a un desarrollo urbano más resiliente y sostenible.

El proceso comienza con la captura del agua de lluvia, redirigiéndola hacia estas estructuras en lugar de permitir su flujo directo hacia el sistema de alcantarillado convencional. Una vez almacenada temporalmente, el agua es liberada de forma controlada a través de salidas reguladas después de la tormenta o cuando la capacidad de almacenamiento se acerca a su límite. Esta liberación gradual evita sobrecargas repentinas en el sistema de drenaje y reduce el riesgo de inundaciones.

Entre los beneficios de esta técnica se incluye la reducción del riesgo de inundaciones al controlar el flujo de agua pluvial y mejorar la calidad del agua a través de la filtración durante el almacenamiento temporal. Además, se fomenta la conservación del agua, ya que el agua almacenada se puede reutilizar para riego y otros usos no potables. Estas instalaciones también proporcionan beneficios ambientales al crear hábitats para la vida silvestre y mejorar la apariencia estética de las áreas urbanas.

Técnica de Detención y Retención. La técnica de detención y retención en sistemas urbanos de drenaje sostenible representa una estrategia esencial para abordar la gestión de las aguas pluviales de manera más efectiva en entornos urbanos.

En primer lugar, la detención de agua pluvial implica la retención temporal de las precipitaciones en áreas específicas o estructuras designadas, con el objetivo de evitar que ingresen rápidamente al sistema de alcantarillado o generen inundaciones. Estas áreas de detención pueden variar, desde embalses y estanques hasta zanjas de infiltración y techos verdes, cumpliendo un papel significativo en la mitigación de riesgos hídricos.

Por otro lado, la retención de agua pluvial consiste en almacenar temporalmente el agua proveniente de la lluvia durante un período más prolongado antes de liberarla de manera gradual. Este almacenamiento puede realizarse a través de diversos sistemas, como tanques de retención o sistemas de infiltración subterránea. La finalidad es retrasar la liberación del agua para reducir la carga sobre los sistemas de drenaje y evitar sobrecargas que puedan desencadenar problemas significativos en la infraestructura.

La gestión sostenible de las aguas pluviales es un pilar fundamental en esta estrategia. Se basa en la adopción de prácticas y tecnologías que minimicen el impacto ambiental y fomenten la reutilización del agua siempre que sea viable. Esto puede implicar el uso de técnicas de filtración natural, la captación de aguas pluviales para riego o uso doméstico, y la preservación de hábitats acuáticos, contribuyendo así a un ciclo más equilibrado y sostenible del agua en el entorno urbano.

Los beneficios derivados de la detención y retención de aguas pluviales son significativos y van desde la reducción de inundaciones y la mejora en la calidad del agua hasta la recarga de acuíferos subterráneos. Además, la creación de espacios verdes en entornos urbanos y la

conservación de los valiosos recursos hídricos son aspectos clave que subrayan la importancia de esta técnica para un desarrollo urbano más responsable.

Para lograr una implementación efectiva de esta técnica, es esencial considerar factores, como la capacidad de retención, la velocidad de liberación, la ubicación precisa de las estructuras de detención y retención, la topografía local y la calidad del suelo. Finalmente, el mantenimiento regular de los sistemas de detención y retención de aguas pluviales es fundamental para garantizar su funcionamiento óptimo. Esto incluye tareas como la limpieza de estructuras, la eliminación de sedimentos y la reparación de posibles daños, aspectos importantes para mantener la eficacia de la técnica y asegurar sus beneficios a lo largo del tiempo.

Técnica de Uso de Vegetación. La integración de vegetación en sistemas urbanos de drenaje sostenible representa una estrategia para abordar los desafíos de gestión del agua en entornos urbanos de manera ecológica y sostenible. Esta técnica, también conocida como infraestructura verde, busca emular procesos naturales y reducir la escorrentía de agua de lluvia, a la par que fomenta la calidad del agua y promueve espacios verdes en el ámbito urbano.

Una de las prácticas clave en este enfoque es la implementación de cubiertas verdes [Green Roof] los cuales involucran cubrir las superficies de edificios con vegetación y sustrato adecuado. Estos techos tienen la capacidad de absorber agua de lluvia, reducir la escorrentía y contribuir a mitigar el efecto isla de calor urbano, al tiempo que añaden una dimensión ambientalmente amigable a la arquitectura.

Otra estrategia es la creación de jardines de lluvia, áreas ajardinadas diseñadas para recolectar y tratar el agua de lluvia proveniente de superficies impermeables cercanas. Estos jardines utilizan vegetación para absorber y filtrar el agua antes de su ingreso al sistema de alcantarillado, fomentando así un manejo más eficiente y sostenible del agua pluvial.

Además, las zanjas de infiltración vegetada son esenciales en este contexto. Estas estructuras, que consisten en canales ajardinados con vegetación adecuada, permiten un flujo lento del agua de lluvia, facilitando su filtración y retención de contaminantes antes de que alcance los cuerpos de agua circundantes.

Asimismo, los estanques y humedales artificiales con su combinación de vegetación acuática y terrestre retienen y tratan eficazmente el agua de lluvia, destacando especialmente en la eliminación de contaminantes, y al mismo tiempo, aportan un valor estético y ecológico a la comunidad urbana.

Por otro lado, el arbolado urbano es una forma efectiva de integrar vegetación en el entorno urbano. La plantación estratégica de árboles no solo proporciona sombra y mejora la calidad del aire, sino que también facilita la absorción del agua de lluvia y reduce la escorrentía, contribuyendo así a un manejo más balanceado y sostenible de los recursos hídricos en la ciudad.

En conclusión, la implementación de estos sistemas de vegetación en la infraestructura urbana no solo contribuye a una gestión más sostenible del agua, sino que también aporta a la creación de entornos urbanos más verdes, saludables y resilientes en el largo plazo.

Cubiertas Verdes. o [Green Roof] son áreas cubiertas por vegetación que se instalan en la cima de las edificaciones que proveen una serie de beneficios en ámbito ecológico, arquitectónico y principalmente en la reducción de escorrentía que circula aguas abajo. Como se mencionó en introducción a la gestión pluvial, en diversas ciudades, los techos, ya sea de concreto o de tejas, suponen del 50% a 80% de la superficie. Es por ello, que surge la idea de implementar cubiertas vegetales, las cuales tienen como objetivo filtrar, retener y controlar la generación de escorrentía, además de aportar mejora micro climática en las edificaciones.

Existen dos tipos de cubierta verde, a continuación, se hará mención y descripción de cada una de ellas (Woods-Ballard et al., 2007).

- Cubiertas Verdes Extensivas

Este sistema cubre aproximadamente toda el área techada de la edificación con un tapiz de crecimiento lento y bajo mantenimiento dependiendo principalmente de la vegetación a usar, en el caso de césped su mantenimiento es mayor. El acceso a este será solamente para su mantenimiento y esta podrá ser inclinada o plana. Este sustrato de bajo espesor se encuentra entre los 2 cm a 15 cm, conformado por diferentes capas cumpliendo cada una de ellas una función; este espesor no genera cargas elevadas en la edificación. Su ligereza y su bajo mantenimiento hace que este tipo de cubierta verde pueda ser usado en diferentes localidades con una intervención mínima.

- Cubiertas Verdes Intensivas

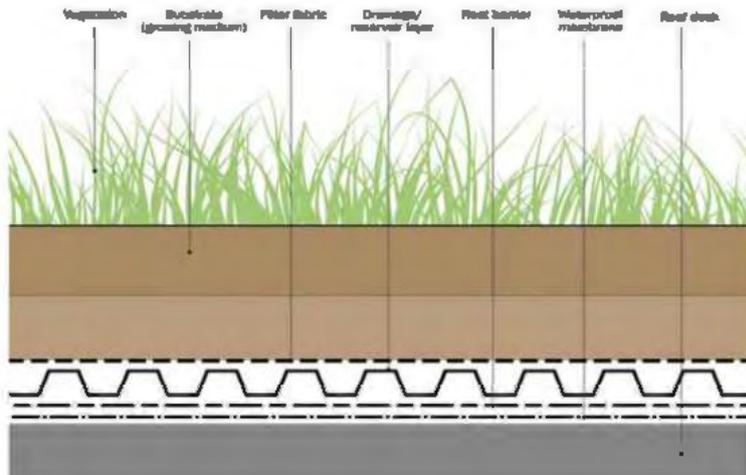
Las cubiertas verdes intensivas o también conocidas como jardines en el techo son diseñados para sostener un nivel más complejo de vegetación que provee grandes beneficios. En estos se puede plantar una gran variedad de tipos de plantas incluyendo desde césped hasta árboles. Al ser más complejo su sistema este ya considera las características de agua, almacenamiento de esta para su posterior irrigación. Estos son de fácil acceso, en algunos casos esa área está abierta al público; y al ser un sistema complejo requieren de un elevado costo de mantenimiento.

Existe también otra categoría de este tipo de cubierta verdes que son los semi intensivos estos se encuentran en un rango de 10 a 20 cm de espesor total, donde se incluye características de ambos tipos de cubiertas. La irrigación y mantenimiento de la especie de planta que se escogió para el diseño. Las cubiertas verdes pueden ser utilizadas en local residencial, comercial, industrial y edificios públicos.

En la siguiente Figura se mostrará un esquema conceptual de todos los componentes y capas del Green Roof.

Figura 6

Sección Típica de una Cubierta Verde Extensiva y sus Componentes



Nota. Adaptada de SUDS Manual, de CIRIA, 2015 (www.scotsnet.org.uk). EC1A 9PN

Se aprecia que en la Figura 6, se señala todas las partes que la cubierta verde comprende. En primer lugar, iniciando desde la parte superior, se observa una capa de vegetación. Luego se encuentra la capa de sustrato de 2 a 15 cm para cubiertas extensivas y de >15 cm para intensivas. Después una lámina geotextil filtrante, en algunos casos se implementa una capa de aislante térmico. Posterior a este se considera una barrera antirraíces para que no dañen la estructura del techo. Finalmente, una membrana impermeable para prevenir que la escorrentía dañe la estructura del edificio. Por otro lado, se debe incluir en el diseño un sumidero con filtro de hojas y alrededor de este una capa de gravas con el objetivo de retener sedimentos y evitar que el sumidero se bloquee.

A pesar de los numerosos beneficios que las cubiertas verdes presentan, existen algunas limitaciones; por ejemplo, que las cubiertas verdes solo son efectivas en eventos de lluvia corto, puede requerir mantenimiento puntual con el fin de que la vegetación sea constante y duradera, el incremento de su carga pueda que genere que sea necesario reforzar la estructura.

Experiencias internacionales

Se exploran las experiencias internacionales en sistemas de drenaje sostenible (SUDS) que han abordado eficazmente la gestión del agua pluvial en zonas urbanas. Durante mucho tiempo, los sistemas de drenaje pluvial se centraron en evacuar rápidamente el agua de lluvia para prevenir inundaciones. Sin embargo, esta aproximación no consideraba el caudal que podía formarse y, como resultado, los sistemas se saturaban y no cumplían su propósito inicial.

Australia se destaca como uno de los países que han implementado diseños innovadores de SUDS para gestionar eficazmente el agua pluvial. Su enfoque se basa en la reutilización del agua de acuerdo con su calidad. Estos diseños incorporan sistemas de almacenamiento, filtración y reciclaje del agua pluvial, reduciendo la demanda de agua potable y aliviando la presión sobre los sistemas de drenaje convencionales.

El Reino Unido es un líder en la implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible. El gobierno ha establecido regulaciones que requieren la incorporación de SUDS en el paisaje urbano, impulsando su adopción a nivel nacional. Además, el país contribuye significativamente a la investigación continua para desarrollar nuevos sistemas de SUDS, garantizando una gestión eficaz y sostenible del agua pluvial.

Alemania y Suecia han optado por enfoques que integran la naturaleza y el paisajismo en sus diseños de SUDS. Estos países han utilizado espacios verdes, humedales y sistemas de filtración natural para gestionar eficazmente el agua pluvial. Esto no solo previene inundaciones, sino que también mejora la calidad del entorno urbano.

En Estados Unidos, la implementación de SUDS varía según la región. Algunas áreas han adoptado sistemas avanzados de gestión del agua pluvial, mientras que otras se están adaptando gradualmente a esta nueva aproximación. Las experiencias de diferentes estados y

ciudades ofrecen una visión de la diversidad de enfoques y desafíos que enfrenta el país en la adopción de SUDS.

La situación en América Latina es relevante. El aumento de las precipitaciones intensas ha causado inundaciones urbanas recurrentes con graves consecuencias en términos de pérdidas materiales y humanas. Se destaca las experiencias internacionales en sistemas de drenaje sostenible, subrayando la diversidad de enfoques y estrategias utilizadas para gestionar el agua pluvial de manera eficiente y sostenible. Además, resalta la importancia de aprender de estas experiencias para abordar los desafíos en América Latina y, específicamente, en el Perú. La adopción de SUDS ofrece oportunidades para mitigar los impactos de las inundaciones urbanas y promover una gestión más efectiva de la escorrentía pluvial en las zonas urbanas.

Criterios de diseño

Los criterios de diseño en los sistemas de drenaje urbano sostenible permiten delimitar un área cuya principal finalidad es proteger tanto al entorno social como ambiental. Asimismo, los criterios de diseño poseen otras funciones como: Almacenamiento y conducción segura de aguas de escorrentía sin poner en peligro a personas o propiedades, reducción de posibles riesgos de inundación, disminución de la carga de contaminantes en el agua de escorrentía, entre otros. A pesar de los innumerables esfuerzos y la meticulosidad empleada en el desarrollo de un diseño adecuado, aplicando una variedad de criterios y estándares técnicos en el proceso, persisten ciertos desafíos que deben ser abordados.

Según menciona Abellán (2015) no es posible diseñar para todos los eventos pluviométricos. Por lo tanto, en el proceso de diseño, deberían considerarse los posibles riesgos; evaluando las consecuencias ambientales, físicas, sociales, económicas y sociales provocadas por la aparición de fenómenos mayores de aquellos para los que se ha realizado el diseño.

Al tener en cuenta lo expuesto anteriormente, para la zona de estudio, es esencial considerar elementos clave como los niveles de servicio requeridos, la sostenibilidad de la infraestructura y el presupuesto necesario para la implementación de este diseño. A continuación, de acuerdo con el artículo escrito por Abellán (2015) se va a profundizar cada criterio de diseño.

Criterio hidráulico. El criterio hidráulico establece como sus principales metas, primero, prevenir la ocurrencia de efectos adversos a lo largo de todo el proceso de captación, desde las áreas de captación aguas arriba hasta las zonas de descarga aguas abajo. Además, es esencial garantizar que no se produzcan daños en las áreas urbanas ni a sus habitantes. Esto incluye, por ejemplo, la prevención de inundaciones que puedan deteriorar la infraestructura de la ciudad, reforzando la importancia de una gestión efectiva del agua.

Criterio basado en la calidad del agua. La implementación de medidas de mitigación eficaces para los riesgos asociados con la contaminación del agua, resultante de diversas actividades, es esencial. Estas medidas tienen como objetivo no solo gestionar el flujo del agua, sino también minimizar el impacto de los contaminantes en la calidad del agua.

Criterio de servicio público que puede proporcionar el SUDS. Este criterio toma en cuenta la influencia sobre el paisaje y se enfoca en maximizar los beneficios sociales. Este enfoque es integral y busca garantizar el bienestar general de la comunidad, respetando y mejorando la estética del entorno, y promoviendo los beneficios sociales derivados de una gestión adecuada de los recursos hídricos.

Criterio ambiental. Este criterio está orientado a identificar y seleccionar alternativas de diseño para un sistema de drenaje urbano sostenible que minimicen el impacto ambiental. Además, se busca que estas opciones promuevan una relación armónica entre las zonas urbanas

y los ecosistemas existentes en el área de estudio, contribuyendo así al equilibrio ecológico y la preservación de la biodiversidad.

Inconvenientes al implementar SUDS

A continuación, para el uso de sistemas urbanos de drenaje sostenible se puede dividir los inconvenientes según los aspectos técnico, social, ambiental y económico (Barahona, 2014, pp. 26-27)

Inconveniente de carácter técnico. Los desafíos técnicos potenciales en la implementación de un nuevo sistema incluyen el riesgo de un diseño inadecuado, una ejecución deficiente o un mantenimiento insuficiente, los cuales podrían afectar la confiabilidad del sistema. Adicionalmente, hay factores secundarios que podrían surgir, tales como la degradación del sistema debido a los ciclos de hielo y la aparición de vegetación no deseada, que podría interferir con el correcto funcionamiento del sistema.

Inconveniente de carácter social. El obstáculo social más significativo es la escasez de experiencia y la desconfianza por parte de los técnicos, lo cual se presenta como una limitación al intentar implementar alternativas para los sistemas de drenaje sostenible.

Inconveniente de carácter ambiental. Si bien la implementación de sistemas de drenaje sostenible está intrínsecamente ligada al cuidado del medio ambiente, resulta importante examinar cómo podría afectar el ecosistema específico de la zona en estudio.

Inconveniente de carácter económico. Implementar ciertas alternativas de sistemas de drenaje urbano sostenible puede implicar una inversión considerable, añadiendo a ello los costos adicionales que representa su mantenimiento. Por ende, resulta esencial realizar un análisis detallado de los beneficios a largo plazo que dicha implementación aportaría.

En definitiva, para lograr un diseño eficaz de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS), es fundamental tener un profundo conocimiento sobre la gestión de las aguas pluviales, elemento central en nuestra tesis. Adicionalmente, es recomendable recurrir a información y aprendizajes de experiencias previas en otros contextos, lo que nos permitirá anticipar posibles desafíos y ventajas que se podrían presentar en el desarrollo de nuestro proyecto. Tales criterios, lejos de ser limitantes, facilitarán el estudio de la aplicabilidad del SUDS en nuestra área de interés, proporcionando una visión integral y sostenible de la gestión de las aguas pluviales. Al final, el objetivo es obtener un sistema que, además de ser eficiente y resiliente, promueva la armonía entre las actividades humanas y la conservación del medio ambiente.

Métodos para el Análisis Hidrológico e Hidráulico

El análisis hidrológico e hidráulico serán necesarios para determinar los datos de entrada en los modelos hidráulicos que permitirán, finalmente, obtener los resultados finales del sistema urbano de drenaje sostenible. Antes de analizar los diferentes métodos a emplear, será importante definir los parámetros necesarios para obtener los datos de entrada previamente mencionados.

Parámetros de Importancia

Distribución de probabilidad. En primer lugar, para los datos recopilados sobre precipitaciones máximas de las distintas estaciones pluviométricas se realizó una prueba de datos dudosos para así determinar los valores de las precipitaciones que no lleguen a encontrarse en el rango de confianza de la serie, de ser el caso, los valores que se encuentren fuera de este rango serán llamados “outlanders”. Pero debe tenerse en cuenta que, si bien se puede observar que para algunos meses no hay un registro de datos, es recomendable no

completarlos ya que la variación de las precipitaciones no mantiene una tendencia uniforme a través del tiempo.

Para determinar los datos a usarse, se tendrá en consideración aquellos años que presenten datos completos durante los 12 meses o sino los años que tengan los datos completos de octubre - abril, que son los meses con mayor precipitación durante el año.

Para ello, se hizo uso del método del Water Resources Council, el cual se encuentra detallado en el libro de Ven Te Chow, este indica que se debe de hacer una verificación de datos dudosos tomando un rango de valores, de los cuales el valor de precipitación máxima y mínima se hallaran con las siguientes ecuaciones.

Precipitación máxima aceptada como límite superior

$$PH = 10^{yH}$$

$$yH = \underline{y} + KnS_y \quad (1)$$

Precipitación máxima aceptada como límite superior

$$PL = 10^{yL}$$

$$yL = \underline{y} - KnS_y \quad (2)$$

Donde:

PH = Límite de confianza superior

PL = Límite de confianza inferior

\underline{y} = Promedio de los logaritmos de los datos recopilados

S = Desviación estándar de los logaritmos de los datos recopilados

Kn = Valor para la prueba de confianza el cual depende del número de datos y es obtenido de la Tabla 2.

Tabla 2

Valores del coeficiente Kn

Tamaño de muestra n	Kn						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.65	55	2.804	-	-

Nota. Adaptada de hidrología aplicada, de Ven Te Chow, 1994.

Al ya tener como estudio previo al análisis de datos dudosos respecto a la máxima precipitación en 24 horas para todos los años con los cuales se cuenta el registro, se procedió a realizar un análisis estadístico mediante las siguientes distribuciones: Distribución normal, Gumbel, Log-Normal, Pearson Tipo III y Log Pearson Tipo III.

Se utilizan estas distribuciones de probabilidad debido a que reflejan las precipitaciones y caudales máximos esperados en determinado periodo de tiempo. Existen diferentes estudios

en busca de observar cual es la distribución más confiable; sin embargo, cada distribución se ve afectada principalmente por condiciones externas que hacen que varíen su confiabilidad.

Posteriormente, se hará una prueba de bondad de ajuste en la cual se determinará si la distribución escogida inicialmente llega a ajustarse a una función teórica de probabilidades. La prueba de bondad de ajuste será la de Kolmorov - Smirnov Δ , la cual considera a la desviación de la función de distribución de la muestra ($F(x)$) respecto a la distribución de probabilidades teórica ($F_0(x)$) de tal forma que se cumpla que $\Delta = \max (F(x) - F_0(x))$. Finalmente se tomará como la distribución escogida a la que tenga un valor Δ menor al valor tabulado de Δ_t para un nivel de probabilidad requerido.

Para realizar este análisis se tendrá en cuenta las siguientes pautas:

- Δ es la máxima diferencia entre la función de distribución de las muestras y la función de distribución probabilística teórica escogida.
- El nivel de probabilidad será de $\alpha = 0.05$
- El valor crítico Δ_{\max} de la prueba será obtenido de tablas en función de α y al número de datos considerados.
- En caso Δ sea mayor a Δ_t , entonces esa distribución será rechazada. Se elegirá a la distribución que tenga un valor Δ mucho menor a Δ_t .

Periodo de Retorno para SUDS. Se le denomina periodo de retorno al tiempo promedio (años) en el que el valor del caudal pico es igualado o superado una vez cada “T” años (MTC, 2008). El valor “T” que se determinará será considerando los parámetros impuestos por el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje, este manual no considera sistema urbano de drenaje sostenible; sin embargo, será útil para los cálculos posteriores.

Para determinar este valor será necesario establecer una relación entre el riesgo de falla admisible en función del periodo de retorno y vida útil de la obra, esta relación se expresa en la siguiente ecuación:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (3)$$

Sin embargo, el manual recomienda utilizar la siguiente tabla, la cual provee valores máximos recomendados de riesgo admisible de obra de drenaje según el tipo de obra.

Tabla 3

Valores máximos recomendados de riesgo admisible

Tipos de obra	Riesgo admisible (%)
Puentes	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas ribereñas	25

Nota. Fuente propia.

Considerando el tipo de obra y su riesgo admisible, se determinará un valor para la vida útil considerando las características de la estructura; finalmente, se introduce en la ecuación anterior y se obtiene el valor de T.

Método Racional Modificado

El método racional modificado permite estimar caudales máximos en cuencas de drenaje natural con áreas menores a 770 km² y con tiempos de concentración entre 0.25 y 24 horas

(MTC, 2008). Eventualmente, en el Perú, se hizo una adaptación de este método considerando características geográficas del país. La fórmula para emplear es la siguiente:

$$Q = 0.278 C I A K \quad (4)$$

Donde:

Q = Descarga máxima de diseño (m³/seg)

C = Coeficiente de escorrentía para el intervalo en que se produce la intensidad

I = Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/hr)

K = Coeficiente de uniformidad

De los variables presentados anteriormente, se desagregará cada una de ellas.

A. Coeficiente de uniformidad (K)

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14} \quad (5)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración

B. Coeficiente de simultaneidad (k_A)

$$k_A = 1 - \left(\frac{A}{15}\right) \quad (6)$$

Donde:

A = Área de la cuenca en Km²

C. Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

$$P = k_A P_d \quad (7)$$

Donde:

k_A = Coeficiente de simultaneidad

P_d = Precipitación máxima diaria (mm)

D. Intensidad de Precipitación (I)

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) 11^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad (8)$$

Donde:

P = Precipitación máxima corregida (mm)

T_c = Tiempo de concentración (horas)

E. Coeficiente de Escorrentía (C)

$$C = \frac{(P_d - P_o)(P_d + 23.P_o)}{(P_d + 11.P_o)^2} \quad (9)$$

Donde:

P_d = Precipitación máxima diaria (mm)

P_o = Umbral de escorrentía = $\frac{5000}{CN} - 50$

CN = Número de curva

Los valores de CN se obtendrán de la tabla de Números de Curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.

Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia

Para la presente tesis, también se hará uso de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) ya que este es un elemento que permite relacionar la intensidad de la lluvia, su duración y la frecuencia con la que se puede llegar a presentar, a esto último se le puede conocer como periodo de retorno o probabilidad de ocurrencia; en este tipo de curvas se presenta a la Intensidad de precipitación (mm/h) en el eje vertical y al Tiempo de duración (min) en el eje horizontal.

Es común el uso de la intensidad promedio de la duración de lluvia, es así que se empleará la siguiente expresión:

$$i = \frac{P}{T_d} \quad (10)$$

Donde:

P: Precipitación (mm)

T_d : Tiempo de duración (hr)

Dentro de este análisis de intensidades de precipitación, se debe hacer un análisis para la obtención de la precipitación máxima probable y para ello se hará uso de la Distribución Gumbel, esta distribución servirá para la obtención de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación respecto a los distintos periodos de retorno; esta distribución se expresa de la siguiente manera:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (11)$$

Dentro de los cuales los factores u y α serán expresados de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S \quad (12)$$

$$u = \underline{x} - 0.5772 * \alpha \quad (13)$$

Donde:

\underline{x} : Media aritmética de la muestra

S: Desviación estándar de la muestra

Tanto la media aritmética como la desviación estándar se calcularán con las siguientes expresiones:

$$\underline{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (14)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (15)$$

Donde:

n: Número de datos en la muestra recopilada

Por otro lado, para la obtención de la precipitación máxima probable se realizó lo siguiente:

Primero se halló el valor de y_T el cual es denominado como media reducida, este valor se encuentra en función del periodo de retorno por lo que se representa mediante la siguiente expresión:

$$y_T = -\ln \ln \left[\ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (16)$$

Donde:

T: Periodo de retorno

También es necesario la obtención de la precipitación por periodo de retorno mediante la siguiente expresión:

$$X(t)' = u + \alpha * y_T \quad (17)$$

Después se obtendrá la precipitación con corrección por intervalo fijo mediante:

$$X(t) = X(t)' * 1.13 \quad (18)$$

Para ello ya tendremos la probabilidad de ocurrencia de dichas precipitaciones en el periodo de retorno fijado para cada una de ellas, luego se procedió al cálculo de las precipitaciones máximas de la siguiente forma.

$$P_{\text{máx}} = X(t) * \beta \quad (19)$$

Donde:

β : Coeficiente de duración de lluvias entre 1 y 48 horas; este coeficiente se obtuvo del Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito

Tabla 4

Coeficiente de Duración (Lluvias entre 1 y 48 Horas)

Duración de la precipitación en horas	Coeficiente
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1.00
48	1.32

Nota. Adaptada de hidrología aplicada, de Ven Te Chow, 1994.

Al ya tener las precipitaciones máximas para los distintos periodos de tiempo y las duraciones de lluvias tomadas en cuenta, se realizó el cálculo de las intensidades haciendo uso de la Fórmula 20

Al ya tener los valores de las intensidades estas se expresaron de la siguiente manera:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \quad (20)$$

Donde:

I = Intensidad (mm/hr)

t = Tiempo de duración de lluvia (min)

T = Periodo de retorno (años)

K, m y n = Parámetros de ajuste para la ecuación

Teniendo ya la función es que se procede a graficar las curvas IDF por cada periodo de retorno.

Para determinar el tiempo de concentración, tiempo transcurrido desde el final de la lluvia hasta el final de la escorrentía superficial, existen diversos métodos: uso de datos reales de los hidrogramas, métodos hidráulicos y formulas empíricas. En el caso de estudio se hará uso de las fórmulas empíricas; existen varias fórmulas aplicables según las características de la cuenca o del método de cálculo de escorrentía que se está utilizando (Pérez, 2015).

Método de Kirpich

$$t_c = 0.06628 * \frac{L^{0.77}}{i^{0.385}} \quad (21)$$

Donde:

L= longitud del cauce más largo (km)

i= pendiente media de la cuenca

Método de California

$$t_c = \left(\frac{0.871 * L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (22)$$

Donde:

L= longitud del cauce más largo (km)

H= desnivel máximo de la cuenca (m)

Método de Giandotti

$$t_c = \frac{4*\sqrt{S}+1.5*L}{0.8*\sqrt{H}} \quad (23)$$

Donde:

L= longitud del cauce más largo (km)

H= desnivel máximo de la cuenca (m)

S= superficie de la cuenta (km²)

Método de Témez

$$t_c = 0.3 * \left(\frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (24)$$

Donde:

L= longitud del cauce más largo (km)

i= pendiente media de la cuenca

Método de Ragan-Fleming

$$t_c = 0.93 * \frac{L^{0.6} * n^{0.6}}{I^{0.4} * i^{0.3}} \quad (25)$$

Donde:

L = longitud del cauce más largo (pies)

n= número de Manning

i= la pendiente media de la cuenca

I: intensidad de lluvia (pulgada/ hora)

Método de SCS

$$t_c = \frac{100*L^{0.8} * \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1900 * (100*S)^{0.5}} \quad (26)$$

Donde:

L = longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo (m)

CN= número de curvas SCS

S: pendiente promedio de la cuenca (m/m)

Para el cálculo del tiempo de concentración se procedió a usar la ecuación de retardo SCS la cual es una ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola, esta ha sido adaptada para cuencas urbanas con un área menor a 800 Ha y es generalmente buena para áreas completamente pavimentadas (Chow, 1994).

Hietograma de Diseño

Un Hietograma de diseño es la distribución temporal de la intensidad o de la profundidad de una precipitación a lo largo de la duración del periodo tormentoso (Han et al., 2019). De esta forma se obtiene cómo evoluciona la precipitación durante todo el periodo de tormenta y no solo la máxima precipitación. Existen diversos métodos para obtener los hietogramas, el que se va a utilizar en la investigación en mención es a través de curvas IDF, a este método se le denomina bloques alternos, cabe resaltar que se utilizará los bloques alternos ya que facilitará el ingreso de datos de precipitación en el software a utilizar.

El método de bloques alternos utiliza las curvas IDF, además de la intensidad de precipitación, duración y la probabilidad de que ocurra este evento. Este método permite obtener los hietogramas de diseño que representan, en una serie de intervalos, las precipitaciones durante un periodo específico.

Modelamiento Hidrológico e Hidráulico

Los modelamientos hidrológicos e hidráulicos suponen a una simulación de un sistema donde se introducen valores que son procesados, para luego obtener valores de salida que permitirán un correcto diseño y operación de obras de ingeniería. Para el caso de estudio, un software que permita modelar sistema de drenaje y alcantarillado, además de introducir parámetros de drenajes sostenibles, es el EPA SWMM 5.1.

EPA SWMM 5.1

Para la modelación hidrológica e hidráulica se utilizará el software Storm Water Management Model de la EPA, que en español se traduce como modelo del manejo de aguas pluviales. Este software permitirá diseñar la red de drenaje pluvial con el objetivo de evitar futuras inundaciones. SWMM es muy importante para diseñar sistemas de drenaje y saneamiento, ya que es capaz de simular el movimiento del agua de precipitaciones y contaminantes del suelo. El modelo puede utilizarse para simular un solo evento pluviométrico o un amplio período de tiempo continuo.

Para el caso de estudio, se estará utilizando la versión más actualizada de EPA SWMM, que sería la versión 5.1. Esta decisión se tomó considerando que esta versión posee la siguiente novedad: técnicas de drenaje sostenible o LID's. Se incluyeron dos nuevos módulos de drenaje sostenible, las cubiertas y los jardines verdes, de esta forma ya no se tendrá que configurar desde otro módulo.

Herramientas EPA SWMM 5.1

Herramientas LID's. Se hace referencia principalmente a las herramientas LID's, los cuales se representan por una combinación de capas sobrepuestas verticalmente cuyas propiedades están definidas sobre una base por unidad de área. Está definida por unidad de área ya que de esta forma un mismo diseño se adecuada a diferentes dimensiones de cobertura.

Parámetros de las Capas que Componen los SUDS. Como se dijo anteriormente las herramientas LID's se diseñan mediante capas, estas capas se obtienen a través de una serie de parámetros. Los parámetros son los siguientes:

Tabla 5*Parámetros de las Capas que Componen los SUDS*

Capas	Características y dimensiones
Superficie	Altura Berma (mm)
	Vegetación (Fracción de volumen)
	Rugosidad de la superficie (Manning n)
	Pendiente de la superficie (%)
Suelo	Grosor (mm)
	Porosidad (fracción de volumen)
	Capacidad del campo (Fracción de volumen)
	Punto de marchitez (fracción de volumen)
	Conductividad
	Pendiente de conductividad
Drenaje	Cabeza de succión (mm)
	Coefficiente de flujo
	Exponente de flujo
Almacenamiento	Compensación
	Grosor (mm)

Nota. Fuente propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 5, existe una gran variedad de parámetros a considerar en los SUDS; sin embargo, se escogerán los parámetros a utilizar según el tipo de SUDS a diseñar.

Escenarios Climáticos y su Impacto en la Sostenibilidad

El impacto de los diversos escenarios climáticos en nuestra realidad se debe a múltiples factores, los cuales terminan influyendo en el área de la ingeniería y la infraestructura. A continuación, se describirá un ejemplo de estos:

Escenario de Lluvias Intensas

En este escenario, se presentan lluvias intensas en cortos periodos de tiempo. El impacto en la sostenibilidad se relaciona con el aumento del riesgo de inundaciones en áreas urbanas. Los sistemas de drenaje tradicionales pueden resultar insuficientes, lo que lleva a

desbordamientos, daños a la infraestructura y problemas de salud pública debido a la acumulación de agua.

Escenario de Sequía Prolongada

En un escenario de sequía, los sistemas de drenaje también son afectados. La falta de lluvia reduce la recarga de acuíferos y la disponibilidad de agua en arroyos y ríos. El diseño de drenaje sostenible en este caso puede incluir la captación y almacenamiento de agua de lluvia para su uso posterior, reduciendo la dependencia de fuentes externas.

Escenario de Cambio Climático y Aumento del Nivel del Mar

A medida que los niveles del mar aumentan debido al cambio climático, las ciudades costeras enfrentan el riesgo de inundaciones costeras y salinización del agua. El diseño de drenaje sostenible debe abordar estas cuestiones, integrando medidas como barreras de protección costera y la gestión de aguas pluviales para prevenir daños y mantener la calidad del agua dulce.

Escenario de Urbanización Rápida

La expansión urbana conlleva la eliminación de áreas permeables, lo que puede resultar en un aumento del escurrimiento superficial y la disminución de la recarga de aguas subterráneas. El diseño de drenaje sostenible busca incorporar superficies permeables, como techos verdes y pavimentos permeables, para facilitar la absorción del agua y reducir el impacto en el sistema de drenaje.

Escenario de Gestión de Aguas Pluviales

Un enfoque sostenible implica la gestión adecuada de las aguas pluviales, evitando la descarga directa de aguas contaminadas en cuerpos de agua. La implementación de sistemas de captación y tratamiento de aguas pluviales puede ayudar a mantener la calidad del agua y reducir la contaminación.

Escenario de Reutilización de Agua

El diseño de drenaje sostenible puede incluir sistemas de recolección y tratamiento de aguas grises para su reutilización en actividades no potables, como riego de jardines y descarga en inodoros. Esto reduce la demanda de agua potable y alivia la carga sobre los recursos hídricos.

En todos estos escenarios, el diseño de drenaje urbano sostenible busca equilibrar la gestión eficiente del agua con la conservación del medio ambiente y la reducción de los impactos negativos en la comunidad. La consideración de la variabilidad climática y la implementación de soluciones innovadoras son esenciales para lograr una infraestructura resiliente y sostenible.

Normativa Nacional e Internacional sobre drenaje urbano

Para la presente investigación se hizo uso de diversas normativas, en las cuales se detalla las características, diseño y factores a tomar en cuenta para el diseño del drenaje urbano. Entre ellas contamos con normativas nacionales e internacionales, las cuales se mencionarán a continuación. En el ámbito nacional se trabajó con la normativa siguiente:

Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial Del Reglamento Nacional De Edificaciones

Esta norma, que por RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 126-2021-VIVIENDA, es la modificación de la NORMA TÉCNICA OS.060 DRENAJE PLUVIAL URBANO; el propósito de esta normativa es instaurar pautas y condiciones básicas para la planificación y construcción de instalaciones de drenaje pluvial, con el propósito de evitar la retención de agua de lluvia y evitar el deterioro de estructuras e instalaciones ya existentes. De este modo, se busca prevenir la aparición de fuentes de contaminación ambiental y asegurar el desarrollo de las operaciones en áreas urbanas.

Por otro lado, se va a presentar la normativa técnica en el ámbito internacional con la que se trabajó en el desarrollo del documento:

Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos

De acuerdo con el libro de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos de Ministerios de Vivienda y Urbanismo de Chile, se indica que “El objetivo básico de este estudio es proponer sistemas alternativos y complementarios de drenaje urbano de aguas lluvias, cubriendo una gama significativa de situaciones que puedan aplicarse en todo el territorio nacional. En términos prácticos esto se traduce en una guía que permita a los interesados y usuarios visualizar las alternativas técnicamente disponibles para abordar y solucionar los problemas que plantean las aguas lluvias en zonas urbanas, disponiendo de diferentes opciones de obras y acciones.”

Zona de Estudio

Descripción de la Zona de Estudio

De acuerdo con el informe del Banco Central de Reserva del Perú (2021) indica que “el departamento de Junín ubicado en la zona central de los andes peruanos, compartiendo fronteras con los departamentos de Ucayali, Lima, Huancavelica, Pasco, Ayacucho y Cusco”. Además, el territorio de Junín se caracteriza por su topografía accidentada, una particularidad derivada de su ubicación, ya que se halla interceptado por las cordilleras Central y Occidental, las cuales generan vastas y significativas formaciones geográficas (p. 1).

Políticamente, Junín se organiza en nueve provincias, con Huancayo como su capital. Esta última está subdividida en 28 distritos, uno de los cuales lleva el nombre de la provincia misma, Huancayo. Es precisamente en este último distrito donde se localiza la zona de estudio.

Distrito De Huancayo

Aspecto Geográfico e Histórico. El distrito de Huancayo se encuentra ubicado en el Valle del Mantaro, en el margen izquierdo. Este distrito limita por el norte con el distrito de El Tambo, por el sur con el distrito de Chilca y Sapallanga, por el este con el distrito de Pariahuanca y, finalmente, por el oeste con la provincia de Chupaca. El distrito de Huancayo fue creado el 2 de enero de 1857, este se encuentra ubicado a 3249 m.s.n.m. y cuenta con una superficie de 237.55 kilómetros cuadrados, es importante señalar que para el caso de estudio se está considerando una superficie de 19.86 kilómetros cuadrados con el objetivo de solo englobar la zona urbana del distrito.

A pesar de que podría esperarse un clima templado en el distrito de Huancayo, la realidad es que su ubicación en la Cordillera de los Andes y su considerable altitud propician temperaturas bajas, que oscilan entre los -5° y 28° Celsius, con una humedad notoriamente baja. La precipitación en el distrito es moderada, presentando variaciones a lo largo del año, siendo los meses de noviembre a marzo los de mayor pluviosidad

División Política Y Administrativa. Administrativa y políticamente, Huancayo se divide en siete sectores: Palían, Chorrillos, Torre Torre, San Carlos, Ocopilla, Cajas Chico y la Zona Monumental. El estudio se enfocará en el área urbana del distrito en su totalidad, pero prestará especial atención a la Zona Monumental, ya que es en este sector donde se ubican los puntos críticos del distrito.

Uso Del Suelo. Se aplicará la misma división que se empleó para calcular el caudal estimado de la microcuenca delimitada. Así, será posible observar las diversas aplicaciones del terreno en el distrito de Huancayo. A continuación, en la Tabla 6 se va a presentar como se encuentra dividido el uso del suelo en el distrito de Huancayo.

Tabla 6*Usos del Suelo en el Distrito de Huancayo*

Uso del Suelo	Área (m2)	Área (km2)	Área (Ha)
Avenidas	2192204.600	2.192	219.220
Cultivos	2371550.000	2.372	237.155
Edificaciones	7780931.400	7.781	778.093
Área Verde	3551259.196	3.551	355.126
Bosque	3438326.000	3.438	343.833
Zona Verde Condición Pobre	531445.000	0.531	53.145
Total	19865716.196	19.866	1986.572

Nota. Tabla que muestra el área total del distrito de Huancayo dividido en el uso del suelo.

Como se observa en la Tabla 6, el uso principal del suelo en el distrito de Huancayo está dedicado a la edificación e infraestructura, ya sea para vivienda, comercio, industria o entretenimiento. Paralelamente, existe un segmento de terreno asignado a la agricultura, el cual generalmente se localiza en los confines del distrito. Finalmente, existe un porcentaje del territorio total que permanece sin ser explotado por los seres humanos.

Capacidad Hidráulica Del Sistema De Drenaje Actual

En la actualidad, Huancayo carece de un sistema de drenaje pluvial efectivo que permita recoger las aguas lluvias y prevenir las inundaciones en sus calles, provocadas por la saturación de su sistema de alcantarillado. De acuerdo con Sapaico (2017) esta problemática se remonta a la década de 1990, cuando no se disponía de colectores individuales para el agua pluvial. En su lugar, estas aguas eran desviadas directamente hacia las mismas infraestructuras que las aguas residuales domésticas e industriales. Este sistema, basado completamente en gravedad, carece de una zona de drenaje claramente definida, lo que se atribuye a un catastro técnico obsoleto (p. 27).

El actual crecimiento urbano de la ciudad se ha extendido haciendo topográficamente que las descargas de los desagües domésticos se dirijan

libremente a los ríos Shullcas, Chilca, Florido, Ancalá y finalmente Río Mantaro (Peña et al., 2023).

Como resultado, se ha generado una creciente inquietud y molestia entre la población local, quienes han tenido que lidiar con esta problemática durante varios años. Este descontento proviene de tener que soportar constantemente los inconvenientes causados por la insuficiente infraestructura de drenaje pluvial. Las recurrentes inundaciones y la ineficiente gestión del agua de lluvia no solo han impactado la calidad de vida de los residentes, sino que también han agravado la percepción pública de la gestión urbana. Adicionalmente, esta circunstancia ha alimentado un sentido de urgencia para la implementación de soluciones sostenibles y a largo plazo que puedan remediar esta situación de manera efectiva.

A continuación, en la Tabla 7 y en la Tabla 8 se presentará los colectores principales y secundarios respectivamente presentes en la ciudad de Huancayo. Para los colectores secundarios se señalará su antigüedad, estado físico, longitud y dimensiones. Por otro lado, para los colectores principales se mostrará su longitud, diámetro, buzón de inicio y buzón de termino.

Tabla 7

Colectores principales en la localidad de Huancayo

Colectores principales	Longitud (ml)	Diámetro (Pulg.)
09 De diciembre	4,205.27	18,20,24,36
Leoncio Prado	2,109.15	8,12
Cajas Chico	2,656.37	12,18
General Muñiz	3,373.94	16,24,36
Parra del Riego	1,515.42	12,36,24
Flor de Mayo	1,701.56	8,10,12

Nota. (SEDAM Huancayo S.A., 2008)

De acuerdo con la Tabla 7, se puede observar que la ciudad de Huancayo cuenta con 7 colectores principales que oscilan entre las 16 a 36 pulgadas, los cuales no tienen definido su área de influencia. Es importante resaltar que sus áreas de influencia no se encuentran definidas de manera precisa. Los desagües de estos colectores se dirigen al río Mantaro. Sin embargo, es importante señalar que los diámetros de los colectores actuales no cumplen con la normativa vigente de alcantarillado, que estipula un diámetro mínimo de 36 pulgadas; por lo tanto, en la modelación no se va a utilizar estos valores.

Tabla 8
Longitud de colectores secundarias

Diámetro (Pulg.)	Antigüedad (años)	Estado Físico	Tipo de tubería	Longitud (ml)
10	20.00	Regular	CSN	42000
12	20.00	Regular	CSN	93500
8	15.00	Regular	CSN	267000
6	30.00	Malo	CSN	80500
Total				483,460.00

Nota. (SEDAM Huancayo S.A., 2008)

En base a la información desplegada en la tabla, se puede inferir que los colectores secundarios del tipo CSN (compact stiffness nominal) presentan un considerable tiempo de servicio. Dado que estos datos fueron recolectados en el año 2008, es razonable suponer que su estado físico puede haber experimentado cambios desde entonces. Cabe recalcar la importancia de mantener actualizada esta información para garantizar la eficiencia y la seguridad de la infraestructura de drenaje. En el distrito de Huancayo, “en las calles existe un 17% que no cuenta con red de alcantarillado pluvial ni de aguas servidas” (Sapaico, 2017).

Como se observa (ver el anexo A), es relevante señalar que existen zonas dentro del distrito que sí cuentan con un sistema de drenaje pluvial. Este sistema está principalmente

ubicado en el sector denominado Zona Monumental de la ciudad, con la red de drenaje situada en las calles y avenidas principales que rodean la Plaza de Armas. Esta infraestructura brinda una solución parcial al problema de infiltración de agua pluvial al sistema de alcantarillado sanitario. No obstante, aún persisten situaciones de anegamiento después de episodios de lluvia, lo que indica la necesidad de una estrategia más efectiva y abarcadora de gestión de las aguas pluviales.

Análisis De La Capacidad Hidráulica Del Sistema De Drenaje

De la información presentada, es evidente que la capacidad hidráulica del sistema de drenaje actual está obsoleta. Su considerable antigüedad, así como su estado físico, que oscila entre regular y malo, contribuyen a este hecho. Asimismo, la dimensión de la red de alcantarillado, que se encuentra entre 16 y 36 pulgadas, cumple de manera mínima con la demanda actual en la ciudad de Huancayo. Sin embargo, esta evaluación aún requiere la incorporación de datos sobre el caudal conforme a las precipitaciones en el área de influencia, así como los caudales excedentes generados por las precipitaciones aguas arriba. Al no considerarse estos aspectos, el sistema de alcantarillado tiende a colapsar durante las épocas de lluvia, en figuras posteriores se presentará lo mencionado; esto provoca inundaciones en ciertos puntos de Huancayo, los cuales fueron previamente señalados. Esta situación subraya la necesidad de una revisión y actualización integral del sistema de drenaje de la ciudad.

La ciudad de Huancayo enfrenta tres problemáticas fundamentales que deben ser resueltas para optimizar su funcionamiento. En primer lugar, se halla la ausencia de un catastro técnico de redes actualizado de alcantarillado, el cual es esencial para entender la distribución de la red en la ciudad. En segundo lugar, se encuentra la deficiente recolección y falta de tratamiento y disposición final de aguas residuales. Esta situación conduce a la contaminación de los ríos en los que se descargan dichas aguas, afectando directamente a la población local.

Por último, se destaca la carencia de un sistema de drenaje pluvial adecuado. Esta deficiencia se hace especialmente palpable en época de lluvias.

Criterios Geográficos

El área seleccionada para este estudio se localiza en la cuenca del río Mantaro, una importante y vasta cuenca hidrográfica que engloba múltiples sistemas ecológicos y humanos. La cuenca del río Mantaro, por lo tanto, se convierte en el foco de nuestra investigación, proporcionando el contexto geográfico y ecológico esencial para el análisis de los sistemas de drenaje urbano en la zona de estudio.

La cuenca del río Mantaro está ubicada en el centro del Perú y tiene un área de 34,550.08 km². Política y administrativamente, la cuenca abarca parcialmente territorios de las regiones Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho (Guizado & Landa, 1966).

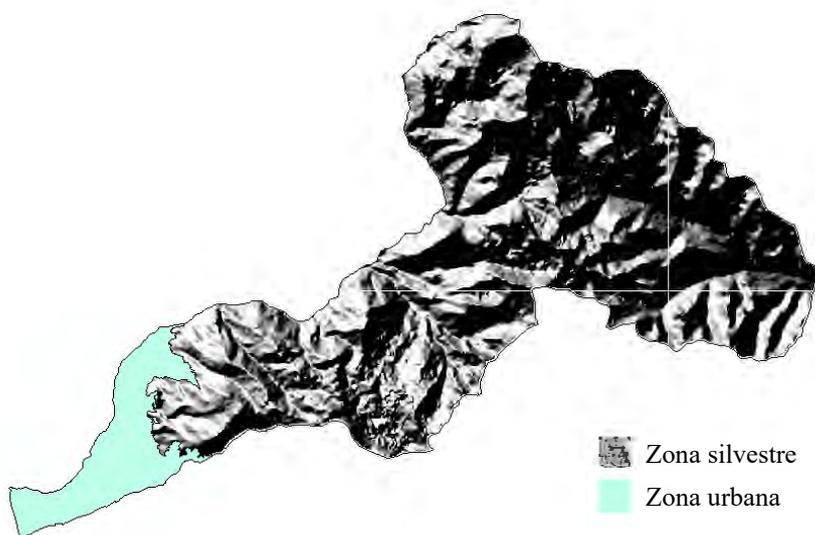
La cuenca del río Mantaro es un extenso sistema hidrográfico que incluye numerosas subcuencas. En las siguientes secciones, vamos a proporcionar un mapa detallado que representa tanto la cuenca del río Mantaro como sus subcuencas. Este mapa permitirá una visión más precisa de la estructura de la cuenca y la relación entre sus componentes.

Estudios Geológicos

El mapa detallado (ver el anexo B) ilustra cómo la cuenca del río Mantaro se descompone en 24 subcuencas distintas. De estas, la atención se centra en la subcuenca del río Shullcas, que alberga la zona que se está estudiando. La subcuenca del río Shullcas ocupa una posición central dentro de la cuenca del río Mantaro, estando flanqueada por las subcuencas del río Achamayo y del río Pariahuanca. Este emplazamiento estratégico contribuye a las particularidades de la gestión hídrica en la zona de estudio. A continuación, se presentará en la Figura 8 la cuenta del distrito de Huancayo.

Figura 7

Ubicación de la cuenca distrital de Huancayo



Nota. Fuente Propia.

La Figura 7 presenta la localización de la cuenca distrital de Huancayo. También se puede apreciar, diferenciada por color, la cuenca urbana de Huancayo en la parte inferior del gráfico. En este estudio, se consideró el distrito de Huancayo como referencia, que tiene una extensión de 226.67 km². Dado que este distrito abarca áreas con diversos tipos de suelo, se generan valores de caudal muy elevados. Por ello, se optó por limitar el estudio al área de la cuenca urbana, que constituye un porcentaje de la cuenca distrital y abarca 19.86 km².

En la cuenca urbana, se establecieron cinco secciones en función de su uso del suelo de acuerdo con la Tabla 6 previamente presentada. Estas son: Zona Verde de condición pobre, Cultivos, Área verde, Bosque, Zonas Urbanas y Avenidas de asfalto. Cada sección posee características específicas que influyen en el manejo del agua y la gestión de la escorrentía.

Se optó por utilizar la cuenca urbana para el cálculo de los caudales debido a su predominante porcentaje de edificaciones y calles. Este entorno urbanizado forma el foco

principal de nuestro modelado para alternativas de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Estudio Hidrológico

Los registros pluviométricos son de gran relevancia para comprender los patrones climáticos y las condiciones hidrológicas en la región de Huancayo y sus alrededores. El análisis de estas precipitaciones máximas puede ofrecer información valiosa sobre eventos extremos de lluvia, ayudando en la identificación y el monitoreo de posibles situaciones de inundación y el desarrollo de estrategias de mitigación de riesgos hidrometeorológicos. Es importante tener en cuenta que la calidad y consistencia de los registros de datos son fundamentales para realizar un análisis significativo. Sería recomendable verificar la fiabilidad de los datos y considerar la duración histórica de las mediciones para obtener una visión más completa y precisa de los patrones climáticos locales.

En la tabla (ver anexo C) se observa los registros de las precipitaciones máximas en 24 horas de todas las estaciones aledañas al distrito de Huancayo, estos registros fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, n.d.), para cada uno de estos varía el número de periodos de recolección de datos pluviométricos. Se debe realizar un análisis cuidadoso y considerar la variabilidad en los períodos de recolección de datos para obtener conclusiones confiables y fundamentadas.

Metodología

Diseño de la Investigación

El diseño de la metodología a emplear para la presente tesis es no experimental, pues los datos fueron obtenidos directamente de los planos de diseño, estaciones meteorológicas entre otros documentos que describan la zona de estudio, sin manipular deliberadamente variables. Por otra parte, el diseño de la investigación posee un enfoque cuantitativo, el cual hace referencia a que los resultados que se obtendrán y las conclusiones que se realizarán serán sustentadas principalmente en base a números. Para el caso de estudios los números y gráficos que se obtendrán permitirán comparar las diferentes combinaciones entre el actual sistema de drenaje y los sistemas urbanos de drenaje sostenible a emplear.

Delimitación Zona de Estudio

Recopilación De Datos

Se inició el recorrido en la plaza Constitución y se pudo apreciar que alrededor de la plaza se contaba con un sistema de canalización de aguas hacia la red de alcantarillado tradicional que se encontraba ubicada en las esquinas e intersecciones de las calles. Por otro lado, como se podrá observar líneas abajo las edificaciones que conforman la Zona Monumental en un 50% tiene techo de tejas artesanales aproximadamente. Luego se continuo el recorrido por la calle Real con dirección al Parque Huamanmarca y la topografía del lugar muestra un descenso en la altitud de las calles Lima y Loreto respecto a las calles contiguas, entre estas intersecciones se tiene conocimiento la constante acumulación de agua en tiempos de lluvia. En la siguiente figura se va a presentar la ruta que se siguió para el levantamiento fotográfico y donde se inició el recorrido.

Figura 8

Ruta seguida para levantamiento Fotográfico



Después se siguió por las intersecciones Loreto y Ancash en la cual se encuentra misma topografía ya descrita, a su vez, en esta intersección se encuentra la Estación de Bomberos; en este punto se pudo observar la presencia de 3 puntos de captación en las esquinas opuestas a la dirección que el agua llega a circular en épocas de lluvia. A continuación, se pasó a la intersección de las calles Lima y Ancash, otro punto desfavorable debido al cambio de altitudes respecto a las calles aledañas; en este punto no se observó zonas de captación para aguas pluviales que puedan transportarse hacia la red de alcantarillados, es por ello que la acumulación de agua en esta zona es muy recurrente.

Levantamiento Fotográfico

En las siguientes imágenes, se mostrará un detallado registro fotográfico que permite visualizar con precisión la situación actual del sistema de alcantarillado en la zona de estudio. Estas fotografías ofrecen un análisis exhaustivo de la infraestructura, identificando posibles áreas de mejora, puntos críticos y oportunidades de optimización. El propósito es proporcionar una representación gráfica completa que sirva como base para evaluaciones técnicas y toma de decisiones informadas para futuras intervenciones y mejoras en la red de alcantarillado.

Figura 9

Puntos críticos ubicado en las intersecciones del Jr. Loreto y la Calle Real



Como puede observarse en la Figura 9 el punto crítico que está ubicado entre las intersecciones de la Calle Real y el Jr. Loreto fue escogido debido a la falta de mantenimiento a las obras de drenaje, es decir, estas presentan obstrucciones en su ingreso productos de la falta de limpieza y acumulación de sólidos, lo cual termina impidiendo su buen funcionamiento. En las tres imágenes se puede ver la acumulación de agua en su ingreso pese a que la toma de las fotografías no fue realizada en eventos de lluvia constante ya que es en

este tipo de eventos en los cuales esta intersección termina siendo intransitable para los peatones y conductores.

Figura 10

Punto crítico ubicado en las intersecciones del Jr. Loreto y el Jr. Ancash, cerca de la entidad SUNAT



En la Figura 10, se aprecia claramente la estructura destinada a la captación de aguas pluviales, la cual muestra acumulación de residuos sólidos adheridos tanto en la parte inferior como en la superior. Esta acumulación acaba por reducir y obstruir la sección de ingreso, afectando así el flujo adecuado del agua pluvial. Este deterioro en la capacidad de captación y desfogue puede dar lugar a inundaciones y otros problemas asociados durante precipitaciones intensas, evidenciando la necesidad de un mantenimiento y limpieza periódica eficaz de estas estructuras.

En la figura de la derecha, se aprecia una obstrucción de aproximadamente el 80% en la sección debido a la acumulación prolongada de sólidos y moho. Esta obstrucción dificulta significativamente el adecuado desfogue y captación de las aguas pluviales hacia las estructuras

inferiores, lo cual se evidencia en la acumulación de un reducido volumen de agua en el ingreso, como se muestra en la imagen. Por consiguiente, durante episodios de lluvias intensas, estas estructuras no operan eficazmente, ocasionando la acumulación de volúmenes considerables de agua en esta intersección.

Figura 11

Punto crítico ubicado en las intersecciones del Jr. Lima y el Jr. Ancash



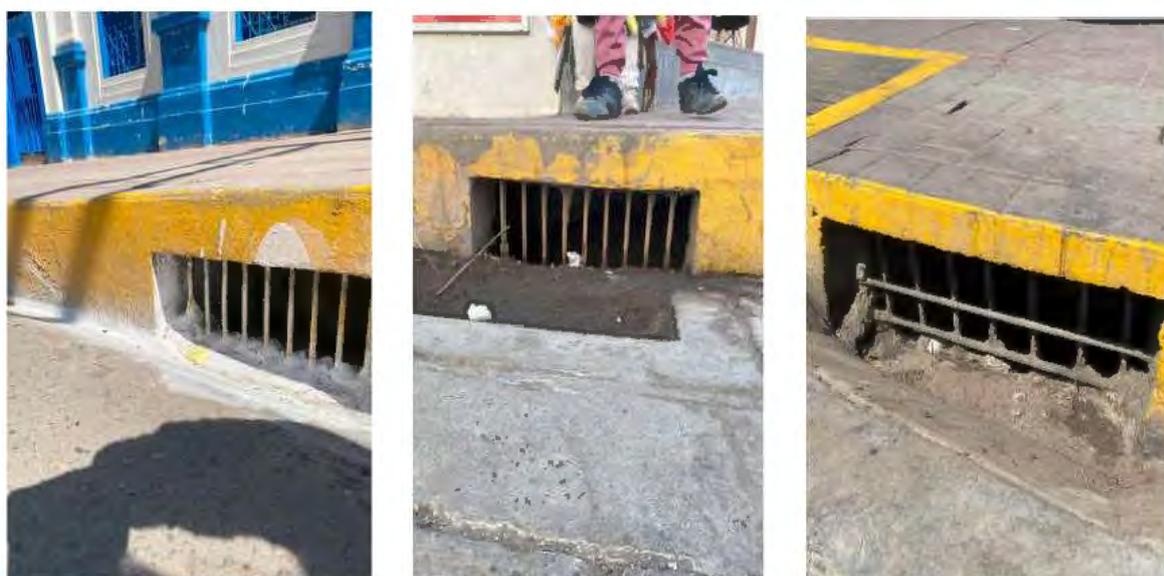
En las Figuras 11, se evidencia de manera significativa la carencia notable de infraestructuras diseñadas para la captación y evacuación de aguas pluviales en las esquinas de la intersección entre Jr. Lima y Jr. Ancash, incluyendo la notable ausencia de cunetas, que representan una pieza fundamental en este tipo de sistemas. Esta falta de infraestructura especializada conlleva a que, durante los períodos de lluvias intensas en la ciudad de Huancayo, no se logre una evacuación eficiente de las aguas pluviales.

La consecuencia directa es la acumulación de agua en dicha intersección, generando obstáculos para los peatones y un flujo vehicular más lento. Además, la cercanía de establecimientos comerciales a este punto crítico implica que el agua pluvial que se acumula pueda ingresar a sus espacios. Este problema se agrava aún más al considerar que la falta de un

adecuado sistema de drenaje pluvial no solo impacta la movilidad de personas y vehículos, sino que también puede tener un efecto adverso en la integridad estructural de los edificios y comercios circundantes, incrementando el riesgo de daños materiales y económicos para la comunidad local.

Figura 12

Punto crítico ubicado en las intersecciones del Jr. Lima y la Calle Real cerca al ingreso del INEI



Tal como se aprecia en detalle en la Figura 12, la imagen de la izquierda se dispone de un sistema de captación de aguas pluviales en un estado de conservación óptimo. Este sistema se ubica de manera estratégica en la transitada calle Real, siendo fundamental para gestionar las aguas pluviales de esta zona urbana. La eficaz operatividad de este sistema de captación es esencial para prevenir inundaciones y asegurar una correcta evacuación del agua pluvial durante episodios de lluvia intensa, lo que contribuye a mantener la seguridad y comodidad de los peatones y conductores que transitan por esta vía tan importante para la comunidad local. Es fundamental reconocer y destacar la importancia de mantener estos sistemas en buen estado de funcionamiento, garantizando así la adecuada gestión del agua pluvial y evitando posibles complicaciones derivadas de su deterioro o mal funcionamiento.

Por otro lado, al examinar detenidamente la sección que se muestra en la imagen central, se nota que, aunque no presenta obstrucciones notables, evidencia una acumulación de lodo en su entrada. Este hallazgo pone de manifiesto, una vez más, la crónica falta de mantenimiento de estas infraestructuras. Esta acumulación de lodo, aunque inicialmente no constituya una obstrucción completa, puede desencadenar problemas significativos con el tiempo, como la reducción gradual de la capacidad de captación y desagüe de aguas pluviales. La negligencia en el mantenimiento de estas estructuras, incluso en casos aparentemente menores como la acumulación de lodo, puede llevar a una disminución en la eficiencia operativa del sistema, lo que, en última instancia, puede contribuir a situaciones de inundación y otros inconvenientes en la zona afectada. Es crucial, por lo tanto, priorizar y ejecutar un mantenimiento regular y efectivo para asegurar el rendimiento óptimo y la longevidad de estas infraestructuras clave.

En la imagen de la derecha, puede observarse el estado actual en el que se encuentra la sección de ingreso de la estructura, esta presenta la acumulación de restos sólidos la cual se adhirió a la rejilla de ingreso, esta obstrucción ocupa aproximadamente un 30% de la sección lo cual refleja la falta de limpieza y mantenimiento de las estructuras de captación de agua pluvial.

Figura 13

Punto crítico ubicado en las intersecciones de la Calle Real y el Paseo la Breña, esquina de la Casa del Artesano.



La sección que puede observarse en la Figura 13 se encuentra en un estado regular debido a que en su ingreso presenta la obstrucción parcial debido a la acumulación de sólidos adheridos a la rejilla y como consecuencia puede notarse la acumulación de un pequeño volumen de agua. Esta falta de mantenimiento y limpieza en las estructuras de drenaje terminan ocasionando la intransitabilidad de los peatones y daño a las estructuras aledañas en eventos de fuertes lluvias en la ciudad.

Figura 14

Punto crítico ubicado en las intersecciones de la Calle Real y la Av. Giráldez, esquina de la Pollería LA LEÑA.



En la Figura 14, puede notarse la presencia de un sistema de captación de aguas pluviales, ya que se encuentra compuesto por cunetas, esta estructura presenta obstrucciones en su ingreso debido a la acumulación de restos sólidos en la rejilla y, además, la cuneta presenta la sedimentación de un pequeño porcentaje de lodo a lo largo de su estructura lo cual termina siendo transportado y acumulado en el ingreso de la rejilla al no haber un buen mantenimiento.

En la Figura 14 que se va a mostrar a continuación se observa la obstrucción en gran porcentaje de la rejilla, producto de sólidos y moho acumulado, impidiendo un buen funcionamiento de la estructura en general. Esta ausencia de mantenimiento y limpieza en estas estructuras terminan generando la acumulación de agua pluvial en esta intersección, ya que

ante eventos de fuerte lluvia no se da un buen desfogue del agua y esta termina invadiendo los carriles de las vías principales como lo es la Av. Giráldez.

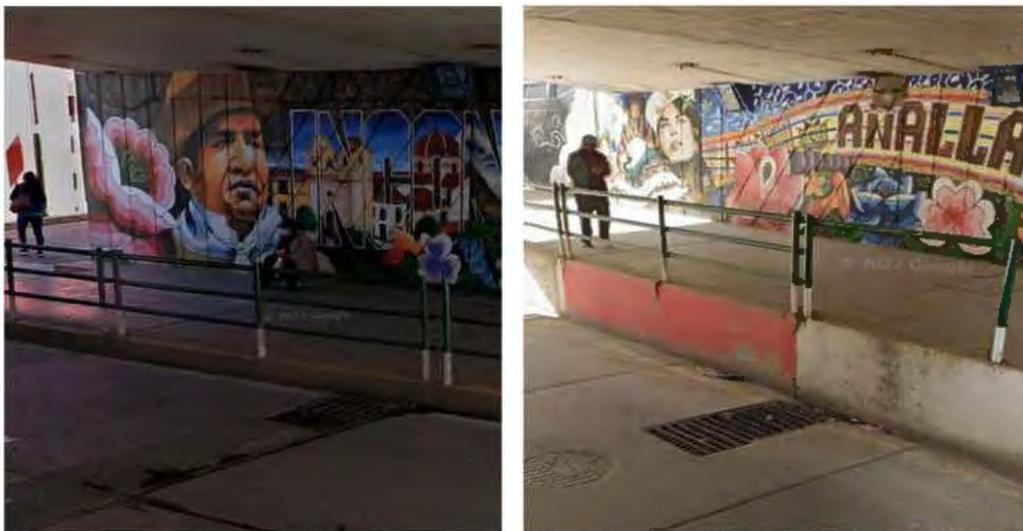
Figura 15

Cuneta que se une con el sistema de captación de aguas pluviales en las intersecciones de la Calle Real y la Av. Giráldez, esquina de la Pollería LA LEÑA.



Figura 16

Punto crítico ubicado bajo el Puente Giráldez, entre el cruce de la Av. Giráldez y la Av. Ferrocarril.

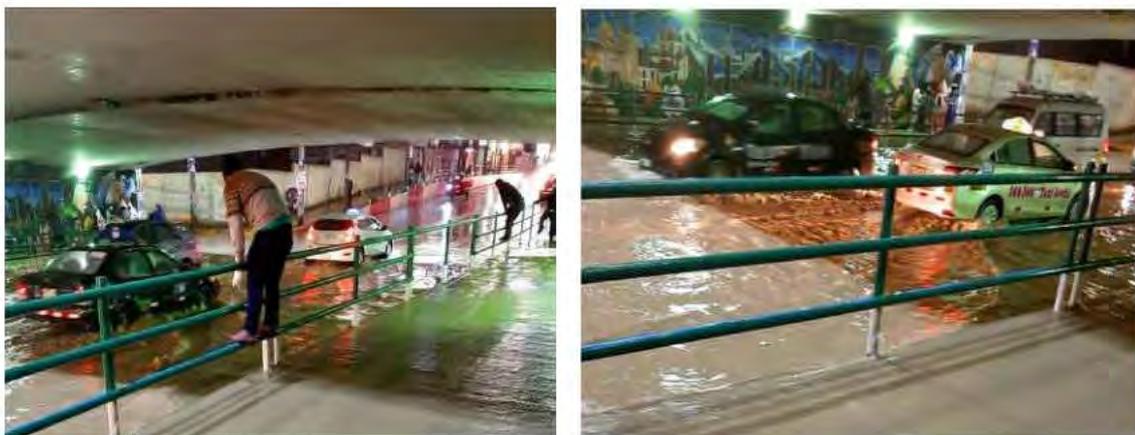


Como se evidencia en detalle en las Figura 15 y 16, debajo del Puente Giráldez, se pueden identificar únicamente dos secciones de captación de aguas pluviales situadas a nivel de la vía. Estas secciones, compuestas por rejillas, sufren de obstrucciones debido a la acumulación de sedimentos y falta de limpieza y mantenimiento adecuados. Esta obstrucción perjudica el correcto desempeño de la estructura en su función de captar y drenar las aguas pluviales.

La carencia de mantenimiento efectivo provoca que, durante episodios de lluvia, este punto crítico se vea severamente afectado debido a la acumulación significativa de agua. Este estancamiento de agua puede visualizarse claramente en las imágenes subsecuentes. Es fundamental resaltar cómo la falta de mantenimiento y limpieza periódica de estas estructuras es un factor determinante en la ineficiencia de su operación, lo que puede desencadenar situaciones de inundación y generar inconvenientes significativos en esta área específica de la infraestructura urbana.

Figura 17

Comportamiento de la red de alcantarillo ante eventos fuertes de lluvia bajo el Puente Giráldez, entre el cruce de la Av. Giráldez y la Av. Ferrocarril.



Nota. Noticias con Calle, marzo 2022.

En las Figuras 17 se puede apreciar un evento de fuertes lluvias que afectó a la ciudad de Huancayo en mayo de 2022. Durante este evento, el puente Giráldez experimentó acumulación de agua en la vía, lo que obstaculizó el tráfico normal.

Figura 18

Puente Giráldez inundado, entre el cruce de la Av. Giráldez y la Av. Ferrocarril



Nota. Info Andes, 15 de Setiembre del 2022

Por otro lado, en las Figura 18 se observa un evento pluvial más intenso que tuvo lugar el 15 de septiembre de 2022. Durante este evento, el sistema de alcantarillado en este punto colapsó por completo, y en las imágenes se puede ver un gran vertido de agua proveniente de la Av. Ferrocarril, que se ubica en la parte superior del puente. Este volumen de agua se acumuló en el Puente Giráldez, causando una obstrucción en el tráfico de vehículos y peatones.

Figura 19

Vertimiento de agua pluvial proveniente de la Av. Ferrocarril hacia la Av. Giráldez, entre el cruce de la Av. Giráldez y la Av. Ferrocarril.



Nota. Info Andes, 15 de Setiembre del 2022

Como se muestra en la Figura 19, el agua también invadió las veredas. Estas imágenes reflejan claramente las deficientes condiciones de la red de alcantarillado en la ciudad de Huancayo, lo que resulta en perjuicios para peatones, conductores y la infraestructura circundante.

Figura 20

Punto crítico ubicado en las intersecciones de la Calle Real y la Av. Giráldez, esquina de la Pollería LA LEÑA.



En la Figura 20, se destaca la presencia del mal estado de la estructura de drenaje, esta se encuentra en la Av. Giráldez, entre la Calle Real y el Jr. Ancash, como se puede observar en la imagen los fierros se encuentran expuestos siendo una estructura amenazada ante el ingreso

de sólidos o basura de dimensiones notables, que terminen obstruyendo el alcantarillado que se encuentra por debajo del pavimento.

En el caso de estudio, se busca implementar este tipo de sistema en los techos de la Zona Monumental del distrito de Huancayo que es donde se ha observado mayor cantidad de inundaciones generadas posterior a la precipitación. Los techos por evaluar serán los que están conformado por tejas, y el tipo de cubierta verde que se planea diseñar e implementar es la cubierta verde extensiva.

Procedimiento

En este apartado, se describirá el proceso detallado a seguir para alcanzar los objetivos establecidos previamente. El proceso inicia con la recolección de datos relevantes, que servirán como base para el diseño y la modelación, seguido por el análisis de los resultados obtenidos. A continuación, se explican los pasos intermedios que comprenden la selección de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) a emplear, la recolección de los parámetros específicos para cada SUDS y, por último, el proceso de modelación.

Recolección de Datos Previos al Diseño

Para la recopilación de información se recurrirá a las distintas instituciones de tal forma que se nos faciliten los diversos datos y tomarlos como base para iniciar el proceso de diseño. En primer lugar, para los estudios hidrológicos e hidráulicos se recurrirá a SENAMHI para facilitar los datos precipitaciones máximas de manera gratuita. Para luego, analizar los datos provistos y así analizar una situación crítica. Después, se conseguirán los planos geológicos de nuestra zona de estudio, además de los planos de cuencas; con la finalidad de sectorizar la cuenca que abastece al distrito de Huancayo. Finalmente se solicitarán los planos de curvas de nivel, planos de alcantarillado y el catastro urbano para ubicar el punto más alto y bajo de la

cuenca de estudio, ubicar las zonas que no cuentan con un desfogue pluvial y limitar nuestra zona de trabajo.

Por otro lado, se visitará la zona de estudio con el objetivo de verificar los datos obtenidos con anterioridad y reconocer aquellas zonas críticas que se presentan en épocas de lluvia ya sea visualmente o precedentes históricos. Los datos recopilados evidenciaron las zonas críticas y las zonas de mal drenaje mediante un levantamiento fotográfico. En primer lugar, para la selección de los puntos críticos se tomará en cuenta ambos aspectos. En este punto se tomará en cuenta las siguientes características: tipo de suelo, tipo de cuenca, aguas subterráneas, flujo base.

Estas características nos permitirán analizar el transcurso del agua al llegar al suelo y su comportamiento dentro de este. Para los aspectos urbanos se analizará las actividades futuras a desarrollarse con el objetivo de proyectarse ante el consumo del agua; por otro lado, se analizará las limitaciones espaciales presentes en la zona de estudio. Por último, se estudiará el desarrollo urbano y social. Finalmente, con los datos recopilados y ya con los puntos críticos definidos se evaluarán las diferentes alternativas de SUDS para cada caso.

Elección de los SUDS a Utilizar

Para la elección de los sistemas urbanos de drenaje sostenible a utilizar se considerarán principalmente dos variables: función principal y calidad del agua pluvial; eventualmente se considerará también estética urbana y capacidad de almacenamiento y utilidad.

En primer lugar, se definirá la calidad del agua; el agua pluvial que concurre en la ciudad de Huancayo no es lluvia ácida, más tiene presencia muy significativa de material particulado menor a 2.5 micrómetros (SENAMHI, n.d.). El agua pluvial no puede ser de consumo directo, debido al material particulado, pero sí de uso indirecto; por ejemplo, abastecer piletas, jardines, etc. Por otro lado, se considera su función principal. Para el caso de estudio lo que se desea es

que disminuya considerablemente la escorrentía superficial y evitar que la red de alcantarillado se sature. Casi todos los SUDS cumplen con lo expuesto anteriormente; por ello a fin de filtrar la mayor cantidad de tipos de SUDS, se decidió escoger los tipos de SUDS que mayor área ocupen sin interferir directamente en las actividades presentes en las calles. Por otro lado, considerando la calidad del agua pluvial y su función principal, finalmente, con el fin de considerar la estética urbana y la disposición actual de la zona de estudio se escogió realizar el análisis de la situación haciendo uso de cubiertas verdes y pavimento permeable.

Cubierta Verde. Para la implementación de los techos o cubiertas verdes se debe evaluar las precipitaciones y el caudal que este genera, inclinación de la cubierta, capas del sistema, altura de la edificación, exposición al viento, orientación del tejado y como interactúa con las edificaciones colindantes, sostenibilidad de la vegetación y objetivos locales de la biodiversidad. Se debe considerar que se dedica del área del tejado 50% al 80% para la cubierta vegetal, el resto se utilizara para instalaciones y acceso a la cubierta. Se debe considerar el grado de inclinación de las cubiertas, si esta tiene una inclinación menor 5% se recomienda un sistema de drenaje que evite que el agua se estanque en algunos puntos de la superficie; por otro lado, si la inclinación es mayor a 25% se debe incorporar elementos auxiliares que eviten pérdidas del sustrato, ya que estos pueden deslizarse (Perales et al., 2021).

Para el diseño de la cubierta se debe tener en cuenta que estará completamente saturada cuando se dimensione el soporte estructural del edificio, además que el agua de la lluvia caerá directamente sobre la cubierta, por lo que no se necesita elementos de pretratamiento. Para cuando se sature tendrá que haber un sumidero y un montante por donde descienda el agua. Debe ser diseñada para minimizar el riesgo del bloque, además de buscar una ubicación de fácil acceso para las labores de mantenimiento y de captar la escorrentía de la capa de drenaje y de la superficie cuando este se encuentre saturado.

El sustrato para usar debe ser permeable, no muy pesado cuando este se encuentre saturado. Es recomendable un 25% a 75% de material granular, 20 % de arcillas y limos y considerar una buena oxigenación de las raíces. La vegetación para utilizar debe de ser resistente en periodos secos o húmedos de tal forma que no necesiten ningún tipo de riego tras su plantación, es decir, autosuficientes. Se recomienda utilizar especies perennes. No obstante, el sistema de riego es opcional, pero ayuda al mantenimiento de la vegetación en periodos de sequía.

Pavimento Permeable. En primer lugar, se debe escoger el tipo de sistema a utilizar, ya sea un Tipo A (Con una infiltración total), un tipo B (Con una infiltración parcial) o una Tipo C (Un pavimento con una membrana impermeable) y para ello deben conocerse los datos de la permeabilidad de la subrasante (coeficiente K), contaminación existente, entre otros, como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 21

Guía de selección del tipo de sistema a emplear

Ground characteristics		Type A: total infiltration	Type B: partial infiltration	Type C: no infiltration
Permeability of subgrade defined by coefficient of permeability k (m/s)	1×10^{-9} to 1×10^{-3}	✓	✓	✓
	1×10^{-8} to 1×10^{-6}	✗	✓	✓
	1×10^{-10} to 1×10^{-5}	✗	✗ (1)	✓
Highest expected water level within 1000 mm of formation level		✗	✗	✓
Pollutants present in subgrade		✗	✗	✓
Ground conditions such that infiltration of water is not recommended (solution features, old mine working etc, Chapter 8)		✗	✗	✓

Nota. Adaptada de SUDS Manual, de CIRIA, 2015 (www.scotsnet.org.uk). EC1A 9PN.

En el distrito de Huancayo, se tiene suelos del tipo GM, en la parte céntrica de Huancayo (llámese el contorno de la ciudad, la Plaza Constitución, la Municipalidad, Gobierno Regional, Conjunto Habitacional FONCODES, Urbanización Los Sauces), pero en la parte más alta (Urbanización Santa Isabel, Centro Médico Municipal, Urbanización El Trébol), encontramos

suelos del tipo ML-CL, limos arcillosos. (INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL, 2011).

Conociendo ello, podemos determinar que en la zona monumental del distrito de Huancayo se cuenta con un tipo de suelo GM (Grava Limosa) el cual es catalogado como un suelo muy permeable, cuyo coeficiente de permeabilidad se encontraría en el rango de 10^{-6} a 10^{-3} , quedándonos de esta manera con el sistema Tipo A para poder emplear ya que este permite una total infiltración de la escorrentía. Para el diseño de esta alternativa se debe tener en consideración varios factores, entre los cuales se resaltan: Cantidad de lluvia esperada (Precipitaciones), características del pavimento y propiedades del suelo; de todo lo mencionado, lo que más importará será la escorrentía que pueda tolerarse.

Se deberá tener un conocimiento del suelo ubicada en la zona de estudio lo indicaría que, si se tiene un suelo arenoso o seco, entonces tendrá la capacidad de absorber el agua mucho más rápido, pero si se cuenta con un suelo arcillosos entonces la capacidad de absorción por parte de este material es relativamente nula. Otro punto para tener en cuenta es la ubicación de este pavimento permeable, ya que este puede trabajar en conjunto con un sistema tradicional que está conformado por: Pavimento impermeable, cunetas y drenaje local; es decir, si tenemos un trabajo conjunto, debemos asegurar que las cunetas garanticen un flujo de agua hasta el sistema con el pavimento permeable, pero sin contenido de sedimento u otro material ya que terminaría obstruyéndolo.

Para el pavimento permeable se debe definir cuál será su permeabilidad, su capacidad de almacenamiento, suelos de subbase y subrasante; con todo ello debemos de garantizar que su implementación no afecte al paisaje natural o llegue a alterarlo y que su costo de construcción sea mínimo ya que el fin de una estructura sostenible es garantizar una armonía con el espacio natural y aprovechar sus recursos sin dañarlos.

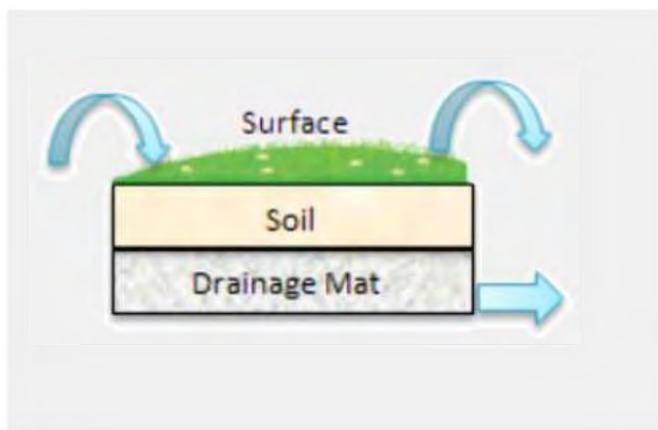
Recolección de Parámetro para Modelación

Para la recolección de lo parámetro a utilizar en el software EPA SWMM 5.1, se debe tener en cuenta que para los tipos de SUDS a diseñar sus parámetros son diferentes. Los parámetros fueron mencionados previamente en la Tabla 4.

Cubiertas Verdes. Los parámetros fundamentales para considerar se enfocan en tres aspectos clave: la superficie, el suelo y el sistema de drenaje. A continuación, se proporcionará una imagen que ilustra la distribución y el orden en que estos elementos estarán dispuestos. En la imagen se visualizará claramente cómo se distribuirán y relacionarán entre sí la superficie, el suelo y el sistema de drenaje, lo que facilitará una mejor comprensión de su interacción y funcionamiento en el contexto del proyecto.

Figura 22

Distribución de tipos de parámetros a utilizar en cubiertas verdes



Nota. EPA SWMM 5.1.

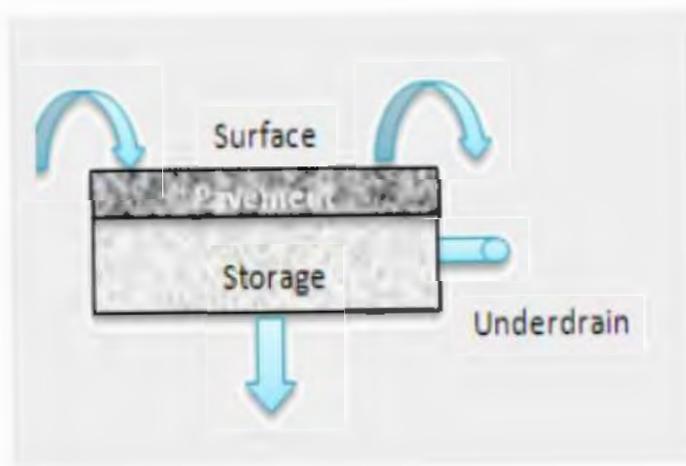
Como se puede apreciar en la Figura 22, las cubiertas verdes en un SUDS se componen de tres capas: el sistema de drenaje, el suelo y la superficie con vegetación. El sistema de drenaje se encarga de evacuar la esorrentía cuando la superficie y el suelo están saturados. La capa de suelo tiene características específicas según los objetivos del SUDS y las condiciones de la zona. Por último, la superficie alberga la vegetación y contribuye a mejorar el entorno

urbano. Es esencial definir dimensiones y características en cada capa para lograr un diseño y funcionamiento óptimos del proyecto y obtener los beneficios deseados.

Pavimento Permeable. El pavimento permeable se destaca por sus características clave relacionadas con la superficie, el tipo de pavimento empleado, su capacidad de almacenamiento y su efectividad en el drenaje. A continuación, se presentará una ilustración que ilustra cómo se disponen cada una de las capas en este tipo de pavimento permeable.

Figura 23

Distribución de tipos de parámetros a utilizar en pavimento permeable



Nota. EPA SWMM 5.1.

En la Figura 23, se observa cómo se encuentran distribuidas las capas del pavimento permeable. En primer lugar, en la base, se encuentra el almacenamiento del pavimento permeable, por el cual circula una tubería de drenaje. En segundo lugar, se encuentra el pavimento a usar de acuerdo con las características de la zona y el uso que tendrá. Finalmente, se encuentra la capa superficial, que es la que tiene contacto directo con todos los agentes externos a este. Considerando las características de las capas mencionadas anteriormente se tendrá un SUDS correctamente diseñado e implementado.

Modelación

Para llevar a cabo el modelado, se utilizará el software EPA SWMM 5.1, mencionado previamente. Este software se basa principalmente en la representación de nudos, conductos y microcuencas, lo que nos permitirá diseñar de manera eficiente y precisa la red de drenaje existente y los SUDS a implementar.

Modelación Red de Alcantarillado Existente. Para la modelación de la red de alcantarillado existente fue necesario evaluar diferentes puntos previos a ingresar al software. En primer lugar, marcar todas las intersecciones donde se colocarán los nodos y sus respectivas dimensiones y cotas. En segundo lugar, se delimitarán las microcuencas, que en el caso de estudio son las cuabras presentes en el distrito de Huancayo; finalmente se conectan los nodos con conductos y se determina la dimensiones de este. Habiendo realizado este proceso previo se procede a modelar en el software.

Ya en el software, se deberá iniciar con las configuraciones, desde unidades hasta el Hietograma a usar en la modelación, acabada la configuración se procede a modelar. En primer lugar, se insertará una imagen referencial de la zona de estudio. En segundo lugar, se introducirán los nodos de forma ordenada y se colocará el tipo de nodo, uniones o de salida. Después considerando la imagen insertada se trazará las microcuencas presentes por manzanas urbanas, se colocarán las dimensiones de las microcuencas y en donde desembocan. Finalmente, se traza uniendo los nodos los conductos por donde pasa el actual alcantarillado, estos conductos tendrán dimensiones de acuerdo con las existentes. Finalizado este proceso se procede a ejecutar el modelo.

Modelación Cubierta Verde. Para la modelación de Cubierta Verde, se hará uso del modelo de red de alcantarillado existente, solo que en este caso se introducirá el parámetro de LID controls en la subcuena previamente delimitadas. En primer lugar, en el proyecto, en el

inciso de hidrología, se selecciona un nuevo LID control, para este caso se escoge Green Roof y se empieza a rellenar los parámetros y dimensiones que tendrá la cubierta verde.

Después de haber definido el nuevo LID control, en todas las microcuencas creadas en el software se determinarán y calcularán las áreas donde se colocará este SUDS, que en el caso de estudio serán en todos los techos donde se esté empleando tejas. Finalmente, se procede a ejecutar el programa y observar los diferentes cambios que presentaron por la implementación de este SUDS.

Modelación Pavimento Permeable. Para la modelación de Pavimento Permeable, al igual que para la modelación de la Cubierta Verde, se hará uso del modelo existente de la red de alcantarillado y se le añadirá el nuevo LID control. El LID control a seleccionar será el de Permeable Pavimento, se insertarán las dimensiones de todos los componentes que conforman el SUDS. Se procederá a seleccionar en las microcuencas creadas el porcentaje de área donde se encontrará el Pavimento Permeable, que en el caso de estudio corresponde a las calles existentes. Finalmente, se ejecuta el programa y se observa los cambios que se presentaron al introducir este SUDS.

Análisis de los Resultados obtenidos

Una vez concluida la propuesta de diseño, se procederá a realizar una comparación con el sistema de drenaje actual. El objetivo es evaluar la viabilidad de implementar los sistemas urbanos de drenaje sostenible considerando diversos criterios, como análisis de beneficios, desventajas, costo, durabilidad y comportamiento, entre otros.

En esta etapa, se tomarán como base los datos recopilados más representativos para modelar las condiciones deseadas. Se analizarán las rutas de flujo y los puntos de descarga del sistema actual de drenaje ante las precipitaciones concurrentes.

Por otro lado, se considerará un dato significativo para el inicio del diseño, que es el caudal total provocado por las precipitaciones y el porcentaje de agua pluvial recolectada por el sistema de drenaje actual, en comparación con el porcentaje que permanece acumulado en las calles o avenidas sin posibilidad de aprovechamiento. Estos criterios de diseño se ajustarán a las normas vigentes y permitirán proponer alternativas de mejora frente al sistema actual, incluyendo opciones que posibiliten el máximo aprovechamiento del agua captada.

Modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040

La modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040 es un proceso de suma importancia para asegurar su relevancia y adecuación en un entorno en constante evolución. Este proceso se inicia con la identificación de la necesidad de modificación, la cual puede originarse por avances tecnológicos, nuevos descubrimientos científicos o cambios en los requisitos legales. Una vez que se ha detectado esta necesidad, se procede a la revisión y propuesta de los cambios necesarios para la norma, con el objetivo de mantenerla actualizada y efectiva en su aplicación.

Modelación

La modelación de SUDS implica el uso de técnicas y software especializados para simular el comportamiento hidráulico y ambiental de estos sistemas, permitiendo evaluar su rendimiento en distintos escenarios y facilitando la toma de decisiones informadas en el proceso de diseño. En este apartado, se abordan tres etapas: primero, se presentan todos los resultados necesarios previos a la modelación. Seguidamente, se procede a ingresar los datos en el modelo. Por último, se ejecuta el modelo y se extraen los resultados obtenidos.

Resultados previos al modelamiento

Con el objetivo de facilitar la comprensión del procedimiento, este apartado se organiza en tres etapas fundamentales: el cálculo del hietograma, la determinación de los puntos de ubicación, longitud, diámetro y profundidad de la red de alcantarillado existente, y, por último, el ingreso de los parámetros de los dos sistemas de drenaje sostenible que se emplearán. Al enfocarse claramente en estos tres pasos esenciales, se garantiza una metodología sólida y efectiva que respalda las decisiones en la planificación de infraestructuras hidráulicas sostenibles, fortaleciendo la base para la toma de decisiones informadas en este ámbito.

Cálculo del hietograma para la zona de estudio

En este procedimiento, en primer lugar, se realizará la selección de las estaciones meteorológicas que serán utilizadas en el estudio. Posteriormente, se determinará la precipitación máxima, teniendo en cuenta el periodo de retorno seleccionado y utilizando las distribuciones estadísticas correspondientes. Con base en esta precipitación máxima, se procederá al cálculo de la curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), que proporcionará información valiosa sobre la intensidad de las lluvias en función de su duración y la probabilidad de ocurrencia. Una vez obtenida la curva IDF, se utilizará para calcular el hietograma, que es una representación gráfica de la distribución temporal de la precipitación.

Este hietograma será fundamental para la modelación hidráulica y permitirá simular el comportamiento de las aguas pluviales en la zona de estudio.

Primero, utilizando el programa ArcGIS se ubicó todas las estaciones meteorológicas que se encuentran cerca de la cuenca de estudio. Al tener todos los puntos ubicados, utilizando la herramienta de poligonación del programa, se pudo obtener que estaciones influyen en la zona de estudios. A continuación, en la siguiente tabla se presentará las seis estaciones que se emplearon para la poligonación.

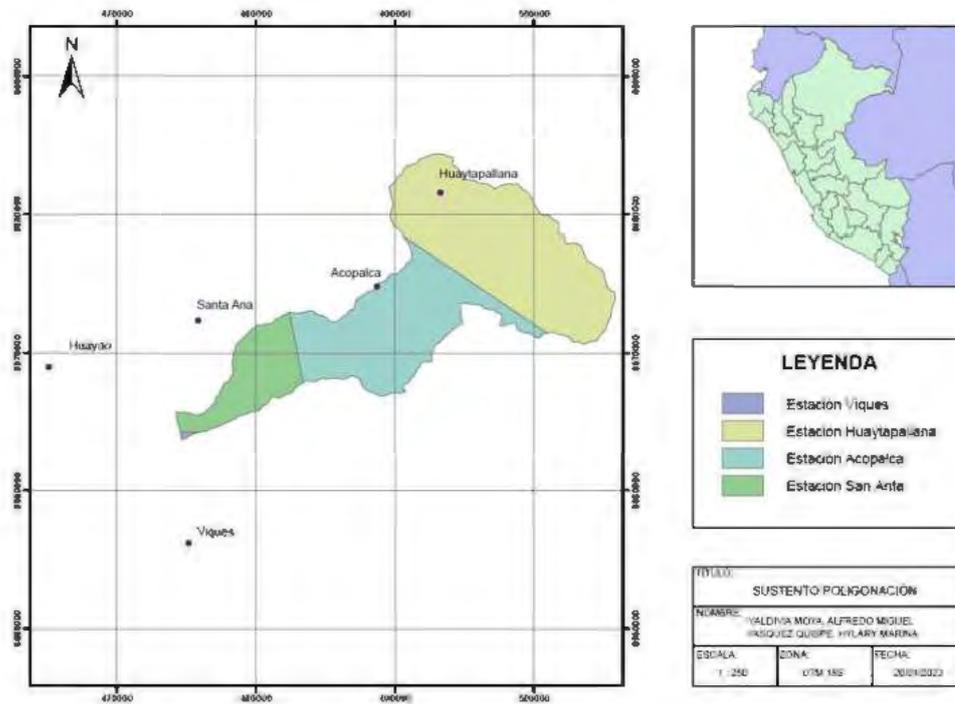
Tabla 9

Coordenadas y precipitación máxima de las estaciones meteorológicas

N°	Estación Meteorológica	X	Y	PP
1	Huayao	465115.7	8668981.4	51.754
2	Huatapallana	493285.2	8668981.4	34.578
3	Acopalca	488730.1	8674846.1	45.426
4	Santa Ana	475879.4	8672380	54.24
5	Viques	475161.2	8656182.6	71.981
6	Puente Breña	473836.2	8667671	57.404

Nota. Estos datos se obtuvieron del SENAMHI.

Con los datos de la Tabla 9, la poligonación como herramienta nos permitió realizar un análisis gráfico detallado y revelador en nuestra zona de estudio. Gracias a esta técnica, se pudo identificar y destacar con precisión las estaciones que juegan un papel clave en el contexto de la zona de estudio. La poligonación brindó una visión más clara de cómo se distribuyen estas estaciones estratégicas en el área de interés, proporcionando una representación visual que facilitó la interpretación de su relevancia en el contexto general del proyecto. A continuación, se presentará con una imagen lo expuesto anteriormente.

Figura 24*Sustento de poligonación en la cuenca de estudio**Nota.* Fuente Propia

Como se puede observar en la Figura 24, a pesar de que en las proximidades de la zona de estudio hay seis estaciones meteorológicas, nuestra poligonación nos ha revelado que únicamente cuatro de ellas tienen influencia en el área. De estas cuatro estaciones, solo una, la estación Santa Ana, ejerce un impacto directo en nuestra zona de interés. Por consiguiente, todas las estimaciones y cálculos pertinentes serán realizados exclusivamente tomando en cuenta los datos provenientes de la estación Santa Ana. Esta decisión se fundamenta en la importancia que tiene esta estación y en la certeza de que sus mediciones serán las más relevantes y representativas para nuestros propósitos en el desarrollo del estudio.

Con el registro histórico de la estación de Santa Ana y utilizando el programa Hidroesta 2, se determinará a qué distribución estadística que más se ajuste. A continuación, se presentará los datos de precipitación máxima obtenidos para los diferentes periodos de retorno en las diferentes distribuciones estadísticas.

Tabla 10*Ajuste de precipitación máxima con las diferentes distribuciones estadísticas*

TR (años)	Normal	Log Normal 2	Log Normal 3	Gamma 2	Gumbel	Log Gumbel
2	33.76	32.27	33.49	32.76	32.13	30.65
5	42.09	42.01	41.87	41.81	40.88	40.43
10	46.45	48.23	46.41	47.13	46.68	48.57
30	51.93	57.35	52.27	54.41	55.44	64.08
50	54.10	61.44	54.65	57.49	59.43	72.72
70	55.45	64.10	56.14	59.44	62.05	79.01
100	56.80	66.92	57.65	61.46	64.83	86.26
500	62.27	79.55	63.84	69.94	77.28	127.95
Delta teórico	0.0614	0.0964	0.0706	0.0866	0.1199	0.1574
Delta tabular	0.2367	0.2367	0.2367	0.2367	0.2367	0.2367
	0.1753	0.1403	0.1661	0.1501	0.1168	0.0793

Se obtuvo la Tabla 10 de todos los valores obtenidos en el programa Hidroesta, asimismo, se han considerado diferentes periodos de retorno. Para determinar qué distribución estadística utilizar, se llevará a cabo un análisis comparativo entre el delta teórico y el delta tabular. La distribución que dé el menor valor resultante entre el delta teórico y el delta tabular será seleccionada para el estudio, esta sustracción se encuentra al final de cada columna. Tras realizar este análisis, se observa que la distribución Log Gumbel fue la que dio el menor valor, por lo tanto, será la distribución que se utilizará en el análisis. Además, se ha determinado que se empleará un periodo de retorno (TR) de 30 años, ello al hacer uso de la fórmula (3) descrito en los Parámetros de Importancia, la obtención de este valor se hizo en base al tipo de Obra y al tiempo de vida útil, es necesario recalcar que esta obra de alcantarillado tiene la necesidad de abordar condiciones críticas específicas de la zona, como lo son los datos históricos los cuales indican eventos de lluvia intensos poco frecuentes y el periodo tomado en cuenta puede capturar mejor estas condiciones además, si la infraestructura está diseñada para una vida útil prolongada, seleccionar un periodo de retorno mas largo puede proporcionar una mayor

capacidad de resistencia a eventos extremos a lo largo del tiempo, llegando a concluir en que este valor refleja un enfoque más conservador. Con base en esta decisión, se ha determinado que la precipitación máxima para un periodo de retorno de 30 años es de 64.08 mm/24hr.

Con este valor, se procederá a determinar la curva IDF, para esto se utilizará dos métodos: SCS y Dyck Peschke. Cabe mencionar que entre ambos métodos el más confiable es el de SCS debido a que con este método se hace uso específico de suelos y uso de la tierra para el empleo de los perfiles, por otro lado, es un método ampliamente utilizado en proyectos de drenaje y control de inundaciones. A continuación, se va a presentar una tabla con las intensidades obtenidas.

Tabla 11

Resume de resultado de Intensidad (mm/hr)

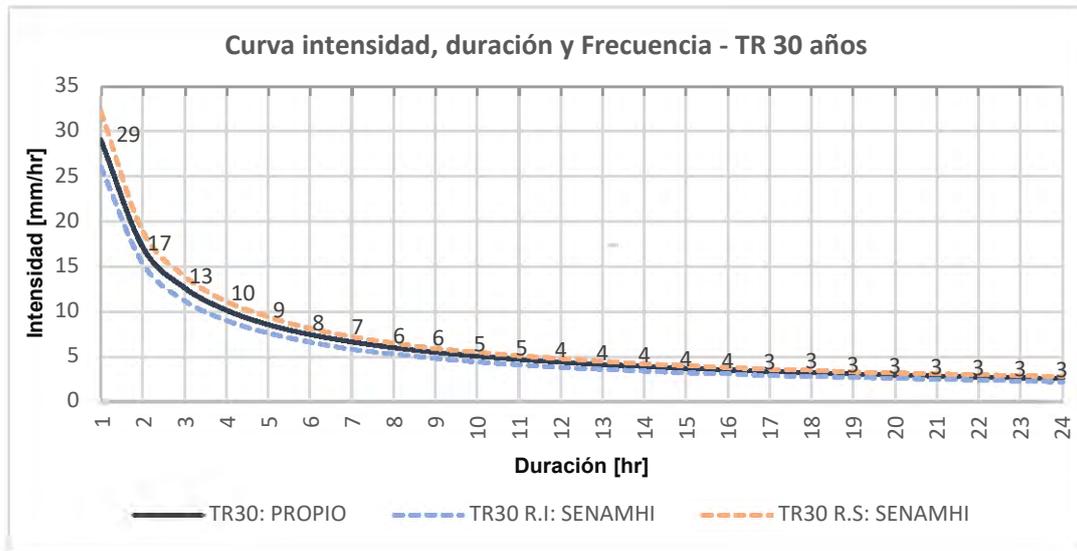
Metodología	Intensidad	Unidad
SCS	11.80	mm/h
DYCK PESCHKE	12.70	mm/h

Nota. Previamente el método más confiable es él es de SCS, por lo tanto, la intensidad a utilizar será la de ese método. Elaboración propia.

Una vez obtenido el valor de la intensidad, se procedió a determinar la curva IDF. Es relevante destacar que el SENAMHI establece rangos específicos para la curva IDF en función del periodo de retorno. En la siguiente gráfica, se mostrará este rango junto con la curva calculada para su comparación y evaluación. La visualización de esta información permitirá verificar la concordancia entre la curva obtenida y los estándares establecidos por el SENAMHI, asegurando así la calidad y confiabilidad de los resultados en el análisis hidrológico de la zona de estudio.

Figura 25

Curva intensidad, duración y Frecuencia - TR 30 años



Como se puede observar en la Figura 25, la curva IDF calculada y obtenida con la aplicación del método de la SCS, se encuentra dentro del rango propuesto por SENHAMI, el cual se obtuvo ubicando la cuenca de estudio en el módulo para la estimación de curvas de IDF en la página web del SENAMHI. Ahora se procederá a calcular el hietograma con el tiempo de concentración previamente calculado, el periodo de retorno y la intensidad; y los valores del hietograma ingresarán al modelo.

Figura 26*Hietograma precipitación TR 30 años*

Con los valores que se muestran en el hietograma, en la Figura 26, estos serán utilizados para crear la serie de tiempo de la precipitación en el modelo, con un tiempo de concentración de 180 minutos. El valor del tiempo de concentración se obtuvo al hacer uso de la fórmula (22) descrito en los Parámetros de Importancia, esta expresión corresponde a la fórmula del Método California Culverts Practice, el cual puede ser empleada para pequeñas cuencas con la característica de encontrarse en zonas montañosas; esa descripción calza con el detalle de nuestra cuenca en estudio y al reemplazarse los valores de la diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida y longitud de cauce mas largo que son 108 m y 11.5 km respectivamente procesio a reemplazase y redondearse al extremo superior obteniendo de esta manera una duración de tormeta de 3 horas o 180 minutos. Para llevar a cabo este proceso, se procederá a abrir el software SWMM 5.1 y, en la barra ubicada en el lado izquierdo, se seleccionará la pestaña "Project". A continuación, se buscará el acápite "Time Series" y se ingresarán todos los datos del hietograma previamente calculado en este punto.

Figura 27

Ingreso de datos del hietograma en el modelo



En la Figura 27, se puede observar todos los pasos seguidos para ingresar los valores de precipitación, cabe mencionar que el intervalo de tiempo utilizado es de 6 minutos, la elección de este intervalo depende del propio usuario sin embargo, al emplear un intervalo más corto el modelamiento permite capturar cambios más rápidos en la lluvia y la escorrentía, este valor pudo considerarse de una menor amplitud pero incrementaría la capacidad computacional, es por ello que se hizo uso de dicha amplitud para así representar los eventos cortos de manera eficaz. Asimismo, con el objetivo de corroborar los valores que se insertaron en el modelo, se generó un hietograma en el modelo. Con este último paso se termina el procedimiento para cálculo de hietograma.

Elaboración de modelo básico

La denominación "modelo básico" se refiere al estado actual del sistema de alcantarillado en el distrito de Huancayo. Para esta etapa, se llevará a cabo la construcción del modelo utilizando información proveniente de estudios topográficos y planos de ubicación. El propósito es recrear de manera precisa el comportamiento actual del sistema de drenaje en la ciudad de Huancayo, especialmente su respuesta ante una precipitación con un periodo de

retorno de 30 años. Vale la pena resaltar que (ver anexo D) proporciona detalles sobre la ubicación y características del alcantarillado en el distrito.

Cabe destacar que, en consonancia con la zona de estudio elegida, se ha llevado a cabo la identificación y etiquetado adecuado de nodos, tuberías y subcuencas relevantes en el modelo. Las subcuencas, en este contexto, se corresponden con cada área cuadrangular; según el Manual del Usuario de la SWMM – Modelo de Gestión de Aguas Pluviales, una cuenca es una porción de terreno que contiene una mezcla de superficies permeables e impermeables las cuales drenan a un puntos común de descarga, en nuestro caso en específico se delimitó las cuencas en función a los bloques de viviendas rodeados por las calles o avenidas, estos bloques mencionados cumplen con las características de estar conformadas por superficies permeables (correspondiente a las áreas verdes) y a superficies impermeables (correspondiente a los techos de las viviendas) y al tener un punto de descarga en común, las cuales serían una red de alcantarillado, cumplen con la definición de cuenca para el uso del programa SWMM. Este enfoque garantiza que se consideren de manera precisa los elementos esenciales del sistema en estudio, permitiendo un análisis hidráulico detallado y una representación fiel del comportamiento del sistema de drenaje en la zona de interés.

Figura 28

Delimitación de subcuencas en zona de estudio

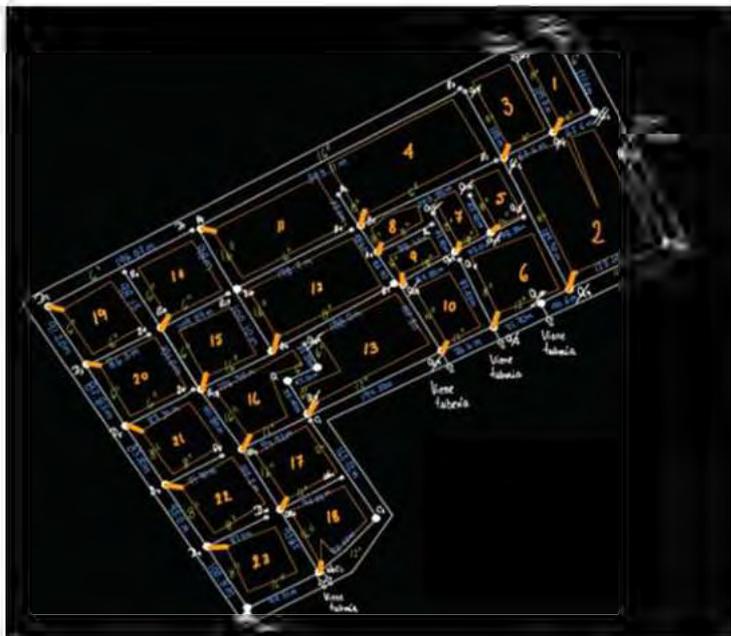


Nota. Fuente propia utilizando las herramientas de Google Earth.

Tal como se muestra en la Figura 28, se ha efectuado la delimitación precisa de la zona de estudio mediante las utilidades ofrecidas por Google Earth. Con la finalidad de optimizar la comprensión visual, se ha aplicado un sombreado de tonalidades diferenciadas a las distintas subcuencas identificadas. Adicionalmente, se ha realizado la pertinente etiquetación de cada una de estas subcuencas con el propósito de conferirles una identificación clara y precisa. De igual modo, se ha llevado a cabo la selección minuciosa de los elementos relevantes a partir del plano detallado de ubicación y la red de alcantarillado, cuyos datos se han escogido meticulosamente para el desarrollo del modelo. Esta selección de información es presentada en la siguiente figura, proporcionando una representación visual de los elementos elegidos con sus respectivas dimensiones para el análisis.

Figura 29

Borrador de modelo de la zona de estudio

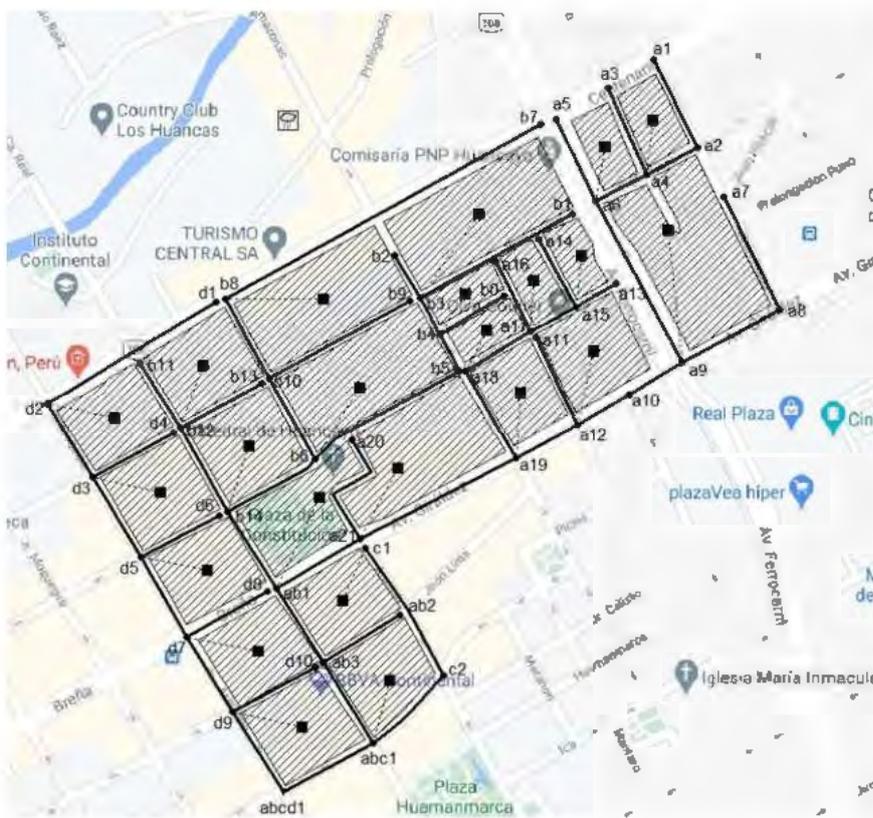


Nota. Fuente propia.

Con el propósito de brindar una descripción más detallada de la información derivada de los planos, en la tabla (ver anexo E) se mostrará mayor detalle de lo explicado. Ahora ya con toda esa información, en el mismo archivo donde se guardó el hietograma se procedió a crear el modelado de la red de alcantarillado existente en el software EPA SWMM 5.1.

Figura 30

Modelo en EPA SWMM 5.1. de red de drenaje existente en el distrito de Huancayo



Nota. Fuente propia.

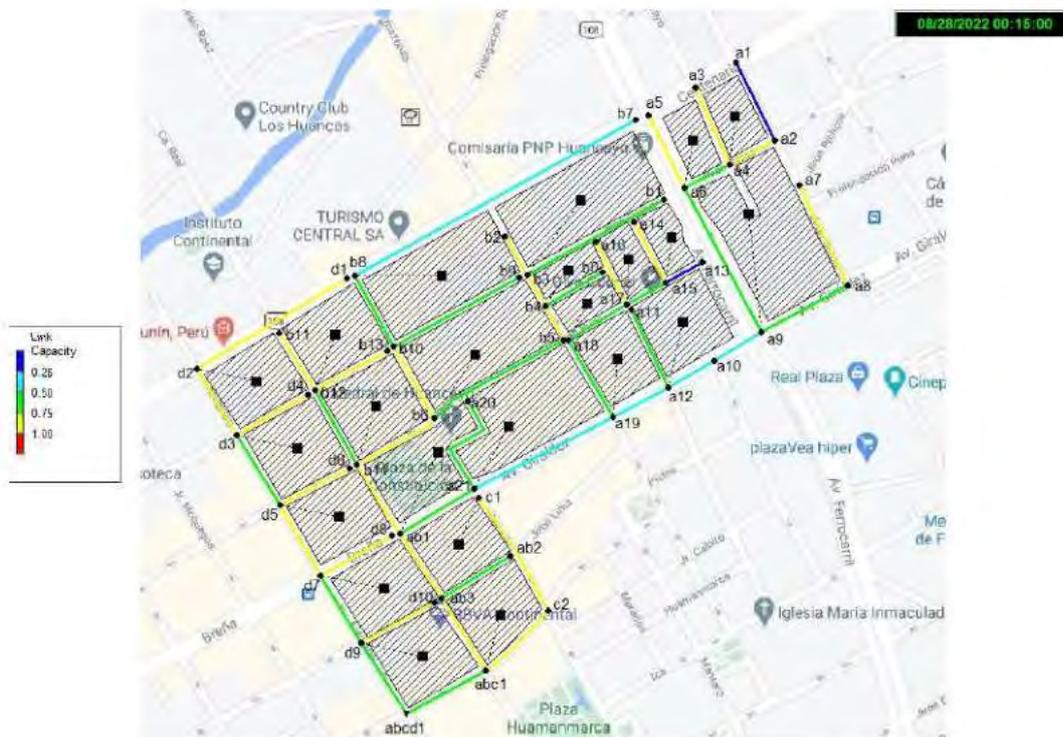
Como se evidencia en la Figura 30, se ha llevado a cabo un levantamiento completo de la red de alcantarillado preexistente en la zona de estudio, contemplando aspectos tales como longitudes, cotas, profundidades y dimensiones en las tuberías de dicha red. De manera paralela, en el caso de las subcuencas, se ha priorizado la consideración del área representativa de cada cuadra, la cual ha sido conectada a las tuberías según lo indicado en los planos.

Modelación Red de Alcantarillado Existente

Con el modelo básico ya incorporado en el software y teniendo en cuenta el hietograma previamente elaborado, se procederá a la interconexión de ambos elementos en el software correspondiente. Este paso marca el inicio de la fase del modelado, donde se dará vida al sistema, permitiendo simular y analizar el comportamiento hidráulico de la red de alcantarillado en respuesta a la precipitación de un periodo de retorno de 30 años. La conjunción de estos componentes proporciona la base para realizar un análisis riguroso y detallado que contribuirá a comprender mejor la dinámica del drenaje en el área de estudio y a evaluar su capacidad para hacer frente a situaciones de lluvia intensa y eventos extremos.

Figura 31

Capacidad de las tuberías del modelo básico antes de la precipitación



Nota. Fuente propia.

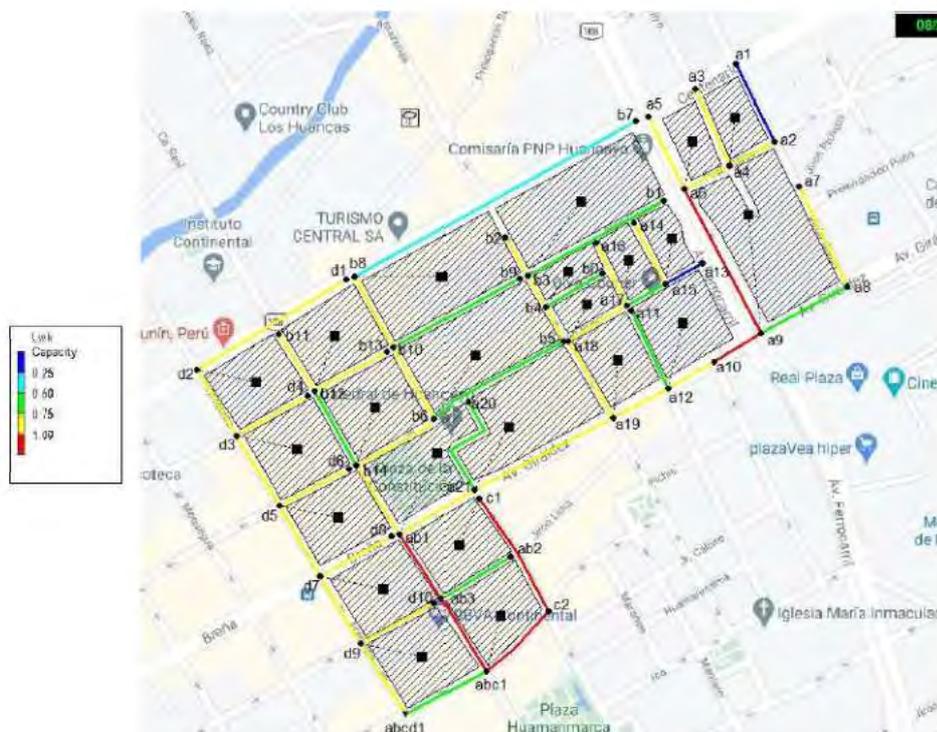
En la Figura 31 se presenta el análisis del comportamiento de las tuberías en la zona de estudio antes de que inicie la precipitación. Se observa que la mayoría de las tuberías se

encuentran operando entre el 50% y el 75% de su capacidad nominal. Sin embargo, también se identificaron algunas tuberías que están operando por debajo del 50% de su capacidad.

En la figura siguiente, se expondrá la misma red de alcantarillado, pero en esta instancia, se considerará el evento pluvial en su punto máximo. El propósito de esta representación es ilustrar el comportamiento de la red de alcantarillado bajo condiciones de máxima precipitación, asociada al periodo de retorno de 30 años, el cual fue descrito anteriormente.

Figura 32

Capacidad de las tuberías del modelo básico en el punto máximo de la precipitación



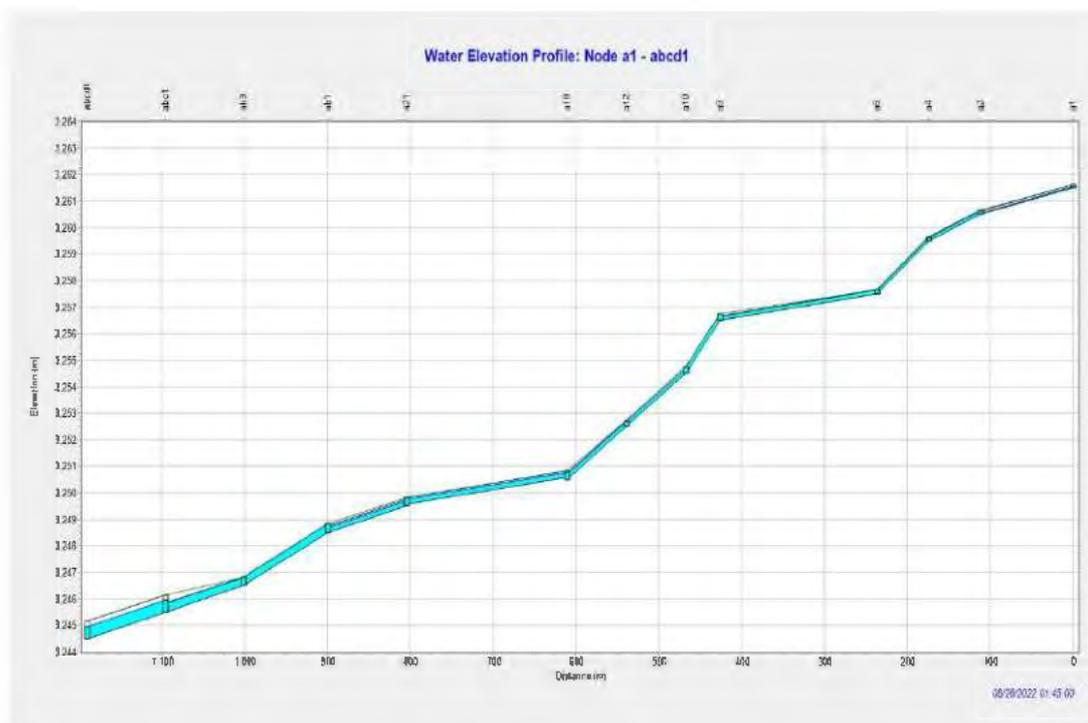
Nota. Fuente propia.

La Figura 32 revela claramente que, en varios puntos de la zona de estudio, las tuberías exceden su capacidad nominal. Esto se refleja en casos como el tramo c1 al c2, tramo ab1 al abc1, tramo c2 al abc1, y el tramo a6 al a10. Esta observación encuentra respaldo en los datos recopilados durante el levantamiento fotográfico en la delimitación de la zona de estudio, tal como se describe en el capítulo de Metodología. En consecuencia, se puede afirmar que el

modelo utilizado concuerda de manera significativa con las premisas previamente establecidas. Por otra parte, en la figura siguiente se exhibirá el comportamiento transversal de la red de alcantarillado durante el pico máximo de precipitación.

Figura 33

Perfil de elevación de la red de alcantarillado en el punto máximo de la precipitación



Nota. Fuente propia.

En la Figura 33 se presenta de manera integral el perfil de elevación del tramo principal de la red de alcantarillado en la zona de estudio. De manera análoga a lo expuesto en la Figura 20, se visualizan los puntos críticos clave de la red.

Modelación Red Existente con Cubierta Verde

En el caso de las cubiertas verdes, de acuerdo a la información recaudada por Jiménez et al. (2021) a continuación se mostrará una tabla con todos los parámetros a considerar para la implementación de cubiertas verdes dividido en los tres tipos de cubierta verde que existen: extensivo, semi extensivo e intensivo.

Tabla 12*Parámetros de SWMM para los diferentes escenarios*

Capa	Parámetros	Extensivo	Semi-Intensivo	Intensivo
Superficial	Altura de la berma (mm)	50	80	100
	Fracción de volumen de vegetación	0.1	0.2	0.3
	Rugosidad (Manning n)	0.05	0.04	0.035
	Pendiente de la superficie (%)	3	3	3
	Espesor de la capa del suelo (mm)	75	150	400
	Porosidad	0.46	0.46	0.46
Suelo	Capacidad de campo (cm ³ /cm ³)	0.25	0.25	0.25
	Punto de marchitez (cm ³ /cm ³)	0.11	0.11	0.11
	Conductividad (mm/h)	2.5	2.5	2.5
	Pendiente de la conductividad	5	5	5
	Potencial de succión del frente húmedo(mm)	88.9	88.9	88.9
Capa Drenante	Espesor (mm)	25	40	60
	Fracción de vacío	0.7	0.64	0.62
	Rugosidad (Manning n)	0.3	0.26	0.52

Nota. Tomado de *Eficiencia hidráulica y ambiental de cubiertas verdes en un clima mediterráneo continental seco. Aplicación a una nueva urbanización en la ciudad de Zaragoza (España)* (p. 136), por Jiménez et al., 2021, Ingeniería de Agua.

Al utilizar la Tabla 12 y al seleccionar el tipo de cubierta verde a implementar, se obtendrán todos los parámetros necesarios para ingresar al software EPA SWMM 5.1. Cabe resaltar la importancia de que la elección de la Solución Urbana de Drenaje Sostenible (SUDS, por sus siglas en inglés) sea lo menos intrusiva posible. Esto es particularmente relevante en casos donde se pretende instalar cubiertas verdes en edificaciones con tejados de tejas de arcilla. En este contexto, es decisivo asegurarse de no exceder la capacidad de carga por metro cuadrado de las tejas de arcilla con la implementación de la SUDS correspondiente.

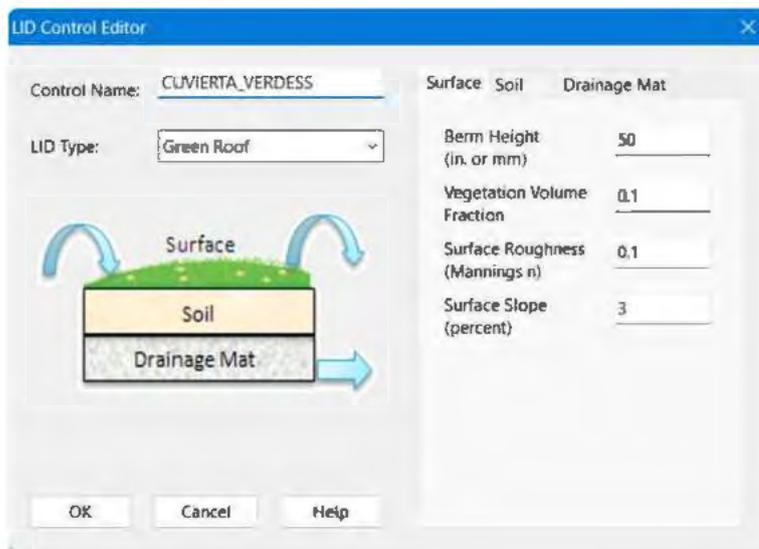
En consecuencia, al considerar los datos presentados en la tabla previa, la cubierta verde extensiva con una altura de 10.5 cm resulta una opción pertinente. De acuerdo con Euclid Group Toxement (2018), las cubiertas extensivas abarcan desde una altura de 5 cm con un peso saturado de 50 kg/m² hasta una altura de 15 cm con un peso saturado de 70 kg/m². Para una altura de 10.5 cm, se estima un peso aproximado de 61 kg/m². Por otro lado, según las especificaciones técnicas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2022) las tejas de barro colocadas en sistema doble saturadas poseen un peso de 66 kg/m².

En consideración de estos datos, se concluye que la implementación del sistema extensivo de cubierta verde no superaría el peso máximo soportado por las tejas utilizadas en la ciudad de Huancayo. Este enfoque se alinea con la búsqueda de soluciones eficaces y compatibles con las características locales de la infraestructura existente. Por lo tanto, en el modelo se van a considerar los parámetros que se observaron en la tabla anterior.

Se llevará a cabo la inserción de los parámetros detallados en la tabla en el software EPA SWMM 5.1, utilizando el modelo básico correspondiente. Siguiendo la información previamente mencionada, la cubierta verde se compone principalmente de tres capas: superficie, suelo y capa de drenaje. A continuación, se presentará la disposición de los parámetros según la capa correspondiente de la cubierta verde.

Figura 34

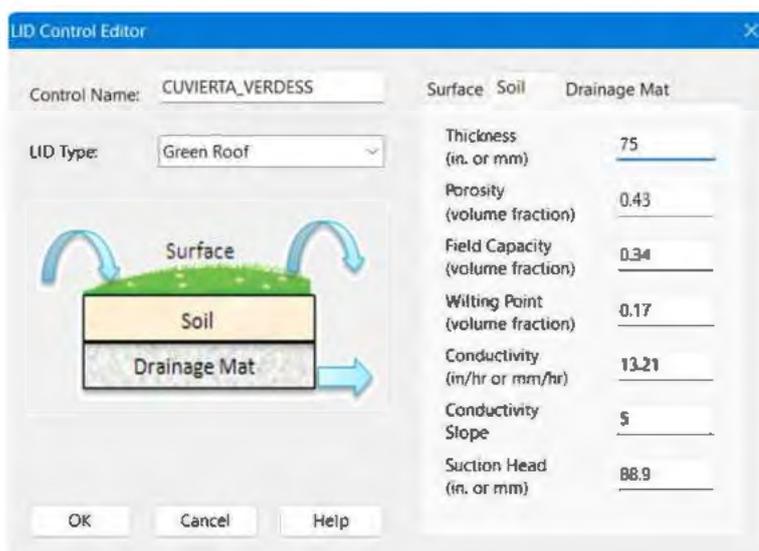
Parámetros de la capa superficial de la Cubierta Verde



Con base en la Figura 34, se aprecia la asignación de parámetros para la capa superficial, utilizando los valores proporcionados en la tabla previa. Se ha establecido una altura de berma de 50 mm, una fracción de volumen vegetal de 1/10, un coeficiente de rugosidad de 0.1 y una pendiente superficial del 3%. A continuación, en la figura 35, se mostrará el ingreso de datos de la capa intermedia.

Figura 35

Parámetros de la capa intermedia de la Cubierta Verde



Tal como se aprecia en la Figura 35, en esta sección se contemplan un total de siete parámetros, los cuales se derivaron de la Tabla 12. En relación a la capa intermedia, se ha establecido un espesor de 75 mm, una porosidad del 43%, una capacidad del 34%, un punto de marchitez del 17%, una conductividad de 13.21 mm/hr y una cabeza de succión de 88.9 mm. Todos estos datos han sido ingresados y registrados en el sistema de manera adecuada. Finalmente, se ingresarán los parámetros de la última capa, la capa drenante.

Figura 36

Parámetros de la capa drenante de la Cubierta Verde



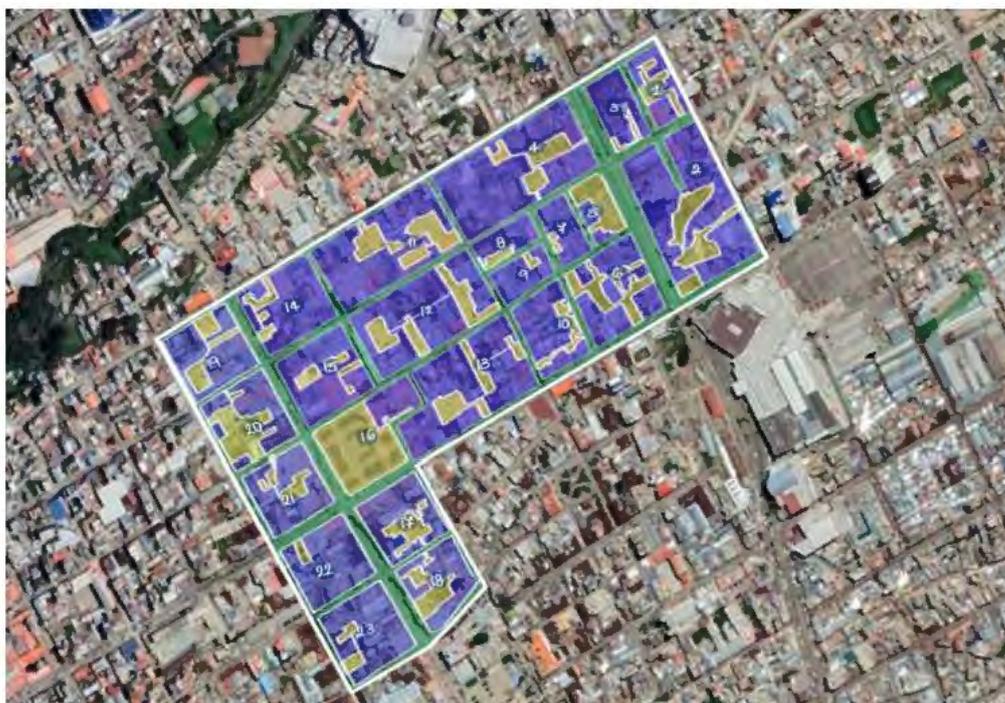
En la capa drenante, como se observa en la Figura 36, se han ingresado solamente tres parámetros: espesor, coeficiente de rugosidad y fracción de vacíos. Concretamente, la capa drenante posee un espesor de 25 mm, una fracción de vacíos del 70% y un coeficiente de rugosidad de 0.3. Tras completar la incorporación de todos los parámetros en el modelo, el siguiente paso consistirá en determinar en qué subcuencas se ubicará este sistema urbano de drenaje sostenible.

Es esencial resaltar que, previamente a la ubicación de estos puntos en el modelo, se llevará a cabo la identificación del porcentaje de la subcuenca que será ocupado por el SUDS.

Esto se debe a que no todo el espacio de la subcuenca está compuesto por techos de tejas de barro, y, por lo tanto, es necesario considerar con precisión la superficie en la que se implementará esta solución.

Figura 37

Identificación de zona de impacto de la Cubierta Verde en la zona de estudio



Como se observa en la Figura 37, mediante el esquema delimitación de subcuencas del modelo elaborado en Google Earth, se procedió a identificar las áreas donde se implementará la Solución Urbana de Drenaje Sostenible (SUDS) con tecnología de Cubierta Verde. A continuación, en la tabla siguiente, se detallará el porcentaje de superficie con Cubierta Verde que se asignará a cada subcuenca identificada en la zona de estudio.

Tabla 13

Porcentaje de área cubierta de Cubierta Verde en subcuencas de zona de estudio

Subcuenca	Área (ha)	Área Libre (ha)	Área donde se aplica SUDS (ha)	% Área Cubierta
Subcuenca 01	0.45	0.1550	0.2995	65.90%

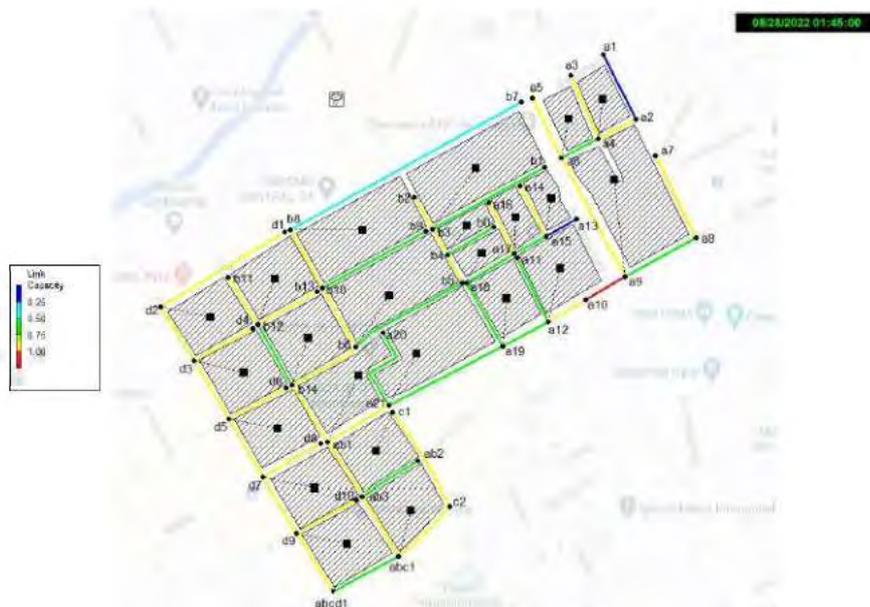
Subcuenca 02	2.08	1.7400	0.3373	16.24%
Subcuenca 03	0.49	0.2800	0.2108	42.95%
Subcuenca 04	1.93	0.1645	1.7636	91.47%
Subcuenca 05	0.36	0.2675	0.0963	26.47%
Subcuenca 06	1.05	0.4600	0.5890	56.15%
Subcuenca 07	0.35	0.1427	0.2103	59.58%
Subcuenca 08	0.31	0.1500	0.1644	52.29%
Subcuenca 09	0.34	0.2200	0.1175	34.81%
Subcuenca 10	0.71	0.2000	0.5106	71.85%
Subcuenca 11	1.60	0.7800	0.8152	51.10%
Subcuenca 12	1.59	0.4200	1.1748	73.66%
Subcuenca 13	1.63	0.7381	0.8895	54.65%
Subcuenca 14	0.93	0.3241	0.6012	64.97%
Subcuenca 15	0.92	0.2386	0.6796	74.01%
Subcuenca 16	1.02	0.7860	0.2326	22.84%
Subcuenca 17	0.77	0.3483	0.4217	54.77%
Subcuenca 18	0.69	0.5502	0.1411	20.41%
Subcuenca 19	0.86	0.5153	0.3420	39.89%
Subcuenca 20	0.89	0.5300	0.3582	40.33%
Subcuenca 21	0.77	0.4044	0.3651	47.45%
Subcuenca 22	0.82	0.6871	0.1347	16.39%
Subcuenca 23	0.88	0.5512	0.3302	37.46%

Nota. Fuente propia.

La Tabla 13 ofrece una visión completa del área total de cada subcuenca, así como del espacio destinado a la implementación de la Solución Urbana de Drenaje Sostenible (SUDS) y el respectivo porcentaje correspondiente. Estos valores serán introducidos en el modelo y, posteriormente, se ejecutará el análisis. Esto permitirá evaluar el comportamiento de la red de alcantarillado durante el evento de máxima precipitación. A continuación, se presentará una imagen que ilustra el comportamiento del modelo y cómo ha cambiado en comparación con el modelo básico, brindando una representación visual de las modificaciones realizadas.

Figura 38

Capacidad de las tuberías del modelo con cubierta verde en el punto máximo de la precipitación



La observación en la Figura 38 revela que, durante el pico de precipitación pluvial, únicamente un segmento se encuentra completamente saturado, correspondiente al tramo entre a10 y a9. Es relevante destacar que, para la mayor parte de la red de alcantarillado, su capacidad de funcionamiento oscila entre el 50% y el 75%. No obstante, es importante subrayar que, aunque se ha logrado reducir significativamente los puntos de saturación en la red de alcantarillado, aún persiste un punto donde se presenta esta saturación.

Por otro lado, es de notable relevancia destacar que los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) desempeñan un papel fundamental al permitir la captación del agua y su posterior aprovechamiento para diversos fines. En el caso de este estudio, aunque no se detallen las aplicaciones específicas del agua almacenada, es esencial proporcionar información acerca del volumen de agua acumulado a lo largo del periodo de precipitación estudiado. En la tabla (ver anexo F) se presenta un análisis detallado que revela un volumen total almacenado de 0.83 hectárea-metro durante el intervalo de tiempo de concentración.

Modelación Red Existente con Pavimento Permeable

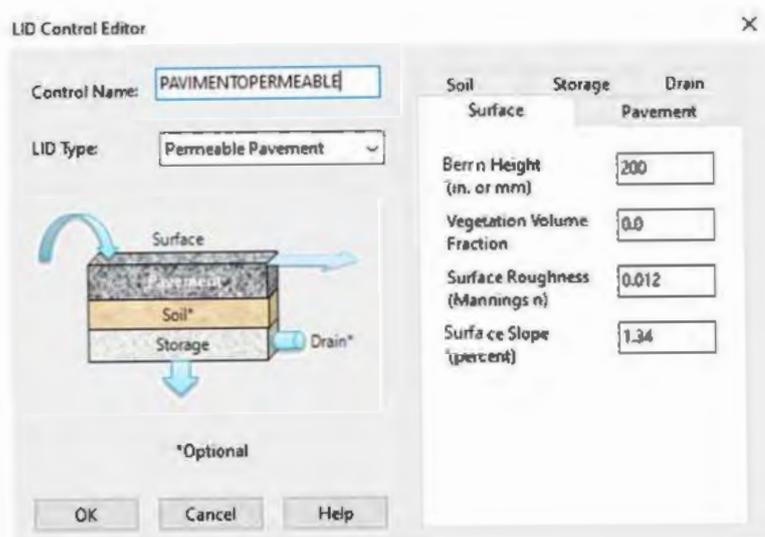
Para realizar el modelamiento con el Pavimento Permeable, se hizo uso del programa SWMM 5.1. en el cual se ingresó a la opción de “LID Controls” y se eligió la opción de Permeable Pavement dentro de los tipos de LID. Para realizar la simulación se ingresaron las características correspondientes a cada capa del pavimento que son: Surface, Pavement, Storage y Drain. Los datos para colocar por cada una de las capas se describen a continuación; además, estos se encuentran detallado (ver anexo G).

- **SURFACE**

Se asumió un valor de 200 mm para la altura de berma, lo cual indica que es la profundidad máxima a la que el agua puede estancarse por sobre la superficie; la fracción de volumen de la vegetación representa al volumen ocupado por hojas o tallos, pero en nuestro proyecto no se cuenta con vegetación en las zonas de análisis y por ello se le coloca un valor de 0, la rugosidad del pavimento permeable es de 0.012 y por último, la pendiente de la superficie es de 1.34%, todo lo mencionado puede observarse en la Figura 39.

Figura 39

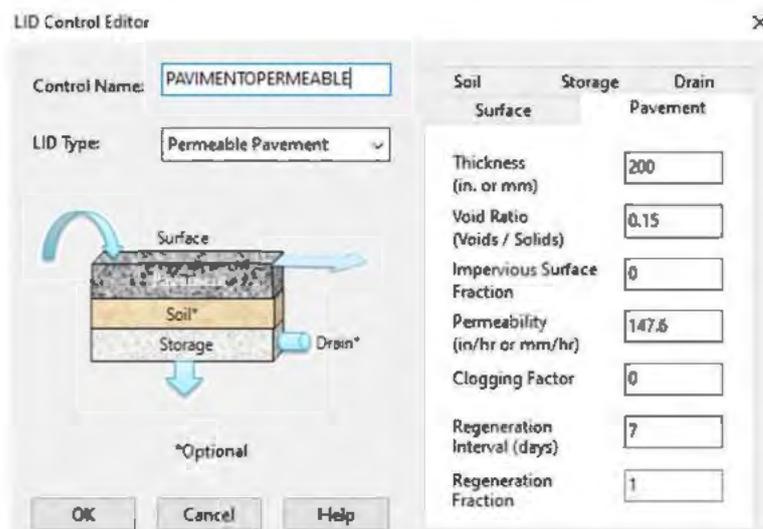
Parámetros de la capa SURFACE del Pavimento Permeable



- **PAVEMENT**

Para el caso del espesor de la capa de pavimento, se colocará el valor que se obtuvo como resultado que es el 20 cm o 200 mm para la Capa de Rodadura, la relación de vacíos es de 13%; para la fracción de la superficie impermeable, se asume un valor de 0 para el pavimento de concreto permeable; la permeabilidad de la superficie del pavimento es de 147.6 mm/h para conducir el agua a la subbase; se asume que el factor de colmatación es de 0 ya que no existen obstrucciones completas sobre el pavimento; el intervalo de regeneración se asume de 7 días y la fracción de regeneración de 1; lo descrito anteriormente puede observarse en la Figura 40.

Figura 40
Parámetros de la capa PAVEMENT del Pavimento Permeable

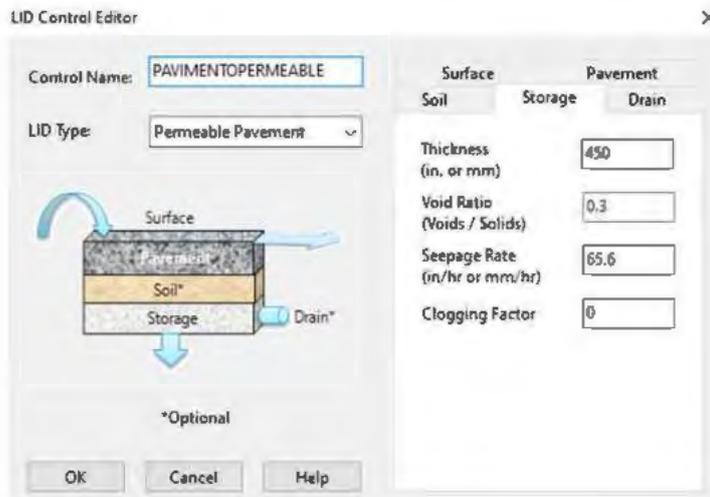


- **STORAGE**

Se asume que esta capa es la unión de la base y de la subbase granular por lo que se le colocará el espesor obtenido anteriormente de 45 cm o 450 mm; con una relación de vacíos de 30%; respecto a la tasa de infiltración se colocó el valor de 65.6 mm/hr que será la velocidad del agua que infiltre a la capa de la subrasante; por último, el factor de colmatación será de 0. Esto se observa en la Figura 41.

Figura 41

Parámetros de la capa STORAGE del Pavimento Permeable

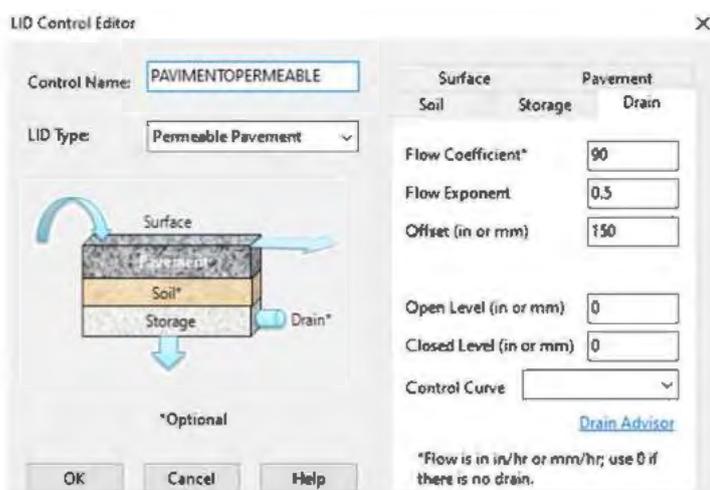


- **DRAIN**

El valor del coeficiente de flujo (Flow Coefficient) será de 90; el exponente de flujo se considera un valor de 0.5 ya que la tubería será perforada; y la altura de compensación del drenaje es de 150mm.

Figura 42

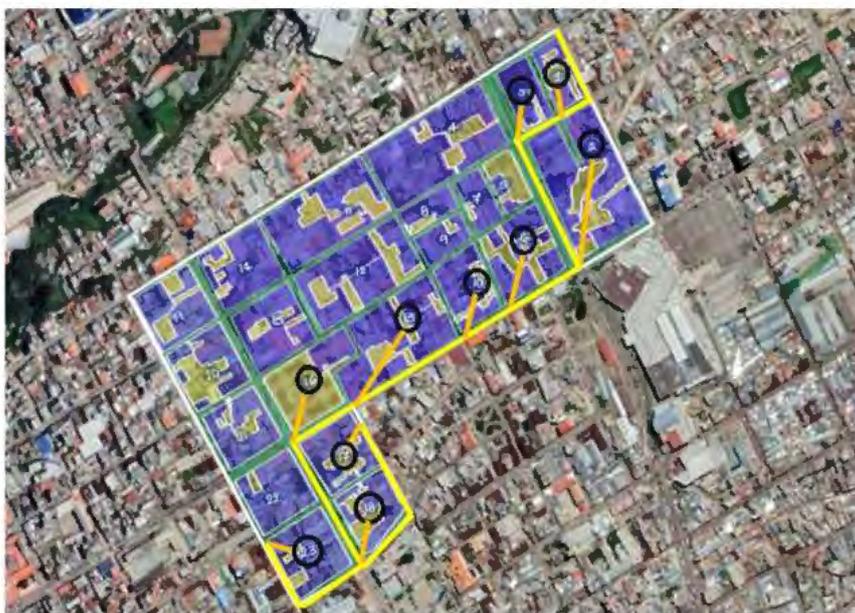
Parámetros de la capa DRAIN del Pavimento Permeable



Cabe mencionar que, previamente a la ubicación de estos puntos en el modelo, se llevará a cabo la identificación del porcentaje de la subcuenca que será ocupado por el SUDS. Esto se debió a que priorizó el empleo del Pavimento Permeable por aquellas rutas en las que se concentran los puntos críticos, por ello, se asignó 2 rutas por las cuales se empleará el SUDS y las subcuencas que intervienen en este transcurso.

Figura 43

Identificación de zona de impacto del Pavimento Permeable en la zona de estudio



Tal como se aprecia en la Figura 43, haciendo uso del esquema de delimitación de subcuencas del modelo elaborado en Google Earth, se procedió a indicar todas aquellas subcuencas que intervendrán en la ruta por la cual se implementará el Pavimento Permeable, estas se encuentran delineadas de color amarillo y las subcuencas que intervienen en la ruta están demarcadas con líneas naranjas. En la tabla siguiente, se detallará el porcentaje de superficie permeable correspondiente a cada subcuenca que interviene en la implementación del SUDS ya mencionado.

Tabla 14

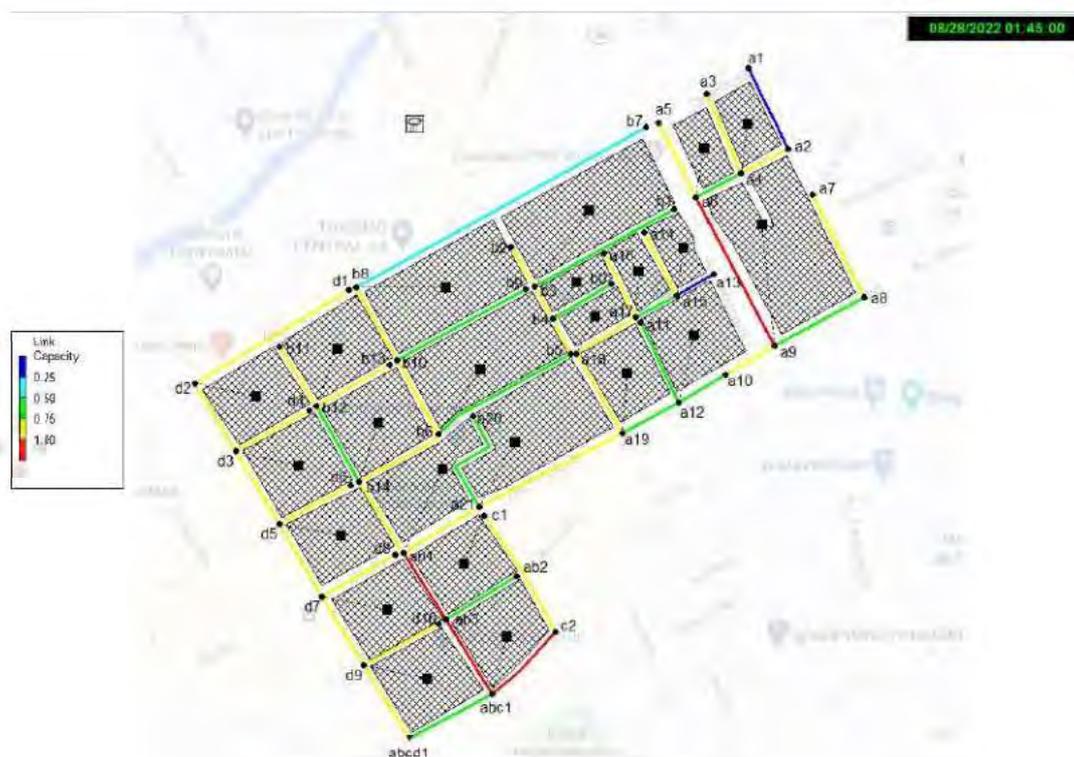
Área de superficie permeable de las subcuencas que intervienen en la implementación del Pavimento Permeable de la zona de estudio

Subcuenca	Área Subcuenca (m2)	Área Libre Permeable (m2)	% Área Cubierta
Subcuenca 01	4545.00	1550.00	34.10%
Subcuenca 02	20773.00	4070.00	19.59%
Subcuenca 03	4908.00	1487.00	30.30%
Subcuenca 06	10490.00	3002.00	28.62%
Subcuenca 10	7106.00	1048.00	14.75%
Subcuenca 13	16276.00	2498.00	15.35%
Subcuenca 16	10186.00	7860.00	77.16%
Subcuenca 17	7700.00	1609.00	20.90%
Subcuenca 18	6913.00	1906.00	27.57%
Subcuenca 23	8814.00	747.00	8.48%

La Tabla 14 muestra una visión del área libre permeable de cada subcuenca que interviene en el modelamiento del Pavimento Permeable. Estos valores serán introducidos en el modelo, a todas aquellas subcuencas que se describen previamente y, posteriormente, se ejecutará el análisis. Esto permitirá evaluar el comportamiento de la red de alcantarillado durante el evento de máxima precipitación en conjunto con la implementación del SUDS ya descrito. A continuación, se presentará una imagen la cual ilustra el comportamiento del modelo y cómo ha cambiado en comparación con el modelo básico, brindando una representación visual de las modificaciones realizadas.

Figura 44

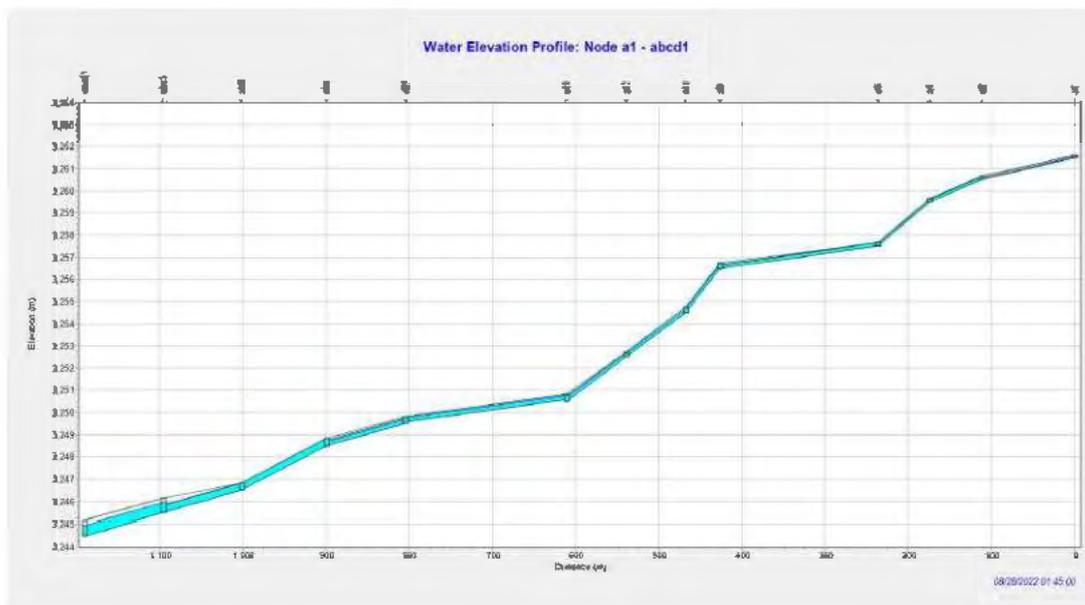
Capacidad de las tuberías del modelo con pavimento permeable en el punto máximo de la precipitación



La observación en la Figura 44 nos da como resultado que durante el pico de precipitación pluvial 05 de los 07 segmentos que se presentaron al haber realizado el modelo Básico se encuentran completamente saturados, correspondientes a los tramos a6-a9, ab1-ab3, ab3-abc1 y c2-abc1. Por otro lado, otra característica a destacar del modelamiento es que, en la mayor parte de la red de alcantarillado, su capacidad de funcionamiento oscila entre el 50% y el 75%. No obstante, aunque se ha logrado reducir la saturación de la red de alcantarillado en 02 puntos de saturación, aún persisten 06 puntos en los cuales se presenta esta saturación.

Figura 45

Perfil de elevación de la red de alcantarillado en el punto máximo de la precipitación



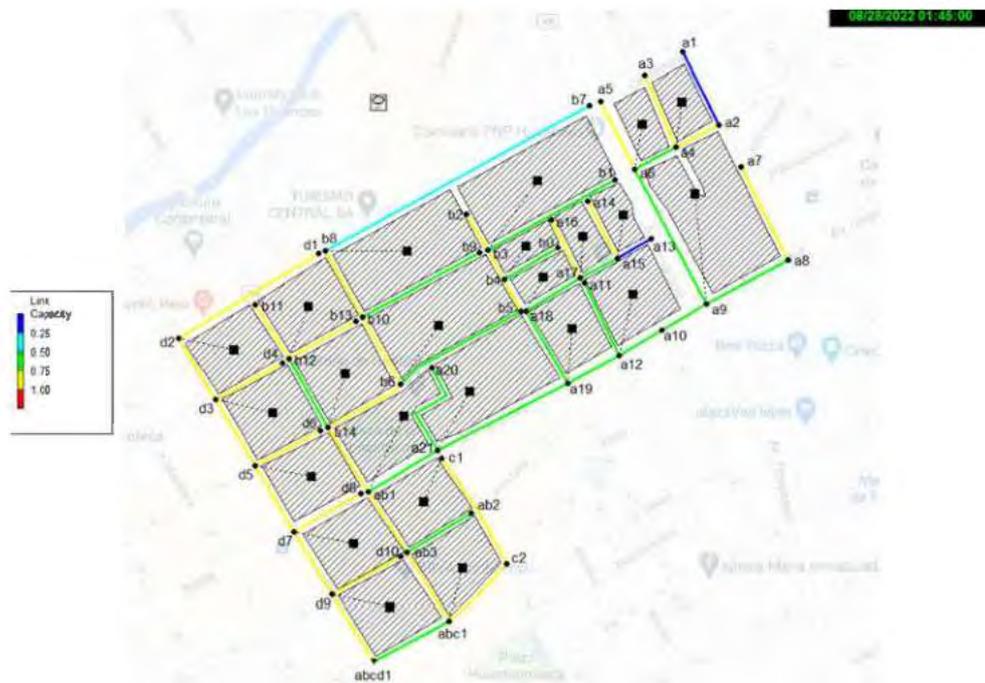
En la Figura 45, se presenta de manera integral el perfil de elevación del tramo principal de la red de alcantarillado en la zona de estudio. De manera análoga a lo expuesto en la Figura 54, se visualizan los puntos críticos clave de la red.

Modelación Red Existente con Ambos SUDS

Utilizando los datos de entrada obtenidos de la modelación que incluyó las cubiertas verdes y el pavimento permeable, se realizó un análisis combinado en la red existente. El propósito era demostrar cómo estos elementos interactúan y su contribución en la mitigación de puntos críticos identificados en la zona de estudio. Los resultados de esta integración se presentan en la Figura 56, ofreciendo una representación del comportamiento del sistema combinado y su efectividad en el manejo de aguas pluviales en la infraestructura urbana. Este enfoque integrado evidencia cómo la implementación de soluciones sostenibles puede mejorar significativamente la capacidad de la red existente para lidiar con eventos de lluvia intensa y minimizar los impactos negativos en la ciudad.

Figura 46

Capacidad de las tuberías del modelo con cubierta verde y pavimento permeable en el punto máximo de la precipitación



Como se puede observar en la Figura 46, al implementar ambos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) simultáneamente, se logró eliminar los 07 puntos críticos inicialmente identificados. Además, se observa que la red de drenaje no presenta ningún indicio de saturación. Detalles adicionales (ver anexo H), donde se incluye un análisis exhaustivo que revela un volumen total almacenado de 0.83 hectárea-metro durante el intervalo de tiempo de concentración. Este resultado subraya la eficacia de la combinación de estas soluciones en la gestión exitosa de las aguas pluviales en la zona de estudio.

Modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040

Evaluación Crítica de la Normativa Actual en relación con el Drenaje Sostenible

El drenaje pluvial urbano es un componente clave de la infraestructura en áreas urbanas para manejar el agua de lluvia y prevenir inundaciones. El drenaje sostenible es un enfoque que busca integrar las prácticas de manejo de aguas pluviales de manera que sean eficientes y respetuosas con el medio ambiente, minimizando el impacto negativo en los ecosistemas y maximizando los beneficios sociales y económicos. Algunos de los principios clave del drenaje sostenible incluyen: Para ello plantemos las siguientes interrogantes, de tal manera que nos permita realizar una correcta crítica en relación con el Drenaje Sostenible:

- ¿La normativa promueve técnicas de drenaje sostenible, como la utilización de áreas verdes, pavimentos permeables y técnicas de infiltración, además de sistemas convencionales de tuberías?

En la Norma Técnica CE.040 DRENAJE PLUVIAL se hace mención en dos oportunidades al tema del drenaje sostenible, el cuál es catalogado como ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS. La primera vez que se menciona es en el Artículo 4.-Glosario del CAPÍTULO I – Disposiciones Generales en la cual lo describe de la siguiente manera:

Estructuras complementarias. Estructuras que bajo ciertas circunstancias y a partir de determinadas especificaciones técnicas definidas por la/el profesional responsable del proyecto, forman parte de la infraestructura de drenaje pluvial, a fin de coadyuvar a su óptimo funcionamiento. Entre ellas se encuentran:

a) Estructura de retención como, por ejemplo, un embalse artificial con vegetación acuática para retener el agua pluvial por largos periodos o una zona recreativa de uso público para retener el agua pluvial por cortos periodos. b) Estructura de infiltración como, por ejemplo, una depresión en el terreno natural. c) Estructura de filtración como, por ejemplo, un pavimento

permeable. d) Estación de bombeo como, por ejemplo, un equipo electromecánico que ayude a impulsar el agua pluvial hacia la salida del dren. (Norma Técnica CE.040 DRENAJE PLUVIAL, 2021)

Y la segunda vez en la que es mencionada este término es en el Artículo 6.- Componentes de la infraestructura de drenaje pluvial del CAPÍTULO II – REQUISITOS BÁSICOS. Si bien se promueven las técnicas de Drenaje Sostenible como estructuras complementarias a las infraestructuras de drenaje pluvial, la norma no brinda un mayor detalle sobre el diseño de estas técnicas y cómo se las adecuarían al Sistema de Drenaje actual.

- ¿Se establecen estándares para la calidad del agua que se libera de los sistemas de drenaje? ¿Se considera la eliminación de contaminantes?

Si bien existen otras normativas las cuales se encargan de establecer los estándares para la calidad del agua, estas se centran en la calidad del agua para el consumo. Sin embargo, la Normativa en análisis no establece en sus estructuras de drenaje pluvial los estándares para la eliminación de contaminantes. Por otro lado, el drenaje sostenible, además de gestionar la cantidad de agua, también se preocupa por la calidad del agua, fomentando la implementación de técnicas que ayuden a filtrar y eliminar contaminantes antes de que el agua llegue a los cuerpos de agua.

- ¿Se aborda la gestión de aguas pluviales en un contexto más amplio, considerando aspectos como la conservación del agua, la recarga de acuíferos y la resiliencia ante el cambio climático?

En la Norma Técnica CE.040 DRENAJE PLUVIAL no se aborda de manera detallada la gestión de aguas pluviales con el uso o implementación de Sistemas de Drenaje Sostenible. Es decir, no se cuenta con un capítulo o una normativa

de diseño complementaria en el que se describa el uso de técnicas naturales y verdes, las que, en lugar de depender exclusivamente de sistemas de drenaje convencionales como tuberías y canales de concreto, brinden el diseño e implementación de soluciones basadas en la naturaleza, como techos verdes, pavimentos permeables, zonas de retención de agua y humedales construidos; a diferencia de lo que ocurre en otros países, tal es el caso de Chile, en el cual el Ministerio de Vivienda y Urbanismo brinda la Guía de Diseño de las Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos.

- ¿La normativa involucra a la comunidad local en el proceso de planificación y diseño de sistemas de drenaje?

La normativa no involucra a la comunidad en el proceso ya que la planificación y diseño de sistemas de drenaje sostenible a menudo involucran a la comunidad local, permitiendo que las soluciones se adapten mejor a las necesidades y deseos locales.

Propuesta de Modificaciones y Mejoras para Incorporar en la Norma

La propuesta de modificaciones y mejoras para incorporar en la Norma CE.040 es la de incorporar una tabla de Frecuencias de Inspección por Año según el tipo de SUDS implementado de acuerdo con la ubicación de la estructura implementada, en la cual se encuentren todas aquellas ciudades categorizadas de acuerdo con los tipos climáticos propuestos por SENAMHI en el documento de Ciclos Horarios de Precipitación en el Perú Utilizando Información Satelital del 2016. A continuación, se muestra la Tabla 15, en la cual se resume la Frecuencia de Inspección por año que se le debe brindar a las estructuras complementarias en la región Junín. Cabe mencionar que mayor detalle se tendrá en la tabla (anexo I).

Tabla 15

Tabla Resumen de la Frecuencia de Inspecciones por Año según el tipo de Obra en las ciudades de la Región Junín

Zona climática Región	Descripción	Ciudad	P.P. Anual mm	Días sin lluvia	Días con lluvia	Obras de infiltración			
						Estanques	Zanjas	Pozos	Pavimento Poroso
B(i)D'H3	Clima semirrígido, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno	Junín	55.20	350	15	1	1	1	2
		Morococha	850.90		365	2	2	2	2
		Pomacocha	337.10	309	56	2	2	2	2
B(o,i)C'H3	Clima frío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno	Tarma	1522.00	165	200	2	2	2	2
		La Oroya	1052.00	109	256	2	2	2	2
		Pampas	165.00	323	42	2	2	2	2
		Yauri	1479.00	213	152	2	2	2	2
		Jauja	1421.00	160	205	2	2	2	2
		Concepción	112.30	338	27	2	2	2	2
		Huancayo	152.20	332	33	2	2	2	2
B(r)A'H3	Clima cálido, lluvioso con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año	San Ramón (Junín)	1489.00	219	146	2	2	2	2
		Puerto Ocopa	398.30	285	80	2	2	2	2
		Satipo	292.30	302	63	2	2	2	2

Análisis y Discusión de Resultados

En el presente apartado, se abordará el análisis y discusión de los resultados obtenidos a partir de la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Este enfoque innovador se ha aplicado para mejorar el manejo de aguas pluviales en comparación con el sistema de drenaje actual. Se explorarán las diferencias y ventajas que surgen de la implementación de SUDS, destacando cómo estos sistemas sostenibles contribuyen a mitigar los problemas asociados con las precipitaciones en entornos urbanos. El análisis permitirá evaluar de manera exhaustiva el rendimiento y la eficacia de los SUDS en la gestión hidráulica, proporcionando una base sólida para futuras decisiones de diseño e infraestructura hidráulica en la zona de estudio.

Comparación con el sistema de drenaje actual

Como se evidenció en detalle en la Figura 42, durante una precipitación con un período de retorno de 30 años, la zona crítica de estudio mostró la presencia de 08 puntos críticos. Estos puntos de saturación en la red de alcantarillado fueron verificados y validados utilizando un registro histórico de fotografías que respaldaron los resultados obtenidos a través del modelo hidráulico. Por otro lado, al examinar detenidamente la Figura 54, se puede apreciar claramente que, al implementar ambos sistemas urbanos de drenaje sostenible en el modelo, no se detectó ninguna saturación en la red de alcantarillado durante todo el período de concentración analizado. Este hallazgo subraya la efectividad y la capacidad de estos sistemas para mitigar eficazmente los problemas de saturación, subrayando la importancia de considerar su implementación integral en proyectos de gestión de aguas pluviales.

Modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040

En base al análisis de la Norma Técnica Peruana CE.040 sobre el drenaje pluvial urbano y su relación con el enfoque de drenaje sostenible, se identifican áreas clave para mejorar su

efectividad y alineación con prácticas ambientales sustentables. Aunque se menciona la importancia del drenaje sostenible y se lo categoriza como "estructuras complementarias", la normativa no proporciona suficiente detalle sobre cómo integrar plenamente técnicas sostenibles, tales como áreas verdes y pavimentos permeables, en los diseños de drenaje pluvial. Asimismo, no establece estándares específicos para la calidad del agua liberada por estos sistemas y no aborda de manera integral la gestión de aguas pluviales en un contexto amplio, incluyendo consideraciones esenciales como la conservación del agua, la recarga de acuíferos y la adaptación al cambio climático. Además, no se fomenta el involucramiento activo de la comunidad local en la planificación y diseño de los sistemas de drenaje, un aspecto fundamental para asegurar soluciones que se ajusten a las necesidades y expectativas locales. Una propuesta valiosa de mejora incluye la incorporación de una tabla de Frecuencias de Inspección por Año según el tipo de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y su relación con los distintos tipos climáticos, lo cual puede optimizar la gestión y supervisión de estos sistemas en diferentes regiones del país.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Ante una precipitación pluvial máxima 64.08 mm, utilizando un período de retorno de 30 años, es claro que el distrito de Huancayo, en especial la zona monumental, carece de una preparación adecuada. Esta afirmación se respalda al examinar el modelo del sistema actual, el cual indica que en 08 puntos críticos de la zona monumental se produciría una saturación en la red de alcantarillado. Además, se pudo constatar, mediante imágenes, que la ciudad también sufre impactos frente a precipitaciones de menor intensidad.
- Después de un detenido análisis de las técnicas de gestión de aguas pluviales, específicamente las cubiertas verdes y los pavimentos permeables, se corrobora que ambas son opciones altamente prometedoras para mejorar de manera significativa la eficiencia en la gestión de aguas pluviales en el entorno urbano de Huancayo. La capacidad de facilitar la infiltración del agua de lluvia en el suelo, reducir el escurrimiento superficial y prevenir la saturación de la red de drenaje, son aspectos cruciales que hacen de estas técnicas herramientas eficaces en la mitigación de inundaciones y sobrecargas en el sistema de alcantarillado existente. Asimismo, su capacidad para retener temporalmente el agua y liberarla gradualmente permite una mejor gestión de los picos de lluvia y una mejora significativa en la calidad del agua. Además, estas técnicas no solo abordan las necesidades hidráulicas, sino que también aportan beneficios ambientales y estéticos, alineándose con principios de sostenibilidad y promoviendo la resiliencia de la ciudad ante eventos climáticos extremos.

- La implementación de estos sistemas urbanos de drenaje sostenible ha demostrado una notable eficacia en la reducción de puntos críticos donde la red de alcantarillado se satura, logrando alcanzar la cifra de 0 puntos críticos. Además, se observó una reducción significativa del caudal en toda la red de drenaje. Es importante destacar que esta mejora es especialmente significativa cuando se aplican ambos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) de forma simultánea. Cuando se implementa el SUDS de cubiertas verdes de manera aislada, se observa una reducción en la cantidad de puntos críticos, disminuyendo de 08 a 02 puntos críticos. Del mismo modo, la aplicación exclusiva del pavimento permeable reduce los puntos críticos de 08 a 06. Estos resultados resaltan la importancia de considerar la implementación conjunta de ambos SUDS para lograr un impacto óptimo en la gestión sostenible de aguas pluviales y la mitigación de puntos críticos en la red de alcantarillado. Es necesario abogar por la adopción integrada de estas soluciones para garantizar una infraestructura resiliente y adaptada a las condiciones cambiantes del entorno urbano.
- Se han considerado medidas preventivas para mitigar el impacto de los cambios climáticos en el sistema de drenaje propuesto. Entre ellas, se ha decidido aplicar un periodo de retorno más extenso que el establecido por la normativa vigente, sobre todo en el periodo de mayor precipitación. Asimismo, se evaluó la viabilidad de incorporar cubiertas verdes con vegetación de bajo mantenimiento para enfrentar las sequías, requiriendo únicamente una revisión anual. Estas estrategias se proponen con el fin de asegurar la eficacia y durabilidad del sistema de drenaje, garantizando su óptimo desempeño a lo largo del tiempo y contribuyendo a fortalecer la sostenibilidad y resiliencia urbana frente a los desafíos climáticos actuales y futuros.

- Resulta crucial considerar una modificación fundamental en la Norma Técnica Peruana C.040, que consiste en establecer un mantenimiento obligatorio para los captadores de escorrentía superficial. Durante el análisis de la situación en la ciudad, se ha identificado como uno de los problemas más significativos la obstrucción de numerosos captadores debido a la acumulación de residuos generados por la población. Esta obstrucción perturba el flujo para el cual fueron diseñados en un principio, ocasionando inconvenientes en el sistema de drenaje pluvial y teniendo un impacto adverso en la infraestructura urbana. En este sentido, la implementación de un mantenimiento adecuado, adaptado a la zona climática regional, se presenta como una solución efectiva para abordar uno de los principales desafíos, que es la obstrucción causada por la población.

Recomendaciones

- Se hace hincapié en la necesidad de la adopción conjunta de estas estrategias por parte de autoridades y profesionales, junto con la importancia de educar a la comunidad sobre sus beneficios. En definitiva, la implementación prioritaria de estos SUDS en la planificación urbana se presenta como clave para una gestión eficiente y sostenible de aguas pluviales, fortaleciendo la resiliencia frente a desafíos climáticos en Huancayo.
- Se recomienda enfocar futuras investigaciones en la implementación y evaluación de las medidas preventivas propuestas en esta tesis para mitigar los efectos de los cambios climáticos en el sistema de drenaje. Específicamente, se sugiere llevar a cabo un estudio detallado sobre la efectividad del uso de periodos de retorno más extensos en comparación con los establecidos por la normativa actual.

- Se aconseja investigar a fondo la viabilidad económica de la incorporación de los Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenible presentados en el informe. Estas investigaciones proporcionarán una base sólida para la toma de decisiones y la mejora continua del sistema de drenaje, contribuyendo así a la sostenibilidad y resiliencia urbana en el contexto de los desafíos climáticos en constante evolución.
- Se recomienda la implementación de un programa de mantenimiento anual para los sistemas de drenaje sostenible y convencionales en Perú. Este programa debería abarcar inspecciones regulares, limpieza de obstrucciones, mantenimiento de la infraestructura verde, calibración de la tecnología, educación a la comunidad, monitoreo de la calidad del agua y coordinación entre entidades. La inversión constante en estas acciones no solo previene inundaciones y desastres, sino que también fomenta la gestión responsable del agua y la preservación del entorno, lo que a su vez contribuye a aumentar la resiliencia y mejorar la calidad de vida de las comunidades en todo el país.

Bibliografía

- Abellán, A. (2015). Criterios de Diseño. *SuD Sostenible*, p. 1. Retrieved from <http://sudsostenible.com>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2021). *Caracterización del Departamento de Junín*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.
- Barahona, J. (2014). *Análisis y diseño para solución de aguas lluvias mediante sistemas urbanos de drenaje sostenible aplicando la técnica de firmes permeables en condominio Ercilla, comuna de Temuco, IX Región de la Araucanía*. Universidad Austral de Chile.
- Buttler, D., Digman, C., Makropoulos, C., & Davies, J. (2018). *Urban Drainage*. CRC Press.
- Euclid Group Toxement. (2018). *Guía básica para la instalación de techo vegetal*. Obtenido de Toxement: <https://www.toxement.com.co/>
- Fernández, H., & Trapote, A. (2016). *Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible*. Obtenido de <http://www.agroambient.gva.es/documents/163005665/163975683/AGRICULTURA8-16I+memoria/1d8cn413-3eb3-4f5e-a247-e4466a59b21c>
- Fletcher, T., Shuster, W., Hunt, W., Ashely, R., Buttler, D., Arthur, S., & Mikkelsen, P. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more-The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542.
- Fuente, A. (2015). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles. Una Alternativa de Futuro*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura Sevilla.
- Guizado, J., & Landa, C. (1966). *Carta Geológica Nacional Serie A Nro. 12 Pampas (25-n)*. INGEMMET.
- Hoffmann, B., & Milert, T. (2016). *SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS Using as a resource to create resilient and livable cities*. THINK DENMARK White papers for a green transition.
doi:https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portafiles/portal/11847536/SUDS_white_paper.pdf
- Holguín, J. (24 de Enero de 2017). Mitigando los riesgos de las inundaciones urbanas en Latinoamérica. *iAgua*, pág. 1. Obtenido de iAgua: <https://www.iagua.es>
- Jiménez, A., Russo, B., & Acero, O. (2021). *Eficiencia hidráulica y ambiental de cubiertas verdes en un clima mediterráneo continental seco. Aplicación a una nueva urbanización en la ciudad de Zaragoza (España)*. Ingeniería del Agua.
- Lasa, P. (2015). Tipología de SUDS. In P. Lasa, *Sistemas Permeables para la Eco-Gestión de Pluviales Sistemas Urbanos Drenajes Sostenibles* (p. 8). Drenaje Sostenible.

- Momparler, S., & Andrés-Doménech, I. (2008). *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. C&M Publicaciones.
- Parkyn, S., Davies-Colley, R., Halliday, N., Costley, K., & Croker, G. (2003). *Sediment and wood accumulation in streams alters channel morphology, instream flow and ground water regimes*. Water Resources Research.
- Peña Laureano, F., Chuco Sutta, J., Pereda Cruz, Ó., Rotta Arcos, N., Yache Estrella, C., Chiok Chang, F., & Peñafiel, R. (2023). *Empresa prestadora de servicios de saneamiento SEDAM Huancayo Sociedad Anónima (EPS SEDAM Huancayo S.A.) 2023 - 2028*. Sunass.
- Perales Momparle, S., de la Fuente García, L., Rico Cortés, M., Andrés Doménech, I., & Marco Segura, J. B. (2021). *Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de Valencia*. Cicle Integral de l'Aigua.
- Rossmann, L.A. (2015) Storm water management model (SWMM) | US EPA, EPA. Available at: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- Sánchez, I. (2009, Noviembre 26). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDs)*. DURSO.
- Sapaico Vargas, M. O. (2017). *Ampliación de la red de agua y desague en la periferie de San Jeronimo de Tunan, distrito de San Jeronimo de Tunan- Huancayo- Junín*. Mateo & Garcia Contratistas Generales S.R.L.
- SEDAM Huancayo S.A. (2008). *Plan maestro optimizado SEDAM Huancayo S.A.* SEDAM Huancayo S.A.
- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2022). *Especificaciones técnicas para construcción de viviendas*. Obtenido de udistrial: <http://www.udistrial.edu.co>
- Valdivieso, A. (nd.). ¿Qué son los SUDS? *iAgua*, p. 1. Retrieved from <https://www.iagua.es>
- Villón, M., Bertrand-Krajewski, J., Saigne, C., & Barraud, S. (2016). Climate change impacts on urban drainage systems of Latin American cities Urban Water Jorunal. *Urban Water Journal*, 13(3), 259-270.
- Wood-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2015). *The SuDS manual*. CIRIA.
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). *The SUDS manual (Vol. 697)*. London: Ciria. Obtenido de <http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf>

Anexo A

Figura 1A

Plano de distribución de colectores primarios y secundarios del alcantarillado

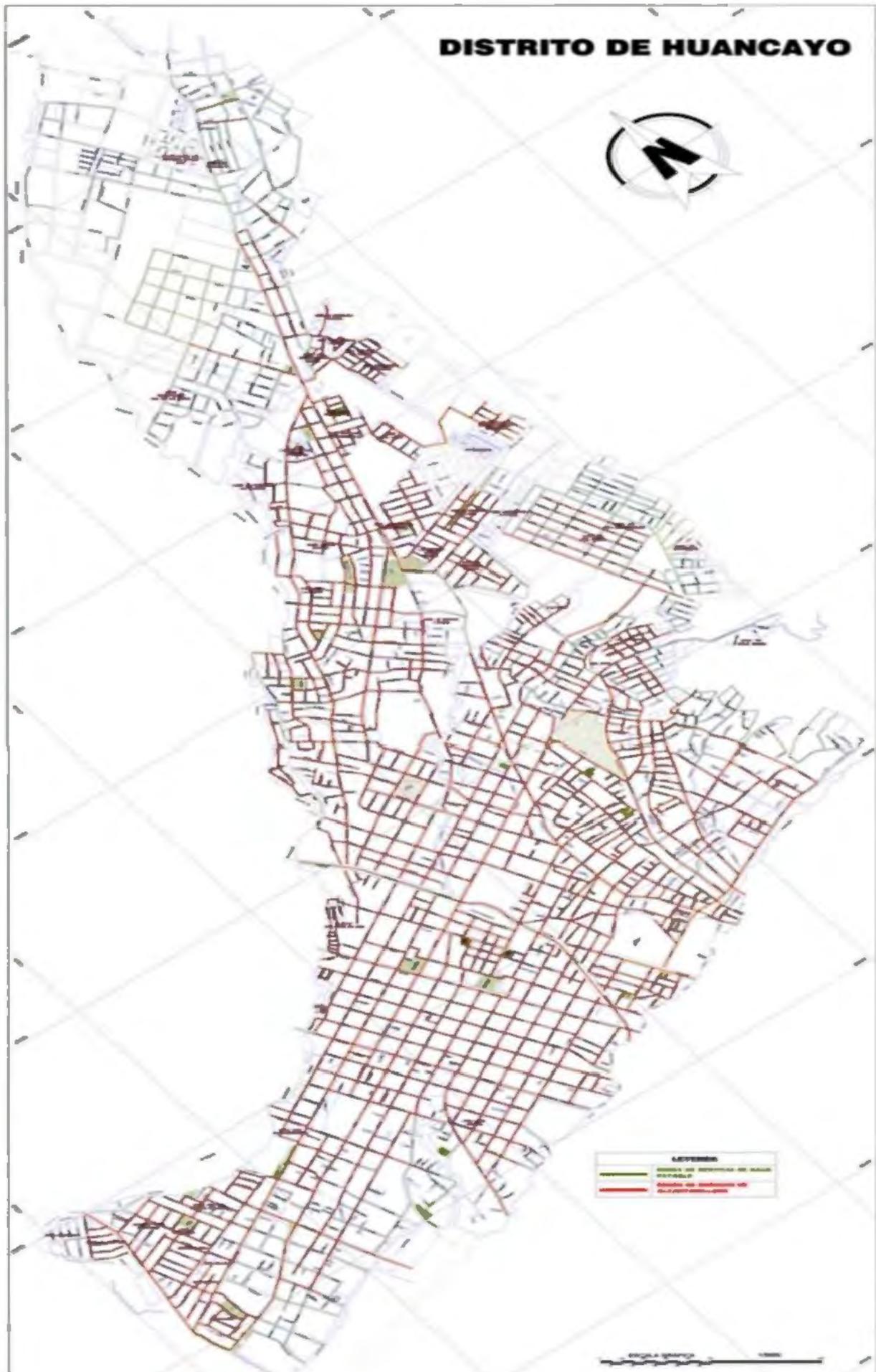
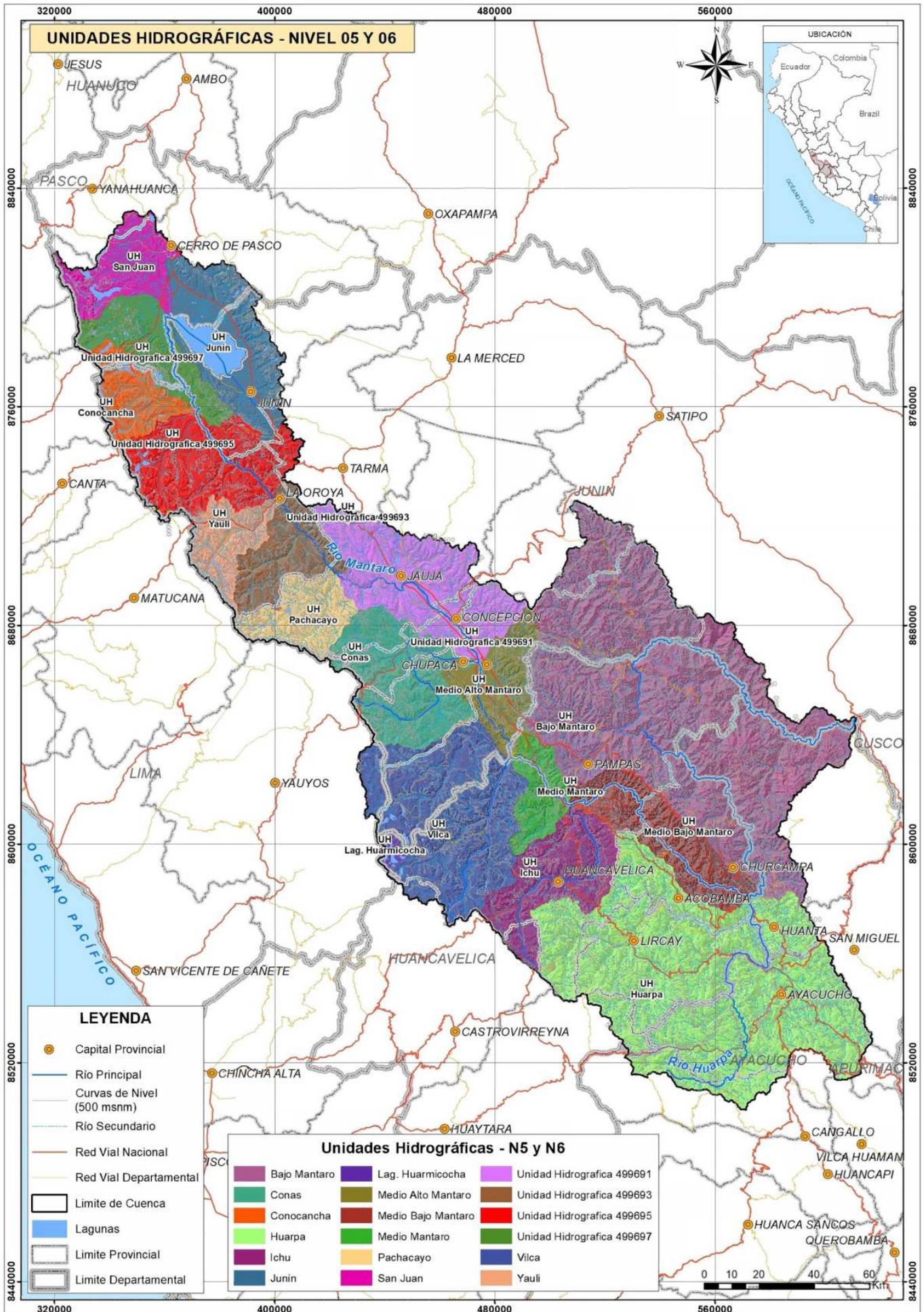


Figura 1B

Mapa de las Subcuencas de la Cuenca del Mantaro



Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca del Mantaro (2015)

Anexo C

Tabla 1C

Histórico de precipitaciones máximas mensuales de Estación Metereológica Huayao

ESTACION HUAYAO													LATITUD	465115.7
													LONGITUD	8668981.4
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MAX	P MAX X 1.13
2017	20.8	33.7	25.5	9.8	5.8	3.1	3.8	5.6	17.1	24.9	15.8	10.7	33.7	38.081
2018	31.8	11.1	22.1	8.1	1.8	3.1	3	10.2	25.4	16.8	18	22.6	31.8	35.934
2019	28.7	11.9	16.5	23.2	5.5	0.3	4.6	0.4	1.4	17.1	18.9	45.8	45.8	51.754
2020	11.3	16.8	17.6	0	0	0	0	1.2	12.7	6.1	7.4	18.6	18.6	21.018
2021	23.1	11.2	31.2	15.4	4.9	5	0	0					31.2	35.256
													PP MAX	51.754

Tabla 2C*Histórico de precipitaciones máximas mensuales de Estación Metereológica Huaytapallana*

ESTACION HUAYTAPALLANA													LATITUD	493285.2
													LONGITUD	8681554.7
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MAX	P MAX X 1.13
2016									16.30	0.00	5.80	7.90	16.30	18.42
2017	7.10	7.90	12.20	3.60	10.20	1.30	0.00	0.00	5.80	10.40	10.90	10.70	12.20	13.79
2018	10.20	10.90	5.60	3.80	2.00	7.60	2.50	2.50	5.60	15.70	5.30	7.60	15.70	17.74
2019	6.60	9.70	23.10	3.00	30.60	7.30	3.60	4.80	5.30	8.40	7.40	7.60	30.60	34.58
2020	3.60	8.60	10.70	6.90	5.30	0.80	2.00	0.30	5.10	15.50	2.30	8.40	15.50	17.52
2021	7.60	4.10	5.10	5.60	3.80	2.00	0.50	0.50					7.60	8.59
													PP MAX	34.58

Tabla 3C*Histórico de precipitaciones máximas mensuales de Estación Metereológica Acopalca*

ESTACION ACOPALCA													LATITUD	488730.1
													LONGITUD	8674846.1
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MAX	P MAX X 1.13
2016		21.80	15.00	14.70	8.10	1.50	1.40	7.90	15.80	24.20	18.00	17.60	24.20	27.35
2017	16.20	18.00	24.60	16.40	8.80	2.00	4.20	6.40	13.00	24.00	20.50	20.00	24.60	27.80
2018	24.60	13.40	21.30	8.00	4.80	4.70	3.20	7.30	13.50	17.00	12.00		24.60	27.80
2019		26.90	15.20	10.40	6.00	0.50	5.00	0.20	4.00		12.00	25.40	26.90	30.40
2020	12.00	40.20	24.80	15.00	10.80	1.70		0.00	21.00	21.30	4.00	22.60	40.20	45.43
2021	17.20	7.40	19.30	8.30	4.30								19.30	21.81
													PP MAX	45.43

Tabla 4C

Histórico de precipitaciones máximas mensuales de Estación Metereológica Santa Ana

ESTACION SANTA ANA													LATITUD	475879.4
													LONGITUD	8672380
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DIEMBRE	P MAX	P MAX X 1.13
1992		14.40	7.40	8.50	3.40	7.40	2.00	6.00	6.60	16.80	14.10	9.30	16.80	18.98
1993	10.80	17.80	14.40	23.60	15.80	1.80	2.00	10.60	9.60	5.00	11.40	10.00	23.60	26.67
1994	25.00	10.80	17.00	9.60	9.00	6.00	0.00	4.20	3.30	8.60	8.70	9.80	25.00	28.25
1995	14.00	12.80	12.50	6.00	5.40	1.50	3.00	5.70	4.30	22.50	18.50	36.60	36.60	41.36
1996	32.50	8.30	18.60	33.30	3.80	1.00	0.00	1.00	12.60	15.40	15.30		33.30	37.63
1997		22.90	9.00	11.10	2.20	2.10	2.40	5.60	11.40	16.50	16.20	30.30	30.30	34.24
1998	35.50	31.50	8.80	21.20	6.80	5.70	0.00	3.20	12.80	18.20	13.00	12.60	35.50	40.12
1999	11.50	22.90	11.60	7.20	1.60	10.90	7.80	2.80	12.20	25.80	20.40	21.40	25.80	29.15
2000	19.20	22.10	19.00	14.50	5.80	1.80	6.00	7.70	2.60	11.10	10.10	18.00	22.10	24.97
2001	14.90	19.90	20.50	14.90	4.70	0.80	3.20	2.50	13.00	26.40	13.00	29.90	29.90	33.79
2002	11.20	17.20	21.30	7.50	4.70	0.70	10.40	7.60	16.70	16.70			21.30	24.07
2003	15.00	19.30	29.00	24.00	11.80	0.00	0.50	9.40	12.10	11.20	25.20	23.00	29.00	32.77
2004	20.00	33.50	14.70	9.30	3.70	6.50	6.70	3.20	17.50	13.40	20.90	21.30	33.50	37.86
2005	12.30	20.80	18.80	14.60	1.90	11.90	2.00	0.40	4.40	24.30	17.30	33.90	33.90	38.31
2006	25.50	14.00	13.20	6.70	0.70	3.60	5.10	4.90	14.50		22.20	33.20	33.20	37.52
2007	18.70	9.40	32.20	11.50	5.40	0.00	2.50	8.20	6.20	13.70	15.90	17.00	32.20	36.39
2008	25.00	8.40	8.80	18.50	3.80	7.90	0.00	3.40	11.20	39.00	17.50	16.40	39.00	44.07
2009	14.50	14.40	19.40			0.90	3.30	18.80	16.40	7.70	27.50	22.30	27.50	31.08
2010	22.00	36.40	25.00	15.00	0.40	1.70	19.20	4.50	2.40	17.50	12.70	29.10	36.40	41.13
2011	30.00	34.00	36.50	19.00	2.70	0.00	5.20	1.50	17.00	15.20	18.00	23.30	36.50	41.25
2012	15.30	23.90	10.70	15.80	14.50	10.90	0.00	1.50	15.10	8.60	10.00	23.80	23.90	27.01
2013	25.50		10.30	15.90	6.00	1.60	2.90	20.40	11.60	9.60	10.50	19.10	25.50	28.82
2014	28.70	16.50	33.00	13.70	13.00	0.30	1.80	13.00	40.80	12.00	32.70	14.40	40.80	46.10
2015	12.90	19.80	17.00	11.60	10.50	7.30							19.80	22.37
2016	20.50	23.30		17.50	5.60	0.00	0.80	2.40	18.00	10.00	18.10	23.10	23.30	26.33
2017	17.50	22.50	26.40	31.30	4.00	0.60	0.00	1.70	31.50	18.70	29.40	16.00	31.50	35.60
2018	28.50	48.00	27.40	8.00	21.50	2.30	2.20	5.20	16.60	18.00	21.00	21.00	48.00	54.24
2019	23.70	20.00	9.40	5.50	4.20	0.00	6.40	4.10	3.20	26.40	13.40	34.00	34.00	38.42
2020	14.50	18.00	8.00				0.30				5.50		18.00	20.34
2021									11.00			14.80	14.80	16.72
2022	17.50	42.50	27.00	26.60	8.80	0.00	10.00	8.50	13.40	5.70	21.70	29.50	42.50	48.03
2023	14.40												14.40	16.27
													PP MAX	54.24

Tabla 5C

Histórico de precipitaciones máximas mensuales de Estación Metereológica Viques

ESTACION VIQUES													LATITUD	475161.2
													LONGITUD	8656182.6
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MAX	P MAX X 1.13
1963	28.50	16.00	28.00	15.00	3.50	5.00	0.00	0.00	10.50	13.00	11.00	24.00	28.50	32.21
1964	11.00	11.00											11.00	12.43
1984		32.10	20.10	10.40	0.00								32.10	36.27
1988			15.90	8.20	2.10	4.50	1.00	7.80	7.00	12.20	18.90	25.20	25.20	28.48
1989	16.40	29.70	17.40	16.00	9.50	4.60				36.70	59.40	35.20	59.40	67.12
1990	21.60	21.00	12.80	10.10	17.70	20.00	6.40	10.80	16.40	21.20	48.20	23.50	48.20	54.47
1991	19.00	14.20	15.30	12.40	7.20	0.00	0.00	0.00	18.40	15.00	20.90	6.30	20.90	23.62
1992	21.00	29.30	37.40	28.90	0.00	4.30	44.20	16.00	8.00	28.60	15.80	3.90	44.20	49.95
1993	31.20	22.40	15.80	14.70	0.00	0.00	0.00	3.50	8.00	28.50	22.40	18.90	31.20	35.26
1994	22.20	19.60	18.40	8.90	8.90	0.00	0.00	3.90	6.50	20.80	14.40	12.90	22.20	25.09
1995	11.10	14.30	26.20	19.50	3.50	0.00	0.00	0.00	4.20	24.40	23.90	13.90	26.20	29.61
1996	27.00	26.80	23.50	18.20	3.20	5.80	0.00	4.50	24.80	7.20	16.40	17.20	27.00	30.51
1997	17.90	20.50	24.30	12.30	4.00	0.00	16.00	3.70	10.60	12.80	18.00	28.30	28.30	31.98
1998	19.40	28.10	8.60	9.50	0.00	2.70	0.00	3.80	4.50	18.20	18.60	12.70	28.10	31.75
1999	11.30	34.50	15.50	9.20	0.00	3.40	4.90	0.00	0.00		14.20	14.00	34.50	38.99
2000	14.30	14.50	15.00	8.10	3.50	2.80	3.80	14.30	14.90	10.20	17.40	24.70	24.70	27.91
2001	26.10	21.30	24.70	8.20	8.40	0.00	8.00			17.50	12.20		26.10	29.49
2002	16.80	20.10	13.70	6.50	0.00	1.10	4.10	0.00	13.80	25.90	23.00	16.10	25.90	29.27
2003	23.00	17.30	16.70	11.80	6.70	0.00	0.00	7.40	15.30	6.70	20.90	15.80	23.00	25.99
2004	10.20	34.60	20.70	9.80	13.70	10.80	6.80	8.80	13.10	5.90	10.10	17.40	34.60	39.10
2005	9.30	21.10	13.10	21.20	11.90	0.00	0.00	17.50	14.60	21.70	9.60	18.30	21.70	24.52
2006	17.90	22.00	23.60	8.50	0.00	4.40	0.00	15.10	8.30		11.30	18.50	23.60	26.67
2007	17.90	9.70	13.70	7.60	0.00	0.00	5.80	0.00	18.80	8.70	19.30	15.50	19.30	21.81
2008	14.00	25.10	13.60	0.00	2.10	4.60	0.00	0.00	14.60	9.30	15.10	20.20	25.10	28.36
2009	11.70	14.20	23.40	11.60	8.50	0.00	5.80	19.10	8.60	18.20	17.20	21.40	23.40	26.44
2010	25.40	11.60	24.80	20.50	0.00	13.50	20.50	4.20	7.80	8.80	16.50	37.90	37.90	42.83
2011	32.60	37.10	23.00	36.40	8.90	0.00	6.00	7.50	12.10	12.70	14.20	32.60	37.10	41.92
2012	24.30	30.10	19.40	18.90	9.10	9.80	3.70	3.50	16.40	7.10	9.70	25.70	30.10	34.01
2013	18.70	31.20	13.10			8.60	5.80	0.00	17.00	11.20	11.20	29.20	31.20	35.26
2014	20.90	36.90	28.50	11.30	8.70	8.20	1.70	3.10	19.80	11.40	21.40	19.00	36.90	41.70
2015	14.30	19.30	23.70	11.30	4.90	9.30	6.10	9.90	12.70	16.40	14.60		23.70	26.78
2016	63.70	23.00			16.30	0.00	0.00	0.00	8.50	13.60	11.60		63.70	71.98
2017	26.30	26.40	13.50	11.80	3.70	0.00	0.00	2.70	10.20	13.00	7.80	10.70	26.40	29.83
2018	18.60	14.50	21.40	8.20	7.80	3.00	2.70	3.90	9.40	24.20	15.70	14.60	24.20	27.35
2019	18.10	18.20	9.80	7.50	10.20	0.10	0.00	0.00	3.50	9.80	16.00	23.80	23.80	26.89
2020	9.20	21.70	24.90	4.10	9.10	3.10	0.30	0.00	7.70	9.30	6.20	15.90	24.90	28.14
2021	15.20	7.10	17.40	9.20	10.50	4.50	5.40						17.40	19.66
													PP MAX	71.98

Tabla 6C*Historico de precipitaciones máximas mensuales de Estación Metereológica Puente Breña*

ESTACION PUENTE BREÑA													LATITUD	473836.2
													LONGITUD	8667671
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MAX	P MAX X 1.13
2010										8.20	9.20	15.80	15.80	17.85
2011	32.20	25.80	27.00	15.60	4.20	0.00	2.00	3.60	10.80	16.20	21.20	21.60	32.20	36.39
2012	14.60	25.20	10.80	15.00	18.20	3.40	0.60	2.60	8.60	6.00	10.00	50.80	50.80	57.40
2013	25.20	18.00	8.60	11.80	3.20	2.00	0.60	16.20	9.00	14.80	8.20	17.80	25.20	28.48
2014	29.80	15.60	24.80	14.00	12.80	1.60	1.20	0.00	36.80	8.60	15.20	9.80	36.80	41.58
													PP MAX	57.40

Figura 1D

Plano de distribución de red de alcantarillado existente

Anexo D



Tabla 1E

Tabla de cálculo hidraulico de la red de alcantarillado existente

TRAMO	TRAMO		LONGITUDES (m)	COTAS		CÁLCULO DEL RÉGIMEN HIDRÁULICO							
	AGUAS ARRIBA	AGUAS ABAJO	PROPIO	AGUAS ARRIBA	AGUAS ABAJO	DESNIVEL	PENDIENTE (%)	DIÁMETRO (mm)	Rh (m)	Q (l/s)	V (m/s)		m3/s
1	a7	a8	139.6	3259	3258.5	0.5	0.358	304.8	0.06	67.64	0.93	ok	0.0676
2	a8	a9	125.1	3258.5	3256.5	2	1.599	203.2	0.04	48.47	1.49	ok	0.0485
3	a1	a2	111.4	3261.5	3260.5	1	0.898	304.8	0.06	107.08	1.47	ok	0.1071
4	a2	a4	62.6	3260.5	3259.5	1	1.597	304.8	0.06	142.84	1.96	ok	0.1428
5	a3	a4	109.8	3260.5	3259.5	1	0.911	304.8	0.06	107.86	1.48	ok	0.1079
6	a4	a6	62.6	3259.5	3257.5	2	3.195	304.8	0.06	202.01	2.77	ok	0.2020
7	a5	a6	108	3259.5	3257.5	2	1.852	304.8	0.06	153.80	2.11	ok	0.1538
8	a6	a9	189.9	3257.5	3256.5	1	0.527	430.0	0.09	205.32	1.41	ok	0.2053
9	a9	a10	40.6	3256.5	3254.5	2	4.926	395.0	0.08	500.75	4.09	ok	0.5007
10	a10	a12	71.7	3254.5	3252.5	2	2.789	609.6	0.12	1198.54	4.11	ok	1.1985
11	a11	a12	87.4	3255.5	3252.5	3	3.432	406.4	0.08	450.95	3.48	ok	0.4509
12	a13	a15	48.5	3257	3256.5	0.5	1.031	508.0	0.10	448.09	2.21	ok	0.4481
13	a14	a15	47.4	3257.5	3256.5	1	2.110	406.4	0.08	353.53	2.73	ok	0.3535
14	a15	a17	53	3256.5	3255.5	1	1.887	508.0	0.10	606.19	2.99	ok	0.6062
15	a16	a17	47.4	3257.5	3255.5	2	4.219	406.4	0.08	499.97	3.85	ok	0.5000
16	a17	a18	94.5	3255.5	3255	0.5	0.529	508.0	0.10	321.01	1.58	ok	0.3210
17	a18	a19	107.8	3255	3250.5	4.5	4.174	508.0	0.10	901.66	4.45	ok	0.9017
18	a12	a19	76.6	3252.4	3250.5	1.9	2.480	609.6	0.12	1130.21	3.87	ok	1.1302
19	a19	a21	194.1	3250.5	3249.5	1	0.515	812.8	0.16	1109.31	2.14	ok	1.1093
20	a20	a21	134.1	3253.5	3249.5	4	2.983	762.0	0.15	2247.18	4.93	ok	2.2472
21	a21	ab1	94.92	3249.5	3248.5	1	1.054	812.8	0.16	1586.31	3.06	ok	1.5863
22	B1	B3	203.5	3257.5	3256	1.5	0.737	762.0	0.15	1117.09	2.45	ok	1.1171
23	B2	B3	53	3256.5	3256	0.5	0.943	812.8	0.16	1501.11	2.89	ok	1.5011
24	B3	B4	45.6	3256	3255.5	0.5	1.096	1016.0	0.20	2934.24	3.62	ok	2.9342
25	B0	B4	88.6	3256.5	3255.5	1	1.129	812.8	0.16	1641.91	3.16	ok	1.6419
26	B4	B5	46.4	3255.5	3255	0.5	1.078	1016.0	0.20	2908.84	3.59	ok	2.9088
27	B5	B6	188	3255	3251.5	3.5	1.862	1016.0	0.20	3823.39	4.72	ok	3.8234
28	B7	B8	393.11	3258.5	3256.5	2	0.509	1016.0	0.20	1998.72	2.47	ok	1.9987
29	B8	B10	98	3256.5	3253.5	3	3.061	1219.2	0.24	7972.43	6.83	ok	7.9724
30	B9	B10	178.7	3255.5	3253.5	2	1.119	812.8	0.16	1635.01	3.15	ok	1.6350
31	B10	B6	100.1	3253.5	3251.5	2	1.998	1625.6	0.33	13871.10	6.68	ok	13.8711
32	B6	B14	106.9	3251.5	3249.5	2	1.871	1625.6	0.33	13422.68	6.47	ok	13.4227
33	B11	B12	98.13	3251.5	3250.5	1	1.019	762.0	0.15	1313.48	2.88	ok	1.3135
34	B13	B12	109.07	3253.5	3250.5	3	2.751	762.0	0.15	2157.90	4.73	ok	2.1579
35	B12	B14	101	3250.5	3249.5	1	0.990	1066.8	0.21	3175.68	3.55	ok	3.1757
36	B14	ab1	101.8	3249.5	3248.5	1	0.982	1625.6	0.33	9726.11	4.69	ok	9.7261
37	ab1	ab3	102.2	3248.5	3246.5	2	1.957	1198.5	0.24	6089.77	5.40	ok	6.0898
38	ab2	ab3	96.02	3247.5	3246.5	1	1.041	1789.0	0.36	12928.75	5.14	ok	12.9288
39	ab3	abc1	93.85	3246.5	3245.5	1	1.066	1734.1	0.35	12034.38	5.10	ok	12.0344
40	D1	D2	196.07	3254.5	3250.5	4	2.040	762.0	0.15	1858.44	4.08	ok	1.8584
41	D2	D3	91.2	3250.5	3249.5	1	1.096	914.4	0.18	2215.52	3.37	ok	2.2155
42	D4	D3	86	3250.5	3249.5	1	1.163	762.0	0.15	1403.05	3.08	ok	1.4031
43	D3	D5	87.85	3249.5	3249	0.5	0.569	1219.2	0.24	3437.61	2.94	ok	3.4376
44	D6	D5	87.3	3249.5	3249	0.5	0.573	762.0	0.15	984.69	2.16	ok	0.9847
45	D5	D7	83.5	3249	3247.5	1.5	1.796	1066.8	0.21	4277.60	4.79	ok	4.2776
46	D8	D7	71.7	3248.5	3247.5	1	1.395	762.0	0.15	1536.61	3.37	ok	1.5366
47	D7	D9	95	3247.5	3246.5	1	1.053	1231.0	0.25	4796.63	4.03	ok	4.7966
48	D10	D9	87	3247	3246.5	0.5	0.575	812.8	0.16	1171.63	2.26	ok	1.1716
49	D9	abcd1	100.8	3246.5	3244.5	2	1.984	1219.2	0.24	6418.42	5.50	ok	6.4184
50	abc1	abcd1	94.71	3245.5	3244.5	1	1.056	2032.0	0.41	18282.76	5.64	ok	18.2828
51	C1	C2	162.72	3249.5	3246.5	3	1.844	825.0	0.17	2183.54	4.08	ok	2.1835
52	C2	abc1	95.25	3246.5	3244.5	2	2.100	914.4	0.18	3065.88	4.67	ok	3.0659

Anexo F

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.015)

NOTE: The summary statistics displayed in this report are based on results found at every computational time step, not just on results from each reporting time step.

Analysis Options

Flow Units CMS
Process Models:
 Rainfall/Runoff YES
 RDII NO
 Snowmelt NO
 Groundwater NO
 Flow Routing YES
 Ponding Allowed NO
 Water Quality NO
Infiltration Method CURVE_NUMBER
Flow Routing Method STEADY
Starting Date 08/28/2022 00:00:00
Ending Date 08/28/2022 03:00:00
Antecedent Dry Days 0.0
Report Time Step 00:15:00
Wet Time Step 00:05:00
Dry Time Step 01:00:00
Routing Time Step 30.00 sec

	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Initial LID Storage	0.137	6.398
Total Precipitation	1.362	63.547
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.254	11.868
Surface Runoff	0.415	19.339
Final Storage	0.833	38.834
Continuity Error (%)	-0.138	

	Volume	Volume
Flow Routing Continuity	hectare-m	10 ⁶ ltr
*****	-----	-----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	0.414	4.141
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	23.421	234.209
External Outflow	23.794	237.943
Flooding Loss	2.062	20.619
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.000	0.000
Continuity Error (%)	-8.480	

Highest Flow Instability Indexes

- Link 4 (1)
- Link 12 (1)
- Link 16 (1)
- Link 18 (1)
- Link 19 (1)

Routing Time Step Summary

Minimum Time Step : 30.00 sec
 Average Time Step : 30.00 sec
 Maximum Time Step : 30.00 sec
 Percent in Steady State : 0.00
 Average Iterations per Step : 1.00
 Percent Not Converging : 0.00

Subcatchment Runoff Summary

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm
Subcuenca_03	63.55	0.00	0.00	13.57	9.05	13.34
Subcuenca_01	63.55	0.00	0.00	7.97	5.31	7.88
Subcuenca_02	63.55	0.00	0.00	19.96	13.29	18.36
Subcuenca_06	63.55	0.00	0.00	10.46	6.97	10.18
Subcuenca_07	63.55	0.00	0.00	9.51	6.34	9.41
Subcuenca_05	63.55	0.00	0.00	17.45	11.64	17.17
Subcuenca_04	63.55	0.00	0.00	2.39	1.59	2.36
Subcuenca_08	63.55	0.00	0.00	11.19	7.46	11.07
Subcuenca_09	63.55	0.00	0.00	15.59	10.40	15.37
Subcuenca_10	63.55	0.00	0.00	6.69	4.46	6.60
Subcuenca_11	63.55	0.00	0.00	11.68	7.79	11.19
Subcuenca_12	63.55	0.00	0.00	6.22	4.15	6.07
Subcuenca_13	63.55	0.00	0.00	10.82	7.21	10.39
Subcuenca_14	63.55	0.00	0.00	8.42	5.62	8.26
Subcuenca_15	63.55	0.00	0.00	6.22	4.15	6.13
Subcuenca_19	63.55	0.00	0.00	14.35	9.57	13.93
Subcuenca_20	63.55	0.00	0.00	14.23	9.49	13.81
Subcuenca_21	63.55	0.00	0.00	12.53	8.35	12.23
Subcuenca_16	63.55	0.00	0.00	18.39	12.25	17.62
Subcuenca_22	63.55	0.00	0.00	19.91	13.27	19.16
Subcuenca_17	63.55	0.00	0.00	10.78	7.19	10.55
Subcuenca_23	63.55	0.00	0.00	14.88	9.92	14.42
Subcuenca_18	63.55	0.00	0.00	18.95	12.63	18.37

LID Performance Summary

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage
Subcuenca_03	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_01	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_02	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_06	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_07	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_05	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_04	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_08	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_09	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_10	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_11	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_12	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_13	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_14	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_15	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_19	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_20	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12

Subcuenca_21	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_16	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_22	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_17	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_23	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_18	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12

Node Depth Summary

Node	Type	Average Depth Meters	Maximum Depth Meters	Maximum HGL Meters	Time of Max Occurrence days hr:min	Reported Max Depth Meters
a1	JUNCTION	0.04	0.04	3261.54	0 00:00	0.04
a3	JUNCTION	0.11	0.11	3260.61	0 00:00	0.11
a2	JUNCTION	0.13	0.13	3260.63	0 00:00	0.13
a4	JUNCTION	0.13	0.13	3259.63	0 00:00	0.13
a6	JUNCTION	0.12	0.16	3257.66	0 00:00	0.12
a5	JUNCTION	0.12	0.12	3259.62	0 00:00	0.12
a8	JUNCTION	0.17	0.17	3258.67	0 00:00	0.17
a9	JUNCTION	0.14	0.24	3256.74	0 01:32	0.24
a10	JUNCTION	0.14	0.24	3254.74	0 00:00	0.24
a12	JUNCTION	0.14	0.24	3252.74	0 00:00	0.17
a19	JUNCTION	0.20	0.32	3250.82	0 00:00	0.24
a21	JUNCTION	0.20	0.26	3249.76	0 01:36	0.24
c1	JUNCTION	0.19	0.24	3249.74	0 01:36	0.19
c2	JUNCTION	0.20	0.24	3246.74	0 00:00	0.20
ab2	JUNCTION	0.21	0.21	3247.71	0 00:00	0.21
a7	JUNCTION	0.17	0.17	3259.17	0 00:00	0.17
a11	JUNCTION	0.14	0.14	3255.64	0 00:00	0.14
a17	JUNCTION	0.13	0.20	3255.70	0 00:00	0.14
a13	JUNCTION	0.04	0.04	3257.04	0 00:00	0.04
43	JUNCTION	0.12	0.20	3256.70	0 00:00	0.13
a14	JUNCTION	0.12	0.12	3257.62	0 00:00	0.12
a16	JUNCTION	0.12	0.12	3257.62	0 00:00	0.12
b0	JUNCTION	0.53	0.53	3257.03	0 00:00	0.53
b4	JUNCTION	0.53	0.81	3256.31	0 00:00	0.53
b1	JUNCTION	0.10	0.10	3257.60	0 00:00	0.10
b2	JUNCTION	0.12	0.12	3256.62	0 00:00	0.12
b3	JUNCTION	0.24	0.33	3256.33	0 00:00	0.24
b5	JUNCTION	0.24	0.25	3255.25	0 01:36	0.24
a18	JUNCTION	0.13	0.20	3255.20	0 01:35	0.14
b7	JUNCTION	0.12	0.12	3258.62	0 00:00	0.12
b8	JUNCTION	0.23	0.25	3256.75	0 01:36	0.24
b9	JUNCTION	0.47	0.47	3255.97	0 00:00	0.47
b10	JUNCTION	0.47	0.81	3254.31	0 00:00	0.47
b6	JUNCTION	0.24	0.33	3251.83	0 00:00	0.24
d2	JUNCTION	0.12	0.16	3250.66	0 00:00	0.13
d3	JUNCTION	0.22	0.33	3249.83	0 00:00	0.23
d4	JUNCTION	0.12	0.12	3250.62	0 00:00	0.12
b11	JUNCTION	0.12	0.12	3251.62	0 00:00	0.12
b12	JUNCTION	0.22	0.33	3250.83	0 00:00	0.22
b13	JUNCTION	0.12	0.12	3253.62	0 00:00	0.12
b14	JUNCTION	0.24	0.33	3249.83	0 00:00	0.24
ab1	JUNCTION	0.25	0.33	3248.83	0 00:00	0.26
d6	JUNCTION	0.12	0.12	3249.62	0 00:00	0.12
d5	JUNCTION	0.24	0.27	3249.27	0 01:36	0.25
d7	JUNCTION	0.24	0.33	3247.83	0 00:00	0.25
d8	JUNCTION	0.12	0.12	3248.62	0 00:00	0.12
d9	JUNCTION	0.22	0.33	3246.83	0 00:00	0.23
d10	JUNCTION	0.12	0.12	3247.12	0 00:00	0.12
abc1	JUNCTION	0.43	0.65	3246.15	0 00:00	0.45
ab3	JUNCTION	0.25	0.33	3246.83	0 00:00	0.26
a20	JUNCTION	0.08	0.08	3253.58	0 00:00	0.08
d1	JUNCTION	0.12	0.12	3254.62	0 00:00	0.12
abcd1	OUTFALL	0.43	0.46	3244.96	0 01:36	0.45

Node Inflow Summary

Node	Type	Maximum Lateral Inflow CMS	Maximum Total Inflow CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr
a1	JUNCTION	0.059	0.059	0 00:00	0.637	0.637
a3	JUNCTION	0.060	0.060	0 00:00	0.642	0.642
a2	JUNCTION	0.000	0.059	0 00:00	0	0.637
a4	JUNCTION	0.054	0.172	0 01:36	0.0595	1.34
a6	JUNCTION	0.095	0.328	0 01:36	0.11	2.1
a5	JUNCTION	0.061	0.061	0 00:00	0.652	0.652
a8	JUNCTION	0.000	0.037	0 00:00	0	0.402
a9	JUNCTION	0.419	0.724	0 01:36	0.656	3.14
a10	JUNCTION	0.029	0.511	0 01:32	0.314	3.33
a12	JUNCTION	0.170	0.763	0 01:36	0.416	4.64
a19	JUNCTION	0.090	1.287	0 01:36	0.301	7.75
a21	JUNCTION	0.219	2.736	0 01:36	0.286	21.3
c1	JUNCTION	2.556	2.556	0 01:36	26.4	26.4
c2	JUNCTION	0.000	2.553	0 01:36	0	26.5
ab2	JUNCTION	1.830	1.830	0 00:00	19.7	19.7
a7	JUNCTION	0.037	0.037	0 00:00	0.402	0.402
a11	JUNCTION	0.082	0.082	0 00:00	0.889	0.889
a17	JUNCTION	0.050	0.378	0 01:36	0.0552	2.73
a13	JUNCTION	0.082	0.082	0 00:00	0.883	0.883
43	JUNCTION	0.090	0.237	0 01:36	0.104	1.69
a14	JUNCTION	0.065	0.065	0 00:00	0.697	0.697
a16	JUNCTION	0.091	0.091	0 00:00	0.986	0.986
b0	JUNCTION	1.460	1.460	0 00:00	15.7	15.7
b4	JUNCTION	0.052	3.880	0 01:36	0.0576	40.7
b1	JUNCTION	0.970	0.970	0 00:00	10.5	10.5
b2	JUNCTION	1.330	1.330	0 00:00	14.3	14.3
b3	JUNCTION	0.068	2.368	0 01:36	0.0764	24.9
b5	JUNCTION	0.000	3.880	0 01:36	0	40.7
a18	JUNCTION	0.077	0.433	0 01:36	0.0877	2.81
b7	JUNCTION	1.550	1.550	0 00:00	16.7	16.7
b8	JUNCTION	0.229	1.779	0 01:36	0.303	17
b9	JUNCTION	1.200	1.200	0 00:00	12.9	12.9
b10	JUNCTION	0.000	2.979	0 01:36	0	30
b6	JUNCTION	0.135	6.995	0 01:36	0.162	70.8
d2	JUNCTION	0.164	1.784	0 01:36	0.202	17.7
d3	JUNCTION	0.167	3.171	0 01:36	0.207	31
d4	JUNCTION	1.220	1.220	0 00:00	13.2	13.2
b11	JUNCTION	1.140	1.140	0 00:00	12.3	12.3
b12	JUNCTION	0.110	3.130	0 01:36	0.129	32.7
b13	JUNCTION	1.880	1.880	0 00:00	20.3	20.3
b14	JUNCTION	0.083	10.208	0 01:36	0.0947	104
ab1	JUNCTION	0.230	13.174	0 01:36	0.304	145
d6	JUNCTION	0.860	0.860	0 00:00	9.27	9.27
d5	JUNCTION	0.133	4.163	0 01:36	0.158	40.5
d7	JUNCTION	0.206	5.709	0 01:36	0.266	55.2
d8	JUNCTION	1.340	1.340	0 00:00	14.5	14.5
d9	JUNCTION	0.172	6.921	0 01:36	0.214	66.6
d10	JUNCTION	1.040	1.040	0 00:00	11.2	11.2
abc1	JUNCTION	0.172	17.002	0 01:36	0.214	171
ab3	JUNCTION	0.000	14.470	0 01:33	0	145
a20	JUNCTION	1.230	1.230	0 00:00	13.3	13.3
d1	JUNCTION	1.620	1.620	0 00:00	17.5	17.5
abcd1	OUTFALL	0.000	23.923	0 01:36	0	238

Node Flooding Summary

Flooding refers to all water that overflows a node, whether it ponds or not.

Maximum	Time of Max	Total Flood	Maximum Ponded
---------	-------------	-------------	----------------

Node	Hours Flooded	Rate CMS	Occurrence days hr:min	Volume 10^6 ltr	Volume 1000 m3
a6	0.17	0.058	0 01:36	0.018	0.000
a9	0.24	0.238	0 01:37	0.126	0.000
a10	0.01	0.036	0 00:00	0.001	0.000
a12	0.01	0.047	0 00:00	0.001	0.000
a19	0.01	0.186	0 00:00	0.006	0.000
c1	0.02	0.002	0 01:36	0.000	0.000
c2	0.14	0.080	0 00:00	0.011	0.000
a17	0.08	0.072	0 00:00	0.005	0.000
43	0.01	0.018	0 00:00	0.001	0.000
b4	0.01	0.024	0 00:00	0.001	0.000
b3	0.01	0.007	0 00:00	0.000	0.000
b10	0.01	0.058	0 00:00	0.002	0.000
b6	0.01	0.037	0 00:00	0.001	0.000
d2	0.01	0.004	0 00:00	0.000	0.000
d3	0.01	0.014	0 00:00	0.000	0.000
b12	0.01	0.017	0 00:00	0.001	0.000
b14	0.01	0.064	0 00:00	0.002	0.000
ab1	0.17	672.942	0 00:00	20.338	0.000
d7	0.01	0.019	0 00:00	0.001	0.000
d9	0.01	0.008	0 00:00	0.000	0.000
abc1	0.01	0.011	0 00:00	0.000	0.000
ab3	0.21	0.159	0 01:34	0.104	0.000

 Outfall Loading Summary

Outfall Node	Flow Freq Pcnt	Avg Flow CMS	Max Flow CMS	Total Volume 10^6 ltr
abcd1	100.00	22.064	23.923	237.947
System	100.00	22.064	23.923	237.947

 Link Flow Summary

Link	Type	Maximum Flow CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Maximum Veloc m/sec	Max/ Full Flow	Max/ Full Depth
1	CONDUIT	0.059	0 00:00	0.70	0.18	0.29
2	CONDUIT	0.059	0 00:00	1.70	0.95	0.78
3	CONDUIT	0.060	0 00:00	1.27	0.85	0.71
4	CONDUIT	0.172	0 01:36	2.34	0.78	0.67
5	CONDUIT	0.061	0 00:00	1.82	0.91	0.75
6	CONDUIT	0.267	0 01:33	0.98	1.00	1.00
7	CONDUIT	0.037	0 00:00	1.04	0.86	0.72
8	CONDUIT	0.037	0 00:00	1.56	0.60	0.56
9	CONDUIT	0.482	0 01:32	3.92	1.00	1.00
10	CONDUIT	0.511	0 01:32	2.90	0.85	0.71
11	CONDUIT	0.763	0 01:36	2.93	0.90	0.74
12	CONDUIT	1.287	0 01:36	1.26	0.92	0.76
14	CONDUIT	0.082	0 00:00	0.87	0.09	0.20
15	CONDUIT	0.065	0 00:00	1.94	0.91	0.75
16	CONDUIT	0.237	0 01:36	2.15	0.97	0.79
17	CONDUIT	0.091	0 00:00	2.75	0.91	0.75
18	CONDUIT	0.356	0 01:35	1.14	1.00	1.00
19	CONDUIT	0.433	0 01:36	3.19	0.95	0.78
20	CONDUIT	0.082	0 00:00	3.02	0.61	0.57
21	CONDUIT	1.330	0 00:00	1.30	0.93	0.76
22	CONDUIT	0.970	0 00:00	1.08	0.66	0.59
23	CONDUIT	1.460	0 00:00	4.05	0.77	0.66

24	CONDUIT	2.368	0	01:36	2.22	0.91	0.75
25	CONDUIT	3.880	0	01:36	2.21	0.92	0.76
29	CONDUIT	2.736	0	01:36	1.81	0.97	0.79
30	CONDUIT	12.640	0	01:33	2.99	1.00	1.00
31	CONDUIT	1.830	0	00:00	2.11	0.77	0.66
32	CONDUIT	14.312	0	01:33	2.21	1.00	1.00
33	CONDUIT	2.519	0	01:34	1.81	1.00	1.00
34	CONDUIT	17.002	0	01:36	3.43	0.84	0.70
35	CONDUIT	2.553	0	01:36	2.40	1.00	1.00
36	CONDUIT	1.230	0	00:00	1.82	0.70	0.62
37	CONDUIT	1.550	0	00:00	1.15	0.28	0.36
38	CONDUIT	1.779	0	01:36	1.85	0.94	0.77
39	CONDUIT	1.200	0	00:00	3.87	0.63	0.58
41	CONDUIT	2.979	0	01:36	1.35	0.91	0.75
42	CONDUIT	6.995	0	01:36	2.92	0.94	0.77
43	CONDUIT	3.880	0	01:36	2.68	0.61	0.56
44	CONDUIT	1.140	0	00:00	1.35	0.92	0.76
45	CONDUIT	1.880	0	00:00	2.22	0.92	0.76
46	CONDUIT	3.130	0	01:36	2.08	0.81	0.68
47	CONDUIT	10.208	0	01:36	2.11	0.94	0.77
48	CONDUIT	1.620	0	00:00	1.92	0.92	0.76
49	CONDUIT	1.220	0	00:00	1.45	0.92	0.76
50	CONDUIT	0.860	0	00:00	1.02	0.93	0.76
51	CONDUIT	1.340	0	00:00	1.58	0.92	0.76
52	CONDUIT	1.040	0	00:00	1.02	0.93	0.76
53	CONDUIT	1.784	0	01:36	1.41	0.99	0.81
54	CONDUIT	3.171	0	01:36	1.60	0.90	0.74
55	CONDUIT	4.163	0	01:36	2.87	1.00	0.82
56	CONDUIT	5.709	0	01:36	2.17	0.89	0.74
57	CONDUIT	6.921	0	01:36	2.99	0.90	0.74

 Conduit Surcharge Summary

Conduit	----- Both Ends	Hours Full Upstream	----- Dnstream	Hours Above Full Normal Flow	Hours Capacity Limited
6	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
9	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
18	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
30	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
32	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
33	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
35	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Analysis begun on: Sun Aug 6 11:23:36 2023
 Analysis ended on: Sun Aug 6 11:23:37 2023
 Total elapsed time: 00:00:01

Anexo G

Diseño del Pavimento Permeable

En este caso de estudio específico, se llevará a cabo la aplicación del enfoque de diseño racional modificado. Esto se debe a que, para poder realizar una estimación precisa, es necesario contar con la curva de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF). Es debido a ello que, dado la ubicación geográfica de la zona de estudio, se tomará como referencia un período de retorno de 30 años y una duración estimada de 1 hora (60 minutos). En base a estos parámetros, se determina un valor de 29.07 mm/h como la intensidad considerada.

Para el cálculo del volumen que aportan las áreas adyacentes a las calles de nuestra zona de estudio en la cual se propone la implementación del concreto permeable fue necesario realizar un trazo de las zonas que aportarían en dicha capacidad volumétrica, haciéndose uso del programa Google Earth como puede apreciarse en la siguiente Figura 1A. y cuyos valores han sido agrupados en la siguiente tabla.

Figura 1G

Trazo de áreas adyacentes a las calles en las cuales se plantea la implementación de pavimentos permeables. Fuente: Propia

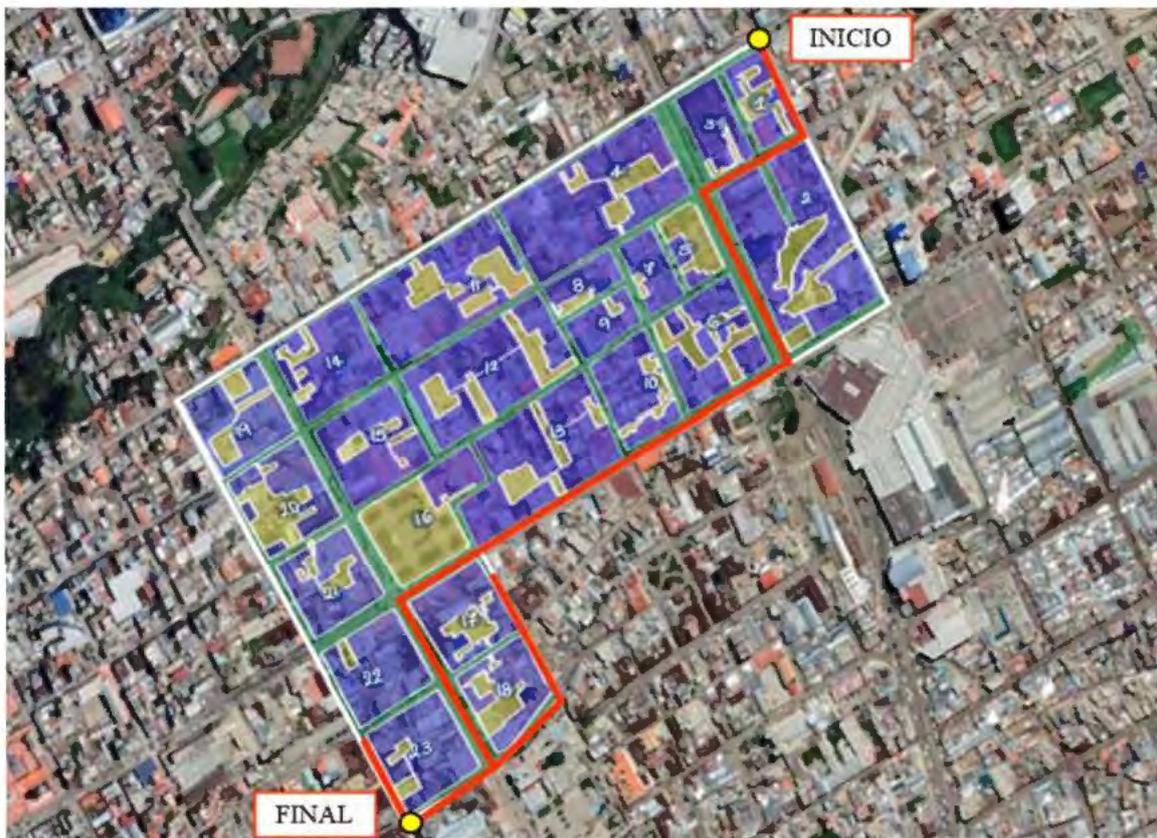


Tabla 1G

Valores de las áreas adyacentes trazadas en Google Earth de las calles en las cuales se plantea la implementación del Pavimento Permeable Fuente: Propia

Áreas influyentes en TRAMO 1		
	Área adyacente	Valor (m2)
Calle Guido	Subcuenca 01	4545.00
Prolongación Cuzco	Subcuenca 03	4908.00
Av. Ferrocarril	Subcuenca 02	20773.00
	Subcuenca 06	10490.00
Av. Giraldez	Subcuenca 10	7106.00
	Subcuenca 13	16276.00
	Subcuenca 16	10186.00
Calle Real	Subcuenca 18	6913.00
Jr. Ancash	Subcuenca 17	7700.00
Jr. Arequipa	Subcuenca 23	8814.00
	Total	97711.00

Por otro lado, en la siguiente tabla se presentan las dimensiones de las calles que forman parte del tramo donde se plantea la implementación del pavimento permeable.

Tabla 2G

Valores de las áreas de pavimento permeable propuesta a implementar en el Tramo 1 (Fuente: Propia)

Calles de implementación	Longitud (m)	Ancho de calzada (m)	Área (m2)
Jirón Guido	102.00	7.00	714.00
Prolongación Cuzco	135.00	8.00	1080.00
Av. Ferrocarril	205.00	25.00	5125.00
Av. Giraldez	395.00	13.00	5135.00
Av. Giraldez (Entre Jr. Ancash y Ca. Real)	100.00	15.00	1500.00
Calle Real	200.00	12.50	2500.00
Jr. Ancash	83.00	9.00	747.00
Jr. Loreto (Entre Jr. Ancash y Ca. Real)	105.00	14.00	1470.00
Jr. Loreto (Entre Ca. Real y Jr. Arequipa)	100.00	7.00	700.00

Jr. Arequipa	100.00	4.00	400.00
		Total	19371.00

Luego de ello se hará el cálculo del volumen aportante en base a los siguientes parámetros hidrológicos.

$$V_{apt}(t) = 1.25 \times 0.001 \times C \times It \times A \times t$$

Donde:

- C = Coeficiente de escorrentía superficial del área total aportante.
- A = Superficie total aportante por cada tramo analizado en m².
- It = Intensidad de la lluvia del período de retorno de diseño en mm./hora y duración t.
- t = Tiempo acumulado en horas.

El Servicio de Vivienda y Urbanización (SERVIU) sugiere multiplicar el volumen acumulado por un factor de seguridad de 1.25 para calcular el Volumen aportante (V_{apt}), teniendo en cuenta la lluvia previa y posterior al evento más intenso de la tormenta (SERVIU, 2005).

En el inicio, se determinará el valor ponderado del coeficiente de escorrentía C, teniendo en cuenta la totalidad del área que contribuye, de esta forma se obtendrá lo siguiente:

- Tramo 1 (Jr. Guido – Prolog. Cuzco - Av. Ferrocarril - Av. Giraldez / Breña – Calle Real – Jr. Loreto)

$$C = (C1 \text{ Atechos} + C2 \text{ Apavimento}) / A_{total}$$

$$C = (0.9 * 97711.00 + 1 * 19371.00) / 117082.00$$

$$C = 0.92$$

El volumen aportante para el Tramo 1 (Jr. Guido – Prolog. Cuzco - Av. Ferrocarril - Av. Giraldez / Breña – Calle Real – Jr. Loreto)

$$V_{apt}(t) = 1.25 \times 0.001 \times 0.92 \times 29.07 \times 97711.00 \times 1$$

$$V_{apt}(t) = 3254.26 \text{ m}^3$$

- Ahora se realizará el cálculo del volumen propio

Del mismo modo en cómo se obtuvo el valor del volumen aportante, según el Servicio de Vivienda y Urbanización (SERVIU), el valor del volumen propio se obtendrá en base a parámetros tanto hidrológicos como métricos, para ello se usan los datos de la intensidad de lluvia, el área propia y el tiempo.

El volumen propio para el Tramo (Jr. Guido – Prolog. Cuzco - Av. Ferrocarril - Av. Giraldez / Breña – Calle Real – Jr. Loreto)

$$V_{prop}(t) = 0.001 \times It \times A_{prop} \times t$$

$$V_{prop}(t) = 0.001 \times 29.07 \times 19371.00 \times 1$$

$$V_{prop}(t) = 563.11 \text{ m}^3$$

Para la obtención del volumen total se adicionarán ambos resultados, tanto el del Volumen aportante (V_{apt}) como el del Volumen Propio (V_{prop})

El volumen total para el Tramo 1 (Jr. Guido – Av. Giraldez / Breña – Calle Real)

$$V_{total}(t) = V_{apt}(t) + V_{prop}(t)$$

$$V_{total}(t) = 3254.26 + 563.11$$

$$V_{total}(t) = 3817.37 \text{ m}^3$$

- Cálculo del volumen dentro de la tubería para la recolección de aguas pluviales:
Debido a que el tipo de pavimento seleccionado para este estudio implica una infiltración parcial, es necesario tener en cuenta el volumen de salida de la tubería que se planea colocar, considerando su diámetro y su superficie rugosa. El cálculo del volumen de la tubería perforada se basa en las directrices establecidas por en la modificada norma OS. 060 "Norma de Drenaje Pluvial Urbano", que establece el diámetro adecuado. Para instalaciones de tuberías parciales o totales bajo la calzada, la norma recomienda un diámetro mínimo de 50 cm (figura 17). En el caso presente, la tubería se ubicará bajo el pavimento, con un diámetro de 50 cm y estará fabricada en PVC (Policloruro de Vinilo).

Tabla 3G

Diámetro mínimos de las tuberías (Fuente: Norma OS.060)

Mínimos de Tuberías en Colectores de agua de lluvia	
Tipo de Colector	Diámetro Mínimo (m)
Colector Troncal	0,50
Lateral Troncal	0,40*
Conductor Lateral	0,40*

En instalaciones ubicadas parcial o totalmente bajo la calzada se aumentarán en diámetros a 0.50 m por lo menos

Después, se realizará el cálculo del volumen contenido en la tubería utilizando la fórmula proporcionada, se tendrá en cuenta el caudal generado por las lluvias multiplicado por la duración de las precipitaciones.

$$Vol_{tubería} = t_{duración} \times Q_{tubería}$$

Donde:

- $t_{duración}$ = Tiempo de duración del evento de precipitaciones.
- $Q_{tubería}$ = Caudal de la tubería.

El tiempo de duración ($t_{duración}$) del evento en análisis se considerará que es de 1 hora (tabla 4), pero no se conoce el caudal generado en la tubería, es por ello que se hará uso de la ecuación de la dinámica de fluidos:

$$Q = V \times A$$

$$Q_{tub} = Vel \times A_{tub}$$

Donde:

- $Velocidad$ = Velocidad de las precipitaciones que recorren en la tubería
- $A_{tubería}$ = Área de la tubería.

Para el cálculo de la velocidad se hará uso de la fórmula de Manning la cual se representa de la siguiente manera:

$$Velocidad = (R^{2/3} \times S^{1/2}) / n$$

Los requisitos necesarios para obtener un valor es la pendiente longitudinal (S) de la cual se considerará 1% (Castro, 2011); el Radio hidráulico será considerado asumiendo que el volumen de la tubería llega hasta la mitad de esta

y por último el coeficiente de rugosidad (n) se obtiene de los cuadros proporcionados por la Norma OS.060 (figura 18).

Tabla 4G

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning correspondientes a los diferentes acabados de las tuberías (Fuente: Norma OS.060)

Tubería	Coefficientes de rugosidad "n" de Manning
Asbesto cemento	0.010
Hierro fundido dúctil	0.010
Cloruro de polivinilo	0.010
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.010
Concreto Armado Liso	0.013
Concreto armado con revestimiento de PVC	0.010
Arcilla vitrificada	0.010

Teniendo en conocimiento todos los datos requeridos, el valor de la VELOCIDAD que se obtuvo al hacer uso de la fórmula de Manning es:

$$Velocidad = 2.5 \text{ m/S}$$

Por lo tanto, el caudal de la tubería sería el siguiente:

$$Q = 1767.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Finalmente, el volumen de la tubería de captación es:

$$\text{Volumen tubería} = 1h * 1767.15 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Volumen tubería} = 1767.15 \text{ m}^3$$

Conociendo los volúmenes totales que ingresan por cada tramo analizado (Vtotal) y de igual manera el Volumen de la tubería (Vtubería), puede conocerse el valor del Volumen de almacenamiento de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de almacenamiento} = V_{total} - V_{tubería}$$

- Para el Tramo 1 (Jr. Guido – Av. Giraldez / Breña – Calle Real)

$$\text{Volumen de almacenamiento} = 3817.37 \text{ m}^3 - 1767.15 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de almacenamiento} = 2050.22 \text{ m}^3$$

Ya con el valor del Volumen de almacenamiento por cada tramo analizado se hallará el cálculo de la capa de subbase:

Según el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (SERVIU) para el cálculo del espesor de la capa de subbase se realiza el uso de la siguiente expresión:

$$e = \text{Valmacenamiento} / (pAe)$$

Donde:

- p = La porosidad del material de la subbase, considerado como 0.3 para efectos de diseño.
- Ae = Área del Pavimento de Concreto Permeable.

Se obtiene:

- Para el Tramo 1 (Jr. Guido – Av. Giraldez / Breña – Calle Real)
 $e = 2050.22 \text{ m}^3 / (0.3 \times 19371.00 \text{ m}^2)$
 $e = 0.35 \text{ m}$

Para el diseño de la capa de rodadura del pavimento de concreto permeable se hará uso de lo mencionado por el método AASHTO 93. Para el uso de esta metodología se necesitarán los valores de parámetros tales como el tráfico, drenaje de la zona de estudio, capacidad de transferencia de carga, características de los suelos, confiabilidad, etc. Según esta metodología, la ecuación que se hará uso será la siguiente:

$$\log(W_{18}) = Z_R + S_0 + 7.35 + \log((D+1) - 0.06) + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{45-15}\right)}{1 + \frac{(1.624 \times 10^7)}{(D+1)^{0.46}}} + (4.22 - 0.32 \cdot P_t) + \log\left[\frac{S_c + C_d \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \cdot J \cdot \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.28}}\right]}\right]$$

Donde:

- W18 = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas. (Número de ESAL's)
- Zr = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.
- S0 = Desvío estándar de todas las variables.
- D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.
- ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.
- Pt = Serviciabilidad final.
- S'c = Módulo de rotura del concreto en psi.
- J = Coeficiente de transferencia de carga.
- Cd = Coeficiente de drenaje.
- Ec = Módulo de elasticidad, en psi.
- K = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg)

El espesor de la capa de rodadura se obtendrá haciendo uso de la fórmula AASHTO 93 ya mencionada. En la tabla siguiente se puede observar los valores de las variables necesarias para el uso de tal expresión.

Tabla 5A. Resumen de valores a emplear en la expresión del método AASHTO 93

Tabla 5F

Resumen de valores a emplear en la expresión del método AASHTO 93

W18	1996808.23	
Zr	-1.282	Grado de confiabilidad del 90%
So	0.4	AASHTO
Δ PSI	2	Pt=2.00 Po=4.50
S'c	4.35 Mpa	
J	3	
Cd	1	
Ec	24820 Mpa	
K	49.38 Mpa/m	CBR = 5%

Según José Bernaola, quien realizó un estudio del flujo de transporte urbano en la provincia de Huancayo, pudo determinar lo siguiente:

- Nivel de confiabilidad

TIPO DE CARRETERA	NIVELES DE CONFIABILIDAD R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Troncales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	50 - 80

Nivel de confiabilidad R(%) = 90

- Desviación Estándar Normal

DESVIACION ESTANDAR NORMAL, VALORES QUE CORRESPONDEN A LOS NIVELES SELECCIONADOS DE CONFIABILIDAD		
CONFIABILIDAD R (%)	(ZR)	(So)
50	0.000	0.35
60	-0.253	0.35
70	-0.524	0.34
75	-0.647	0.34
80	-0.841	0.32
85	-1.037	0.32
90	-1.282	0.31
91	-1.340	0.31
92	-1.405	0.30
93	-1.476	0.30
94	-1.555	0.30
95	-1.645	0.30
96	-1.751	0.29
97	-1.881	0.29
98	-2.054	0.29
99	-2.327	0.29
99.9	-3.090	0.29
99.99	-3.750	0.29

Desviación Estándar Normal ZR=-1282

- Error Estándar Combinado (So)

TIPO	(So)
Pavimentos Rígidos	0.30 - 0.40
Construcción Nueva	0.35
En Sobre Capas	0.40

Valor considerado de (So) = 0.4

- Coeficiente de drenaje Cd

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos de 1%	1 % - 5 %	5 % - 25 %	más del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Malo	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Se tomó en consideración al valor de Cd = 1 para la capa de Rodadura del Pavimento

- Coeficiente de transmisión de carga (J)

Tipo de Pavimento	Hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Con. Asfáltico		Con. Hidráulico	
	SI	NO	SI	NO
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Reforzado continuo	2.9 - 3.2	----	2.3 - 2.9	----

Al reemplazar todos los valores mencionados en la expresión se obtuvo como resultado que el espesor de la capa de rodadura del concreto permeable será de:

$$d = 20 \text{ cm}$$

Se conoce que los espesores de la base granular y de la subbase granular pueden encontrarse en un rango de 10 cm a 30 cm, según AASHTO; el valor de la subbase granular que se obtuvo inicialmente fue de 35 cm por lo tanto se optará por un valor de subbase granular de 30 cm ya que es el valor máximo que puede optar esta capa; y para el caso de la capa de rodadura se tendrá una capa de 20 cm.

Según AASHTO, haciendo uso del ESALS's puede obtenerse un valor mínimo de las bases granulares. En este caso se conoce según la investigación de José Bernaola que el ESAL's en la provincia de Huancayo se encuentra en el rango de mayor a 7'000,000 por lo que la base granular que le corresponde es de 6", es por ello que según nuestro criterio el espesor de la base granular será de 15 cm

Tránsito (ESAL's) En Ejes Equivalentes	Carpetas De Concreto Asfáltico	Bases Granulares
Menos de 50,000	1,0 ó T.S.	4,0
50,001 – 150,000	2,0	4,0
150,001 – 500,000	2,5	4,0
500,001 – 2'000,000	3,0	6,0
2'000,001 – 7'000,000	3,5	6,0
Mayor de 7'000,000	4,0	6,0

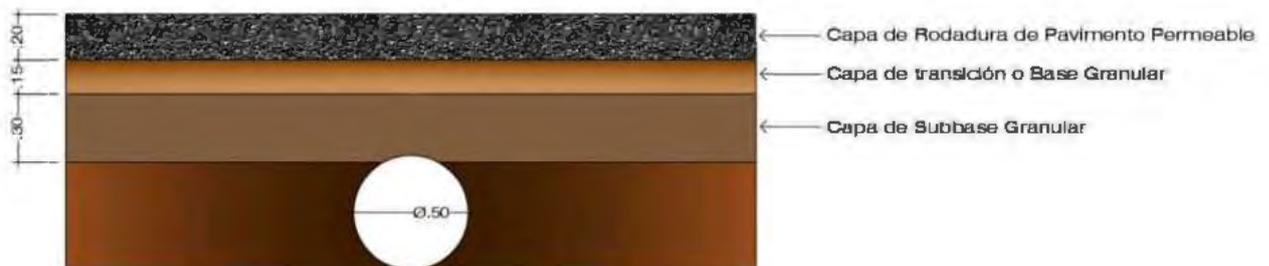
T.S. = Tratamiento superficial

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Finalmente, el diseño del pavimento será el que se muestre a continuación

Figura 2G

Sección transversal del diseño del pavimento



Para la introducción de los datos en el programa SWMM se requiere conocer las propiedades de los agregados y del concreto permeable que llegará a utilizarse. Para ello se tomó como referencia los estudios realizados por Boris Aguirre y Melanny Anchiraico, quienes realizaron 5 diseños de mezcla con diferentes relaciones de agua y cemento y de igual manera con porcentajes de vacío diferentes para el caso de los agregados; las mezclas consideradas cumplieron con los parámetros establecidos por el ACI 522R-10. A continuación, se observa el resumen de resultados de las dosificaciones que se obtuvieron en este estudio.

Figura 3A. Resumen de dosificaciones obtenidas (Fuente: Aguirre Herrera & Anchiraico Giraldo, 2021)

Materiales	Diseño 1		Diseño 2		Diseño 3		Diseño 4		Diseño 5	
	Kg	m³								
Cemento (kg)	438.38	0.139	419.64	0.133	400.55	0.127	384.61	0.122	433.44	0.138
H2O (L)	131.51	0.131	134.28	0.134	120.16	0.120	123.07	0.123	130.03	0.130
Agregado (kg)	1472.02	0.563	1472.02	0.564	1472.02	0.564	1472.02	0.564	1472.02	0.564
Agregado fino (kg)	78.64	0.030	78.64	0.030	78.64	0.030	78.64	0.030	78.64	0.030
Z RR Plast - 971 (Kg)	4.38	0.001	5.46	0.002	5.21	0.002	5.77	0.002	5.63	0.002
% de vacíos	-	0.136	-	0.137	-	0.157	-	0.159	-	0.136
Total	2124.94	1.000	2110.04	1.000	2076.58	1.000	2064.11	1.000	2119.77	1.000

Y respecto a la permeabilidad que le corresponde al diseño de mezcla 1 se obtuvo lo siguiente:

Figura 3G

Resumen de resultados de ensayo de permeabilidad (Fuente: B. Aguirre)

Permeabilidad del Concreto Permeable (cm/s)			
Diseño	Probeta A	Probeta B	Promedio
1	0.88	0.77	0.82
2	0.94	0.89	0.92
3	1.28	1.21	1.24
4	1.05	1.01	1.03
5	0.93	0.82	0.88

Conociendo lo ya mencionado, se consideró que el diseño de mezcla 1 será la que se tome como referencia para el modelado debido a que es la que obtiene una mayor resistencia a los 28 días con una menor relación a/c; por otro lado, esta resistencia es directamente proporcional a la relación de vacíos porque a menor relación de vacíos, la resistencia a la compresión será mayor.

Por ende, los valores a considerar son los del Diseño de Mezcla 1 con una permeabilidad promedio de 0.82 cm/s.

Anexo H

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.015)

 NOTE: The summary statistics displayed in this report are based on results found at every computational time step, not just on results from each reporting time step.

 Analysis Options

 Flow Units CMS
 Process Models:
 Rainfall/Runoff YES
 RDII NO
 Snowmelt NO
 Groundwater NO
 Flow Routing YES
 Ponding Allowed NO
 Water Quality NO
 Infiltration Method CURVE_NUMBER
 Flow Routing Method STEADY
 Starting Date 08/28/2022 00:00:00
 Ending Date 08/28/2022 03:00:00
 Antecedent Dry Days 0.0
 Report Time Step 00:15:00
 Wet Time Step 00:05:00
 Dry Time Step 01:00:00
 Routing Time Step 30.00 sec

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Initial LID Storage	0.137	6.398
Total Precipitation	1.362	63.547
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.362	16.899
Surface Runoff	0.311	14.523
Final Storage	0.827	38.582
Continuity Error (%)	-0.085	

*****	Volume	Volume
Flow Routing Continuity	hectare-m	10^6 ltr
*****	-----	-----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	0.311	3.112
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	23.421	234.209
External Outflow	23.722	237.222
Flooding Loss	2.031	20.311
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.000	0.000
Continuity Error (%)	-8.517	

 Highest Flow Instability Indexes

- Link 6 (1)
- Link 11 (1)
- Link 12 (1)
- Link 16 (1)
- Link 18 (1)

Routing Time Step Summary

Minimum Time Step : 30.00 sec
 Average Time Step : 30.00 sec
 Maximum Time Step : 30.00 sec
 Percent in Steady State : 0.00
 Average Iterations per Step : 1.00
 Percent Not Converging : 0.00

Subcatchment Runoff Summary

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm
Subcuenca_03	63.55	0.00	0.00	17.52	7.47	11.04
Subcuenca_01	63.55	0.00	0.00	21.21	0.02	0.03
Subcuenca_02	63.55	0.00	0.00	42.93	4.12	6.00
Subcuenca_06	63.55	0.00	0.00	21.82	2.43	3.61
Subcuenca_07	63.55	0.00	0.00	9.51	6.34	9.41
Subcuenca_05	63.55	0.00	0.00	17.45	11.64	17.17
Subcuenca_04	63.55	0.00	0.00	2.39	1.59	2.36
Subcuenca_08	63.55	0.00	0.00	11.19	7.46	11.07
Subcuenca_09	63.55	0.00	0.00	15.59	10.40	15.37
Subcuenca_10	63.55	0.00	0.00	12.55	2.12	3.15
Subcuenca_11	63.55	0.00	0.00	11.68	7.79	11.19
Subcuenca_12	63.55	0.00	0.00	6.22	4.15	6.07
Subcuenca_13	63.55	0.00	0.00	16.91	4.78	6.97
Subcuenca_14	63.55	0.00	0.00	8.42	5.62	8.26
Subcuenca_15	63.55	0.00	0.00	6.22	4.15	6.13
Subcuenca_19	63.55	0.00	0.00	14.35	9.57	13.93
Subcuenca_20	63.55	0.00	0.00	14.23	9.49	13.81
Subcuenca_21	63.55	0.00	0.00	12.53	8.35	12.23
Subcuenca_16	63.55	0.00	0.00	27.45	8.64	12.55
Subcuenca_22	63.55	0.00	0.00	19.91	13.27	19.16
Subcuenca_17	63.55	0.00	0.00	19.08	3.87	5.73
Subcuenca_23	63.55	0.00	0.00	18.26	8.57	12.51
Subcuenca_18	63.55	0.00	0.00	29.92	8.25	12.11

LID Performance Summary

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Init. Stor
Subcuenca_03	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00	
Subcuenca_03	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_01	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00	
Subcuenca_01	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_02	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00	
Subcuenca_02	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_06	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00	
Subcuenca_06	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_07	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_05	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_04	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_08	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_09	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_10	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00	
Subcuenca_10	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_11	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12
Subcuenca_12	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12

Subcuenca_13	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00
Subcuenca_13	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_14	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_15	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_19	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_20	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_21	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_16	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00
Subcuenca_16	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_22	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_17	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00
Subcuenca_17	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_23	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00
Subcuenca_23	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Subcuenca_18	PAVIMENTO_PERMEABLE	63.55	0.00	63.55	0.00	0.00
Subcuenca_18	CUVIERTA_VERDE	63.55	0.00	0.00	0.00	0.00

Node Depth Summary

Node	Type	Average Depth Meters	Maximum Depth Meters	Maximum HGL Meters	Time of Max Occurrence days hr:min	Reported Max Depth Meters
a1	JUNCTION	0.04	0.04	3261.54	0 00:00	0.04
a3	JUNCTION	0.11	0.11	3260.61	0 00:00	0.11
a2	JUNCTION	0.13	0.13	3260.63	0 00:00	0.13
a4	JUNCTION	0.13	0.13	3259.63	0 00:00	0.13
a6	JUNCTION	0.12	0.16	3257.66	0 00:00	0.12
a5	JUNCTION	0.12	0.12	3259.62	0 00:00	0.12
a8	JUNCTION	0.17	0.17	3258.67	0 00:00	0.17
a9	JUNCTION	0.12	0.19	3256.69	0 01:36	0.15
a10	JUNCTION	0.12	0.24	3254.74	0 00:00	0.15
a12	JUNCTION	0.14	0.24	3252.74	0 00:00	0.14
a19	JUNCTION	0.20	0.32	3250.82	0 00:00	0.22
a21	JUNCTION	0.20	0.25	3249.75	0 01:36	0.22
c1	JUNCTION	0.19	0.20	3249.70	0 01:36	0.19
c2	JUNCTION	0.19	0.24	3246.74	0 00:00	0.20
ab2	JUNCTION	0.21	0.21	3247.71	0 00:00	0.21
a7	JUNCTION	0.17	0.17	3259.17	0 00:00	0.17
a11	JUNCTION	0.14	0.14	3255.64	0 00:00	0.14
a17	JUNCTION	0.13	0.20	3255.70	0 00:00	0.14
a13	JUNCTION	0.04	0.04	3257.04	0 00:00	0.04
43	JUNCTION	0.12	0.20	3256.70	0 00:00	0.13
a14	JUNCTION	0.12	0.12	3257.62	0 00:00	0.12
a16	JUNCTION	0.12	0.12	3257.62	0 00:00	0.12
b0	JUNCTION	0.53	0.53	3257.03	0 00:00	0.53
b4	JUNCTION	0.53	0.81	3256.31	0 00:00	0.53
b1	JUNCTION	0.10	0.10	3257.60	0 00:00	0.10
b2	JUNCTION	0.12	0.12	3256.62	0 00:00	0.12
b3	JUNCTION	0.24	0.33	3256.33	0 00:00	0.24
b5	JUNCTION	0.24	0.25	3255.25	0 01:36	0.24
a18	JUNCTION	0.13	0.20	3255.20	0 01:35	0.14
b7	JUNCTION	0.12	0.12	3258.62	0 00:00	0.12
b8	JUNCTION	0.23	0.25	3256.75	0 01:36	0.24
b9	JUNCTION	0.47	0.47	3255.97	0 00:00	0.47
b10	JUNCTION	0.47	0.81	3254.31	0 00:00	0.47
b6	JUNCTION	0.24	0.33	3251.83	0 00:00	0.24
d2	JUNCTION	0.12	0.16	3250.66	0 00:00	0.13
d3	JUNCTION	0.22	0.33	3249.83	0 00:00	0.23
d4	JUNCTION	0.12	0.12	3250.62	0 00:00	0.12
b11	JUNCTION	0.12	0.12	3251.62	0 00:00	0.12
b12	JUNCTION	0.22	0.33	3250.83	0 00:00	0.22
b13	JUNCTION	0.12	0.12	3253.62	0 00:00	0.12
b14	JUNCTION	0.24	0.33	3249.83	0 00:00	0.24
ab1	JUNCTION	0.25	0.33	3248.83	0 00:00	0.25
d6	JUNCTION	0.12	0.12	3249.62	0 00:00	0.12
d5	JUNCTION	0.24	0.27	3249.27	0 01:36	0.25
d7	JUNCTION	0.24	0.33	3247.83	0 00:00	0.25
d8	JUNCTION	0.12	0.12	3248.62	0 00:00	0.12

d9	JUNCTION	0.22	0.33	3246.83	0	00:00	0.23
d10	JUNCTION	0.12	0.12	3247.12	0	00:00	0.12
abc1	JUNCTION	0.43	0.65	3246.15	0	00:00	0.44
ab3	JUNCTION	0.25	0.33	3246.83	0	00:00	0.26
a20	JUNCTION	0.08	0.08	3253.58	0	00:00	0.08
d1	JUNCTION	0.12	0.12	3254.62	0	00:00	0.12
abcd1	OUTFALL	0.43	0.45	3244.95	0	01:36	0.44

Node Inflow Summary

Node	Type	Maximum Lateral Inflow CMS	Maximum Total Inflow CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	
a1	JUNCTION	0.059	0.059	0 00:00	0.637	0.637	
a3	JUNCTION	0.060	0.060	0 00:00	0.642	0.642	
a2	JUNCTION	0.000	0.059	0 00:00	0	0.637	
a4	JUNCTION	0.000	0.119	0 01:36	0.000201	1.28	
a6	JUNCTION	0.080	0.259	0 01:36	0.0908	2.02	
a5	JUNCTION	0.061	0.061	0 00:00	0.652	0.652	
a8	JUNCTION	0.000	0.037	0 00:00	0	0.402	
a9	JUNCTION	0.169	0.466	0 01:36	0.21	2.64	
a10	JUNCTION	0.029	0.495	0 01:36	0.314	2.95	
a12	JUNCTION	0.079	0.656	0 01:36	0.3	4.14	
a19	JUNCTION	0.055	1.144	0 01:36	0.26	7.21	
a21	JUNCTION	0.156	2.531	0 01:36	0.191	20.7	
c1	JUNCTION	2.506	2.506	0 01:36	26.4	26.4	
c2	JUNCTION	0.000	2.506	0 01:36	0	26.4	
ab2	JUNCTION	1.830	1.830	0 00:00	19.7	19.7	
a7	JUNCTION	0.037	0.037	0 00:00	0.402	0.402	
a11	JUNCTION	0.082	0.082	0 00:00	0.889	0.889	
a17	JUNCTION	0.050	0.378	0 01:36	0.0552	2.73	
a13	JUNCTION	0.082	0.082	0 00:00	0.883	0.883	
43	JUNCTION	0.090	0.237	0 01:36	0.104	1.69	
a14	JUNCTION	0.065	0.065	0 00:00	0.697	0.697	
a16	JUNCTION	0.091	0.091	0 00:00	0.986	0.986	
b0	JUNCTION	1.460	1.460	0 00:00	15.7	15.7	
b4	JUNCTION	0.052	3.880	0 01:36	0.0576	40.7	
b1	JUNCTION	0.970	0.970	0 00:00	10.5	10.5	
b2	JUNCTION	1.330	1.330	0 00:00	14.3	14.3	
b3	JUNCTION	0.068	2.368	0 01:36	0.0764	24.9	
b5	JUNCTION	0.000	3.880	0 01:36	0	40.7	
a18	JUNCTION	0.077	0.433	0 01:36	0.0877	2.81	
b7	JUNCTION	1.550	1.550	0 00:00	16.7	16.7	
b8	JUNCTION	0.229	1.779	0 01:36	0.303	17	
b9	JUNCTION	1.200	1.200	0 00:00	12.9	12.9	
b10	JUNCTION	0.000	2.979	0 01:36	0	30	
b6	JUNCTION	0.135	6.995	0 01:36	0.162	70.8	
d2	JUNCTION	0.164	1.784	0 01:36	0.202	17.7	
d3	JUNCTION	0.167	3.171	0 01:36	0.207	31	
d4	JUNCTION	1.220	1.220	0 00:00	13.2	13.2	
b11	JUNCTION	1.140	1.140	0 00:00	12.3	12.3	
b12	JUNCTION	0.110	3.130	0 01:36	0.129	32.7	
b13	JUNCTION	1.880	1.880	0 00:00	20.3	20.3	
b14	JUNCTION	0.083	10.208	0 01:36	0.0947	104	
ab1	JUNCTION	0.173	12.912	0 01:36	0.216	145	
d6	JUNCTION	0.860	0.860	0 00:00	9.27	9.27	
d5	JUNCTION	0.133	4.163	0 01:36	0.158	40.5	
d7	JUNCTION	0.206	5.709	0 01:36	0.266	55.2	
d8	JUNCTION	1.340	1.340	0 00:00	14.5	14.5	
d9	JUNCTION	0.152	6.901	0 01:36	0.185	66.6	
d10	JUNCTION	1.040	1.040	0 00:00	11.2	11.2	
abc1	JUNCTION	0.119	16.936	0 01:36	0.14	171	
ab3	JUNCTION	0.000	14.470	0 01:35	0	144	
a20	JUNCTION	1.230	1.230	0 00:00	13.3	13.3	
d1	JUNCTION	1.620	1.620	0 00:00	17.5	17.5	
abcd1	OUTFALL	0.000	23.838	0 01:36	0	237	

Node Flooding Summary

Flooding refers to all water that overflows a node, whether it ponds or not.

Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr	Maximum Poned Volume 1000 m3
a6	0.01	0.024	0 00:00	0.001	0.000
a10	0.01	0.036	0 00:00	0.001	0.000
a12	0.01	0.047	0 00:00	0.001	0.000
a19	0.01	0.186	0 00:00	0.006	0.000
c2	0.01	0.080	0 00:00	0.002	0.000
a17	0.08	0.072	0 00:00	0.005	0.000
43	0.01	0.018	0 00:00	0.001	0.000
b4	0.01	0.024	0 00:00	0.001	0.000
b3	0.01	0.007	0 00:00	0.000	0.000
b10	0.01	0.058	0 00:00	0.002	0.000
b6	0.01	0.037	0 00:00	0.001	0.000
d2	0.01	0.004	0 00:00	0.000	0.000
d3	0.01	0.014	0 00:00	0.000	0.000
b12	0.01	0.017	0 00:00	0.001	0.000
b14	0.01	0.064	0 00:00	0.002	0.000
ab1	0.09	672.942	0 00:00	20.228	0.000
d7	0.01	0.019	0 00:00	0.001	0.000
d9	0.01	0.008	0 00:00	0.000	0.000
abc1	0.01	0.011	0 00:00	0.000	0.000
ab3	0.13	0.159	0 01:35	0.059	0.000

Outfall Loading Summary

Outfall Node	Flow Freq Pcnt	Avg Flow CMS	Max Flow CMS	Total Volume 10 ⁶ ltr
abcd1	100.00	21.998	23.838	237.226
System	100.00	21.998	23.838	237.226

Link Flow Summary

Link	Type	Maximum Flow CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Maximum Veloc m/sec	Max/ Full Flow	Max/ Full Depth
1	CONDUIT	0.059	0 00:00	0.70	0.18	0.29
2	CONDUIT	0.059	0 00:00	1.70	0.95	0.78
3	CONDUIT	0.060	0 00:00	1.27	0.85	0.71
4	CONDUIT	0.119	0 01:36	2.15	0.54	0.52
5	CONDUIT	0.061	0 00:00	1.82	0.91	0.75
6	CONDUIT	0.259	0 01:36	0.98	0.97	0.79
7	CONDUIT	0.037	0 00:00	1.04	0.86	0.72
8	CONDUIT	0.037	0 00:00	1.56	0.60	0.56
9	CONDUIT	0.466	0 01:36	3.92	0.97	0.79
10	CONDUIT	0.495	0 01:36	2.89	0.82	0.69
11	CONDUIT	0.656	0 01:36	2.86	0.78	0.66
12	CONDUIT	1.144	0 01:36	1.24	0.82	0.69
14	CONDUIT	0.082	0 00:00	0.87	0.09	0.20
15	CONDUIT	0.065	0 00:00	1.94	0.91	0.75

16	CONDUIT	0.237	0	01:36	2.15	0.97	0.79
17	CONDUIT	0.091	0	00:00	2.75	0.91	0.75
18	CONDUIT	0.356	0	01:35	1.14	1.00	1.00
19	CONDUIT	0.433	0	01:36	3.19	0.95	0.78
20	CONDUIT	0.082	0	00:00	3.02	0.61	0.57
21	CONDUIT	1.330	0	00:00	1.30	0.93	0.76
22	CONDUIT	0.970	0	00:00	1.08	0.66	0.59
23	CONDUIT	1.460	0	00:00	4.05	0.77	0.66
24	CONDUIT	2.368	0	01:36	2.22	0.91	0.75
25	CONDUIT	3.880	0	01:36	2.21	0.92	0.76
29	CONDUIT	2.531	0	01:36	1.80	0.90	0.74
30	CONDUIT	12.640	0	01:35	2.99	1.00	1.00
31	CONDUIT	1.830	0	00:00	2.11	0.77	0.66
32	CONDUIT	14.312	0	01:34	2.21	1.00	1.00
33	CONDUIT	2.506	0	01:36	1.81	0.99	0.82
34	CONDUIT	16.936	0	01:36	3.42	0.83	0.70
35	CONDUIT	2.506	0	01:36	2.40	0.98	0.80
36	CONDUIT	1.230	0	00:00	1.82	0.70	0.62
37	CONDUIT	1.550	0	00:00	1.15	0.28	0.36
38	CONDUIT	1.779	0	01:36	1.85	0.94	0.77
39	CONDUIT	1.200	0	00:00	3.87	0.63	0.58
41	CONDUIT	2.979	0	01:36	1.35	0.91	0.75
42	CONDUIT	6.995	0	01:36	2.92	0.94	0.77
43	CONDUIT	3.880	0	01:36	2.68	0.61	0.56
44	CONDUIT	1.140	0	00:00	1.35	0.92	0.76
45	CONDUIT	1.880	0	00:00	2.22	0.92	0.76
46	CONDUIT	3.130	0	01:36	2.08	0.81	0.68
47	CONDUIT	10.208	0	01:36	2.11	0.94	0.77
48	CONDUIT	1.620	0	00:00	1.92	0.92	0.76
49	CONDUIT	1.220	0	00:00	1.45	0.92	0.76
50	CONDUIT	0.860	0	00:00	1.02	0.93	0.76
51	CONDUIT	1.340	0	00:00	1.58	0.92	0.76
52	CONDUIT	1.040	0	00:00	1.02	0.93	0.76
53	CONDUIT	1.784	0	01:36	1.41	0.99	0.81
54	CONDUIT	3.171	0	01:36	1.60	0.90	0.74
55	CONDUIT	4.163	0	01:36	2.87	1.00	0.82
56	CONDUIT	5.709	0	01:36	2.17	0.89	0.74
57	CONDUIT	6.901	0	01:36	2.99	0.90	0.74

 Conduit Surcharge Summary

Conduit	Hours Full			Hours	Hours
	Both Ends	Upstream	Dnstream	Above Full Normal Flow	Capacity Limited
18	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
30	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
32	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

Analysis begun on: Sun Aug 6 11:53:19 2023
 Analysis ended on: Sun Aug 6 11:53:19 2023
 Total elapsed time: < 1 sec

Anexo I

Tabla 11

Modificaciones a la Norma CE.040 - Mantenimiento de drenaje

Zona climática Región	Descripción	Ciudad	P.P. Anual mm/año	OBRAS DE INFILTRACIÓN							OBRAS DE ALMACENAMIENTO		OBRAS ANEXAS							
				Días sin lluvia	Días con lluvia	Estanques	Zanjas	Pozos	Pavimento Poroso	Pavimento Celulares	Estanques	Laguna	Franjas Filtrantes	Zanjas con Vegetación	Canales de Pasto	Canales con Vegetación	Cáidas	Sedimentadores	Cámaras de Inspección	
A(r)A'1H4	Clima cálido muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año	Gueppi	1563.00	59	306	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	4	4
		Pijuyal	3305.00	19	346	3	3	3	2	2	4	4	1	2	2	2	2	2	4	4
		Curaray	1313.00	58	307	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4
		Iquitos	2877.00	169	196	3	3	3	2	2	4	4	1	2	2	2	2	2	4	4
		Borja	1051.00	91	274	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4
		Requena	1039.00	90	275	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4
		Tocache	1340.00	58	307	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4
		Uchiza	16.00	334	31	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
		Tulumayo	16.00	334	31	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
		Tingo María	2890.00	201	164	3	3	3	2	2	4	4	1	2	2	2	2	2	4	4
		Quincemil	1178.00	91	274	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4
		Puerto Bermúdez	458.00	108	257	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4
Cobalcocha	1019.00	119	246	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4		
El Sepa	1179.00	246	119	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4		
A(r)B'1H4	Clima semicálido muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año	Pozuzo	529.00	118	247	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Pilcopata	192.00	334	31	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
A(r)B'2H3	Clima templado muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año	Tocaz	S/R																	
		Umaparco	1180.00	90	275	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		San Miguel	1831.00	223	142	3	3	3	2	2	4	4	1	2	2	2	2	4	4	
B(0)A'1H3	Clima cálido, lluvioso, con lluvia deficiente en invierno	Contamana	1011.00	98	267	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Juanjui	1525.00	222	143	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Pachiza	16.00	334	31	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		Tournavista	1112.20	226	139	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
B(0)B'1H3	Clima semicálido, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno	Pucallpa	2682.00	188	177	3	3	3	2	2	4	4	1	2	2	2	2	4	4	
		Chachapoyas	2489.00	144	221	3	3	3	2	2	4	4	1	2	2	2	2	4	4	
		Rodríguez de Mendoza	498.00	42	323	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Rioja y Roque	1455.00	218	147	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
B(0)B'2H3	Clima templado, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno	San Antonio (Chantoli)	934.10	252	113	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	4	4	
		Cutervo	49.90	334	31	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		San José de Lourdes (San Ignacio)	523.00	64	301	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
B(0)D'1H3	Clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno	Surasaca	S/R																	
		Marcapomacocha	241.00	223	142	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Milpo	16.00	334	31	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		Cerro de Pasco	137.50	337	28	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Junín	55.20	350	15	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		Morococha	850.90	109	256	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Pomacocha	337.10	309	56	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Yauricocha	S/R																	
B(0)F'1H2	Clima polar, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno	Nieve perpetua																		
B(0)J'B'3H3	Clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno	Ayabaca	740.00	128	237	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Chota	301.40	308	57	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Celendín	818.00	66	299	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Cajabamba	279.80	309	56	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Tayabamba	700.00	133	232	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Huamachuco	214.80	317	48	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Ambo (Huánuco)	1316.00	77	288	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Huallanca	1112.00	130	235	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Panao	1354.00	83	282	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		Tarma	1522.00	165	200	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	
		La Oroya	1052.00	109	256	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	4	

E(d)B*1H3	Zona desértica semicálida, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año	Casa Grande	70.70	345	20	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2		
		Cartavio	18.00	344	21	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		Jequetepeque	1600.00	365	0	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	4	4	
		Laredo Trujillo	51.50	351	14	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		Paramonga	49.90	349	16	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		Huacho	212.00	325	40	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	4	4	
		Lomas de Lachay	100.00	365	0	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	4	4	
		Huaral	71.00	305	60	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		Lima Metropolitana	203.00	333	32	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	4	4	
		Cañete	458.00	162	203	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	4	4	
		Pampa de Majes	S/R																	
		Vitor	18.00	344	21	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
		La Joya	114.00	284	81	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	4	4	
		Moquegua	26.00	357	8	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		Pisco	26.00	362	3	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
		Ocucaje	9.20	362	3	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
		Palpa	34.40	355	10	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
Tacna	208.00	335	30	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	4	4			

* S/R : Sin Registro