

ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE DRENAJE SUPERFICIAL

Sebastián Ramírez Barajas

Monografía Para Optar Por El Título De Ingeniero Civil

Universidad De Pamplona

Facultas De Ingeniería Y Arquitectura

Programa De Ingeniería Civil

Pamplona, Norte De Santander, Colombia

2024

ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE DRENAJE SUPERFICIAL

Sebastián Ramírez Barajas

Monografía Para Optar Por El Título De Ingeniero Civil

Director

Msc. Alba Yajaira Sánchez Delgado

Universidad De Pamplona

Facultad De Ingeniería Y Arquitectura

Programa De Ingeniería Civil

Pamplona. Norte De Santander, Colombia

2024

Tabla De Contenido

Introducción	11
Capítulo 1.....	13
Prólogo estructuras hidráulicas de drenaje superficial.....	13
1.1 Definición	13
1.2 Historia, estructuras de drenaje.....	14
1.2.1 Civilizaciones antiguas:	15
1.2.2 Edad Media:	16
1.2.3 Revolución Industrial:.....	16
1.2.4 SDD moderno:	16
1.2.5 Tecnologías actuales:	16
1.3 Características generales de drenaje superficial	18
1.4 Fundamentos del Drenaje Superficial	19
1.4.1 Control y Manejo del Caudal	19
1.4.2 Manejo en la Calidad del Agua.....	20
1.4.3 Desarrollo y Mantenimiento de Infraestructura	20
1.4.4 Integración con el Entorno Natural	20
1.4.5 Minimización de la Impermeabilización	21
1.5 Tipos de SDDS	21

1.5.1 Drenaje agrícola	22
1.5.2 Drenaje superficial (DS)	23
1.5.3 Drenaje en áreas húmedas	23
1.5.4 Drenaje subterráneo	24
1.5.5 Drenaje en áreas áridas	24
1.5.6 Proceso de drenaje	25
1.6 Sistema de drenaje (SDD).....	27
1.6.1 Drenaje pluvial:.....	28
1.6.2 Drenaje sanitario:	28
1.6.3 Drenaje agrícola:	28
1.6.4 Drenaje subterráneo:	28
Capítulo 2.....	29
2.1 Componentes Principales de un Sistema de Drenaje	29
2.1.1 Descole cunetas.....	30
2.1.2 Curvas	40
2.1.3 Pocetas o cajas recolectoras	41
2.1.4 Empedrados.....	42
2.1.5 Bajantes o alivios	43
2.1.6 Caudal de diseño	44
2.1.7 Canales y zanjas	44

2.1.8 Base terraplenes	47
2.2 Disipadores de energía en cunetas	48
2.2.1 Revestimiento en piedra.....	48
2.2.2 Rápidos escalonados	49
2.2.3 Deflectores	49
2.2.4 Estructuras de retención.....	49
2.2.5 Lisos rápidos	49
2.3 Alcantarillas	52
2.3.1 Alcantarillas de Drenaje Pluvial	52
2.3.2 Materiales utilizados	60
2.3.3 Factores a considerar (pendiente, flujo de agua, capacidad)	61
2.3.4 Caudal de diseño	63
2.4 Pozos de registro (o cámaras de inspección)	68
2.4.1 Ubicación y Diseño:.....	69
2.4.2 Funciones:	69
2.4.3 Tipos:	69
2.4.4 Materiales y Construcción:	69
2.4.5 Normativas y Diseño:	70
2.4.6 Bombas de agua:	70
2.4.7 Consideraciones para la Selección.....	71

Capítulo 3.....	72
3.1 Consideraciones en el Diseño de un SDD	72
3.1.1 Hidrología De Drenaje Superficial	72
3.1.2 Topografía.....	73
3.1.3 Clima.....	74
3.1.4 Tipo de Suelo	76
3.1.5 Uso del suelo.....	78
3.1.6 Prácticas de Manejo del Agua.....	80
3.1.7 Conservación y Manejo de Cuencas	81
3.1.8 Geología.....	83
3.1.9 Actividades Humanas	83
3.1.10 Sostenibilidad.....	85
3.1.11 Impacto Ambiental del Drenaje Superficial	86
3.1.12 Mantenimiento y Gestión del Drenaje	88
3.1.13 Importancia del Drenaje en Vías.....	89
Capítulo 4.....	91
Aplicaciones en la ingeniería civil en drenaje superficial	91
4.1 Desarrollo Urbano.....	92
4.1.1 Infraestructura de Transporte.....	92
4.1.2 Infraestructura Verde	92

4.1.3 Erosión y Control de Sedimentos	93
4.2 Investigaciones Recientes en Drenaje Superficial	93
4.2.1 Modelado Hidrológico y Simulación Computacional	94
4.2.2 Efectos del Cambio Climático en el Drenaje Superficial	94
4.2.3 Soluciones Basadas en Naturaleza (NBS)	94
4.2.4 Contaminación por Escorrentía.....	94
4.2.5 Tecnologías de Sensores para la Monitoreo en Tiempo Real	95
4.3 Avances Tecnológicos y Futuras Direcciones para su aplicación	95
4.3.1 Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS)	95
4.3.2 Drenaje Inteligente y Monitoreo Remoto	96
4.3.3 Materiales Innovadores	97
4.3.4 Infraestructura Verde	99
4.3.5 Modelización y Simulación Avanzada	100
4.3.6 Reutilización de Aguas Pluviales.....	101
4.3.7 Inteligencia Artificial y Machine Learning.....	102
4.3.8 Drones Autónomos	103
4.3.9 Integración con Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA):	103
Análisis y discusión	105
Conclusiones	109
Referencias bibliográficas.....	113

Tabla De Figuras

Figura 1. Sistema de drenaje superficial (SDDS)	14
Figura 2. <i>Historia del drenaje</i>	15
Figura 3. <i>Drenaje en un cultivo de banano</i>	22
Figura 4. <i>Cunetas de canal abierto</i>	31
Figura 5. <i>Drenaje cunetas cerradas</i>	32
Figura 6. <i>Cunetas con pavimento</i>	33
Figura 7. <i>Cunetas vegetadas</i>	34
Figura 8. <i>Cunetas de hormigón</i>	35
Figura 9. <i>Muros de mampostería</i>	36
Figura 10. <i>Cunetas de tierra</i>	37
Figura 11. <i>Tipo de cuneta triangular</i>	38
Figura 12. <i>Cuneta trapecial</i>	39
Figura 13. <i>Cuneta hondanada</i>	40
Figura 14. <i>Cajas recolectoras</i>	42
Figura 15. <i>Bajantes o alivios</i>	43
Figura 16. <i>Zanjas de coronación</i>	46
Figura 17. <i>Zanjas de base</i>	47
Figura 18. <i>Rejillas en sumidero</i>	54
Figura 19. <i>Tuberías</i>	55
Figura 20. <i>Sumidero</i>	57

Figura 21. <i>Sumidero de rejilla</i>	58
Figura 22. <i>Canalones</i>	59
Figura 23. <i>Embocadura con aletas</i>	67
Figura 24. <i>SUDS</i>	96
Figura 25. <i>Drenaje Inteligente</i>	97
Figura 26. <i>Concreto permeable</i>	98
Figura 27. <i>Concreto permeable</i>	99
Figura 28. <i>Infraestructura Verde</i>	100
Figura 29. <i>Simulación Avanzada</i>	101
Figura 30. <i>Aguas Pluviales</i>	102
Figura 31. <i>Drones</i>	103
Figura 32. <i>Sensores de Contaminación</i>	104

Listado De Tablas

Tabla 1. <i>Tipos de disipadores de energía para drenaje superficial</i>	51
---	----

Introducción

En el dinámico y multifacético campo de la ingeniería civil, las estructuras hidráulicas destinadas a los sistemas de drenaje superficial (SDDS) desempeñan un papel esencial. No solo son ejemplos de la avanzada tecnología y el ingenio humano, sino que también reflejan la capacidad histórica de nuestra especie para adaptarse y gestionar uno de los recursos más impredecibles y cruciales del planeta como lo es el agua. A través de los siglos, el ser humano ha desarrollado soluciones cada vez más sofisticadas para controlar y utilizar el agua, enfrentando desafíos tanto naturales como sociales.

El propósito de esta monografía es ofrecer un análisis exhaustivo de las estructuras hidráulicas de drenaje superficial (DS), abordando su historia, características, fundamentos y los diversos subtemas que emergen de este campo. Desde las primeras civilizaciones, que ingeniosamente canalizaron el agua para el riego y la protección contra inundaciones, hasta las modernas infraestructuras que incorporan tecnología avanzada y consideraciones ambientales, el drenaje superficial ha evolucionado significativamente, siempre en respuesta a las crecientes necesidades y desafíos de la humanidad.

Este trabajo está estructurado en varias secciones. Comenzaremos con una revisión histórica, que nos permitirá entender cómo las soluciones de drenaje han cambiado y mejorado con el tiempo. Continuaremos con una descripción detallada de las características y fundamentos de las estructuras tanto de sistemas de drenaje (SDD) en general como de drenaje superficial, donde se destacarán los principios técnicos y los materiales utilizados en su construcción.

Asimismo, exploraremos los distintos tipos de estructuras hidráulicas, desde las más simples hasta las más complejas, y analizaremos los criterios de diseño y las metodologías empleadas en su planificación y ejecución. No se dejarán de lado los desafíos contemporáneos,

como la misión sostenible del recurso hídrico y la acomodación al clima cambiante, que influyen en el diseño y la implementación de estas estructuras.

El objetivo final de esta monografía es facilitar una visión integral y detallada de estructuras hidráulicas de drenaje superficial, proporcionando conocimientos útiles para estudiantes y personal competente de la ingeniería civil. Esperamos que este trabajo no solo enriquezca el entendimiento técnico, sino que también inspire un mayor aprecio por las ingeniosas soluciones que la ingeniería ha desarrollado para enfrentar los retos relacionados con el agua.

Capítulo 1

Prólogo estructuras hidráulicas de drenaje superficial

En la vasta y multifacética disciplina de la ingeniería civil, las estructuras hidráulicas de drenaje superficial ocupan un lugar fundamental. Estas construcciones no solo representan soluciones técnicas avanzadas, sino que también reflejan la evolución histórica y la capacidad adaptativa del ser humano para gestionar uno de los elementos más impredecibles y vitales de nuestro planeta: el agua.

1.1 Definición

El drenaje, `` es eliminar el exceso de agua. En el ámbito de la hidrología, el drenaje se relaciona al proceso natural mediante el cual, el agua superficial fluye desde una región más alta a una más baja, usualmente hacia ríos, lagos u océanos``. Esta definición se enfoca en el movimiento del agua en el paisaje (Béjar, 2007, p. 21) .

Este documento aborda el drenaje superficial (DS), un conjunto de métodos que se utilizan para eliminar cualquier exceso de agua y/o sales presentes en la superficie del suelo.

Este sistema ayuda a mantener un equilibrio adecuado y a prevenir problemas como inundaciones o acumulación de líquidos en el organismo. En resumen, el drenaje es la forma en que gestionamos el flujo de líquidos para mantener un entorno o un cuerpo saludable y funcional.

Figura 1.*Sistema de drenaje superficial (SDDS)*

Nota. El drenaje visible en la imagen es un canal de riego revestido de concreto. Este tipo de drenaje es común en la agricultura para llevar agua de manera eficiente a los campos de cultivo.

Sistema de drenaje superficial. Tucci (2015).

1.2 Historia, estructuras de drenaje

La historia del drenaje superficial es una narrativa que destaca la evolución de las tecnologías y prácticas que las civilizaciones han desarrollado para manejar el agua de lluvia y las aguas superficiales. Desde el inicio de las sociedades, los humanos han buscado formas de controlar el agua para proteger sus asentamientos y cultivos. Las antiguas civilizaciones de Mesopotamia y Babilonia, alrededor del 4000 al 2500 a.C., ya contaban con sistemas de drenaje urbano bien organizados, que incluían canales para desviar el agua de lluvia de las zonas densamente pobladas (Burian & Edwards, 2012).

Las civilizaciones tempranas, como los mesopotámicos y los minoicos, fueron pioneros en sistemas básicos de drenaje. Estas innovaciones tempranas sentaron las bases para los sistemas complejos desarrollados por civilizaciones posteriores, incluidos los romanos, quienes

avanzaron significativamente las tecnologías de drenaje y saneamiento urbano (Burian & Edwards, 2012)

1.2.1 Civilizaciones antiguas:

- Los antiguos egipcios construyeron sistemas de drenaje para proteger sus ciudades de las inundaciones del Nilo.
- Los griegos y romanos desarrollaron sistemas de alcantarillado y cloacas para mantener la higiene en sus ciudades.
- Estos sistemas primitivos sentaron los cimientos del progreso y la evolución de SDD más avanzados (Burian & Edwards, 2012).

Figura 2.

Historia del drenaje



Nota. Drenaje de la Civilización del Valle del Indo, Mohenjo Daro es conocida por su avanzado sistema de drenaje, uno de los más sofisticados de la antigüedad. La ciudad contaba con canales de drenaje contruidos con ladrillos y cubiertos que recorrían las calles principales. (PcQro, 2019).

1.2.2 Edad Media:

- Durante la Edad Media, el drenaje se centró en la construcción de cloacas y sistemas de alcantarillado en ciudades europeas.
- Estos sistemas eran a menudo simples y no muy efectivos, lo que llevó a problemas de higiene y salud pública.

1.2.3 Revolución Industrial:

- La Revolución Industrial trajo consigo el crecimiento urbano, la necesidad de SDD más avanzados hacia manejo de aguas residuales y pluviales.
- Se desarrollaron sistemas de alcantarillado más complejos y se implementaron tecnologías para tratar aguas residuales.

1.2.4 SDD moderno:

- El SDD moderno se caracteriza por la separación de aguas residuales y pluviales.
- Se han desarrollado sistemas para tratar las aguas residuales más efectivos y están implementado tecnologías para reducir la contaminación.

1.2.5 Tecnologías actuales:

- Se han desarrollado sistemas de gestión de aguas pluviales para reducir la carga en los sistemas de alcantarillado.
- Se están implementando tecnologías para tratar las aguas residuales más avanzadas, como desalinización y la recuperación de las aguas tratadas.

Lugares como Utah, necesitan un drenaje efectivo se reconoció temprano, lo que llevó a la aprobación de leyes de distrito de drenaje a finales del siglo XIX y a esfuerzos de investigación cooperativa que comenzaron a principios del siglo XX. Estos esfuerzos fueron cruciales para gestionar los recursos hídricos del estado, en particular dado su clima semiárido y

su dependencia de una red sofisticada de desvíos, represas, embalses y canales, este intrincado sistema sustenta la agricultura, la industria y la creciente población del estado (De Feo et al., 2014).

El desarrollo histórico de los sistemas de drenaje ha sido un testimonio del ingenio humano en gestión de las reservas hídricas, desde las civilizaciones antiguas incluso en los tiempos modernos. Los principios establecidos por los primeros ingenieros siguen siendo relevantes y demuestran la importancia perdurable del drenaje adecuado en la planificación urbana y la salud pública (De Feo et al., 2014)

Dentro de la calzada en la construcción de caminos se puede encontrar la evolución y las características de carreteras a lo largo del tiempo, destacando las técnicas utilizadas en distintas épocas históricas. Se menciona cómo las pendientes de los caminos se elevaban, a veces superando el 15%, y cómo las curvas y tramos rectos se ajustaban para mantener la pendiente adecuada. También se describe la infraestructura de los caminos antiguos, incluyendo prominencias para la evacuación de aguas, vados, pontones, cunetas laterales y canales centrales (Fonseca & Alonso, 2006).

En cuanto a la superficie de los caminos, se menciona la utilización de gravilla para la regularización y empedrado en terrenos difíciles o más transitados. En contadas ocasiones, se utilizaba el enlosado, especialmente en ciudades y sus cercanías. Se hace una diferenciación entre los diferentes tipos de superficies: gravilla, empedrado y enlosado, según su dimensión y apariencia de las piedras utilizadas. También se menciona la existencia de una capa de empedrado debajo de la gravilla, similar a las secciones de Mac Adam, que se considera un precedente de las técnicas de construcción de carreteras del siglo XIX (Fonseca & Alonso, 2006).

1.3 Características generales de drenaje superficial

El drenaje superficial es fundamental para la gestión eficaz del agua en áreas urbanas y rurales, y varios autores han destacado sus características principales. Según Villarreal y Bengtsson (2004), el diseño de SDDS debe enfocarse en una recolección rápida y eficiente del agua de lluvia. Esto implica la utilización de pendientes adecuadas en las superficies, las cuales dirigen el agua hacia puntos de recolección específicos, como canales abiertos o zanjas, reduciendo así la conformación de charcos y reduciendo el riesgo de inundaciones.

Por otro lado, estudios como los de Mays (2001) subrayan la importancia de las rejillas y sumideros estratégicamente colocados, estas estructuras conceden la entrada del agua al SDD, facilitando una rápida eliminación de las superficies. Mays (2001), también destaca el uso de materiales permeables, que permiten la introducción del recurso hídrico en el terreno, reduciendo el escurrimiento de agua superficial y promoviendo las recargas en los acuíferos.

En cuanto al control de erosión, autores como Morgan (2005) señalan que los sistemas de drenaje superficial deben diseñarse para minimizar el desgaste del suelo y el desplazamiento de sedimentos, esto es crucial para mantener la funcionalidad del sistema y prevenir la obstrucción de canales y sumideros. Morgan también resalta la integración de vegetación en estos sistemas, ya que la vegetación no solo ayuda a reducir la velocidad del flujo de agua, sino que también mejora la estética y contribuye a la infiltración.

Además, estudios realizados por Marsalek y Schreier (2009) enfatizan la idoneidad de carga de los SDDS. Los sistemas deben diseñarse para manejar la cantidad máxima de agua esperada durante eventos de tormenta, lo cual se determina a través de cálculos hidrológicos detallados. Estos autores también mencionan la importancia del mantenimiento regular para

asegurar el funcionamiento óptimo del sistema y evitar bloqueos que puedan comprometer su eficiencia.

Finalmente, autores como Butler y Davies (2011) integran los sistemas de drenaje superficial con sistemas de drenaje subterráneo. Esta integración permite una gestión más eficiente del agua, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas. Butler y Davies sugieren que un enfoque holístico que combine ambos tipos de sistemas puede ofrecer una solución más robusta y adaptable para la administración del agua de precipitación y la mitigación de inundaciones.

1.4 Fundamentos del Drenaje Superficial

Los fundamentos del drenaje superficial son esenciales para gestionar el agua que mana sobre el área del terreno, ya sea por lluvia, riego o cualquier otra fuente.

1.4.1 Control y Manejo del Caudal

Se centra en la gestión eficiente del agua que recorre la superficie del área del suelo, normalmente después de precipitaciones. Este tipo de drenaje es crucial para prevenir inundaciones, reducir la degradación del suelo y preservar infraestructuras, la reducción de un caudal pico y retención en almacenamiento controlar la rapidez y la magnitud del agua que escurre mediante la retención y almacenamiento temporal en estanques de retención, biorretención y otras estructuras, ayuda a prevenir inundaciones y erosión (Ward & Trimble, 2003a).

Desviación y Reducción: Técnicas como la construcción de diques, barreras y embalses temporales pueden desviar el agua de áreas vulnerables y reducir el caudal en zonas críticas.

Detención de Lluvias: Sistemas de retención, como balsas de retención o estanques, permiten almacenar el agua temporalmente para que se libere gradualmente, reduciendo picos en el caudal.

1.4.2 Manejo en la Calidad del Agua

Este manejo en la mejora de la pureza del agua en el drenaje superficial es de vital importancia para preservar el bienestar humano y los ecosistemas acuíferos, la filtración y tratamiento, permite implementar unos sistemas que permitan la filtración de contaminantes, como zanjas de filtración, humedales artificiales y biorretención. La reducción de la carga contaminante minimizan la introducción de contaminantes al sistema de drenaje a través de buenas prácticas de manejo, como el control de sedimentos y el uso de vegetación para filtrar contaminantes (Ward & Trimble, 2003a, p. 10).

1.4.3 Desarrollo y Mantenimiento de Infraestructura

El diseño de una infraestructura adecuada, asegura que los sistemas de drenaje (cunetas, alcantarillas, canales, etc.) estén diseñados para manejar el volumen de agua esperado (Mays, 2010). El mantenimiento regular consiste en realizar la revisión periódica de la infraestructura de drenaje para asegurar su funcionalidad y prevenir obstrucciones.

1.4.4 Integración con el Entorno Natural

La conservación de áreas naturales es un factor fundamental para preservar y restaurar áreas naturales, como humedales y bosques ribereños, que actúan como esponjas naturales y ayudan a manejar la escorrentía (Fetter, 2018). El uso, por ejemplo de soluciones basadas en la naturaleza incorporando soluciones ecológicas, como techos verdes y jardines de lluvia, que imitan los procesos naturales de infiltración y evapotranspiración.

1.4.5 Minimización de la Impermeabilización

La minimización de la impermeabilización en el drenaje superficial es un enfoque crucial para administrar de manera sostenible el agua de precipitaciones y reducir los impactos negativos asociados con la urbanización, como la escorrentía excesiva, la erosión y la contaminación del agua.

Enfoque holístico: Considerar el drenaje superficial como parte de un método de administración más amplio del agua que incluye abastecimiento, alcantarillado y calidad del agua (Barbosa et al., 2012).

Holden (2019), menciona que un desarrollo urbano sostenible se encarga de planificar y diseñar desarrollos urbanos que minimicen las superficies impermeables y maximicen la infiltración y retención de agua.

Por otra parte Ferguson (2005), Scholz y Grabowiecki (2007), señalan que los pavimentos permeables permiten que el agua de lluvia se infiltre por medio de la capa superficial, reduciendo la escorrentía y recargando los acuíferos subterráneos. Estos pavimentos están hechos de materiales como concretos permeables, asfalto permeable y pavimentadoras intertrabadas.

1.5 Tipos de SDDS

En la administración moderna del agua, los sistemas de drenaje superficial desempeñan un papel crucial para evitar inundaciones, proteger infraestructuras y mantener la seguridad pública. Estos sistemas están diseñados para captar y desviar el agua de lluvia, evitando la acumulación y el estancamiento que pueden dañar propiedades y entornos naturales. Existen diversos tipos de sistemas de drenaje superficial, cada uno adaptado a diferentes necesidades y contextos geográficos.

El siguiente análisis explorará los diferentes tipos de sistemas de drenaje superficial, sus características y aplicaciones, ofreciendo una comprensión integral de su funcionamiento y relevancia.

1.5.1 Drenaje agrícola

El drenaje en la agricultura abarca un conjunto de métodos destinados a eliminar El sobrante de agua y/o sales que pueda acumularse en la parte superficial del terreno o en la zona donde las raíces de los cultivos se extienden. Este proceso tiene como objetivo principal es ocasionar un ambiente óptimo para el correcto crecimiento de los cultivos y mantener el terreno en condiciones favorables para su desarrollo saludable. Es fundamental abordar tanto el drenaje superficial como el subterráneo al enfrentar problemas relacionados con el drenaje en las tierras dedicadas a la agricultura.

Figura 3.

Drenaje en un cultivo de banano



Nota. La imagen muestra un campo agrícola con plantaciones de plátano o banano, junto a un sistema de drenaje. El plan de drenaje visible en esta imagen es un DS, comúnmente utilizado en

plantaciones de banano y otros cultivos en áreas con alta pluviosidad. Este tipo de drenaje consiste en canales abiertos que corren a lo largo de los campos para recoger y desviar el exceso de agua de precipitación o de irrigación en el cultivo. Béjar, M. V. (Béjar, 2007) *Drenaje*. Editorial Tecnologica de CR.

1.5.2 Drenaje superficial (DS)

El propósito del DS es eliminar el sobrante del agua que tiende a acumularse en la parte superficial del terreno. Este proceso implica la creación de una red de canales con poca profundidad que recolectan el agua proveniente de las lluvias que discurre por la superficie del terreno y la dirigen hacia drenajes principales. Por lo general, se aprovechan cursos de agua naturales o depresiones del terreno para ubicar estos drenajes principales y secundarios.

El drenaje superficial es necesario en áreas donde diversos factores como el clima, las condiciones hidrológicas, la topografía, las particularidades del suelo y el uso de suelo contribuyen a que permanezca el agua estancada en la capa superficial por un prolongado tiempo, de esta manera puede afectar negativamente el rendimiento de los cultivos o incluso su supervivencia, por lo que es fundamental implementar sistemas de drenaje para gestionar adecuadamente el exceso de agua (Vanegas, 2016).

1.5.3 Drenaje en áreas húmedas

Cuando se habla de regiones húmedas como lo puede ser Costa Rica, la cantidad de precipitación supera la cantidad de agua que se desvanece por evaporación y transpiración a causa de las plantas. Cuando los suelos poseen baja capacidad de evacuación de agua y la topografía es adversa, es posible que surjan dificultades al contener el agua en la parte superficial. A pesar de esto, en áreas como estas, el exceso de lluvia suele contribuir al equilibrio de sales en el suelo. Así que, el propósito de los drenaje es garantizar que las áreas con cultivos

tengan suficiente aireación en el suelo para un crecimiento radicular adecuado (Mitsch & Gosselink, 2000).

Mitsch y Gosselink (2000), exploran también la función ecológica de las zonas húmedas y la importancia de mantener un balance entre el drenaje y la conservación de estos ecosistemas. Argumentan que un drenaje excesivo puede llevar a acabar con la biodiversidad y al deterioro de los diferentes servicios ecosistémicos.

1.5.4 Drenaje subterráneo

El drenaje subterráneo, también conocido como drenaje subsuperficial, se emplea para regular la cota del agua subterránea, conocida como tabla de agua, de manera que se mantenga un equilibrio óptimo de humedad y nutrientes en el área de raíces de cada cultivo en zonas agrícolas. (Mays & Todd, 2005), "El drenaje subterráneo es el proceso de eliminar el exceso de agua subterránea de un área determinada, generalmente a través de tuberías perforadas o drenes subterráneos, para prevenir la saturación del suelo y mejorar su capacidad de soporte."

Este sistema consiste en la eliminación de agua infiltrada proveniente de las precipitaciones, riego y otras fuentes, lo cual ayuda a mantener un nivel freático adecuado. La superficie de agua en el suelo es el nivel freático el cual separa la parte saturada de la que no es saturada, y su presión sea igual a la presión atmosférica. Por lo general, se encuentra sobre una capa impermeable que limita el movimiento vertical del agua, lo que ocasiona la saturación del suelo.

1.5.5 Drenaje en áreas áridas

Las regiones áridas, sufren de lluvias escasas, dando un resultado de un volumen de agua inferior al volumen que se pierde por evapotranspiración, el crecimiento de los cultivos se logra mediante el uso de riego, si el riego no se administra correctamente, puede provocar un aumento

en el nivel freático debido a los excesos de agua, además, el agua usada en riegos presenta sales que al pasar el tiempo se acumulan en el terreno. En estos lugares, el propósito principal del drenaje es reducir el nivel freático y eliminar la cantidad de sal en el terreno en donde crecen las raíces de cada planta cultivada.

(Schumm, 1981), menciona que las redes de drenaje en zonas áridas tienden a ser menos densas que en regiones húmedas debido a la baja precipitación y alta evaporación, (Howard et al., 1994) agregan que las formas de los valles y los patrones de drenaje pueden ser influenciados por la litología y tectónica de la región.

1.5.6 Proceso de drenaje

Este proceso puede llevarse a cabo de varias maneras, como mediante la instalación de SDDS, como tuberías enterradas o zanjas para drenaje, que permiten que el agua se mueva hacia fuera del área deseada. También se pueden utilizar métodos superficiales, como construcción de zanjas a superficie del suelo o la creación de terrazas para dirigir el flujo de agua lejos de la zona problemática.

Para el drenaje superficial se encuentra la infiltración y esorrentía según (Horton, 1933), el drenaje superficial comienza con la introducción del agua en el terreno. Si el terreno está saturado o la intensidad de la lluvia es alta, el agua no puede infiltrarse y comienza a fluir sobre la superficie como esorrentía. Así mismo(Leopold et al., 2020), mencionan que dentro de la formación de canales, la esorrentía superficial se concentra en canales y arroyos, formando una red de drenaje que transporta el agua hacia los cuerpos de agua más grandes.

1.5.6.1 Drenaje natural. El drenaje natural se refiere al proceso en el que el fluido se mueve de forma natural por medio del suelo y los paisajes sin que haya intervención humana directa. Este proceso ocurre principalmente debido a la gravedad, donde el agua fluye desde

áreas de mayor elevación hacia áreas más bajas, la topografía del terreno, la permeabilidad del suelo y la vegetación juegan un papel crucial en el drenaje natural, las pendientes del terreno dirigen el flujo del agua, mientras que la permeabilidad del suelo determina cuánta agua se absorbe y cuánta se escurre superficialmente, la vegetación, como árboles y plantas, también puede influir en el drenaje al absorber agua a través de sus raíces y liberarla a la atmósfera a través de la transpiración, los cuerpos de agua naturales, como ríos, arroyos y lagos, también desempeñan un papel importante en el drenaje natural al proporcionar rutas para que el agua fluya fuera de un área determinada.

(Asawa, 2006), menciona la importancia del drenaje natural es primordial en la ingeniería de recursos hidrológicos porque permite el flujo controlado de agua, minimizando el riesgo de desgaste del suelo, deterioros a las infraestructuras y afectaciones a la agricultura, enfatiza la necesidad de comprender y gestionar el drenaje natural para optimizar el uso del agua y reduciendo el resultado negativo al medio ambiente.

1.5.6.2 Drenaje artificial. El drenaje artificial implica la intervención humana para controlar y dirigir el flujo de agua en un entorno específico. Este proceso puede involucrar la instalación de sistemas de drenaje, como tuberías subterráneas, zanjas o canales, diseñados para recolectar y transportar el exceso de agua lejos de áreas sensibles, como tierras agrícolas o zonas urbanas propensas a inundaciones, además, el drenaje artificial puede incluir la realización de estructuras de retención, como diques y presas, para regular el flujo de agua y evitar inundaciones, este enfoque también puede emplear tecnologías de bombeo para eliminar el agua acumulada en áreas bajas y redistribuir a lugares donde sea necesaria, como sistemas de riego agrícola (S.K, 2016).

1.5.6.3 Clases de drenes. Los drenes son estructuras o sistemas diseñados para remover el exceso de agua, generalmente de suelos o áreas específicas (Li et al., 2017). Existen varios tipos de drenes, dependiendo de su función y el contexto en el que se utilizan.

Entre ellos se encuentran los anales de Desagüe, estos se utilizan para capturar y desviar el agua proveniente de precipitación o la usada en riego en la superficie, así mismo se encuentran las cunetas o zanjas abiertas a lo largo de caminos o carreteras para conducir el agua lejos de la vía. Li (2017), menciona que los colectores de agua pluvial es un tipo de drene que funcionan para capturar el agua de lluvia de áreas urbanas, como techos o calles, y la llevan a sistemas de drenaje subterráneos.

1.6 Sistema de drenaje (SDD)

En la agricultura, las zanjas abiertas se utilizan para drenar el agua excesiva de los campos cultivados, lo que ayuda a evitar el encharcamiento y que las condiciones mejoren para que se desarrollen de manera normal los cultivos.

En construcción, se pueden utilizar para drenar el agua de excavaciones, cimientos y otros sitios de construcción, facilitando el trabajo en el sitio y previniendo daños por agua. En áreas urbanas, las zanjas abiertas a menudo se utilizan como parte de SDD de aguas por precipitación (Pluviales) para transportar y recoger el agua por precipitación lejos de las calles y edificios, evitando inundaciones y erosionando (Mays, 2010).

Un sistema de drenaje es una red de estructuras y tuberías diseñadas para recolectar, transportar y eliminar el exceso de agua, ya sea de precipitación (lluvia) o de otras fuentes (como el uso doméstico o industrial), con el objetivo de evitar inundaciones y daños en áreas urbanas, rurales o industriales (Gupta, 2016). Los SDD pertenecen a dos grupos principales: el drenaje superficial y el drenaje subterráneo.

Al respecto Chaudhry (2008), menciona algunos tipos de drenaje entre ellos:

1.6.1 Drenaje pluvial:

Este sistema se encarga de recolectar y evacuar el agua de lluvia. Incluye canales, alcantarillas, zanjas y tuberías que conducen el agua hacia cuerpos de agua naturales o plantas de tratamiento.

1.6.2 Drenaje sanitario:

Se refiere al sistema que transporta las aguas residuales domésticas e industriales hacia una planta de tratamiento, evitando la contaminación del medio ambiente.

1.6.3 Drenaje agrícola:

Está diseñado para mantener el nivel de agua en suelos agrícolas, evitando la saturación del suelo y permitiendo un crecimiento óptimo de los cultivos.

1.6.4 Drenaje subterráneo:

Este sistema maneja el agua que se encuentra debajo del suelo superficial, evitando que se acumule el agua que podría afectar la estabilidad de estructuras o la salud de las plantas.

Capítulo 2

2.1 Componentes Principales de un Sistema de Drenaje

Este segundo capítulo se adentra en los componentes cruciales que forman el sistema de drenaje, abordando elementos que son tanto funcionales como fundamentales en la gestión de aguas pluviales y superficiales.

A medida que exploramos el intrincado mundo del drenaje, comenzaremos con las descoles cunetas, que actúan como el primer punto de contacto para el agua, dirigiéndola de manera eficiente hacia los sistemas de recolección. Examinaremos los diferentes tipos de estructuras de descole, cada una diseñada para enfrentar desafíos específicos del entorno y del flujo de agua. Las pocetas o cajas recolectoras serán analizadas en detalle, destacando su rol en la captación y conducción del agua para evitar inundaciones y daños a la infraestructura.

El capítulo también abordará la importancia de los empedrados y su impacto en la gestión de aguas superficiales, así como la función de los bajantes o alivios en la regulación del flujo de agua, la discusión se expandirá al caudal de diseño, un aspecto crítico para dimensionar adecuadamente los sistemas de drenaje y asegurar su eficacia. Además, se explorarán los canales y zanjas, que actúan como vías de conducción y control del flujo de agua a lo largo de las zonas rurales y urbanas.

Este recorrido por cada componente de un sistema de drenaje no solo proporcionará una comprensión técnica profunda, sino que también ilustrará cómo cada elemento contribuye a un enfoque integral para la gestión eficiente del agua. Con una visión detallada y una comprensión clara de estos componentes, se establece el fundamento necesario para abordar los desafíos del drenaje superficial y diseñar soluciones innovadoras que respondan a las demandas actuales y futuras.

2.1.1 Descole cunetas

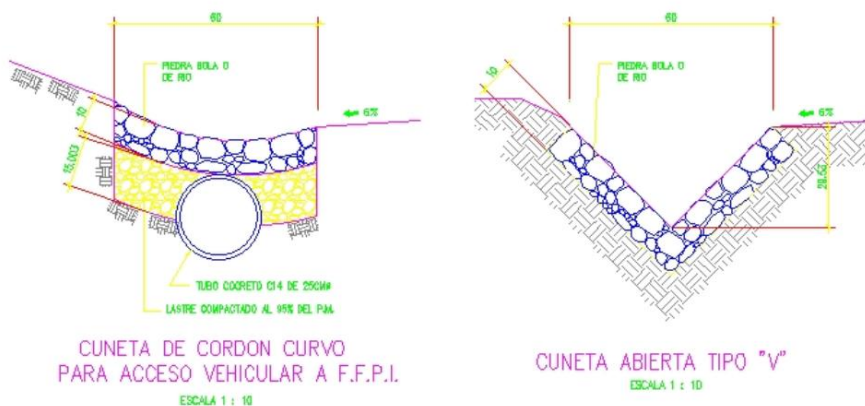
Se refiere al punto o lugar donde una cuneta descarga o evacua el agua recogida hacia un sistema de drenaje mayor, como una alcantarilla, canal, río, o cualquier otro cuerpo receptor de agua, es la parte final de la cuneta, donde el agua es liberada para continuar su flujo fuera de la zona que se está protegiendo o drenando (Nguyen et al., 2024).

Una buena planificación del descole es crucial para evitar erosión, inundaciones, desbordamientos y otros problemas que se relacionan con el mal manejo de aguas provenientes de lluvia Nguyen et al., (2024), mencionan que el diseño de las cunetas debe considerar factores como la intensidad o magnitud de la lluvia, la pendiente que se le ha dado a la carretera, la categoría de suelo y la velocidad de la corriente del agua.

La construcción de cunetas en áreas de terraplén ayuda a preservar la integridad de los taludes del terraplén y los bordes de la berma al controlar el flujo de agua de lluvia, para su construcción lo primordial es su ubicación, en este caso los espacios más acordes son a lo largo de los bordes de carreteras, caminos, y otras superficies pavimentadas o de terraplén (Villalobos et al., s. f.) . Su ubicación específica depende de la necesidad de controlar y dirigir la corriente de agua de lluvia para minimizar el desgaste de la superficie, proteger las estructuras, y mantener los taludes estables.

Findley et al., (2015), mencionan que existen diferentes tipos de cunetas, incluyendo cunetas abiertas, cunetas cerradas, cunetas con pavimento y cunetas con vegetación.

- **Cunetas abiertas:** Son canales sin pavimentar que se construyen a lo largo de las carreteras para recoger y conducir el agua de lluvia (Findley et al., 2015).

Figura 4.*Cunetas de canal abierto*

Nota. La imagen muestra un diseño técnico de cunetas, que son canales abiertos diseñados para el drenaje de agua. Estas cunetas suelen estar representadas con líneas y símbolos específicos para mostrar su forma y dimensiones. Cunetas de canal abierto en AutoCAD | Descargar CAD (49.2 KB), 2022.

- **Cunetas cerradas:** Son canales pavimentados o revestidos con materiales impermeables para evitar la infiltración del agua en el suelo (Guerra Chayña & Guerra Ramos, 2020).

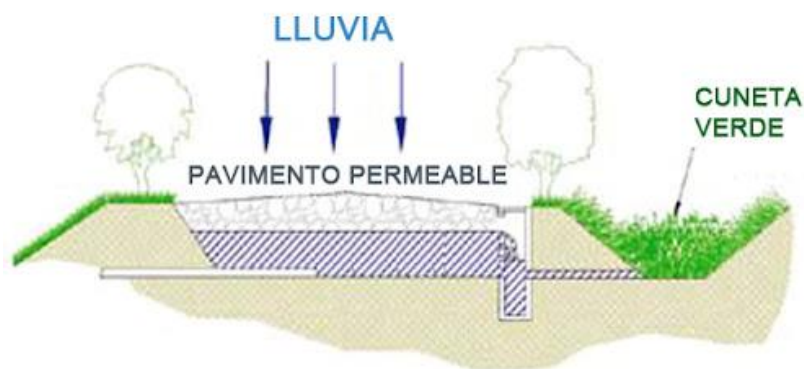
Las cunetas cerradas suelen estar hechas de concreto, ladrillo, o plástico reforzado. Deben ser diseñadas para soportar las cargas del tráfico, si es necesario, y deben tener una capacidad adecuada para manejar el caudal esperado de agua. Pueden incluir una tapa (rejilla o placa) para proteger a los transeúntes y permitir el paso de agua mientras se evita la entrada de objetos grandes. La base y las paredes deben estar diseñadas para minimizar la erosión y el estancamiento del agua.

Figura 5.*Drenaje cunetas cerradas*

Nota. La imagen ilustra un sistema de drenaje de cunetas cerradas, mostrando cómo se estructura y funciona el sistema. El drenaje está representado por un canal subterráneo o tubería con una cubierta en la parte superior, esta cubierta puede ser una tapa sólida o una rejilla. Sistema de drenaje en la casa de campo y cerca de la casa, qué es y por qué necesita un sistema de drenaje, un dispositivo para desviar aguas subterráneas y tipos de drenaje, (Decorexpro, 2019).

- **Cunetas con pavimento:** Son canales pavimentados que se construyen a lo largo de las carreteras para recoger y conducir el agua de lluvia (Montejo Fonseca, 1998).

Están diseñadas para canalizar el agua de manera eficiente y evitar problemas como la acumulación de agua o la erosión del suelo, las cunetas están diseñadas con una adecuada pendiente para asegurar que toda el agua circule directamente al SDD. El pavimento en estas cunetas puede ser de diferentes materiales, como concreto, asfalto o adoquines, dependiendo de las necesidades del entorno y del diseño.

Figura 6.*Cunetas con pavimento*

Nota. La imagen es un dibujo técnico realizado en un programa de diseño. En el centro, se presenta una serie de cunetas con pavimento permeable la función que realiza con el agua lluvia, cada una de las cuales está representada mediante una vista detallada y técnica. (Abellán, 2014)

Consideraciones en el uso de las cunetas verdes.

- **Cunetas con vegetación:** Son canales que se construyen con vegetación para estabilizar el suelo y reducir la erosión. Las cunetas con vegetación en drenaje superficial son una técnica de manejo de aguas pluviales que combina elementos de ingeniería y paisajismo para controlar y tratar el agua de escorrentía. Estas cunetas están diseñadas para guiar el flujo de agua y concede que se infiltre en el terreno, reduciendo la cantidad de escorrentía y la erosión del suelo (Montejo Fonseca, 1998). Generalmente, se construyen con una pendiente suave y un revestimiento de vegetación que ayuda a estabilizar el terreno y promover la penetración del agua. El diseño debe considerar el tipo de vegetación adaptado al clima y a las características de cada suelo.

Figura 7.

Cunetas vegetadas



Nota. La imagen muestra un conjunto de casas situadas en un entorno natural. Delante hay una cuneta de sistema de drenaje, rodeada de vegetación. Las casas parecen estar en un área rural o semi-rural, y la vegetación alrededor de la cuneta añade un toque de naturaleza al paisaje. («Cunetas vegetadas, plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2», 2020).

- **Cunetas de hormigón:** Son canales construidos con hormigón para captar y conducir el agua proveniente de lluvia, las cunetas en hormigón son estructuras utilizadas en SDDS para capturar y conducir las aguas provenientes de la precipitación de una manera controlada, evitando que el agua se acumule o erosione las superficies de caminos, carreteras, y áreas urbanas. Estas cunetas, también conocidas como zanjas revestidas, se construyen comúnmente a los lados de las vías o en áreas donde es necesario dirigir el flujo de agua hacia un sistema de drenaje más amplio. (Cuadros López & Vargas Mateus, 2022).

La pendiente de la cuneta debe ser suficiente para asegurar el flujo continuo del agua, evitando estancamientos.

Figura 8.

Cunetas de hormigón



Nota. La imagen muestra una carretera pavimentada, a un lado de la carretera, se observa una cuneta de hormigón claramente definida, la cuneta tiene una forma trapezoidal, con las paredes laterales inclinadas hacia adentro y una base plana, lo que facilita el flujo eficiente del agua. Hay una ligera pendiente en la carretera, diseñada para dirigir el agua hacia la cuneta en lugar de permitir que se acumule en la superficie de la carretera. Tipos de drenajes y su importancia - IngeCivil, (2024).

- **Cunetas de mampostería:** Son canales contruidos con mampostería para recoger y conducir el agua de lluvia, las cunetas de mampostería son estructuras utilizadas en SDDS para encauzar y evacuar el agua proveniente de la lluvia o escorrentía. Estas cunetas son fabricadas generalmente con materiales como piedra, ladrillo o concreto, y se caracterizan por ser robustas y duraderas, lo que las hace adecuadas para soportar

grandes volúmenes de agua y las cargas que puedan actuar sobre ellas (Cuadros López & Vargas Mateus, 2022).

Su construcción se basa en el uso de piedra natural o ladrillos unidos con mortero, aunque también pueden utilizarse bloques de concreto prefabricados, gracias a los materiales utilizados, las cunetas de mampostería son muy duraderas y pueden soportar condiciones climáticas extremas.

Figura 9.

Muros de mampostería



Nota. En la imagen se observa una cuneta de mampostería construida con muros de piedra cuidadosamente colocados. Los muros de mampostería, compuestos por bloques de piedra de diferentes tamaños, están dispuestos de manera ordenada, proporcionando estabilidad y resistencia. Muros de mampostería, cunetas y albardillas en carreteras de gipuzkoa, (2011).

- **Cunetas de tierra:** Son canales sin pavimentar que se construyen a lo largo de las carreteras para capturar y conducir el agua proveniente de lluvia, las cunetas de tierra en drenaje superficial son canales o zanjas excavadas en el suelo, diseñadas para guiar el agua de escorrentía lejos de áreas específicas y prevenir la erosión o inundaciones.

Estas cunetas se utilizan comúnmente en carreteras, campos agrícolas, y áreas urbanas donde se requiere manejar el curso del agua de lluvia de forma eficiente. (Arciniegas, 2004).

Al estar hechas de tierra, pueden cubrirse con césped u otras vegetaciones para reducir la erosión y estabilizar el suelo. En algunos casos, se pueden reforzar con rocas o geotextiles.

Figura 10.

Cunetas de tierra



Nota. La imagen muestra una cuneta al lado de una carretera, parcialmente cubierta por vegetación y con un pequeño flujo de agua, esta cuneta es de tipo abierta, con paredes de tierra y sin revestimiento artificial. Elogio de la cuneta – Historias de Carreteras, (2021).

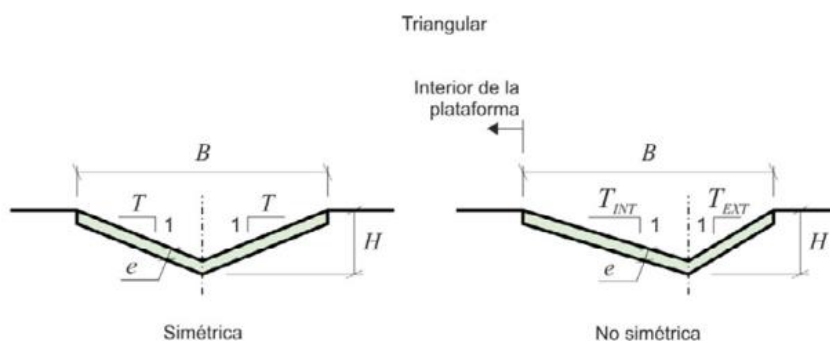
Los tipos de cunetas varían según su diseño y propósito, ajustándose a los requerimientos particulares de cada proyecto o ubicación, de esta manera pueden diferir en su forma:

- **Triangular:** son un tipo de cuneta que se caracteriza por tener un corte cruzado con forma triangular. Las cunetas triangulares tienen un corte cruzado con forma

triangular con dos lados inclinados que se unen en la parte inferior, con un ángulo de inclinación que varía entre 30° y 60° según el diseño, su profundidad y ancho también varían según la necesidad, oscilando generalmente entre 0,5 y 2 metros de profundidad y entre 1 y 3 metros de ancho, lo que permite adaptarse a diferentes contextos y requerimientos (Kendrich, 2004).

Figura 11.

Tipo de cuneta triangular



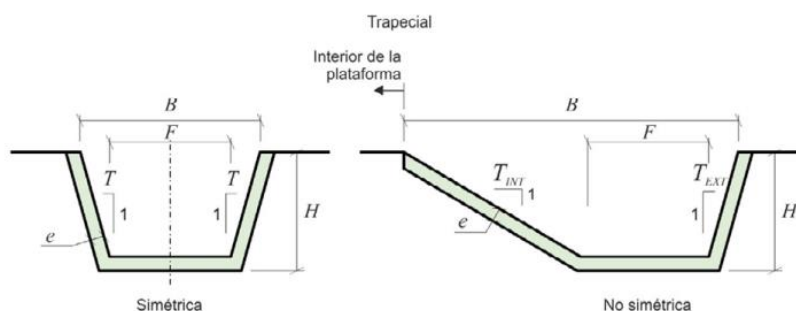
Nota. La imagen muestra dos tipos de secciones transversales de cunetas triangulares. A la izquierda, se observa una cuneta triangular simétrica, donde ambos lados tienen el mismo ángulo y dimensiones, creando una figura equilibrada. De, N. 60 J. 10 de M. (2016). *BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO*. Carreteros.org.

- **Trapezoidal:** Las cunetas en forma trapezoidal tienen un corte cruzado con forma de trapecioide con dos lados paralelos y dos lados inclinados que se unen en la parte superior e inferior, con un ángulo de inclinación que varía entre 30° y 60° , profundidad entre 0,5 y 3 metros, y ancho entre 1 y 5 metros. Su propósito es recolectar y conducir agua proveniente de lluvia o escorrentía superficial, evitando la erosión y el daño a la infraestructura, proporcionando estabilidad y resistencia a la

erosión, y ofreciendo una mayor capacidad de drenaje en comparación con las cunetas triangulares, lo que las hace ideales para áreas con alta intensidad de lluvia y flexibles para adaptarse a diferentes necesidades y requerimientos (Drenaje De La Plataforma Y Márgenes, 2016).

Figura 12.

Cuneta trapezoidal



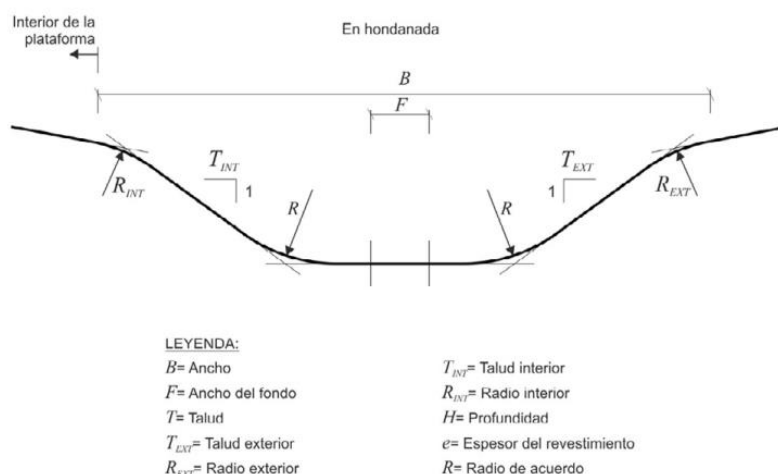
Nota. La imagen muestra dos tipos de secciones transversales de cunetas, pero en este caso de forma trapezoidal. A la izquierda, se observa una cuneta trapezoidal simétrica, donde ambos lados tienen el mismo ángulo y dimensiones, con una base y una altura iguales en ambos lados, formando un trapecio equilibrado. De, N. 60 J. 10 de M. (2016). Boletín oficial del estado. Carreteros.org.

- **Hondanada:** Las cunetas en forma hondanada tienen una sección transversal curva o circular con una forma suave y continua, profundidad entre 0,5 y 2 metros, ancho entre 1 y 3 metros y radio de curvatura entre 1 y 5 metros. Su propósito es recolectar y conducir agua proveniente de lluvia o escorrentía superficial, evitando la erosión y el daño a la infraestructura, disminuir la velocidad del flujo para evitar el desgaste por erosión, ofrecer una solución estéticamente atractiva para áreas urbanas o paisajísticas

y ser flexibles para adaptarse a diferentes necesidades y requerimientos (Javier & Ernesto, 2012).

Figura 13.

Cuneta hondonada



Nota. Dibujo técnico de una cuneta hondonada muestra un canal o zanja diseñado para drenar agua de manera eficiente, usualmente, incluye detalles como el perfil transversal, el diseño de las paredes y el fondo inclinado. De, N. 60 J. 10 de M. (2016). Boletín oficial del estado.

Carreteros.org.

2.1.2 Curvas

Las curvas son estructuras de drenaje superficial que combinan una cuneta con una barrera para regular la rapidez del agua y prevenir el desgaste por erosión. "Estructura que combina una cuneta con una barrera para controlar la velocidad del agua" (Norman et al., 2001).

Tipos de curvas:

- **Curvas de muro:** combinan una cuneta con un muro para controlar la velocidad del agua.
- **Curvas de talud:** combinan una cuneta con un talud para controlar la velocidad del agua.

- **Curvas de combinación:** combinan una cuneta con una barrera y un sistema de drenaje subterráneo (Norman et al., 2001).

2.1.3 Pocetas o cajas recolectoras

Las pocetas recolectoras son estructuras de drenaje superficial que recogen y conducen el agua de escorrentía superficial hacia un sistema de drenaje o un cuerpo receptor. "Las pocetas recolectoras son depresiones en la superficie del terreno que recogen y conducen el agua de escorrentía superficial hacia un sistema de drenaje o un cuerpo receptor" (Pimentel da Silva & Souza, 2020).

El diseño considera la capacidad, pendiente, material y tamaño adecuados para el caudal de agua esperado, ofreciendo ventajas como la reducción de la erosión y el daño a la infraestructura, y la evacuación segura y eficiente del agua, aunque requieren mantenimiento regular y pueden ser costosas de construir y reparar, y se aplican en drenaje de carreteras, urbanizaciones, edificios, áreas industriales, comerciales, agrícolas y forestales (Guo, 2006).

Figura 14.*Cajas recolectoras*

Nota. La imagen muestra una poceta recolectora, que es una estructura diseñada para el drenaje superficial y la recolección de aguas pluviales u otros líquidos. En la imagen, se observa que la poceta tiene una forma rectangular o cuadrada, con una rejilla en la parte superior para permitir el paso de agua mientras retiene desechos grandes. Maderplast, (2023).

2.1.4 Empedrados

Los empedrados en drenaje superficial son una técnica de estabilización de suelos y control de erosión que se basa en cubrir la parte superficial del terreno usando una capa de piedras o guijarros, reduciendo la erosión y el arrastre de suelos, mejorando la penetración de agua en la zona y disminuyendo la rapidez del agua por escorrentía superficial, según Puebla et al., (2016) y FHWA (2012), quienes destacan sus ventajas como la reducción de la erosión y el daño a infraestructuras, mejorando la calidad del fluido como lo es el agua y disminución de la velocidad del agua, aunque también presentan desventajas como el posible daño a la vegetación

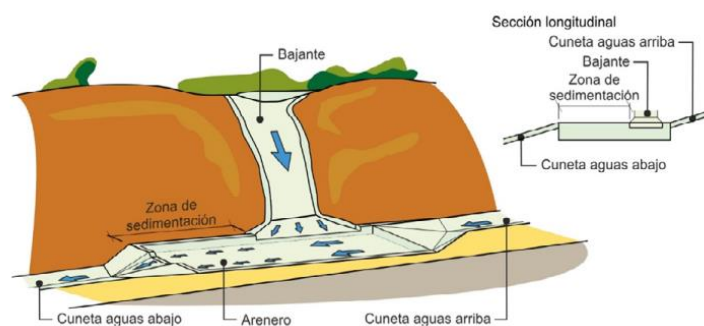
y la fauna local, y el requerimiento de mantenimiento regular, como lo menciona Hydraulics (2007).

2.1.5 Bajantes o alivios

Los bajantes o alivios en drenaje superficial son construcciones que ayudan a que el flujo del agua de escorrentía superficial desde una superficie más alta a una más baja, minimizando la rapidez del fluido y impedir la erosión, según Herr & Branch (1965) quien destaca la importancia de considerar factores como la velocidad y cantidad del agua, su pendiente y topografía del terreno, y la resistencia y estabilidad de los materiales utilizados en su diseño y construcción, para asegurar su funcionamiento adecuado y evitar problemas como la erosión, la inundación o la degradación del entorno, en sus pautas para el plan de diseño de SDDS (Hydraulics, 2007).

Figura 15.

Bajantes o alivios



Nota. La imagen muestra un conjunto de bajantes o alivios diseñados para el drenaje superficial de agua. Estos elementos se sitúan estratégicamente a lo largo de una superficie pavimentada, como una carretera o una acera, para gestionar y dirigir la escorrentía superficial de agua de lluvia. De, N. 60 J. 10 de M. (2016). Boletín oficial del estado. Carreteros.org.

2.1.6 Caudal de diseño

El caudal de diseño en DS hace referencia al flujo máximo de agua esperado que ocurra en un sistema de drenaje superficial durante un evento de lluvia específico. Se utiliza para diseñar y dimensionar los elementos del SDD, como cunetas, canales, alcantarillas y tuberías, para garantizar que puedan gestionar el caudal de agua sin exceder su capacidad. (Sivakumar, 2002).

El caudal de diseño se describe generalmente con unidades de flujo volumétrico por unidad de tiempo, como metros cúbicos por segundo (m^3/s) o litros por segundo (L/s).

Según el autor Sivakumar (2002), el caudal de diseño es un factor crítico en el diseño de SDDS, ya que permite asegurar que el sistema pueda manejar el flujo de agua de manera segura y eficiente.

Es importante mencionar que el caudal de diseño puede variar ya que depende de la ubicación geográfica, el tipo de terreno, la vegetación y otros factores, por lo que es necesario hacer un análisis detallado para conocer el caudal de diseño adecuado para cada proyecto específico.

2.1.7 Canales y zanjas

En el diseño de drenaje superficial, los canales y zanjas son cruciales para el control de aguas provenientes de la lluvia y la prevención de inundaciones. Son estructuras abiertas que permiten el flujo de agua en la superficie. Suelen utilizarse en áreas rurales y urbanas para transportar agua de lluvia a sistemas de drenaje más grandes (García López & Coral Flórez, 2015).

2.1.7.1 Canales. Son estructuras artificiales que conducen el agua de escorrentía superficial desde una zona de captación hacia un punto de descarga, pueden ser abiertos o

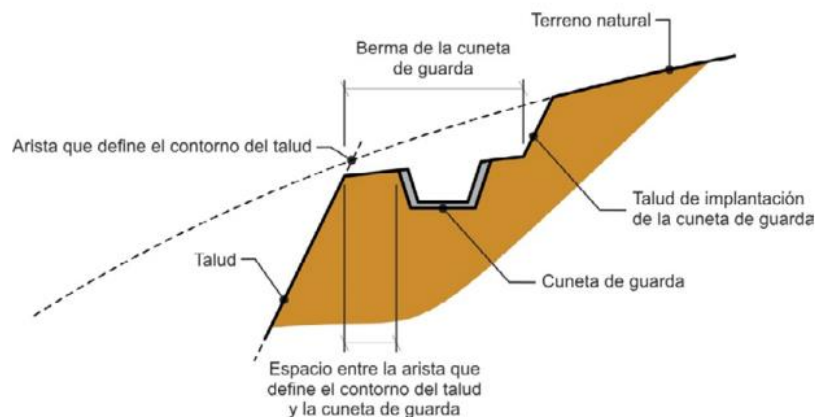
cerrados, y pueden ser diseñados para transportar agua a través de una variedad de terrenos y condiciones ((CHOW & ADDY, 1964).

2.1.7.2 Zanjas. Son canales estrechos y poco profundos que se utilizan para recoger y conducir el agua de escorrentía superficial, estos suelen ser utilizadas en áreas con pendientes suaves y terrenos permeables. Pueden ser diseñadas para infiltrar el agua en el suelo o para transportarla hacia un punto de descarga (Chow, 1964).

2.1.7.3 Zanjas de coronación. Son excavaciones longitudinales ubicadas en la parte superior de taludes o laderas con el propósito de controlar el agua de escorrentía y evitar que el agua se infiltre en la ladera. Estas zanjas actúan como elementos de drenaje, recogiendo y conduciendo agua de lluvia o la usada en riego hacia canales o sistemas de drenaje más amplios, minimizando así el peligro de desgaste por erosión, deslizamientos de tierra, y otros perjuicios estructurales en la pendiente (Das & Sobhan, 2014).

Según (Das & Sivakugan, 2017), Las funciones principales de las zanjas de coronación son:

- **Control de erosión:** Al capturar y canalizar el agua superficial, estas zanjas previenen la erosión del suelo en pendientes, lo que podría comprometer la estabilidad de la ladera.
- **Prevención de deslizamientos:** Minimizan la penetración de agua en el suelo, disminuyendo así las probabilidades de deslizamientos de tierra que podrían dañar infraestructuras cercanas.
- **Conducción de aguas pluviales:** Facilitan la recolección y canalización de aguas pluviales hacia puntos de salida o sistemas de drenaje adecuados.

Figura 16.*Zanjas de coronación*

Nota. La imagen presenta una serie de zanjas de coronación situadas en la parte superior de laderas. Estas zanjas son excavaciones longitudinales diseñadas para gestionar la escorrentía de la superficie y prevenir que el agua se infiltre en la ladera, lo que podría causar erosión o deslizamientos de tierra, en el primer plano, se observan las zanjas, que tienen una forma alargada y una profundidad moderada. De, N. 60 J. 10 de M. (2016). Boletín oficial del estado. Carreteros.org.

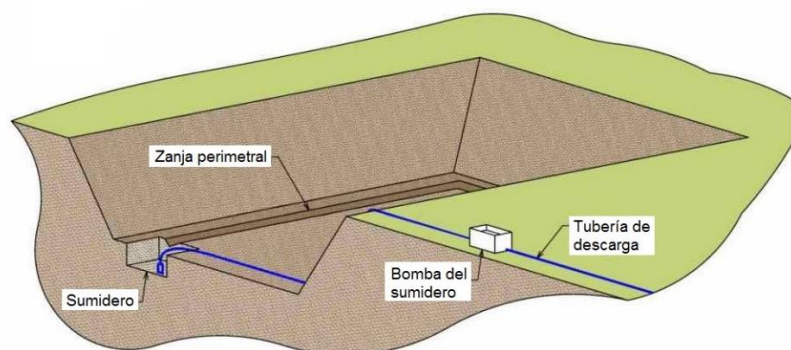
2.1.7.4 Zanjas en el pie o base. Las zanjas en el pie o base de una estructura son excavaciones que se realizan para varios propósitos, principalmente relacionados con los cimientos o la infraestructura subterránea, las zanjas son excavaciones lineales en el suelo, generalmente estrechas y profundas, estas juegan un papel crucial en el manejo de aguas provenientes de la precipitación y la importancia de la prevención de inundaciones (Das & Sivakugan, 2018).

Las zanjas para el drenaje superficial se diseñan para recoger el agua por precipitación que fluye por la zona superficial y está dirigida hacia un sistema de drenaje más grande o a un área de retención. Según (Das & Sivakugan, 2018), este tipo de zanjas ayudan a prevenir la

acumulación de agua en áreas propensas a inundaciones al canalizar el agua lejos de las estructuras y caminos, así mismo mantienen secos los cimientos y bases de las estructuras ,evitando daños por humedad y erosión.

Figura 17.

Zanjas de base



Nota. La imagen muestra una zanja excavada en la base de una estructura, probablemente un edificio en construcción. La zanja tiene un contorno rectangular y profundo, extendiéndose a lo largo de toda la base de la estructura, los bordes de la zanja están marcados por paredes de tierra y escombros, mostrando signos de reciente excavación. Drenaje de excavaciones mediante zanjas perimetrales – El blog de Víctor Yepes, (2020).

2.1.8 Base terraplenes

Los terraplenes de base generalmente se refieren a las capas de tierra o materiales de base que sostienen las capas superiores de una carretera o estructura. Estas capas son fundamentales para asegurar la distribución y la estabilidad adecuada de la carga. Por lo general, un terraplén (o terraplén) se construye con tierra compactada o materiales agregados para crear una base estable.

Las bases tienen un papel importante para garantizar un drenaje adecuado y prevenir problemas de acumulación de agua en superficies pavimentadas, como carreteras o caminos.

Murthy (2002), menciona que los terraplenes facilitan el desvío del agua lluvia o de escorrentía lejos de la superficie pavimentada o áreas críticas, dirigiéndola hacia sistemas de drenaje o áreas de infiltración, por consiguiente, ayuda a minimizar la concentración de agua en la parte superior, lo que puede causar daños a las infraestructuras.

Para construir un terraplén efectivo para drenaje superficial, es crucial considerar varios aspectos: seleccionar materiales con buena capacidad de drenaje, como gravas o arenas; asegurar una compactación adecuada para evitar futuros asentamientos; diseñar pendientes que faciliten el flujo del agua en la dirección deseada; e integrar el terraplén con sistemas de drenaje, como canales y alcantarillas, para manejar el agua de manera efectiva (Rogers & Enright, 2023).

2.2 Disipadores de energía en cunetas

Los disipadores de energía en cunetas son cruciales para manejar el flujo de agua de manera eficiente y proteger las estructuras y el terreno circundante de la erosión. Según el Manual de diseño de drenaje superficial del FHWA (2012), los disipadores de energía pueden ser utilizados en cunetas y drenaje superficial que reduce una porción de la energía cinética en un caudal, con la finalidad de prevenir la erosión en la zona aguas abajo, el fin de los disipadores es:

- Disminuir la rapidez del agua y evitar la erosión
- Proteger la infraestructura y el entorno de la erosión y el daño
- Optimizar la seguridad, la firmeza de la vía y el entorno

En obras viales, estos dispositivos pueden clasificarse en tres tipos: lisos rápidos, rápidos escalonados, y una combinación de ambos (Sánchez, 2024).

2.2.1 Revestimiento en piedra

Materiales como la grava o piedras sueltas se colocan en el fondo de la cuneta para absorber y dispersar la energía del agua. Son eficaces para flujos de bajo a moderado caudal.

2.2.2 Rápidos escalonados

Las cascadas de concreto o piedra son construidas en tramos de escalonados, las cascadas ayudan a reducir la velocidad del agua a medida que fluye por los escalones (Bruce et al., 2013).

2.2.3 Deflectores

Los reflectores de concreto son estructuras que desvían el flujo de agua y reducen la velocidad del flujo directo, en algunos casos pueden ser de madera o metal.

2.2.4 Estructuras de retención

Las estructuras como los pozos de infiltración, son construcciones concebidas para facilitar la penetración del agua en el terreno, reduciendo así la velocidad del flujo y la escorrentía superficial (Sturm, 2021).

2.2.5 Lisos rápidos

Los disipadores de energía lisos rápidos en drenaje superficial son elementos clave en el manejo de aguas pluviales y otros flujos superficiales, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Algunas de sus características de estos disipadores son:

2.2.5.1 Superficie Liza. La superficie lisa permite que el agua fluya de manera más uniforme, minimizando la turbulencia y la posibilidad de erosión, su falta de rugosidad en la superficie reduce la fricción, permitiendo que el agua se mueva más rápidamente y de manera controlada (Chanson, 2015).

2.2.5.2 Capacidad de Manejo de Altas Velocidades. Están diseñados para soportar y manejar altas velocidades de flujo sin provocar erosión ni desestabilizar la estructura del canal o drenaje. A pesar de permitir flujos rápidos, estos disipadores controlan la energía del agua para evitar daños en las zonas aguas abajo.

2.2.5.3 Materiales Duraderos. Generalmente fabricados de concreto, piedra o materiales compuestos que son resistentes a la abrasión y al desgaste provocado por el agua en movimiento. Los materiales seleccionados deben resistir la exposición extendida al agua y a las condiciones atmosféricas, de igual manera a los productos químicos presentes en el agua superficial (Chanson, 2015).

2.2.5.4 Eficiencia en la Disipación de Energía. Conforme a que el agua transita por el disipador, se reduce la energía cinética, disminuyendo la velocidad del flujo antes de que el agua se descargue en áreas más sensibles de esta manera al reducir la velocidad y la energía del agua, se protege el suelo y las estructuras aguas abajo de la erosión y otros daños.

2.2.5.5 Aplicaciones en Diferentes Tipos de Terreno. Pueden ser utilizados en una variedad de entornos, desde canales de drenaje en áreas urbanas hasta cunetas en carreteras, adaptándose a las condiciones locales del terreno y del clima, así mismo pueden integrarse en sistemas de drenaje existentes o ser diseñados para nuevos proyectos, ajustándose a los requisitos específicos de cada sitio.

2.2.5.6 Fácil Integración en Infraestructuras Existentes. Pueden ser incorporados fácilmente en sistemas de drenaje ya existentes, complementando otras estructuras de manejo de agua como desarenadores, trampas de grasa o filtros (Chanson, 2015).

- **Disipadores de energía, rápidas lisas:**

Tabla 1.*Tipos de disipadores de energía para drenaje superficial*

Tipo de Disipador	Material	Velocidad de Agua	Descripción
Caja de Captura	Concreto / Acero	Moderada a Alta	Captura y redirige el flujo de agua para reducir la velocidad antes del desagüe.
Peldaños	Concreto / Piedra	Alta	Estructura en escalones que disminuye la velocidad del agua por fricción y turbulencia.
Deflector	Concreto / Acero	Alta	Modifica la dirección del flujo para reducir la velocidad y evitar la erosión.
Rebose en Espiral	Concreto / Acero	Moderada	Agua se desplaza en espiral para disipar la energía a lo largo del recorrido.
Disipador de Energía en H	Concreto / Piedra	Moderada a Alta	Utiliza una estructura en forma de H para dividir el flujo y reducir la velocidad.
Cascada	Concreto / Piedra	Moderada	El agua cae en varias etapas, disminuyendo la

			energía a través de múltiples caídas.
Cubo de Disipación	Concreto / Piedra	Alta	Agua cae en un cubo que disipa la energía a través de la turbulencia.

Nota. Velocidad de Agua: Se clasifica en baja, moderada o alta, dependiendo de cómo el diseño reduce la velocidad. Material: El material usado influye en la durabilidad y el coste del disipador. Sánchez delgado, (2024). Modulo Alba—Google Drive.

2.3 Alcantarillas

Las alcantarillas son un conjunto de estructuras subterráneas diseñadas para la acumulación y drenaje de aguas negras, de lluvia o de otros tipos, y desempeñan un papel crucial en la gestión del drenaje urbano.

2.3.1 Alcantarillas de Drenaje Pluvial

Estas alcantarillas están diseñadas para manejar el agua pluvial y impedir inundaciones en áreas urbanas. Su función principal es recolectar y dirigir el agua pluvial hacia sistemas de drenaje subterráneos, las alcantarillas deben estar diseñadas para manejar el volumen del fluido esperado de acuerdo con el área y las precipitaciones típicas, su ubicación debe ser estratégica, usualmente en puntos bajos donde el agua tiende a acumularse, y a lo largo de las calles o áreas pavimentadas (Alonso & de, 2005).

2.3.1.1 Rejillas. Permiten la entrada de agua y a menudo tienen una estructura de rejilla para evitar que objetos grandes entren en el sistema, su diseño incluye una estructura de rejilla con aberturas que permiten el paso del agua mientras filtran escombros.

Su propósito es recoger y canalizar el agua, las rejillas están diseñadas para capturar el agua pluvial, la corriente superficial y canalizarla hacia SDD subterráneo, de la misma forma

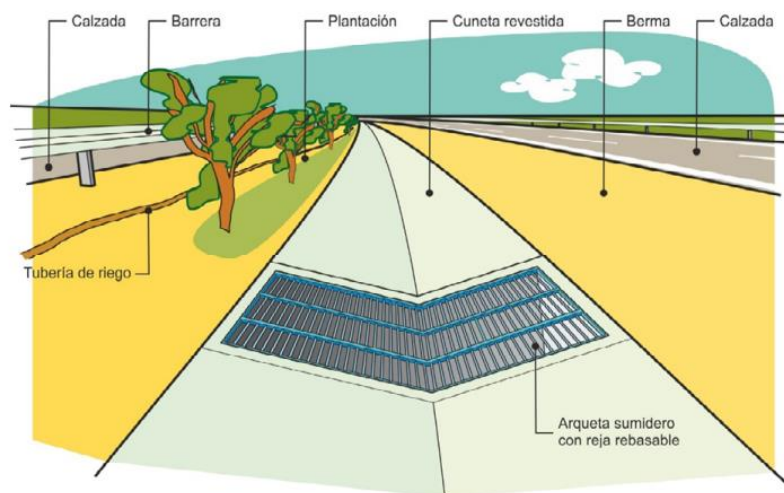
ayudan a prevenir inundaciones reduciendo el riesgo de inundaciones al dirigir el agua hacia áreas donde puede ser manejada de manera más efectiva (Aranda et al., 2021).

Existen algunos tipos de rejillas:

- **Rejillas de ranura:** Son largas y delgadas, ideales para áreas con un flujo constante de agua.
- **Rejillas con rejillas de barras:** Suelen tener barras metálicas o de plástico que permiten el paso del agua mientras bloquean objetos grandes.
- **Rejillas de placas:** Generalmente se utilizan en áreas donde se necesita una mayor capacidad de carga, como en caminos y estacionamientos.

Los materiales para su diseño comúnmente están relacionados con el metal o el plástico:

- **Metal:** Acero inoxidable, hierro fundido o aluminio, que son duraderos y resistentes al tráfico pesado.
- **Plástico:** Más ligero y a menudo utilizado en áreas con menor tráfico (Aranda et al., 2021).

Figura 18.*Rejillas en sumidero*

Nota. La imagen muestra una cuneta en un entorno urbano. La cuneta es un canal estrecho y alargado que corre a lo largo del borde de una carretera o acera, en la parte superior de la cuneta, se puede ver una rejilla de sumidero, que está diseñada para permitir el paso de agua mientras previene que objetos grandes entren en el sistema de drenaje. De, N. 60 J. 10 de M. (2016). Boletín oficial del estado. Carreteros.org.

2.3.1.2 Tuberías. Conductos subterráneos que transportan el agua y los desechos. Las tuberías en drenaje superficial se utilizan para capturar y dirigir las aguas pluviales o escorrentía, fluyendo en la superficie del suelo (Nayyar, 2000).

Los tipos de tuberías varían según su material:

- **PVC:** Resistente a la corrosión y fácil de instalar.
- **Polietileno:** Flexible y resistente a daños.
- **Fibra de vidrio:** Ligera y duradera.
- **Metal:** Menos común, pero puede ser necesario en ciertas aplicaciones.

Diseño e Instalación:

- **Pendientes:** Las tuberías deben instalarse con una pendiente apropiada para asegurar que el agua se desplace correctamente.
- **Capacidad:** Deben diseñarse para manejar la magnitud de agua esperado en función de la lluvia o precipitación y su área cubierta.
- **Filtro:** A menudo se instalan filtros o rejillas en las entradas para evitar que los sedimentos obstruyan las tuberías (Nayyar, 2000).

Figura 19.

Tuberías



Nota. La imagen muestra una red de tuberías y conductos subterráneos destinados al transporte de agua, las tuberías principales, robustas y de gran diámetro, se encuentran enterradas en el suelo, con una serie de ramificaciones más pequeñas conectando diversos puntos. Alcantarillas Metálicas, (2023).

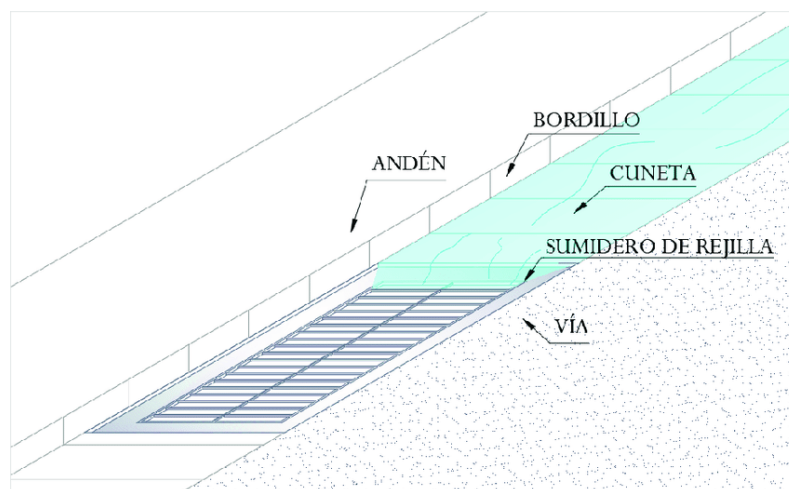
2.2.1.3 Sumideros. Dispositivos que recogen el agua y la dirigen hacia tuberías subterráneas, sistema que se usan para recoger y dirigir el agua pluvial o las superficiales hacia

un sistema de drenaje más grande o una salida. Los sumideros pueden tener diferentes formas y tamaños, dependiendo de su uso y ubicación. Aquí algunos tipos y aspectos comunes de los sumideros en drenaje superficial:

- **Sumideros de calle:** Son rejillas ubicadas en las calles y aceras que capturan el agua de lluvia y la dirigen hacia tuberías subterráneas. Están diseñados para prevenir inundaciones y reducir el riesgo de daños a las infraestructuras.
- **Sumideros de jardín:** Usados en áreas residenciales para manejar el agua de lluvia en jardines y patios. Pueden ser más estéticos y a menudo se combinan con los sistemas de recolección de aguas pluviales.
- **Sumideros de cuneta:** Estas se hallan en las cunetas de carreteras y calles y ayudan a drenar el agua que corre a lo largo de estas vías.
- **Sumideros de drenaje de terrazas:** Diseñados para recolectar agua en terrazas o azoteas y dirigirla hacia un sistema de drenaje.

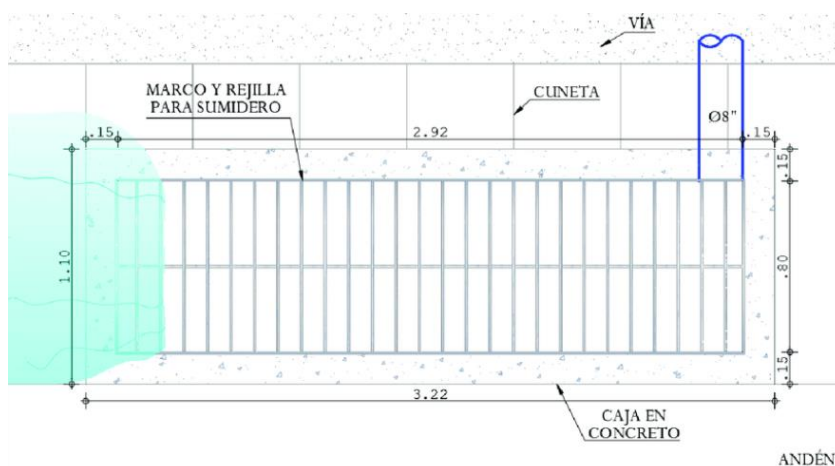
Los sumideros tienen ciertas características las cuales definen su capacidad de drenaje, materiales, y diseño:

- **Capacidad de drenaje:** Tienen que tener la capacidad de gestionar el volumen de agua que reciben, especialmente durante tormentas intensas.
- **Ubicación:** Deben estar situados en lugares estratégicos para maximizar la eficiencia del drenaje.

Figura 20.*Sumidero*

Nota. La imagen muestra un sumidero ubicado en la superficie de una calle o acera. El sumidero está cubierto por una rejilla metálica que se asienta de manera segura sobre el hueco del sumidero, la rejilla presenta un patrón de barras o cuadrados, que facilitan el ingreso de agua mientras evita entrada de objetos grandes y caigan en el sistema de drenaje. Bonilla, C., Ramón Valencia, J., & Ramón Valencia, J. (2022). Sistemas de drenaje urbano - sumideros de captación de aguas lluvias.

2.3.1.4 Sumidero de rejilla o reja. Es el tipo más común. Se coloca en la parte superficial del pavimento y facilita que fluya el agua hacia todo el sistema de drenaje a través de una rejilla metálica o plástica. Son frecuentes en calles, estacionamientos y áreas peatonales (Bonilla et al., 2022).

Figura 21.*Sumidero de rejilla*

Nota. El dibujo presenta una vista en planta, una vista lateral y una sección transversal del sumidero de rejilla. Bonilla, C., Ramón Valencia, J., & Ramón Valencia, J. (2022). Sistemas de drenaje urbano - sumideros de captación de aguas lluvias.

2.3.1.5 Canales. Carriles o canales abiertos que guían el flujo de agua hacia las alcantarillas. Las alcantarillas suelen estar hechas de materiales duraderos como concreto, acero inoxidable o plásticos reforzados, para resistir las cargas de tráfico y el desgaste por el agua (Gencel, 2013).

Algunas características claves dentro de su funcionalidad está la de conducir el agua de escorrentía superficial o lluvia a un sistema de drenaje adecuado, como alcantarillas o drenajes subterráneos. Sus diseños en construcción están realizados en formas rectangulares, trapezoidales o semicirculares, el diseño depende del volumen de agua que deben manejar y del tipo de superficie sobre la que se instalan.

Se instalan en áreas donde el agua puede acumularse, como al borde de una calle, alrededor de un edificio, o en áreas de grandes superficies impermeables. Los canales pueden estar hechos de concreto, acero galvanizado, aluminio, PVC, entre otros. La elección del material

depende de diferentes variables como el costo, la durabilidad y la resistencia a las condiciones climáticas (Gencel, 2013).

Figura 22.

Canalones



Nota. En la imagen, se observa una serie de canalones de drenaje superficial instalados a lo largo de una acera o camino. (Canales de drenaje, 2022).

2.3.1.6 Colectores. Los colectores de alcantarillas son sistemas de tuberías subterráneas diseñados para transportar aguas residuales, pluviales o una combinación de ambas (en sistemas combinados) desde las calles y edificios hasta una planta de tratamiento o un lugar de descarga, como ríos o mares. Estos sistemas son fundamentales en la infraestructura urbana para evitar inundaciones, mantener la higiene pública y proteger el medio ambiente (Davis, 2010).

Tipos de Colectores de Alcantarillas:

- **Colectores de Aguas Residuales:** Transportan aguas residuales domésticas e industriales.
- **Colectores Pluviales:** Recogen y transportan el agua de escorrentía que cae sobre calles y otras superficies.

- **Coletores Combinados:** Llevan tanto aguas residuales como pluviales en un solo sistema (Davis, 2010).

2.3.2 Materiales utilizados

Los componentes principales de un sistema de drenaje incluyen tuberías, pozos de visita, rejillas, y sumideros, cada uno de los cuales puede estar hecho de diferentes materiales teniendo en cuenta el tipo de drenaje y las características del entorno.

2.3.2.1 Tuberías. En sistemas de drenaje, se utilizan diversos materiales debido a sus características únicas. El PVC (Cloruro de Polivinilo) es comúnmente utilizado debido a su resistencia a la corrosión, ligereza y facilidad de instalación. El HDPE (Polietileno de Alta Densidad) es resistente a químicos, duradero y flexible, lo que lo hace adecuado para terrenos irregulares. El concreto se usa en tuberías de gran diámetro, especialmente en sistemas de drenaje pluvial, debido a su alta resistencia estructural, el hierro fundido se utiliza en aplicaciones que requieren resistencia a altas presiones y durabilidad, finalmente, la arcilla vitrificada es tradicionalmente utilizada en sistemas de alcantarillado debido a su resistencia a la corrosión y químicos, aunque es frágil y pesada. Cada material tiene sus desventajas y ventajas, y dependerá de las necesidades específicas del proyecto la elección adecuada (Marriott, 2009).

2.3.2.2 Pozos. En la construcción de pozos para sistemas de drenaje, se utilizan diversos materiales debido a sus características únicas. El concreto reforzado es común en pozos de gran diámetro, ofreciendo alta resistencia y durabilidad. En sistemas antiguos, se utilizaban pozos de ladrillo, aunque ahora es menos común.

Por otro lado, los polímeros reforzados con fibra (FRP) son una opción moderna que ofrece ventajas como ser livianos, fáciles para su instalación y que resisten de una manera óptima

a la corrosión, lo que hace que sean ideales para nuevas construcciones y proyectos de renovación (Marriott, 2009).

2.3.2.3 Rejillas y Sumideros. El hierro fundido es muy utilizado debido a su resistencia y durabilidad, mientras que el acero inoxidable ofrece alta resistencia a la corrosión y es adecuado para áreas donde se requiere un acabado estético o resistencia química. Por otro lado, los plásticos reforzados, como el PVC, son utilizados en aplicaciones donde se requiere ligereza y resistencia a la corrosión, lo que los hace ideales para proyectos que buscan una solución práctica y duradera (Scholz, 2015).

2.3.2.4 Sellos y Conexiones. En el mantenimiento de SDD y la construcción, se emplean diversos materiales para garantizar la estanqueidad y durabilidad de las conexiones y uniones. Las gomas y elastómeros desempeñan un papel crucial al ser utilizados para sellos y juntas en las conexiones de las tuberías, asegurando así una unión hermética y resistente. Por otro lado, los morteros son fundamentales en la unión de elementos de concreto o ladrillo, proporcionando una base sólida y duradera que resiste a las condiciones ambientales adversas y a lo largo del tiempo (Stuyt et al., 2005).

Cada material se elige según las condiciones específicas del proyecto, como la carga del suelo, el tipo de fluido transportado, la vida útil esperada, y el costo.

2.3.3 Factores a considerar (*pendiente, flujo de agua, capacidad*)

En el diseño de SDDS, hay varios factores clave que deben ser considerados para asegurar que el sistema sea eficiente y efectivo. A continuación, veremos alguno de los más importantes a mencionarse:

2.3.3.1 Pendiente del Terreno. Este es un factor crucial para el drenaje superficial, ya que su inclinación y dirección determinan la velocidad y trayectoria del agua. Una pendiente

adecuada permite un drenaje más rápido, reduciendo la posibilidad de acumulación de agua, pero una pendiente demasiado pronunciada puede causar erosión. Además, la dirección de la pendiente es fundamental, ya que determina hacia dónde fluirá el agua, por lo que es crucial asegurarse de que dirija el agua hacia un área de drenaje adecuado, evitando así problemas de acumulación y erosión (Cushman & Tartakovsky, 2016).

2.3.3.2 Flujo de Agua. El diseño de un sistema de drenaje efectivo requiere considerar dos factores clave: el volumen de agua y la velocidad del flujo. Es fundamental estimar la cantidad de agua que el sistema deberá manejar, especialmente en eventos de lluvia intensa, incluyendo el cálculo del caudal máximo que puede llegar a la superficie a drenar. Asimismo, la velocidad del agua es crítica, ya que afecta la erosión del suelo y la capacidad del sistema para manejar el volumen de agua sin causar daños, por lo que es esencial encontrar un equilibrio adecuado entre estos dos factores para garantizar un drenaje seguro y eficiente (Cedergren, 1997).

2.3.3.3 Capacidad de Infiltración. Los suelos arenosos tienen una alta capacidad de infiltración, permitiendo que el agua se absorba fácilmente, mientras que los suelos arcillosos tienen una menor capacidad, lo que puede llevar a una mayor escorrentía superficial. Por otro lado, la presencia de vegetación puede aumentar la infiltración y disminuir la velocidad del agua, disminuyendo el riesgo de erosión y mejorando la eficiencia del drenaje, lo que destaca la importancia de considerar estos factores en el manejo y diseño de SDD efectivos (Cushman & Tartakovsky, 2016).

2.3.3.4 Capacidad del SDD. El mantenimiento adecuado de los SDD y su diseño, son fundamentales para garantizar su eficiencia y evitar problemas como inundaciones. El tamaño de las alcantarillas y canales debe ser dimensionado cuidadosamente para manejar el volumen de

agua previsto, considerando tanto los flujos normales como los de tormentas, ya que un sistema subdimensionado puede causar inundaciones. Además, es esencial realizar un mantenimiento regular para mantener el sistema libre de obstrucciones como sedimentos, basura y vegetación que puedan reducir su capacidad, asegurando así un funcionamiento óptimo y evitando daños y costos adicionales (Simonovic, 2020).

2.3.4 Caudal de diseño

Es la cantidad de agua que un SDD está diseñado para manejar durante un evento de lluvia o tormenta. Este concepto es crucial para evitar inundaciones, erosión y otros inconvenientes que tienen que ver con el exceso de agua en áreas rurales o urbanas, existen algunos aspectos en el caudal de drenaje:

2.3.4.1 Cálculo del Caudal. Necesario para encontrar el caudal de diseño en drenaje superficial, se usa el método racional, especialmente en áreas pequeñas y urbanas, que considera el área de captación, intensidad de lluvia y su coeficiente de escorrentía, dependiendo de las características del suelo, del terreno y su cobertura, utilizando datos meteorológicos históricos de precipitaciones y modelos predictivos que estiman la intensidad y duración de las lluvias esperadas para un periodo de retorno específico, como una vez cada 10, 25 o 100 años, permitiendo así un diseño preciso de sistemas de drenaje.

2.3.4.2 Periodo de Retorno. Concepto clave al diseñar SDD y en su planificación, definido como el intervalo del tiempo en años durante el cual se espera que ocurra una tormenta de una determinada magnitud o mayor. Es importante destacar que un periodo de retorno más largo, por ejemplo, 100 años, implica una tormenta más severa, pero menos frecuente. En consecuencia, los diseñadores eligen el tiempo de retorno basándose en la importancia de la infraestructura y el nivel de riesgo aceptable, de manera que, por ejemplo, los SDD en áreas

densamente pobladas podrían diseñarse para un periodo de retorno más largo con el fin de minimizar el riesgo de inundaciones y garantizar la seguridad de la población. De este modo, la elección del periodo de retorno es crucial para determinar la capacidad de los SDD y asegurar su eficacia en situaciones como tormentas muy fuertes (Linsley Jr et al., 1975).

2.3.4.3 Estructuras de entrada. Las estructuras de entrada para alcantarillas y drenaje superficial son componentes esenciales en los SDD urbano. La función principal es capturar y canalizar el recurso hídrico proveniente de lluvia u otras fuentes de agua superficial hacia el sistema de alcantarillado, evitando la acumulación de agua en la superficie que podría causar inundaciones y daños.

- **Cajas colectoras:** Las cajas colectoras son elementos fundamentales en los sistemas de drenaje y alcantarillado, diseñadas para capturar y distribuir el agua proveniente de lluvia y otras aguas superficiales de una manera mucho más eficiente hacia el sistema de tuberías subterráneo. Su principal función es recolectar el agua de las rejillas o sumideros y canalizarla hacia las tuberías de drenaje, evitando la acumulación de agua en las superficies.

-**Aletas:** Las aletas son estructuras de contención que se extienden desde los extremos de alcantarillas, puentes o canales, destinadas a guiar el flujo de agua y proteger las estructuras contra la erosión del suelo adyacente.

Características:

Las direcciones del flujo, también conocidas como disipadores de energía, son estructuras diseñadas para dirigir el agua hacia o desde la estructura principal, asegurando un flujo controlado y minimizando la erosión en las áreas circundantes. Construidas generalmente de concreto armado o piedra, son capaces de resistir la fuerza del agua y la presión lateral del suelo. Su forma varía según la dirección y velocidad del flujo de agua, pudiendo ser rectas, inclinadas o

en ángulo. Ubicadas en los extremos de alcantarillas y puentes, tanto en la entrada como en la salida del flujo de agua, tienen un papel crucial en gestión del agua y la protección de las infraestructuras (Ponce, 1989).

Importancia:

Las direcciones del flujo tienen una importancia clave al prolongar la vida útil de las estructuras hidráulicas, previniendo la erosión y el socavamiento en las orillas y taludes contiguos, garantizando la estabilidad de la estructura principal. Asimismo, ayudan a controlar el agua que fluye, guiándolo de una manera más controlada hacia la estructura y reduciendo el riesgo de daños estructurales, lo que permite un funcionamiento seguro y eficiente del sistema de drenaje (Mays, 2010).

-Cabezotes: El cabezote es la estructura que cierra o sella el extremo de una alcantarilla, canal, o conducto, brindando estabilidad y protección a la estructura principal.

Características:

Los estribos son elementos estructurales fundamentales que proporcionan un punto de apoyo sólido para las alcantarillas o conductos, distribuyendo las cargas del terreno y del agua para garantizar la estabilidad del sistema. Generalmente contruidos de concreto reforzado, aunque también pueden ser de mampostería o metal, dependiendo del tipo de estructura y el entorno, estos estribos pueden tener formas rectas o inclinadas y, en algunos casos, aberturas o compuertas para regular el flujo de agua. Ubicados en los extremos de las alcantarillas o canales, a menudo integrados con las aletas, juegan un papel crucial en la seguridad y eficiencia del drenaje (Mays, 2010).

Importancia:

Evitan que el agua erosione el extremo de la estructura y protegen el conducto de posibles obstrucciones, así mismo ayudan a distribuir las cargas y presiones ejercidas sobre la estructura, previniendo deformaciones o fallas estructurales.

- **Soleras:** La solera es la base o piso de una estructura de drenaje o canal, diseñada para aguantar el peso total de toda la estructura y del agua, y también guiar el flujo de manera uniforme (Chadwick, 2021).

Características:

Actúa como la superficie de soporte principal, resistiendo el peso de la estructura y las fuerzas hidráulicas del agua que fluye sobre ella. Generalmente de concreto armado, aunque también puede ser de piedra o material compactado dependiendo de la aplicación.

En conjunto, las aletas, cabezotes y soleras forman un sistema integral que asegura la estabilidad y eficiencia de las estructuras de drenaje. Por ejemplo, en una alcantarilla, la solera proporciona la base, el cabezote sella y protege los extremos, y las aletas guían el flujo de agua hacia y desde la estructura, previniendo la erosión (Chadwick, 2021).

2.3.4.4 Estructuras de salida

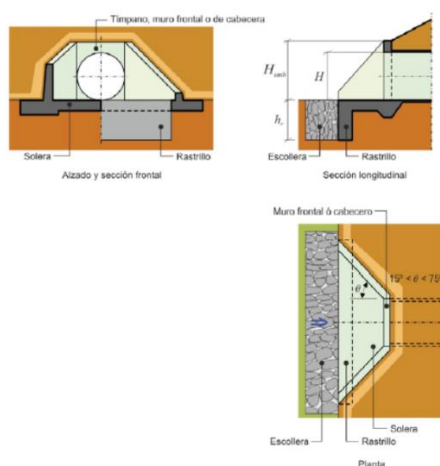
- **Aletas, cabezotes y soleras:** Son las partes finales de los sistemas de drenaje, alcantarillado o canales, donde el flujo de agua es liberado al ambiente natural o a un cuerpo receptor, como un río, lago o canal. Estas estructuras están diseñadas para manejar de manera segura el flujo de agua, reducir la velocidad, y prevenir la erosión y otros daños ambientales o estructurales.

Las aletas en las estructuras de salida son componentes que se extienden desde los laterales de la estructura principal, como un conducto o alcantarilla. Su función principal es guiar

y estabilizar el flujo de agua que sale, evitando que se desplace lateralmente y cause erosión en los taludes o márgenes adyacentes (Gribbin, 2014).

Figura 23.

Embocadura con aletas



Nota. Estos diagramas son representaciones de diferentes vistas y secciones de una estructura de contención que utiliza escollera y tiene un canal central, posiblemente para drenaje o flujo de agua. De, N. 60 J. 10 de M. (2016). Boletín oficial del estado. Carreteros.org.

En su diseño y ubicación las aletas se colocan en los extremos de las alcantarillas o conductos en puntos donde el agua sale al ambiente. Su inclinación y ángulo de apertura pueden variar dependiendo del tipo de flujo y del terreno circundante.

Los cabezotes son la parte frontal o el muro terminal de una alcantarilla o conducto en la estructura de salida. Su función es proporcionar un cierre estructural sólido y asegurar que el agua que fluye salga de forma controlada y segura. El cabezote se ubica en el punto de salida del conducto, sirviendo como la "cara" de la estructura. Su diseño debe considerar la dirección del flujo y las condiciones del sitio para maximizar la estabilidad y la eficiencia (Gribbin, 2014).

La solera en una estructura de salida actúa como la base sólida sobre la cual fluye el agua al salir del sistema de drenaje o alcantarillado. Su función principal es proporcionar una superficie resistente al desgaste y a la erosión, y guiar el agua de manera segura hacia el cuerpo receptor (Seybert, 2006).

Cuando se combinan, las aletas, cabezotes y soleras crean una estructura de salida que maneja eficientemente el agua que sale de un SDD o alcantarillado. Estos componentes:

Previenen Erosión: Controlan y guían el flujo de agua, minimizando el impacto erosivo en las áreas adyacentes.

Aseguran la Estabilidad: Proporcionan estabilidad estructural y funcional a largo plazo, evitando daños que podrían comprometer la efectividad del sistema de drenaje.

Mejoran la Seguridad: Ayudan a prevenir inundaciones locales y minimizan los impactos negativos en el entorno natural (Seybert, 2006).

- **En muros:** Para ubicar alcantarillas en tramos cortos, donde la sección se interrumpe y se presenta una sección a media ladera con un muro lateral para sostener la carretera, la alcantarilla atraviesa el muro y descarga libremente, generando un chorro sin control que provoca problemas de erosión en la base del muro. Esto se soluciona mediante la construcción de obras adecuadas.

-**Obras complementarias: canales y rápidas lisas o escalonadas:** Garantizan una entrega adecuada al flujo de agua o al terreno natural (Chaudhry, 2022).

2.4 Pozos de registro (o cámaras de inspección)

Los pozos de registro, también conocidos como cámaras de inspección, son componentes clave en los sistemas de drenaje superficial. Su función principal es permitir la inspección, limpieza y mantenimiento de las tuberías de drenaje.

2.4.1 Ubicación y Diseño:

Se colocan en puntos estratégicos a lo largo del sistema de drenaje para facilitar el acceso. Su diseño debe permitir la entrada de personal para la inspección y el mantenimiento. Usualmente tienen una tapa removible y un interior suficientemente amplio para el acceso (Xue, 2020).

2.4.2 Funciones:

Permiten la revisión visual del estado de las tuberías y la detección de obstrucciones o daños. De esta manera facilitan la limpieza de las tuberías, ya sea mediante herramientas manuales o equipos de alta presión.

2.4.3 Tipos:

- **Pozos de registro de entrada:** Ubicados al inicio de una sección de drenaje.
- **Pozos de registro intermedios:** Distribuidos a lo largo del sistema para facilitar el acceso en diferentes puntos.
- **Pozos de registro de salida:** Situados al final de una sección de drenaje, a menudo para conectar con otros sistemas de drenaje o para descargar el agua (Xue, 2020).

2.4.4 Materiales y Construcción:

Generalmente se construyen con materiales duraderos como concreto, ladrillo, o plástico resistente. Las tapas suelen ser de hierro fundido, acero o material compuesto para soportar el tráfico vehicular y condiciones climáticas adversas.

2.4.5 Normativas y Diseño:

Deben cumplir con las normativas locales de construcción y drenaje. El diseño debe considerar aspectos como la profundidad del pozo, la carga que soportará y el acceso para los equipos de mantenimiento.

Estos pozos son esenciales para asegurar que el sistema de drenaje funcione eficientemente y se mantenga en buen estado a lo largo del tiempo (Restrepo, 2024).

2.4.6 Bombas de agua:

Las bombas de agua juegan un papel crucial para dirigir el agua que fluye, especialmente en áreas donde el drenaje natural no es suficiente. Existen algunos tipos de bombas de drenaje:

2.4.6.1 Bombas Sumergibles. Se colocan directamente en el agua a bombear y están diseñadas para funcionar bajo el agua. Sus ventajas están en la eliminación de agua de sótanos inundados y sistemas de drenaje, son capaces de manejar líquidos con sólidos en suspensión si están equipadas con un impulsor adecuado (Spellman, 2008).

2.4.6.2 Bombas de Drenaje. Diseñadas específicamente para la eliminación de agua en aplicaciones de drenaje. Son capaces de manejar agua con sedimentos y pequeños sólidos, estas generalmente son más compactas y robustas (Nesbitt, 2006).

2.4.6.3 Bombas de Peristálticas. Las bombas de rodillo utilizan rodillos para comprimir un tubo y bombear el agua, siendo especialmente adecuadas para manejar líquidos viscosos y con sólidos en suspensión, ofreciendo un control preciso del flujo. Estas bombas encuentran aplicación en el drenaje de líquidos con partículas en suspensión o viscosos en diversas aplicaciones industriales, donde su capacidad para manejar fluidos complejos y su precisión en el control del flujo son fundamentales para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro (Nesbitt, 2006).

2.4.6.4 Bombas de Tornillo (Archimedes). Las bombas de tornillo sin fin, también conocidas como bombas de arquímedes, utilizan un tornillo sin fin para elevar el agua, destacando por ser especialmente efectivas en la elevación de grandes volúmenes de agua y por su capacidad para manejar agua con sólidos en suspensión sin problemas. Estas ventajas las hacen ideales para aplicaciones como el drenaje agrícola y los SDD de aguas que son residuales, donde la capacidad y la eficiencia para manejar fluidos complejos son fundamentales para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro (Nesbitt, 2006).

2.4.7 Consideraciones para la Selección

Al seleccionar una bomba para tu sistema de drenaje, es crucial considerar varios factores clave. Primero, determina la capacidad y caudal necesarios para bombear el agua requerida por unidad de tiempo. Luego, considera la altura de elevación o "cabeza" que la bomba debe manejar. También es importante evaluar el tipo de agua a bombear, asegurándote de que la bomba pueda manejar sólidos en suspensión si es necesario. Además, elige bombas construidas con materiales duraderos y resistentes a la corrosión, especialmente si el agua contiene componentes agresivos. Finalmente, opta por bombas eficientes energéticamente para reducir costos operativos a largo plazo, asegurando así un funcionamiento óptimo y sostenible de tu sistema de drenaje (Hart, 2002).

Capítulo 3

3.1 Consideraciones en el Diseño de un SDD

En el actual capítulo se centrará en un aspecto fundamental de la planificación urbana y la ingeniería civil: el diseño de SDD superficial. Estos sistemas son esenciales para una gestión eficiente del agua a causa de lluvias y otras fuentes de agua superficial, con la finalidad de prevenir inundaciones, disminuir la erosión y proteger la infraestructura y el medio ambiente.

En él se proporciona un análisis detallado de las diversas consideraciones que deben ser necesarias a tener en cuenta en el diseño de un SDD superficial. Se explorarán aspectos técnicos, como la evaluación hidrológica, la capacidad del sistema y la selección de materiales, junto con factores ambientales, normativos y de seguridad necesarios para la sostenibilidad del diseño y en su eficacia.

El objetivo principal en este capítulo es ofrecer una guía integral que sirva como referencia para profesionales como estudiantes del campo de ingeniería civil y la planificación urbana. Al abordar las complejidades del diseño de un SDD superficial, buscando proporcionar unas herramientas y conocimientos necesarios para abordar los problemas asociados con el agua y su gestión en entornos tanto urbanos como rurales.

3.1.1 Hidrología De Drenaje Superficial

La hidrología de drenaje superficial hace referencia al estudio del comportamiento del agua en toda la superficie terrestre, especialmente en relación con su escurrimiento y drenaje en áreas urbanas y rurales. Este campo de estudio es crucial para el diseño y planificación de SDD, control de inundaciones, y gestión del agua en general. Algunos aspectos mencionados por Eslamian (2014), clave de la hidrología de drenaje superficial incluyen:

3.1.1.1 Esguerrimiento superficial. Es el flujo de agua que se crea cuando la precipitación supera la capacidad del suelo de infiltración, resultando en agua que fluye sobre la superficie terrestre.

3.1.1.2 Cuencas hidrográficas. Áreas geográficas que captan agua de lluvia y la dirigen hacia un punto común de salida, como un río, lago, o sistema de drenaje.

3.1.1.3 Diseño de SDD. Implica una planificación de estructuras y canales para desviar el agua superficial y evitar inundaciones.

3.1.1.4 Modelos hidrológicos. Herramientas matemáticas y computacionales que se utilizan para simular el cómo se comporta el agua en su cuenca y predecir eventos de esguerrimiento.

3.1.1.5 Impacto del cambio climático. Aumento en los eventos extremos y patrones cambiantes en la precipitación, como lluvias intensas, afectan su diseño y la capacidad de los SDD.

3.1.1.6 Infraestructura verde. Soluciones sostenibles como lo pueden ser jardines de lluvia, techos verdes, pavimentos que sean permeables para ayudar a gestionar su esguerrimiento superficial de forma más natural y eficiente.

3.1.2 Topografía

La topografía en drenaje superficial hace referencia al análisis y estudio de la superficie del terreno con la finalidad de dar buena gestión al flujo del agua de precipitación o aguas superficiales. Este proceso es crucial para evitar problemas de erosión, inundaciones, y daños a estructuras, Budhu (2010) menciona que se presentan aspectos claves:

3.1.2.1 Pendientes y Elevaciones. La topografía ayuda a determinar las pendientes del terreno, que influyen directamente en dirección y la velocidad del agua que fluye por el terreno. Las áreas con mayor pendiente suelen tener un flujo de agua más rápido.

3.1.2.2 Curvas de Nivel. Topográficamente creadas en un mapa, son líneas que conectan puntos de igual elevación. Estas curvas son esenciales para entender cómo se desplazará el agua a través de una superficie.

3.1.2.3 Divisorias de Aguas. Son las líneas imaginarias que separan diferentes cuencas de drenaje. El agua que cae en un lado de la divisoria fluirá hacia un lado de la cuenca, mientras que el agua en el otro lado fluirá en la dirección opuesta.

3.1.2.4 Cuencas Hidrográficas. Es un área en donde toda el agua cae y se dirige hacia un mismo punto. El análisis topográfico permite delinear estas cuencas, lo que es crucial para la planificación del drenaje.

3.1.2.5 Canales y Zanjas de Drenaje. La topografía se utiliza para diseñar sistemas de drenaje artificiales como canales y zanjas que dirigen el agua de manera controlada hacia áreas de recolección o lejos de estructuras sensibles.

3.1.3 Clima

Diseñar un sistema de drenaje requiere tener en cuenta una variedad de factores climáticos para asegurar el funcionamiento del sistema de manera sostenible y eficiente. La cantidad y frecuencia de la lluvia influyen en el tamaño y la capacidad del sistema de drenaje.

3.1.3.1 Precipitación y Temperatura. Al diseñar un sistema de drenaje, es fundamental considerar dos aspectos clave relacionados con el clima y la meteorología. Por un lado, es esencial conocer la cantidad promedio de precipitación y su frecuencia en la región, así como la posibilidad de eventos extremos como lluvias torrenciales o tormentas intensas, para diseñar un

sistema con la capacidad adecuada para manejar estos picos. Por otro lado, también se deben considerar las condiciones climáticas extremas como la congelación y el deshielo en climas fríos, que pueden dañar las tuberías, y la evaporación en climas cálidos, que puede disminuir la proporción de agua superficial y afectar la eficiencia del drenaje, para garantizar la durabilidad y eficacia del sistema (Kourtis & Tsihrintzis, 2021).

3.1.3.2 Infiltración. La composición y características del suelo son fundamentales al diseñar un sistema de drenaje, ya que el suelo con su propiedad de infiltración determina la cantidad del recurso hídrico que necesitará ser drenada. Por ejemplo, los suelos arenosos tienen una alta capacidad de infiltración, mientras que los suelos arcillosos absorben menos agua, lo que requiere un sistema de drenaje más eficiente.

Además, en áreas donde el nivel freático es alto, la capacidad de infiltración puede ser limitada, incrementando la necesidad de un SDD efectivo que pueda manejar el exceso de agua superficial y subterránea.

3.1.3.3 Cambio Climático. Los patrones climáticos cambiantes representan un desafío para el diseño de sistemas de drenaje, ya que pueden resultar en precipitaciones más intensas o frecuentes, lo que debe considerarse en el diseño a largo plazo del sistema para garantizar su eficacia. Además, la importancia severa de las inundaciones y el incremento de la frecuencia debido al cambio climático requiere sistemas de drenaje más robustos y resilientes, capaces de manejar el exceso de agua y proteger las comunidades y ecosistemas de los impactos negativos de las inundaciones.

3.1.3.4 Viento. En ciertas regiones, el viento puede influir en cómo el agua se acumula y fluye, especialmente en zonas costeras o expuestas. El diseño debe tener en cuenta la dirección predominante del viento para evitar problemas de erosión o acumulación de sedimentos.

3.1.3.5 Urbanización. Las superficies impermeables, el incremento de las superficies impermeables (como edificios y carreteras) en zonas urbanas reduce la infiltración y aumenta el escurrimiento superficial, lo que demanda un sistema de drenaje más eficiente.

Al integrar estos factores en el diseño, se puede crear un sistema de drenaje que funcione eficientemente en una variedad de condiciones climáticas, minimizando el riesgo de inundaciones y otros problemas relacionados con el agua (Kourtis & Tsihrintzis, 2021).

3.1.4 Tipo de Suelo

Este es un factor necesario en un diseño de un SDD, ya que influye en la infiltración, el escurrimiento, y la estabilidad del terreno.

3.1.4.1 Suelos Arenosos. Los suelos arenosos tienen una alta capacidad de infiltración debido a sus partículas grandes y espacios intersticiales amplios, lo que les permite absorber el agua rápidamente y reducir el volumen de escurrimiento superficial que el SDD debe poder manejar, minimizando así el riesgo de inundación. Sin embargo, es importante considerar la posible presencia de capas impermeables en el subsuelo, que podrían afectar la eficiencia del sistema de drenaje, aunque en general, las áreas con suelos arenosos requieren menos capacidad de transporte en el sistema de drenaje (Butler, 2018, p. 30) .

3.1.4.2 Suelos Arcillosos. Los suelos arcillosos tienen una baja capacidad de infiltración debido a sus partículas finas y compactas, haciendo que el agua se estanque sobre la superficie y genere un mayor volumen de escurrimiento superficial, aumentando el riesgo de inundación. Por lo tanto, estos suelos requieren un SDD con mayor capacidad y eficiencia al momento de manejar el agua superficial, especialmente durante eventos de lluvia intensa, garantizar la seguridad y para evitar los daños de la infraestructura y las comunidades cercanas.

3.1.4.3 Suelos Francoarenosos o Francoarcillosos. Los suelos con infiltración moderada presentan una capacidad de absorción de agua intermedia, lo que proporciona un equilibrio entre la infiltración y el escurrimiento superficial, requiriendo un diseño de sistemas de drenaje equilibrado que tenga en cuenta tanto la absorción del agua como el manejo del escurrimiento superficial, considerando además las variaciones locales en la composición del suelo para garantizar un funcionamiento eficiente y adaptado a las condiciones específicas del terreno (Punmia & Jain, 2005) .

3.1.4.4 Suelos con Alta Permeabilidad.

- **Alta Permeabilidad:** En suelos con alta permeabilidad, como los arenosos, el agua puede percolar rápidamente a través del suelo. Esto es beneficioso para reducir el escurrimiento, pero puede llevar a problemas como la lixiviación de contaminantes a las capas freáticas.
- **Baja Permeabilidad:** En suelos con baja permeabilidad, como los arcillosos, el agua no penetra fácilmente, lo que aumenta el peligro de que en la superficie se acumule agua y puede requerir sistemas de drenaje más extensos.

3.1.4.5 Erosión en Suelos. Los suelos arenosos son más susceptibles a la erosión, especialmente sin cobertura vegetal, lo que puede llevar a la pérdida de suelo o sedimentos que obstruyen los SDD, mientras que en suelos arcillosos, aunque menos propensos a la erosión, Punmia & Jain (2005), mencionan que se pueden formar capas de sedimento denso cuando se erosionan, lo que también puede obstruir las redes de drenaje, destacando la relevancia al considerar las características encontradas en el suelo en el mantenimiento y diseño de los SDD.

3.1.4.6 Capacidad de Retención de Agua. En suelos arcillosos son caracterizados por su alta retención de agua, son beneficiosos para mantener la humedad del suelo, aunque pueden

provocar saturación y aumentar el riesgo de deslizamientos, mientras que los suelos arenosos, con baja capacidad de retención, requieren sistemas de riego complementarios en zonas donde la conservación del agua es crucial.

3.1.4.7 Presencia de Capa Freática. Los suelos con capa freática alta, al estar cerca de la superficie, tienden a saturarse, lo que disminuye la capacidad de infiltración y eleva el riesgo de inundaciones, haciendo necesario considerar sistemas de drenaje subterráneo para aliviar la presión del agua, mientras que los suelos con capa freática baja permiten un mayor almacenamiento de agua, aunque su capacidad de recarga puede estar limitada en suelos de baja permeabilidad (Punmia & Jain, 2005).

3.1.4.8 Composición y Estructura del Suelo.

- **Suelos Orgánicos:** Esto retienen agua, tienen una alta capacidad, pero pueden descomponerse y comprimir con el tiempo, afectando la estabilidad del terreno y la eficiencia del drenaje.
- **Suelos Compactos:** Requieren un diseño que incluya medidas para mejorar la infiltración, como la creación de zanjas de infiltración o la instalación de drenajes subterráneos.

Al considerar estos factores, los ingenieros y diseñadores pueden desarrollar sistemas de drenaje que se adapten de manera eficiente a las características específicas del suelo, minimizando el riesgo de problemas asociados con el agua y optimizando el manejo de aguas pluviales.

3.1.5 Uso del suelo

El uso del suelo en drenaje superficial es crucial en la administración del agua y el diseño de SDD. El DS, ya antes descrito se refiere a la remoción del agua en la zona superficial del

suelo, generalmente a través de canales, zanjas o pendientes diseñadas para evitar la acumulación de agua en áreas no deseadas.

Existen algunos factores claves en el uso del suelo para drenaje superficial, entre ellos recalca la importancia del tipo de suelo, su pendiente y conformación vegetal, para ellos Goldman & Jackson (1986), mencionan ciertos factores:

- **Pendiente del Terreno:** El diseño de la pendiente es esencial para asegurar que el agua fluya hacia los sistemas de drenaje y no se estanque en la superficie. Suelos con pendientes naturales o creadas son ideales para el drenaje.
- **Cobertura Vegetal:** Las plantas y la vegetación pueden ayudar a reducir la escorrentía al absorber parte del agua de lluvia. Sin embargo, también pueden ralentizar el flujo del agua, lo que puede ser beneficioso o perjudicial dependiendo del objetivo del diseño.
- **Infraestructura:** La construcción de zanjas, cunetas, drenajes y canales es vital para dirigir el agua hacia los sistemas de drenaje más grandes o hacia áreas donde pueda infiltrarse de manera segura.
- **Uso del Terreno:** Diferentes usos del suelo, como áreas agrícolas, residenciales, industriales o naturales, tienen distintos requerimientos y desafíos de drenaje. Por ejemplo, las áreas urbanizadas tienden a tener más superficies impermeables, lo que incrementa la necesidad de un buen sistema de drenaje superficial.

3.1.5.1 Consideraciones en el Diseño. Es esencial prevenir erosión en el suelo causada por la velocidad y volumen del agua mediante la construcción de barreras, el uso de plantas de cobertura y el diseño de SDD que disminuyan la velocidad del agua. Además, dado que el agua de escorrentía superficial puede transportar contaminantes desde áreas urbanas o agrícolas, el

diseño debe incluir medidas para mitigar este riesgo, como la creación de áreas de retención o humedales (Zeedyk & JW 2004).

El diseño adecuado del uso del suelo para drenaje superficial es fundamental para proteger infraestructuras, prevenir inundaciones y mantener la salud de los ecosistemas locales.

3.1.6 Prácticas de Manejo del Agua

Las aplicaciones del manejo del agua en drenaje superficial incluyen el diseño de los sistemas sostenibles, técnicas de drenaje verde como jardines de lluvia y pavimentos permeables, recolección y tratamiento de aguas pluviales, áreas de infiltración y retención, uso de vegetación para mejorar calidad del agua y minimizar la erosión, y monitoreo regular para asegurar eficacia y prevenir obstrucciones, con el fin de manejar el agua de manera efectiva, reducir contaminación y proteger ecosistemas, algunas de las practicas según Davie (2019), más comunes son:

3.1.6.1 Zanjas de Infiltración. Estas son excavaciones poco profundas alineadas en contornos del área para captar, ayudando a que se infiltrarse en el suelo el agua de lluvia. Su aplicación usualmente es en terrenos con pendientes moderadas para minimizar la rapidez del agua y promover la recarga de acuíferos.

3.1.6.2 Terrazas. Son superficies horizontales o escalonadas construidas en una pendiente para reducir la rapidez del agua y evitar la erosión del suelo. Comúnmente su aplicación varía en zonas agrícolas de montaña o colinas, donde el terreno es inclinado.

3.1.6.3 Cunetas y Cañerías de Drenaje. Las cunetas a los lados de los caminos o tuberías subterráneas son diseñadas para dirigir el agua superficial a un punto de salida específico. Específicamente su aplicación es en carreteras, áreas urbanas y agrícolas para canalizar el agua lejos de superficies vulnerables.

3.1.6.4 Jardines de Lluvia. Son áreas de vegetación hundidas diseñadas para capturar y filtrar el agua proveniente de lluvia. Se pueden encontrar en zonas urbanas o suburbanas para gestionar la escorrentía de techos y pavimentos.

3.1.6.5 Acolchado (Mulching). Es la aplicación de materiales orgánicos o inorgánicos en la superficie del suelo para conservar la humedad, reducir la erosión y mejorar la infiltración. La aplicación comúnmente es en jardines, áreas agrícolas, y paisajismo urbano.

3.1.6.6 Bordillos de Contención. Estructuras elevadas que contienen o desvían el agua superficial hacia desagües o áreas específicas. Son usadas en caminos, estacionamientos y otras superficies pavimentadas.

3.1.7 Conservación y Manejo de Cuencas

Una cuenca hidrográfica hace referencia a un área de terreno delimitada por divisorias de aguas (elevaciones de terreno) en donde la totalidad de agua que cae en esa área se drena hacia un mismo punto, como un río, lago o el mar. Cada cuenca es parte de un sistema mayor, y las decisiones en su manejo impactan no solo el área local, sino también las áreas aguas abajo (Leopold et al., 2020).

3.1.7.1 Conservación de cuencas. La conservación de cuencas se refiere a las prácticas y técnicas utilizadas para proteger y mantener la salud de las cuencas hidrográficas. Según Leopold et al., (2020) incluye:

- **Protección del suelo:** Evitar erosión en el suelo mediante la plantación de cobertura vegetal, terrazas, barreras de contención, etc.
- **Reforestación:** Plantación de árboles para reducir la erosión, mejorar la absorción de agua y mantener un equilibrio ecológico.

- **Control de la contaminación:** Minimizar la entrada de posibles contaminantes en los cuerpos de agua a través de la gestión adecuada de desechos, control de pesticidas y fertilizantes, y prácticas de agricultura sostenible.

3.1.7.2 Manejo del drenaje superficial. El manejo del drenaje superficial involucra la regulación y control de agua que se escurre en la superficie del terreno al terminar la lluvia. Este manejo busca:

- **Reducir la erosión:** Implementar prácticas que disminuyan la velocidad y volumen del escurrimiento para evitar que el agua arrastre suelo y sedimentos.
- **Aprovechamiento del agua:** Capturar y almacenar el agua superficial para uso agrícola, recarga de acuíferos o consumo humano.
- **Minimización de inundaciones:** Desarrollar infraestructuras como zanjas, drenajes, canales y presas que regulen el flujo de agua en áreas propensas a inundaciones (Schumm, 2007).

3.1.7.3 Técnicas de manejo. Algunas técnicas empleadas en el manejo de cuencas y drenaje superficial incluyen:

- **Terrazas de nivel:** Crear plataformas escalonadas en terrenos inclinados para disminuir la erosión y disminuir la rapidez del agua.
- **Microcuencas:** Pequeñas áreas diseñadas para capturar y retener agua, promoviendo su infiltración en el suelo.
- **Cercos vivos y barreras vegetales:** Uso de plantas para frenar el escurrimiento de agua y retener el suelo.

- **Canales y drenajes controlados:** Infraestructuras diseñadas para dirigir el agua de manera segura y eficiente hacia puntos de almacenamiento o cuerpos de agua principales (Schumm, 2007).

3.1.8 Geología

La geología juega un papel crucial en el drenaje superficial, ya que influye en cómo el agua se mueve a través del paisaje, la pendiente del terreno influye en el flujo del agua, en áreas con pendiente pronunciada, el agua tiende a escurrirse rápidamente, lo que puede llevar a la erosión. En terrenos planos, el agua puede acumularse y causar inundaciones (Huggett, 2022).

3.1.8.1 Geología Estructural. Las fracturas, fallas y pliegues en las rocas pueden afectar el drenaje superficial, las fallas pueden actuar como barreras para el flujo de agua o, en algunos casos, como canales que facilitan el drenaje.

3.1.8.2 Presencia de Rocas Impermeables. La presencia de formaciones rocosas impermeables, como granito o basalto, puede limitar la infiltración del agua y aumentar el escurrimiento superficial.

3.1.8.3 Hidrología. La geología también influye en la hidrología del área. Por ejemplo, las formaciones geológicas pueden afectar toda el agua que en el suelo se infiltra y cómo se distribuye en la cuenca hidrográfica.

3.1.9 Actividades Humanas

Las actividades humanas que impactan el drenaje superficial en el medio ambiente podrían afectarlo significativamente y en la gestión del agua. Las diferentes actividades humanas, como la urbanización, agricultura intensiva, la deforestación, y la construcción de infraestructuras, tienen un impacto significativo en el drenaje superficial. La expansión de superficies impermeables, la reducción de la vegetación y las alteraciones en la topografía

pueden aumentar el escurrimiento de agua, provocar erosión y contribuyendo a contaminar los cuerpos de agua. Estos cambios pueden llevar a problemas como inundaciones y degradación de la calidad de agua, destacando necesidades de prácticas de gestión sostenible para mitigar estos efectos y proteger los recursos hídricos (Ward et al., 2009).

3.1.9.1 Urbanización. La construcción de ciudades y áreas residenciales aumenta la cantidad de superficies impermeables, como asfaltos y pavimentos, lo que reduce que en el suelo el agua se infiltre y aumenta el escurrimiento superficial (Ward & Trimble, 2003b) .

3.1.9.2 Agricultura. Las prácticas agrícolas, como la deforestación para abrir tierras de cultivo y el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas, pueden alterar la corriente natural en el agua y aumentar la erosión en el suelo.

3.1.9.3 Deforestación. La eliminación de vegetación y la tala de árboles reducen la capacidad del suelo para absorber agua, lo que puede aumentar el escurrimiento superficial y la erosión.

3.1.9.4 Construcción de infraestructuras. Las obras de construcción, como la edificación de carreteras, puentes y presas, pueden modificar el curso natural de los ríos y arroyos, afectando el drenaje superficial (Ward & Trimble, 2003a).

3.1.9.5 Minera. La extracción de minerales puede cambiar la topografía y la permeabilidad del suelo, así como generar residuos que afectan la calidad del agua.

3.1.9.6 Actividades industriales. Las industrias pueden generar contaminantes y modificar el drenaje superficial a través de la construcción de instalaciones y el vertido de desechos.

3.1.9.7 Gestión de residuos. La disposición inadecuada de residuos, la falta de sistemas apropiados para aguas residuales y su tratamiento pueden contribuir a la contaminación del drenaje superficial.

Estas actividades pueden llevar a problemas como inundaciones, la erosión del suelo y contaminar cuerpos de agua. Por eso, es importante implementar prácticas de gestión sostenible para minimizar estos impactos y proteger los recursos hídricos.

3.1.10 Sostenibilidad

La sostenibilidad en el drenaje superficial hace referencias al uso de métodos y prácticas que minimicen el impacto ambiental mientras se manejan las aguas pluviales de manera eficiente. Javaid (2012), menciona algunos principios y prácticas claves:

3.1.10.1 Diseño de Sistemas de Drenaje Ecológico. Incorporar elementos como jardines de lluvia, zanjas de infiltración y pavimentos permeables que hacen infiltrar el agua en el suelo y no ser dirigida a sistemas de drenaje convencionales.

3.1.10.2 Reducción de la Escorrentía. Utilizar técnicas para disminuir el volumen de agua que fluye en la parte superficial, como la retención del agua en cisternas o la implementación de áreas verdes que absorben el agua.

3.1.10.3 Tratamiento Natural de Aguas Residuales. Emplear tecnologías que imiten los procesos naturales para filtrar y tratar el agua, como humedales artificiales y biofiltros.

3.1.10.4 Uso de Materiales Sostenibles. Optar por materiales y productos que tengan bajo impacto ambiental y que sean duraderos.

3.1.10.5 Educación y Participación Comunitaria. Involucrar a la comunidad en la planificación y mantenimiento de SDD sostenible para asegurar que se adaptan a las necesidades locales y sean bien gestionados.

3.1.10.6 Monitoreo y Evaluación. Realizar un seguimiento continuo para garantizar que los SDD funcionen como se espera y realizar ajustes si es necesario.

Estos enfoques no solo ayudan a gestionar las aguas pluviales de manera más eficiente, sino que también contribuyen a una preservación del medio ambiente y a la resiliencia de las poblaciones frente a eventos climáticos extremos.

3.1.11 Impacto Ambiental del Drenaje Superficial

El drenaje superficial bien diseñado y gestionado no solo ayuda a evitar problemas ambientales, sino que también puede tener impactos positivos en el medio ambiente de las personas y en la calidad de vida. Según (Cettner et al., 2013), se presentan algunos de los impactos ambientales favorables del drenaje superficial:

3.1.11.1 Reducción de Inundaciones. Un sistema de drenaje superficial efectivo ayuda a dirigir y controlar el flujo de agua de lluvia, evitando la acumulación de agua en áreas rurales y urbanas. Esto reduce el riesgo de inundaciones que pueden causar daños a la infraestructura, la propiedad y poner en peligro la vida humana.

3.1.11.2 Mejora de la Calidad del Agua. Los SDD superficial bien diseñados pueden incluir características como zanjas de infiltración, jardines de lluvia y humedales artificiales que actúan como filtros naturales. Estos sistemas permiten que se infiltre el agua lentamente al suelo, reduciendo la cantidad de contaminantes que llegan a cuerpos de agua y mejorando la calidad del agua superficial y subterránea.

3.1.11.3 Recarga de Acuíferos. Al facilitar que el agua de precipitación se infiltre en el terreno, los sistemas de drenaje superficial contribuyen a la recarga de acuíferos. Esto es especialmente beneficioso en áreas donde el suministro de agua son fuentes subterráneas,

contribuyendo a conservar los niveles de agua y garantizar la disposición de recursos hídricos en periodos largos.

3.1.11.4 Promoción de la Biodiversidad. Los sistemas de drenaje que incorporan elementos naturales, como humedales y estanques de retención, pueden crear entornos adecuados para distintos animales y plantas. Estos ecosistemas proporcionan refugio, alimentación y zonas de reproducción para la vida silvestre, promoviendo la biodiversidad local.

3.1.11.5 Control de la Erosión. Al manejar de manera efectiva el flujo de agua por lluvia, los SDD superficial ayudan a reducir la erosión del suelo. Esto es particularmente importante en áreas agrícolas y urbanas donde la pérdida de suelo puede tener consecuencias negativas, como el perder las propiedades fértiles del suelo y la sedimentación de masas de agua.

3.1.11.6 Mejoras en el Microclima Urbano. La incorporación de distintas soluciones inspiradas en la naturaleza, techos verdes y jardines de lluvia, en los sistemas de drenaje superficial puede ayudar a regular las temperaturas locales. Estas prácticas pueden minimizar los efectos de isla de calor en sitios urbanos al incrementar la evapotranspiración y proporcionar sombra.

3.1.11.7 Estética y Valor Recreativo. Los sistemas de drenaje que incluyen características paisajísticas atractivas, como estanques, jardines y áreas verdes, no solo son funcionales, sino que también mejoran el valor estético de un área. Estos espacios pueden servir como zonas recreativas, proporcionando lugares para el ocio y la interacción social, mejorando en zonas residenciales la calidad de vida.

3.1.11.8 Reducción de la Contaminación del Aire. Al promover la vegetación y reducir la erosión del suelo, los SDD superficial contribuyen a la reducción de partículas en el aire. Esto

puede generar una mejora significativa en la salud de personas en zonas completamente urbanas con una alta densidad poblacional y un mejoramiento en la calidad del aire.

3.1.11.9 Mitigación del Cambio Climático.

Al mejorar el manejo del agua y aumentar la cubierta vegetal, los sistemas de drenaje superficial pueden disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. También, los cuerpos de agua y las áreas verdes pueden actuar como sumideros de carbono y ayudar al amoldamiento del cambio climático (Şen, 2014).

El drenaje superficial puede ser una herramienta poderosa no solo para la gestión de agua y prevención de inundaciones, sino también para promover mejorar la calidad de vida urbana y la sostenibilidad ambiental. La clave está en diseñar y gestionar estos sistemas de manera que se maximicen sus beneficios ambientales y sociales.

3.1.12 Mantenimiento y Gestión del Drenaje

El mantenimiento y la gestión del drenaje superficial son cruciales para prevenir inundaciones y erosión. Esto implica realizar inspecciones regulares para detectar obstrucciones y daños, así como limpiar conductos y desagües de manera periódica para evitar acumulaciones de residuos y sedimentos. También es importante controlar la vegetación cerca de los sistemas de drenaje para evitar que las raíces dañen las infraestructuras (Parkinson & Mark, 2005).

Además, se deben reparar áreas erosionadas para mantener la estabilidad del suelo y considerar el uso de sistemas de retención de agua, como estanques de retención, para manejar mejor la escorrentía superficial, y mejorar la calidad del agua. La educación y concienciación de la comunidad son fundamentales para asegurar la cooperación en el mantenimiento y limpieza de los sistemas de drenaje. Finalmente Parkinson & Mark (2005), mencionan que lo esencial es monitorear la calidad del agua y actualizar las infraestructuras de drenaje según sea necesario

para adaptarse a cambios en el clima o el desarrollo urbano. La implementación de tecnologías avanzadas y materiales duraderos puede ayudar a aumentar la eficacia de los SDD y mejorar la eficiencia, asegurando su buen funcionamiento a largo plazo.

3.1.13 Importancia del Drenaje en Vías

El drenaje superficial en vías es crucial porque evita que se acumule en la superficie de la carretera el agua, lo que protege la estructura de las vías de posibles daños, previene que se formen baches y grietas, y minimiza el riesgo de hidropneumático, mejorando así la seguridad vial. Además, un buen drenaje reduce los costos de mantenimiento y previene la erosión de las áreas adyacentes, contribuyendo a la estabilidad en la infraestructura y la conservación del medio ambiente al controlar la escorrentía de agua contaminada (Papagiannakis & Masad, 2024).

Algunos de los aspectos positivos de los drenajes en vías, son:

- **Prevención de daños estructurales:** En la superficie podría acumularse agua, en una vía puede infiltrarse en las capas inferiores de la estructura de la carretera, debilitando la base y la subrasante. Esto puede llevar a la formación de grietas, baches y otros tipos de deterioro que comprometen la integridad de la vía.
- **Mejora de la seguridad vial:** Las carreteras con un drenaje superficial deficiente pueden acumular agua en su superficie, lo que aumenta el riesgo de hidropneumático. Esto ocurre cuando una capa de agua impide que los neumáticos del vehículo tengan contacto adecuado con la superficie de la carretera, reduciendo la tracción y aumentando la probabilidad de accidentes.
- **Reducción de costos de mantenimiento:** Un drenaje adecuado ayuda a prolongar la vida útil de la carretera al minimizar los problemas a la estructura que el agua

puede hacer. Esto, a su vez, reduce la frecuencia y los costos de mantenimiento y reparación, lo que resulta en un ahorro significativo a largo plazo.

- **Prevención de la erosión:** El agua superficial que no es canalizada adecuadamente puede provocar erosión en las cunetas y taludes adyacentes a la carretera. Esto no solo afecta la estética y el entorno natural, sino que también puede comprometer la estabilidad de la vía y los terrenos circundantes.
- **Protección del medio ambiente:** Un sistema de drenaje superficial eficaz puede ayudar a controlar la escorrentía, reduciendo el peligro de contaminación en las masas de agua cercanos. Cuando hay agua corriendo por la superficie de la carretera puede arrastrar contaminantes, como aceites y productos químicos o biológicos que podrían ser dañinos para el medio ambiente.

Capítulo 4

Aplicaciones en la ingeniería civil en drenaje superficial

Este capítulo se centra en explorar las aplicaciones del drenaje superficial en la ingeniería civil, proporcionando una visión integral de las técnicas, tecnologías y enfoques sostenibles que están moldeando el futuro de este campo esencial.

En primer lugar, se abordarán las investigaciones recientes en drenaje superficial, destacando los avances más relevantes y las contribuciones significativas en el mejoramiento de las actividades de manejo del agua. Estas investigaciones no solo revelan nuevas formas de ayudar a la mejora eficiente de los SDD, sino que también abren el camino hacia soluciones más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

A continuación, se examinará sostenibilidad y eficiencia de los SDD. Se presentarán los SDD sostenible y el uso de tecnologías verdes, que no solo buscan gestionar eficazmente el agua superficial, sino también reducir los impactos negativos sobre el entorno. Este apartado subrayará la importancia de integrar prácticas sostenibles en la implementación de proyectos de drenaje y el diseño, con el objetivo de tener una mejor calidad de vida en las áreas urbanas y rurales, y de preservar los recursos naturales. El capítulo también discutirá los avances tecnológicos y las direcciones futuras para la aplicación del drenaje superficial en ingeniería civil. La incorporación de innovaciones tecnológicas no solo mejora la función y eficiencia de los SDD, sino que también facilita la adaptación a los desafíos emergentes.

En conjunto, no solo proporcionará una comprensión profunda de las aplicaciones del drenaje superficial en la ingeniería civil, sino que también inspirará a los ingenieros a adoptar enfoques innovadores y sostenibles en su práctica profesional, contribuyendo así al desarrollo de infraestructuras más resilientes y sostenibles.

4.1 Desarrollo Urbano

Los Sistemas de Drenaje de Áreas Urbanas (SDAs) involucran la instalación de alcantarillado y drenaje superficial en zonas urbanas para gestionar eficazmente el flujo de aguas pluviales y minimizar el riesgo de inundaciones urbanas. Además, se pueden implementar pavimentos permeables diseñados para ayudar a que el agua se infiltre en el terreno a través de la superficie en el pavimento, ayudando a reducir la escorrentía superficial. Estas medidas pueden complementarse con prácticas de agricultura sostenible que también contribuyen a la gestión eficiente del agua y reducen el riesgo de inundaciones.

4.1.1 *Infraestructura de Transporte*

- **Carreteras y autopistas:** Se utilizan sistemas de drenaje con el fin de prevenir que se acumule el agua en las calzadas, lo que podría causar aquaplaning y aumentar el riesgo de accidentes.
- **Aeropuertos:** El drenaje eficiente de las pistas es esencial para evitar charcos que puedan tener efectos en el aterrizaje y en los despegues del avión.
- **Edificios y viviendas:** Sistemas de drenaje superficial, como canales y zanjas alrededor de los cimientos, protegen las estructuras de la acumulación de agua, que pueden afectar a la estructura o generar problemas de humedad.
- **Muros de contención:** Incorporan SDD para prevenir la presión del agua contra el muro, lo que podría comprometer su estabilidad (Ritzema, 2006).

4.1.2 *Infraestructura Verde*

- **Jardines de lluvia y bioswales:** Son zonas verdes diseñadas con el fin de recolectar, filtrar y absorber el agua proveniente de precipitación, reduciendo el escurrimiento y mejorando la pureza del agua.

- **Techos verdes:** Sistemas de drenaje integrados permiten que los techos vegetados retengan el agua de lluvia, liberándola lentamente para reducir el impacto en los sistemas de drenaje municipal (Ritzema, 2006).

4.1.3 Erosión y Control de Sedimentos

Los revestimientos de taludes y protecciones contra la erosión son fundamentales para estabilizar pendientes y evitar el desgaste del suelo, particularmente en zonas con escorrentía de agua superficial significativa, mientras que las geomallas y geomembranas se implementan en zanjas y canales para prevenir la erosión y el movimiento de sedimentos, proporcionando una solución efectiva para controlar la erosión y proteger el terreno (Renard, 1997).

4.2 Investigaciones Recientes en Drenaje Superficial

Recientemente se han podido realizar algunas investigaciones sobre drenaje superficial en zonas urbanas, específicamente en Colombia. Estas investigaciones se centran en el uso de SUDS (sistemas de drenaje urbano sostenible), como zanjas de infiltración o pozos, para ayudar con el manejo de aguas provenientes de lluvias y disminuir el riesgo de inundaciones, los SDD urbano sostenible son una opción a los SDD convencionales y pueden ser utilizados en combinación con ellos (Cubides et al., 2018).

Entre los aspectos abordados en estas investigaciones, abordadas por, Cubides et al., (2018) se encuentran:

- **Análisis hidrológico:** se estudia el comportamiento de las lluvias y su impacto en el drenaje urbano.
- **Análisis hidráulico:** se examina el funcionamiento de los SDD y su suficiencia para manejar el flujo de aguas lluvias.

- **Diseño e implementación de SUDS:** se presentan opciones de diseño y se discute la implementación de pozos o zanjas de infiltración como parte de los SUDS.

- **Evaluación de la efectividad de los SUDS:** se evalúa el impacto de los SUDS en la reducción de posibles inundaciones y para mejorar la pureza del agua.

4.2.1 *Modelado Hidrológico y Simulación Computacional*

El uso de software avanzado para simular y predecir el comportamiento del drenaje superficial en diferentes escenarios de lluvia y desarrollo urbano., los beneficios de estas herramientas es que ayudan a diseñar sistemas de drenaje más eficientes y a prever problemas potenciales de inundación antes de que ocurran (Singh, 2018).

4.2.2 *Efectos del Cambio Climático en el Drenaje Superficial*

La Investigación sobre cómo el aumento de las precipitaciones y la variabilidad climática afecta la capacidad de los sistemas de drenaje existentes. Los estudios permiten adaptar y reforzar las infraestructuras de drenaje para hacer frente a eventos climáticos extremos, asegurando la resiliencia urbana.

4.2.3 *Soluciones Basadas en Naturaleza (NBS)*

Integrar resultados basados en la naturaleza, como la siembra de árboles, es un ejemplo de ello y la restauración de humedales, para mejorar el drenaje superficial, Estas soluciones no solo ayudarían a un mejor manejo del agua de lluvia, sino

que también ayudan con la biodiversidad, la mejora del paisaje urbano y la mitigación del cambio climático.

4.2.4 *Contaminación por Escorrentía*

Estudios sobre cómo los contaminantes (como aceites, metales pesados y nutrientes) son transportados por la escorrentía superficial y afectan la calidad del agua en cuerpos receptores,

sus beneficios traen la identificación de técnicas para reducir la contaminación, como el uso de barreras vegetativas y sistemas de filtración específicos.

4.2.5 Tecnologías de Sensores para la Monitoreo en Tiempo Real

Usando sensores para monitorear la calidad del agua y flujo en tiempo real, proporcionando datos instantáneos sobre el rendimiento del sistema de drenaje, sus beneficios están en la mejora del manejo y mantenimiento de SDD, permitiendo respuestas rápidas a condiciones anormales o emergencias.

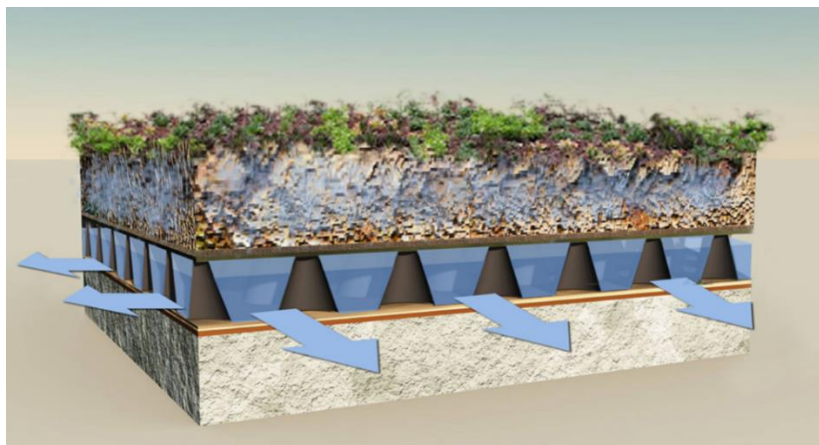
4.3 Avances Tecnológicos y Futuras Direcciones para su aplicación

Los avances tecnológicos en el ámbito del drenaje superficial están revolucionando cómo manejamos el agua de lluvia y las escorrentías urbanas. A continuación, se presentan algunas posibles direcciones que establecen los rumbos de la innovación en este campo:

4.3.1 Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS)

Avances: En SUDS incluyen tecnologías como los jardines de lluvia, pavimentos permeables, techos verdes y bioretenciones. Estos sistemas están diseñados para imitar el ciclo hidrológico natural y reducir el volumen del agua proveniente de precipitación que entra en sistemas de alcantarillado.

Futuras Direcciones: Mayor integración de SUDS con tecnologías inteligentes para monitorear y optimizar la retención y filtración de agua en tiempo real. Uso de sensores para medir la suficiencia de absorción y la pureza del agua (Teshome, 2020).

Figura 24.*SUDS*

Nota. La imagen muestra un esquema de un SDD sostenible, posiblemente un techo verde o un SUDS. Ferri, L. (2018, julio 13). 6 ventajas de los SUDS frente a otros sistemas de drenaje urbano. Projar Group Site.

4.3.2 Drenaje Inteligente y Monitoreo Remoto

Avances: La incorporación de sensores IoT (Internet of Things) permite el monitoreo continuo del flujo de agua y la identificación de bloqueos en tiempo real. Las válvulas inteligentes pueden ajustarse automáticamente para optimizar el flujo.

Futuras Direcciones: Desarrollo de redes de drenaje completamente automatizadas que pueden predecir y responder a eventos de lluvias intensas, minimizando el riesgo de inundaciones urbanas. En tiempo real podría verse los datos que predicen tendencias y ajustar las infraestructuras de drenaje (Yingyong, 2015).

Figura 25.*Drenaje Inteligente*

Nota. La imagen muestra un corte transversal de un SUDS que ha sido mejorado con tecnología de sensores IoT (Internet of Things) para monitorear y gestionar el flujo de agua. Internet de las cosas - ADASA, (2022).

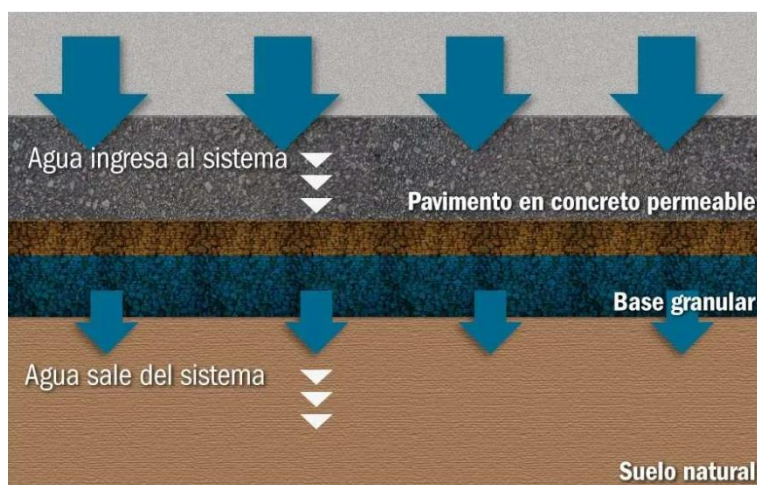
4.3.3 Materiales Innovadores

Avances: Materiales como el concreto permeable y los polímeros avanzados están mejorando la permeabilidad y la durabilidad de las superficies de drenaje.

Futuras Direcciones: Desarrollo de materiales inteligentes que puedan adaptarse a diferentes condiciones de flujo y carga, y que puedan autorrepararse para mantener su funcionalidad a lo largo del tiempo (Webber et al., 2022).

Figura 26.

Concreto permeable



Nota. En la imagen se puede observar un fragmento de carretera moderna, diseñado con materiales innovadores en los que se destaca por la capacidad que tiene para la mejora de la infraestructura vial. La superficie de la carretera está construida con concreto permeable, este permite que el agua fluya por su propia estructura. (ARANGO, 2022). Concreto permeable: desarrollo urbano de bajo impacto. 360 en concreto.

Figura 27.

Concreto permeable

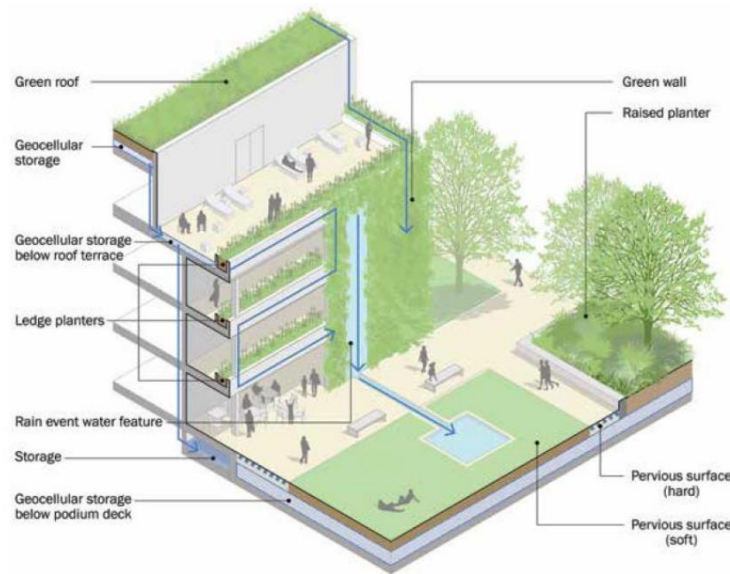


Nota. La superficie de la carretera está construida con concreto permeable, este permite que el agua fluya por su propia estructura. (ARANGO, 2022). Concreto permeable: desarrollo urbano de bajo impacto. 360 en concreto.

4.3.4 Infraestructura Verde

Avances: La integración de áreas verdes y espacios abiertos en entornos urbanos no solo mejora la estética, sino que también aumenta la absorción de agua de lluvia.

Futuras Direcciones: Expansión de la infraestructura verde a gran escala, como la creación de "ciudades esponja" que absorben grandes cantidades de agua de lluvia. Uso de plantas y suelos modificados genéticamente para mejorar la absorción y filtración de agua (Webber et al., 2022).

Figura 28.*Infraestructura Verde*

Nota. La imagen muestra un edificio moderno, de varios pisos, con una fachada de vidrio y metal. Lo que destaca en su diseño es la infraestructura verde incorporada. Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS, (2020).

4.3.5 Modelización y Simulación Avanzada

Avances: El uso de software avanzado para modelar flujos de agua y simular escenarios de lluvia ha mejorado significativamente el diseño de sistemas de drenaje.

Futuras Direcciones: Aplicación de aprendizaje automático y de las inteligencias artificiales (IA) para mejorar la precisión de las simulaciones y optimizar los diseños de drenaje basados en datos históricos y pronósticos climáticos (Marsalek, 2013).

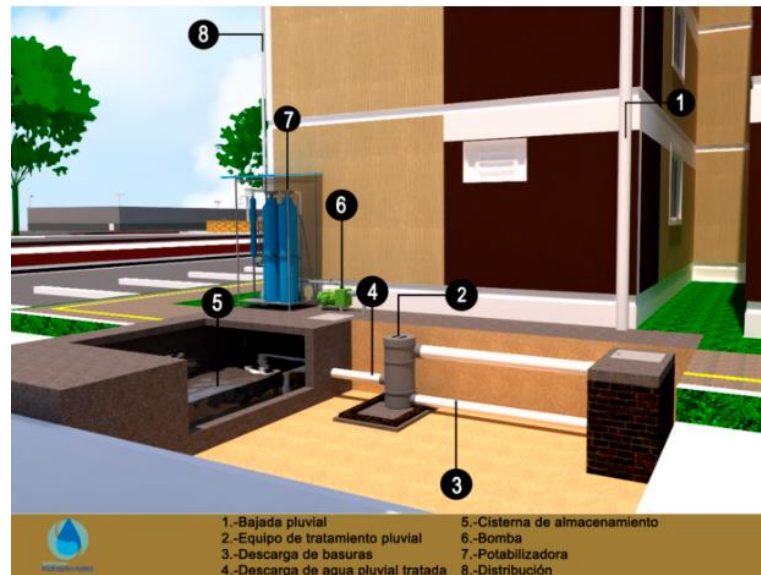
Figura 29.*Simulación Avanzada*

Nota. La imagen representa un tipo de software de mapa digital, se visualizan diferentes colores y líneas que representan los flujos de agua, desde el azul claro para los flujos más pequeños hasta el azul oscuro para las áreas de mayor acumulación de agua. Elera, (2016) Software libre, un instrumento en la ingeniería de los recursos hídricos [Text] ; iAgua.

4.3.6 Reutilización de Aguas Pluviales

Avances: Sistemas que capturan, almacenan y tratan agua proveniente de la lluvia para volver a utilizarla en aplicaciones no potables como riego y limpieza.

Futuras Direcciones: Integración de tecnologías avanzadas de filtración y purificación para ampliar el uso de aguas pluviales tratadas a aplicaciones potables. Desarrollos de distintos sistemas que captan y almacenan las aguas pluviales a nivel residencial y comercial (Zischg et al., 2019).

Figura 30.*Aguas Pluviales*

Nota. La imagen muestra edificios donde se pueden observar sistemas de captación de agua de lluvia, que incluyen grandes tanques para almacenamiento de color azul y paneles recolectores dispuestos estratégicamente para maximizar la captura de agua. Reutilización del agua de lluvia | Soluciones Hidropluviales, (2023).

4.3.7 Inteligencia Artificial y Machine Learning

Detección Automática de Anomalías: Los drones equipados con IA pueden analizar imágenes y datos en tiempo real, identificando automáticamente problemas como obstrucciones, erosión o daños en los drenajes.

Predicción de Fallos: Algoritmos de machine learning que pueden predecir áreas de riesgo con base en datos actuales y históricos, permitiendo la planificación proactiva de mantenimiento (Bujun et al., 2017).

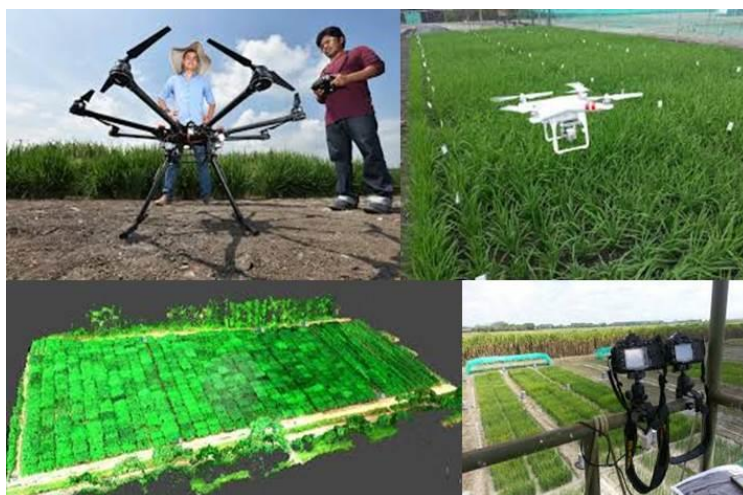
4.3.8 Drones Autónomos

Desarrollo de drones completamente autónomos que pueden realizar inspecciones sin necesidad de intervención humana, desde el despegue hasta el análisis de datos y el aterrizaje.

Enjambres de Drones: Grupos de drones trabajando juntos de manera coordinada para cubrir grandes áreas de drenaje de manera rápida y eficiente.

Figura 31.

Drones



Nota. La imagen muestra un grupo de drones autónomos de diseño aerodinámico sobre un área de terreno abierta, con canales de drenaje visibles. Los drones, de tamaño mediano, tienen un aspecto moderno y están equipados con cámaras y sensores en su parte inferior. Ibañez, (2021). Las Raíces y su exploración con drones mediante IA (Inteligencia Artificial)—Un Universo invisible bajo nuestros pies.

4.3.9 Integración con Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA):

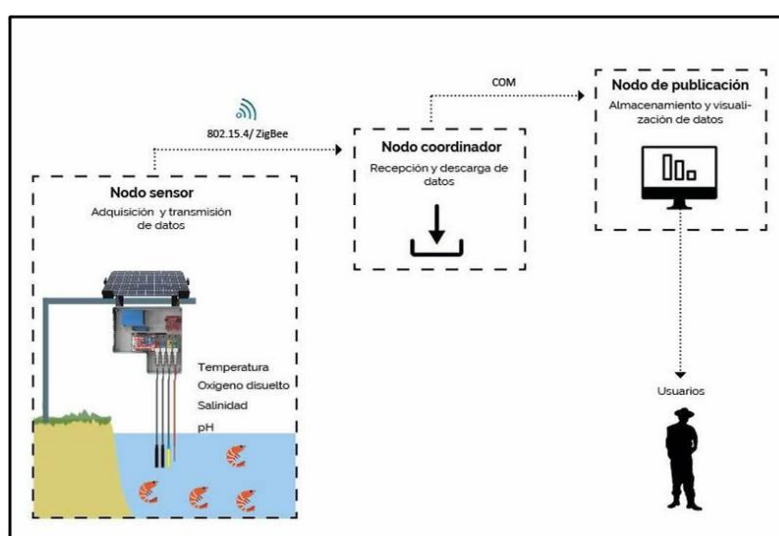
Utilización de RA para proporcionar a los operadores datos en tiempo real sobre las imágenes capturadas por los drones, mejorando la toma de decisiones. Simulaciones de RV para

entrenar a los operadores en la inspección de drenajes y para planificar y ensayar intervenciones de mantenimiento (Bujun et al., 2017).

4.3.9.1 Sensores de Contaminación y Calidad del Agua. Incorporación de sensores avanzados para la detección de contaminantes específicos en el agua, proporcionando datos precisos sobre la pureza del agua en los SDD.

Figura 32.

Sensores de Contaminación



Nota. La imagen presenta un conjunto de sensores avanzados diseñados para supervisar la pureza del agua en un entorno natural, como un río o un lago. Olivo-Gutiérrez, M., Verduzco-Ramírez, J., García-Díaz, N., Villalobos-Gómez, J., & Olivo-Gutiérrez, A. (2018). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica*, 22(2), 87-95.

Estos avances tecnológicos están cambiando el panorama del drenaje superficial, enfocándose en soluciones más sostenibles y eficientes. En el futuro, la integración de tecnologías inteligentes, materiales avanzados y enfoques sostenibles será clave para manejar de manera efectiva los desafíos del agua de lluvia y las inundaciones en entornos urbanos.

Análisis y discusión

La monografía sobre Estructuras Hidráulicas de Drenaje Superficial (SDDS) permitió explorar un campo esencial de la ingeniería civil y el manejo del agua en proyectos urbanos y rurales. Este apartado compila y analiza críticamente los hallazgos de cada capítulo, resaltando su importancia desde un enfoque técnico y personal, basado en los aprendizajes del diplomado y las perspectivas de los autores consultados.

El primer capítulo da antelación a la evolución histórica en relación y fundamentos del drenaje superficial, la evolución de esta índole demuestra cómo la humanidad ha priorizado el manejo del agua para adaptarse a condiciones climáticas y topográficas. Si bien las civilizaciones antiguas utilizaban métodos rudimentarios, como zanjas o canales, hoy se busca integrar eficiencia hidráulica con sostenibilidad ambiental. Esto reafirma que, aunque los principios básicos permanecen constantes, las soluciones deben adaptarse al contexto tecnológico y ambiental actual.

Los fundamentos del drenaje superficial, como el manejo eficaz de los recursos hídricos y la mitigación de riesgos por inundaciones, siguen siendo principios universales. Sin embargo, algo que destaca es cómo el conocimiento actual ha evolucionado para incluir factores ambientales y de sostenibilidad. Por ejemplo, las técnicas modernas no solo buscan evacuar el agua, sino también minimizar el impacto en el medio ambiente, una consideración que en las civilizaciones antiguas no era prioritaria.

Los textos consultados, como los de Chow (1964) y Novotny (1994), ofrecieron una perspectiva sólida sobre los fundamentos hidráulicos y la importancia histórica del drenaje superficial. Chow, por ejemplo, presenta las bases técnicas de los sistemas hidráulicos con un enfoque práctico, mientras que Novotny aporta una visión más moderna, destacando la

integración de aspectos ecológicos en el diseño. Sus enfoques complementarios permitieron entender cómo los fundamentos teóricos han evolucionado con el tiempo.

Con respecto al capítulo 2 se realizó una recopilación de los componentes principales de un sistema de drenaje superficial, el análisis reúne cada elemento como lo son las alcantarillas, los disipadores de energía y los pozos de registro, se evidenció el rol específico para garantizar la funcionalidad del sistema. Durante el diplomado, se hizo énfasis en cómo el diseño debe considerar variables clave como la topografía, el clima y los tipos de suelo, esto es fundamental para adaptar las estructuras a las condiciones locales.

Desde un análisis personal, uno de los retos más destacados es la correcta implementación de disipadores de energía en zonas urbanas, donde las pendientes pronunciadas y la impermeabilización del suelo aumentan el caudal y la velocidad del flujo. Los autores coinciden en que un diseño inadecuado puede derivar en erosión o colapsos estructurales, lo cual subraya la necesidad de un diseño interdisciplinario y fundamentado en estudios geotécnicos. Para tener claridad en el tema se enfatizó en la búsqueda de bibliografía que proporcione descripciones técnicas sobre los diferentes componentes, autores como Mays (2010), Akan y Houghtalen (2003) aportaron descripciones técnicas y claras sobre los diferentes componentes de los sistemas de drenaje. Mays enfatiza la importancia del diseño eficiente basado en análisis hidráulicos detallados, mientras que Akan y Houghtalen destacan cómo las características locales influyen en la selección de componentes. Ambos enfoques enriquecieron la comprensión de cómo diseñar sistemas que funcionen tanto en áreas urbanas como rurales.

Dentro del capítulo tres se recopiló información sobre las aplicaciones en la ingeniería civil con relación al desarrollo urbano, la información mostró cómo el drenaje superficial es un componente esencial en proyectos de infraestructura urbana. La integración de tecnologías como

la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA), mencionada en la monografía, fue uno de los aspectos más novedosos. Estas herramientas no solo permiten visualizar y optimizar diseños antes de su construcción, sino también realizar simulaciones que predicen su comportamiento bajo diferentes escenarios climáticos.

Personalmente, considero que estas tecnologías representan el futuro del diseño de estructuras hidráulicas. Permiten mejorar la precisión en las proyecciones y facilitan la comunicación con otros actores del proyecto, como urbanistas y autoridades locales. Sin embargo, su implementación sigue siendo limitada en regiones en desarrollo, donde persisten retos económicos y tecnológicos. Dentro los aportes de autores leídos se encuentran que Scholz (2015), Butler y Davies (2010) resultaron clave para comprender las aplicaciones prácticas de los sistemas de drenaje. Scholz aborda el tema desde un enfoque ambiental y tecnológico, destacando la integración de conceptos sostenibles en el diseño de infraestructuras. Por otro lado, Butler y Davies proporcionan una visión pragmática sobre la implementación de sistemas de drenaje en entornos urbanos complejos, sus perspectivas permitieron un análisis holístico de los desafíos y oportunidades actuales.

Para terminar en el campo del drenaje superficial, se realizó el capítulo cuarto en relación a los avances tecnológicos, este apartado es importante porque en él se demuestra la evolución constantemente con nuevas técnicas, materiales como revestimientos autolimpiantes o permeables y enfoques sostenibles. Al incluir los avances recientes, aseguran que la investigación cómo la ingeniería hidráulica está avanzando hacia soluciones más sostenibles. Durante el diplomado, se discutió la importancia de considerar no solo la eficiencia hidráulica, sino también el impacto ambiental a largo plazo, esto es coherente con las tendencias globales hacia infraestructuras resilientes al cambio climático.

Desde una perspectiva más genérica, uno de los aspectos más prometedores es el uso de modelos de inteligencia artificial para el monitoreo y mantenimiento predictivo de los sistemas de drenaje. Los autores consultados subrayan cómo estas herramientas pueden reducir costos operativos e incrementar la vida útil de las estructuras, algo que se considera crucial en proyectos con presupuestos limitados, para este capítulo se ofrecieron perspectivas valiosas sobre avances tecnológicos y desafíos emergentes en la gestión del drenaje superficial. Marsalek explora el uso de modelos matemáticos para simular sistemas de drenaje, mientras que Bertrand-Krajewski et al. abordan la implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real, ambos enfoques resaltan cómo las innovaciones pueden mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas existentes.

En conjunto, este análisis reafirma que las estructuras hidráulicas de drenaje superficial no solo son un componente técnico de la ingeniería civil, sino también un reflejo de las prioridades ambientales, tecnológicas y sociales de cada época. A través de esta monografía, se comprendió la importancia de un enfoque interdisciplinario que integre ingeniería, tecnología y sostenibilidad. Los aprendizajes del diplomado y la consulta de fuentes académicas han enriquecido mi entendimiento, permitiéndome no solo analizar los sistemas existentes, sino también vislumbrar su potencial evolución hacia un futuro más eficiente y resiliente.

Conclusiones

Es necesario resaltar la vital importancia de las estructuras hidráulicas de drenaje superficial en la ingeniería civil, evidenciando su evolución histórica y su capacidad para adaptarse a los retos contemporáneos, como la sostenibilidad y el cambio climático. Desde sus orígenes rudimentarios hasta las innovaciones modernas, estas estructuras no solo han facilitado el riego y la protección contra inundaciones, sino que también han demostrado ser fundamentales en la gestión del recurso hídrico, el cual escasea más al pasar el tiempo y crítico. Al explorar estos aspectos, también invita a una reflexión más profunda sobre la responsabilidad que conlleva el diseño y la implementación de soluciones hidráulicas en el actual contexto ambiental. Es un llamado a la acción, instando a las nuevas generaciones a valorar y promover prácticas innovadoras y sostenibles que aseguren el manejo eficiente del agua, garantizando así un futuro resiliente y capaz de afrontar los desafíos que se presenten.

La evolución de las estructuras hidráulicas de drenaje superficial representa un viaje fascinante a través de la historia de la ingeniería civil, marcando nuestro progreso en el manejo del recurso hídrico tan importante como es el agua. Desde ingeniosas soluciones antiguas hasta sofisticadas infraestructuras contemporáneas, hemos aprendido a adaptarnos a los desafíos de nuestro entorno. Este análisis exhaustivo no solo pone de manifiesto la técnica detrás de estas estructuras, sino también la necesidad imperiosa de una gestión sustentable del recurso hídrico en el mismo contexto del fenómeno del cambio climático. Es fundamental que tanto estudiantes como profesionales en el campo continúen explorando y valorando estas innovaciones, promoviendo prácticas que aseguran la pureza del agua y la disposición para las futuras generaciones. La historia del drenaje superficial es, sin duda, una invitación a seguir

desarrollando soluciones ingeniosas que respondan a las crecientes demandas de nuestra sociedad.

El drenaje superficial ha sido vital para la remoción y manejo del agua superficial, sus principales orígenes han sido gracias a la agricultura, dando una solución a escorrentía de agua superficial en exceso y sales que pueden acumularse en estos, ayudando a mantener un entorno saludable y funcional para el crecimiento de cultivos y mantener el suelo óptimo para su crecimiento, como los que usaron los antiguos egipcios tanto para sus cultivos como para proteger sus ciudades contra las inundaciones que podían presentarse en el río Nilo, generando un sistema que sustentaba su agricultura y protegiendo a su población. Siempre ha existido la necesidad de usar el drenaje superficial donde haya civilización y su uso ha evolucionado, como en la edad media donde se empezó a usar para alcantarillado en ciudades, en la revolución industrial para manejar aguas pluviales. Actualmente se trabaja con sistemas donde se busca en lo posible eludir el transporte de sedimentos los cuales pueden obstruir el paso del agua y contaminantes que puedan afectar todo el cuerpo de agua de su desembocadura, apoyada de una planificación urbana adecuada y teniendo en cuenta la importancia de la salud pública. El drenaje superficial se caracteriza por su recolección de agua rápida y eficiente del agua lluvia, ubicación estratégica de rejillas y sumideros, uso de materiales permeables para disminuir la escorrentía en la superficie y ayudar a que se recarguen los acuíferos, también deben ser diseñados para eludir el desgaste por erosión del suelo, deben ser diseñado para manejar la cantidad máxima de agua esperada en tormentas.

Es importante implementar la minimización de la impermeabilización de los drenajes superficiales ya que la urbanización genera consecuencias negativas como escorrentía excesiva, erosión del suelo y contaminación del agua, un desarrollo sostenible debería contar con una

planificación con contribuya a la infiltración de agua como pueden ser pavimentos permeables, zanjas de infiltración, pozos de absorción, jardines de infiltración, etc. De lo contrario el excesivo drenaje podría llevar al deterioro de los servicios obtenidos en ecosistemas y a perder biodiversidad.

Las zanjas abiertas desempeñan un papel crucial en la construcción y en áreas urbanas, ya que ayudan a drenar el agua de sitios de construcción y a gestionar el agua de lluvia, previniendo daños como inundaciones y erosión. La implementación de SDD superficial y el diseño como este juegan un papel vital en la gestión eficaz del agua pluvial y superficial, así como en la preservación de la infraestructura. A través de una comprensión exhaustiva de sus componentes, se evidencia cómo cada elemento desde las descoles cunetas hasta los canales y zanjas contribuye a un sistema interconectado que previene inundaciones y asegura el flujo adecuado del agua. A medida que enfrentamos desafíos ambientales y urbanísticos cada vez más complejos, es imperativo que los ingenieros adopten enfoques proactivos y creativos para diseñar soluciones que sean tanto eficaces como responsables con el entorno. Al final, esta sabia gestión del agua será la clave para construir infraestructuras y garantizar un futuro sostenible.

La crucial intersección entre la ingeniería civil y la gestión eficiente del drenaje superficial, destacando cómo la innovación y la sostenibilidad están transformando este ámbito. Al integrar tecnologías avanzadas y prácticas ecológicas, no solo mejoramos la efectividad de los sistemas de drenaje, sino que también fomentamos un enfoque más responsable hacia nuestro entorno. A medida que enfrentamos desafíos ambientales cada vez más complejos, es imperativo que los ingenieros abracen estos enfoques novedosos, contribuyendo así a la creación de infraestructuras más resilientes, sostenibles y que realmente benefician a nuestras comunidades. Esto es una invitación a que actuemos los profesionales de la zona: adaptarse, innovar y liderar el

camino hacia un futuro donde la gestión del agua no solo sea eficiente, sino también en armonía con la naturaleza.

Referencias bibliográficas

- Abellán, A. (2014, abril 28). Consideraciones en el uso de las cunetas verdes. *SuD Sostenible*.
<http://sudsostenible.com/consideraciones-en-el-uso-de-cunetas-verdes/>
- Alarcon, S. (2022). *Internet de las cosas—ADASA*.
<https://www.adasasystems.com/es/tecnologia/internet-de-las-cosas.html>
- Alonso, I. F. J., & de, A. (2005). *Diseño Hidráulico De Alcantarillas*.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33602878/disenio_hidraulico__de_alcantarillas-libre.pdf?1398939158=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENO_HIDRAULICO_DE_ALCANTARILLA_S.pdf&Expires=1723594680&Signature=FLFZ2Y~27~YxR5TFvxaLWe9SsSdQZ7Br0R
- Aranda, J. Á., Beneyto, C., Sánchez-Juny, M., & Bladé, E. (2021). *Efficient Design of Road Drainage Systems* [Diseño eficiente de sistemas de drenaje de carreteras]. *Water*, 13(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/w13121661>
- Arango, S. (2022, junio 3). Concreto Permeable: Desarrollo Urbano De Bajo Impacto. 360 en concreto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto/>
- Arciniegas, C. A. E. (2004). *Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/47d045df-7414-4456-8517-c47722b5b0e0/content>.
- Asawa, G. L. (2006). *Irrigation and Water Resources Engineering [Ingeniería de Riego y Recursos Hídricos]*. New Age International.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Kk5fO48IqosC&oi=fnd&pg=PA12&dq=Irrigation+and+Water+Resources+Engineering&ots=0neOq2v6iq&sig=GkGGCgdTjYl1OI>

q_iOqf6hAY0yE#v=onepage&q=Irrigation%20and%20Water%20Resources%20Engineering&f=false.

Barbosa, A. E., Fernandes, J. N., & L.M, D. (2012). Key issues for sustainable urban stormwater management [Cuestiones clave para la gestión sostenible de las aguas pluviales urbanas]. *Water Research*, 46(20), 6787-6798. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.029>

Béjar, M. V. (2007). *Drenaje*. Editorial Tecnologica de CR.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CmZpRBTAAAn0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=drenaje+superficial&ots=PZUEt78kr2&sig=CQGEqCrTeejx-Ha3fLT0m9d-GRg#v=onepage&q=drenaje%20superficial&f=false>

Bonilla, C., Ramón Valencia, J., & Ramón Valencia, J. (2022). *Sistemas De Drenaje Urbano - Sumideros De Captación De Aguas Lluvias*.
<http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/3253>

Bruce, M. E. C., Berg, R. R., Filz, G. M., Terashi, M., Yang, D. S., Collin, J. G., & Geotechnica, Sa., Inc. (2013). *Federal Highway Administration Design Manual: Deep Mixing for Embankment and Foundation Support* (FHWA-HRT-13-046) [Manual de diseño de la Administración Federal de Carreteras: Mezcla profunda para soporte de terraplenes y cimientos]. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/37379>

Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations [Mecánica de suelos y cimentaciones]*. John Wiley and Sons.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3q0iWIt_kxQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Soil+Mechanics+and+Foundations&ots=XPCBMLiKz1&sig=RVXdE58m6gKF1lYRVSGGKwXPVPU#v=onepage&q=Soil%20Mechanics%20and%20Foundations&f=false

- Bujun, H., Khedo, K., & Proag, V. (2017). *Technological Advances in Wireless Sensor Network Systems for Urban Drainage Monitoring [Avances tecnológicos en sistemas de redes de sensores inalámbricos para el monitoreo de drenaje urbano]*.
<https://core.ac.uk/reader/234644040>
- Burian, S. J., & Edwards, F. G. (2012). *Historical Perspectives of Urban Drainage [Perspectivas históricas del drenaje urbano]*. 1-16. [https://doi.org/10.1061/40644\(2002\)284](https://doi.org/10.1061/40644(2002)284)
- Butler, D. (2018). *Drenaje urbano*. Universidad de los Andes.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/7bf82de9-8fd5-4ee0-bf86-13218c78b885/content>
- Cabrera, R. (2023). *Alcantarillas Metálicas*. Alcantarillas-metalicas.com. <https://alcantarillas-metalicas.com/>
- Cedergren, H. R. (1997). *Seepage, Drainage, and Flow Nets [Redes de filtración, drenaje y flujo]*. John Wiley & Sons. https://books.universidad de Pamplona.es/books?hl=es&lr=&id=xD4ouHFvp_wC&oi=fnd&pg=PR15&dq=Seepage,+ Drainage,+and+Flow+Nets&ots=vbucyBVzUy&sig=zuIo9tImsfOeHgYPjHsm9SBp_Oc#v=onepage&q=Seepage%2C%20Drainage%2C%20and%20Flow%20Nets&f=false
- Cettner, A., Ashley, R., Viklander, M., & Nilsson, K. (2013). Stormwater management and urban planning: Lessons from 40 years of innovation [Gestión de aguas pluviales y planificación urbana: lecciones de 40 años de innovación]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(6), 786-801.
<https://doi.org/10.1080/09640568.2012.706216>

Chadwick, A. (2021). *Hidráulica en Ingeniería Civil y Ambiental*.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/8197382e-d6a4-4e70-94be-bc38765b2b65>

Chanson, H. (2015). *Energy Dissipation in Hydraulic Structures* [Disipación de energía en estructuras hidráulicas]. CRC Press.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YdY_CQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Energy+Dissipation+in+Hydraulic+Structures&ots=2BgBggWsMp&sig=ejqKJSnDpEEt4HdktsOe1dZAHec

Chaudhry, M. H. (2022). Steady Flow Conservation Laws [Leyes De Conservación Del Flujo Estacionario]. En M. H. Chaudhry (Ed.), *Open-Channel Flow* (pp. 31-60). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96447-4_2

Chaudhry, M. H. (2022). *Open-channel flow [Flujo en canal abierto]*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96447-4_2

Chaudhry, M. H. (2008). *Open-channel flow* (Vol. 523). New York: Springer.

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-96447-4>

Chow, W. L., & Addy, A. L. (1964). Interaction between primary and secondary streams of supersonic ejector systems and their performance characteristics [Interacción entre corrientes primarias y secundarias de sistemas eyectores supersónicos y sus características de rendimiento]. *AIAA Journal*, 2(4), 686-695.

<https://doi.org/10.2514/3.2403>

- Cuadros López, K. P., & Vargas Mateus, I. G. (2022). *Guía metodológica para el diseño de sistemas de drenaje superficial en vías urbanas de bajo tráfico y aplicación a un caso de estudio*. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2122>
- Cubides, E. D., Santos, G. E., Cubides, E. D., & Santos, G. E. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 32-42.
<https://doi.org/10.31908/19098367.3813>
- Cushman, J. H., & Tartakovsky, D. M. (2016). *The Handbook of Groundwater Engineering [El manual de ingeniería de aguas subterráneas]*. CRC Press.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4WDLBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=The+Handbook+of+Groundwater+Engineering&ots=wO05qBSnKy&sig=zUSELBJfHdGqXkq8jnGEP3rg-QY>
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2017). *Fundamentals of Geotechnical Engineering [Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica]*. Cengage Learning. <http://www.cengage.com>
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2018). *Principles of Foundation Engineering [Principios de ingeniería de cimientos]*. Cengage Learning.
<https://cengage.com.au/product/title/principles-of-foundation-engineering/isbn/9781337705028>
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles Of Geotechnical Engineering [Principios De Ingeniería Geotécnica]*, 8th Edition.
https://www.academia.edu/download/54650265/principles_of_geotechnical_engineering_si_8e_solutions_manual.pdf

Departamento nacional de Planeación (2020). *Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS*. (2020).

https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=250&Itemid=321

Davie, T. (2019). *Fundamentos de hidrología*. Routledge.

<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203798942/fundamentals-hydrology-tim-davie>

Davis, M. L. (2010). *Water and wastewater engineering: Design principles and practice [Ingeniería de aguas y aguas residuales: principios y práctica de diseño.]*. McGraw-Hill.

<https://thuvienshoasen.edu.vn/handle/123456789/9253>

De Feo, G., Antoniou, G., Fardin, H. F., El-Gohary, F., Zheng, X. Y., Reklaityte, I., Butler, D., Yannopoulos, S., & Angelakis, A. N. (2014). The Historical Development of Sewers Worldwide [El desarrollo histórico de las alcantarillas en todo el mundo]. *Sustainability*, 6(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/su6063936>

Dasilva, N. (2016). Boletín oficial del estado. *Drenaje De La Plataforma Y Márgenes*.

Carreteros. http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/3.htm

Dasilva, N. 60 J. 10 de M. (2016). Boletín Oficial Del Estado. Carreteros.org. Recuperado el 28 de agosto de 2024, de http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/pdfs/3.pdf

Elera, Y. E. C. (2016, diciembre 12). *Software libre, un instrumento en la ingeniería de los recursos hídricos* [Text]. iAgua; <https://www.iagua.es/blogs/yoel-esleiter-cordova-elera/software-libre-instrumento-ingenieria-recursos-hidricos>

Eslamian, S. (2014). *Handbook of Engineering Hydrology: Fundamentals and Applications [Manual de ingeniería hidrológica: fundamentos y aplicaciones]*. CRC Press.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SH3NBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Handbook+of+Engineering+Hydrology&ots=uTr9cd_RFu&sig=vPJkWkUZXB-mp0QmAGvyNTUzJP0

Fetter, C. W. (2018). *Applied Hydrogeology: Fourth Edition* [Hidrogeología Aplicada: Cuarta Edición]. Waveland Press.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BYZXDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Applied+Hydrogeology:+Fourth+Edition&ots=kHZyfm1gBU&sig=aNkbGzgSSpQOu_1iYH1tBfvVia0

Findley, D. J., Schroeder, B., Cunningham, C. M., & Jr, T. H. B. (2015). *Highway Engineering: Planning, Design, and Operations* [Ingeniería de Carreteras: Planificación, Diseño y Operaciones]. Butterworth-Heinemann.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=GOacBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Highway+Engineering:+Planning,+Design,+and+Operations+&ots=3p-HgmNiFL&sig=ZJ5cLwJl7nPgybN6YzFuJSqpheY>

Fonseca, J. M., & Alonso, J. (2006). Historia y tecnica del camino. *Revista de Obras Publicas*, 3.470. <https://trid.trb.org/View/843587>

García, A. B. (2020). Informe Técnico De Proyecto I+ D Del Ministerio De Economía Y Competitividad (Programa Estatal De Fomento De La Investigación Científica Y Técnica De Excelencia, Subprograma Estatal De Generación Del Conocimiento. Plan Estatal De Investigación. *Entreculturas. Revista de Traducción y Comunicación Intercultural*, (10), 483-487. *redSUDS*. <https://redsuds.es/cunetas-vegetadas/>

García López, N., & Coral Flórez, J. A. (2015). *Manual comparativo de hidrología básica para drenaje superficial*. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/203>

- Gencel, Z. (2013). Diseño mejorado de alcantarillas de drenaje pluvial en carreteras. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(3), 77-85. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382013000300007&script=sci_arttext&tlng=pt
- Goldman, S. J., & Jackson, K. E. (1986). Erosión And Sediment Control Handbook [Manual De Control De Erosión Y Sedimentos]. <https://trid.trb.org/View/279833>
- Gribbin, J. E. (2014). *Introduction to hydraulics and hydrology with applications for stormwater management* (Fourth edition) [Introducción a la hidráulica y la hidrología con aplicaciones para la gestión de aguas pluviales (Cuarta edición)]. Delmar/Cengage Learning.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/110255383/Introduction_to_Hydraulics_Hydrology_With_Applications_for_Stormwater_Management_by_John_E._Gribbin_z_lib.org-libre.pdf?1704844074=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIntroduction_to_Hydraulics_and_Hydrology.pdf&Expires=1732636082&Signature=VLmnl5sSd5hKrh9Q8Fdk6Ci7oNXJUtpTadGoayQk
- Guerra Chayña, P. R., & Guerra Ramos, C. E. (2020). Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 20(20), 121-140.
<http://fidesetratio.ulasalle.edu.bo/index.php/fidesetratio/article/view/76>
- Guo, J. C.-Y. (2006). *Urban Hydrology and Hydraulic Design* [Hidrología Urbana y Diseño Hidráulico]. Water Resources Publication.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Nh8Y3vIjXK8C&oi=fnd&pg=PR5&dq=Water-resources+engineering&ots=xhrwmggh_Rr&sig=I6_dxHOJ6wZdkMmyjTxJ1B6HAGI

- Gupta, R. S. (2016). *Hydrology and Hydraulic Systems: Fourth Edition [Hidrología y Sistemas Hidráulicos: Cuarta Edición]*. Waveland Press.
https://books.google.com/books?id=x0MbDQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Hydrology+and+Hydraulic+Systems&hl=es&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKWwj1p5mNoPqJAXUPg4QIHW-oFpMQ6AF6BAgMEAI
- Hart, R. J. (2002). *Pumps And Their Systems—A Changing Industry [Bombas Y Sus Sistemas: Una Industria En Cambio]*.
<https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/164034/13.pdf?sequence=1>
- Herr, L. A., & Branch, U. S. B. of P. R. B. D. H. (1965). *Capacity Charts for the Hydraulic Design of Highway Culverts [Cuadros de capacidad para el diseño hidráulico de alcantarillas de carreteras]*. U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rftwa4bVUEmQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Capacity+Charts+for+the+Hydraulic+Design+of+Highway+Culverts&ots=PDEQA2nZ64&sig=i3Xpwaz-sd1PXnQK0KXhKY1hWPQ#v=onepage&q=Capacity%20Charts%20for%20the%20Hydraulic%20Design%20of%20Highway%20Culverts&f=false>
- Herrero, R. (2014). La nueva norma 5.2 – *IC de drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras* | *Es el agua*. <https://eselagua.com/2016/06/30/la-nueva-norma-5-2-ic-de-drenaje-superficial-de-la-instruccion-de-carreteras/>
- Horton, Robert. E. (1933). The Rôle of infiltration in the hydrologic cycle [El papel de la infiltración en el ciclo hidrológico]. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 14(1), 446-460. <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>

- Howard, A. D., Dietrich, W. E., & Seidl, M. A. (1994). Modeling fluvial erosion on regional to continental scales [Modelización de la erosión fluvial a escala regional y continental]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B7), 13971-13986.
<https://doi.org/10.1029/94JB00744>
- Harri, B. (2011). *Muros De Mampostería, Cunetas Y Albardillas En Carreteras De Gipuzkoa*. Harri Construcciones & Mampostería. <https://www.harri.eus:443/es/muros-de-mamposteria-cunetas-y-albardillas-en-carreteras-de-gipuzkoa/>
- Huggett, R. (2022). *Fundamentos de la geomorfología*.
[https://books.google.com.co/books?id=ISYTE76IzugC&pg=PA23&dq=Fundamentos+de+la+geomorfolog%C3%ADa.&hl=es&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUK](https://books.google.com.co/books?id=ISYTE76IzugC&pg=PA23&dq=Fundamentos+de+la+geomorfolog%C3%ADa.&hl=es&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKEwj70Pmdp_qJAxX0soQIHdBKDEkQ6AF6BAgHEAI)
[Ewj70Pmdp_qJAxX0soQIHdBKDEkQ6AF6BAgHEAI](https://books.google.com.co/books?id=ISYTE76IzugC&pg=PA23&dq=Fundamentos+de+la+geomorfolog%C3%ADa.&hl=es&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKEwj70Pmdp_qJAxX0soQIHdBKDEkQ6AF6BAgHEAI)
- Hydraulics, A. A. of S. H. and T. O. T. F. on H. and. (2007). *Highway Drainage Guidelines [Pautas de drenaje de carreteras]*. AASHTO.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9ClFdkVjlfwC&oi=fnd&pg=PR1&dq=Highway+Drainage+Guidelines+&ots=JyDVL7UlmH&sig=p-6jz_h92f8JVFFgSRLSzFE6N_s#v=onepage&q=Highway%20Drainage%20Guidelines&f=false
- Ibañez, J. (2021, septiembre 20). *Las Raíces y su exploración con drones mediante IA (Inteligencia Artificial)—Un Universo invisible bajo nuestros pies*.
<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2021/09/20/151230>
- Javaid, M. S. (2012). *Drainage Systems [Sistemas de drenaje]*. BoD – Books on Demand.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169404003749>

- Javier, G., Carlos, & Ernesto, V., Wilson. (2012). *Diseño Geometrico de Vías*. Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
<https://www.academia.edu/download/55513650/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo.pdf>
- Kendrich, P. (2004). *Obras viales: Teoría y práctica*.
- Kourtis, I. M., & Tsihrintzis, V. A. (2021). Adaptation of urban drainage networks to climate change: A review [Adaptación de las redes de drenaje urbano al cambio climático: una revisión]. *Science of The Total Environment*, 771, 145431.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145431>
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., Miller, J. P., & Wohl, E. E. (2020). *Fluvial Processes in Geomorphology* [Procesos Fluviales en Geomorfología]. Courier Dover Publications.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=vnb2DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=Fluvial+Processes+in+Geomorphology+&ots=znSOZGoraf&sig=B7XdU46nZ6WDgGkP9F0uj0FTBAw>
- Li, S., Xiao, S.-H., & Chen, W.-T. (2017). Hydraulic system design and performance simulation for urban drainage pipeline dredging device [Diseño de sistema hidráulico y simulación de desempeño para dispositivo de dragado de tuberías de drenaje urbano]. En *Mechatronics and Manufacturing Technologies* (pp. 79-85). World Scientific.
https://doi.org/10.1142/9789813222359_0012
- Linsley Jr, R. K., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. H. (1975). *Hydrology For Engineers*.
<https://trid.trb.org/View/42130>
- Marriott, M. (2009). *Civil Engineering Hydraulics [Hidráulica Ingeniería Civil]*. John Wiley & Sons.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=JbZ_Vfe5eC8C&oi=fnd&pg=PP11&dq=C

ivil+Engineering+Hydraulics+&ots=9rnm7UT69L&sig=6SoiRhw1A1avdBNM6qWz-E-SjpQ

- Marsalek, J. (2013). Fifty years of innovation in urban stormwater management: Past achievements and current challenges [Cincuenta años de innovación en la gestión de aguas pluviales urbanas: logros pasados y desafíos actuales]. En E. Brelot (Ed.), *Novatech 2013—8ème Conférence internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie / 8th International Conference on planning and technologies for sustainable management of Water in the City*. GRAIE, Lyon, France. <https://hal.science/hal-03303444>
- Mays, L. W. (2010). *Water Resources Engineering [Ingeniería de Recursos Hídricos]*. John Wiley & Sons.
- https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=JbZ_Vfe5eC8C&oi=fnd&pg=PP11&dq=Civil+Engineering+Hydraulics+&ots=9rnm7UT69L&sig=6SoiRhw1A1avdBNM6qWz-E-SjpQ
- Mays, L. W., & Todd. (2005). *Hidrología de aguas subterráneas y superficiales | Catálogo de la Biblioteca de Investigación y Universidad de Wageningen*.
- <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/1996116>
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). The value of wetlands: Importance of scale and landscape setting [El valor de los humedales: importancia de la escala y el entorno paisajístico]. *Ecological Economics*, 35(1), 25-33. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00165-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00165-8)
- Montejo Fonseca, A. (1998). *Ingeniería De Pavimentos Para Carreteras*.
- <https://trid.trb.org/View/959992>

- Murthy, V. N. S. (2002). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering* [Ingeniería geotécnica: principios y prácticas de mecánica de suelos e ingeniería de cimientos]. CRC Press.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=MUdZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Geotechnical+Engineering:+Principles+and+Practices+of+Soil+Mechanics+and+Foundation+Engineering+&ots=iDlCcZxgGF&sig=MsAhWgt5wGpgooiEobT9_iSkSbI
- Nagore, C. (2021), *Elogio de la cuneta* – Historias de Carreteras.
<https://historiasdecarreteras.com/elogio-de-la-cuneta/>
- Nayyar, M. L. (Ed.). (2000). *Piping handbook* [manual de tuberías] (7th ed). McGraw-Hill.
<https://doi.org/10.1201/9780429459757>
- Nesbitt, B. (2006). *Handbook of Pumps and Pumping: Pumping Manual International* [Manual de Bombas y Bombeo: Manual de Bombeo Internacional]. Elsevier.
https://books.google.es/url?id=aWZxT3565r0C&pg=PP1&q=https://www.elsevier.com/books-and-journals&linkid=1&usg=AOvVaw2PQWSEH0tWFrhs0LPBEz6M&source=gbs_pub_info_r
- Nguyen, P., Hoang Nam, B., Thiep, T. H., Indra, P., & Pham, B. T. (2024). *Impact of roughness elements on reducing flow velocity at outlets of box culverts* [Impacto de los elementos de rugosidad en la reducción de la velocidad del flujo en las salidas de las alcantarillas tipo cajón] [Pdf]. <https://doi.org/10.34910/MCE.125.3>
- Norman, J. M., Houghtalen, R. J., Johnston, W. A., & Ayres Associates. (2001). *Hydraulic Design of Highway Culverts* [Diseño hidráulico de alcantarillas de carreteras], Second Edition (FHWA-NHI-01-020). <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/58539>

- Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2024). *Pavement Design and Materials [Diseño y materiales de pavimento]*. John Wiley & Sons. <https://trid.trb.org/View/959992>
- Parkinson, J., & Mark, O. (2005). *Urban Stormwater Management in Developing Countries [Gestión de aguas pluviales urbanas en países en desarrollo]*. IWA Publishing. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Vvk8V7eLO1EC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Urban+Stormwater+Management+in+Developing+Countries+&ots=qi8S999pOX&sig=awifLuNL9nGK2TFVg-ulGehgcek>
- PcQro. (2019, agosto 20). Historia del Drenaje. *Plomería y Cerámica de Querétaro S.A. de C.V.* <https://pcqro.com.mx/recomendaciones/historia-del-drenaje/>
- Pimentel da Silva, L., & Souza, F. T. de. (2020). Stormwater Management: An Overview [Gestión de aguas pluviales: descripción general]. En W. Leal Filho, A. Marisa Azul, L. Brandli, P. Gökçin Özuyar, & T. Wall (Eds.), *Sustainable Cities and Communities* (pp. 652-662). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95717-3_16
- Ponce, V. M. (1989). Engineering hydrology: Principles and practices. (*No Title*). <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282270400320384>
- Puebla, J. H., Osorio, M. D. L. A., Robaina, F. G., Yunier Díaz Pérez, & Revista Ingeniería Agrícola. (2016). *Grain sorghum (Sorghum vulgare L. Monech) response to irrigation time and nitrogen fertilizer during two plantation dates* [Respuesta del sorgo granífero (Sorghum vulgare L. Monech) al tiempo de riego y fertilización nitrogenada durante dos fechas de plantación]. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28326.32325>
- Punmia, B. C., & Jain, A. K. (2005). *Soil Mechanics and Foundations [Mecánica de Suelos y Cimentaciones]*. Firewall Media.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3q0iWIt_kxQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Soil+Mechanics+and+Foundations&ots=XPCBMMgJC5&sig=wj67AYuzxOwxLLAqR87o_t5ySXA

Renard, K. G. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* [*Predicción de la erosión del suelo por el agua: una guía para la planificación de la conservación con la ecuación universal Revisada De Pérdida De Suelo (RUSLE)*]. U.S. Department Of Agriculture, Agricultural Research Service.

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cQEUAAYAAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Predicting+Soil+Erosion+by+Water:+A+Guide+to+Conservation+Planning+with+the+Revised+Universal+Soil+Loss+Equation+\(RUSLE\)+&ots=HDMfud8BQc&sig=LIy8TfqVTehK9HsUMWybjkL4Rxs](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cQEUAAYAAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Predicting+Soil+Erosion+by+Water:+A+Guide+to+Conservation+Planning+with+the+Revised+Universal+Soil+Loss+Equation+(RUSLE)+&ots=HDMfud8BQc&sig=LIy8TfqVTehK9HsUMWybjkL4Rxs)

Restrepo Barreto, J. D. (2024). *Análisis de patrones y características hidráulicas en estructuras de drenaje para la formulación de normativa técnica de drenaje urbano local, comparación Villavicencio—Tunja*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/54728>

Ramírez, Y. (2023). Reutilización Del Agua De Lluvia | *Soluciones Hidropluviales*.. <https://hidropluviales.com/2020/06/16/reutilizacion-del-agua-de-lluvia/>

Ritzema, H. P. (2006). *Drainage principles and applications* [*Principios y aplicaciones del drenaje*].; 3rd ed. (16; p.). ILRI. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/358171>

Rogers, M., & Enright, B. (2023). *Highway Engineering* [*Ingeniería de Carreteras*]. John Wiley & Sons. <https://trid.trb.org/View/287739>

Solsona, J. (2022). *Cunetas de canal abierto en AutoCAD* | *Descargar CAD (49.2 KB)*.. Bibliocad. https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/cunetas-canal-abierto_16101/

Sánchez, A. Y. (2024). *Modulo Alba—Google Drive*.

<https://drive.google.com/drive/folders/1quEVLf1nq10rXQvmiMYZDNiDnyGJljrT>

Scholz, M. (2015). Sustainable Drainage Systems [Sistemas de drenaje sostenibles]. *Water*, 7(5),

Article 5. <https://doi.org/10.3390/w7052272>

Schumm, S. A. (1981). *Evolution and Response of the Fluvial System [Evolución y Respuesta del Sistema Fluvial], Sedimentologic Implications*.

https://archives.datapages.com/data/sepm_sp/SP31/Evolution_and_Response.htm

Schumm, S. A. (2007). *River Variability and Complexity [Variabilidad y complejidad del río]*.

Cambridge University Press.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8vRzvyvfdusC&oi=fnd&pg=PP1&dq=River+Variability+and+Complexity&ots=nw4smFslzt&sig=4wn3yOwNdrBcUqh3l22L2MiAeM>

Şen, Z. (2014). *Practical and Applied Hydrogeology [Hidrogeología Práctica y Aplicada]*.

Elsevier.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=O2dzAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Practical+and+Applied+Hydrogeology&ots=pjqmYGO3fS&sig=x23Kuyn1tNwAa4bla_KdWAT59Ew

Seybert, T. A. (2006). Stormwater management for land development: Methods and calculatins

for quantity control [Gestión de aguas pluviales para el desarrollo territorial: métodos y cálculos para el control de cantidades]. (*No Title*).

<https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000796765500800>

Simonovic, S. P. (2020). *Systems Approach to Management of Water Resources—Toward*

Performance Based Water Resources Engineering [Enfoque sistémico para la gestión de

- los recursos hídricos: hacia una ingeniería de recursos hídricos basada en el rendimiento]. *Water*, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/w12041208>
- Singh, V. P. (2018). Hydrologic modeling: Progress and future directions [Modelización hidrológica: avances y direcciones futuras]. *Geoscience Letters*, 5(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0113-z>
- Shaw, P. (2019). *Sistema de drenaje en la casa de campo y cerca de la casa, qué es y por qué necesita un sistema de drenaje, un dispositivo para desviar aguas subterráneas y tipos de drenaje*. <https://esn-d.techinfus.com/drenazhnaya-sistema/kak-sdelat-na-uchastke/>
- Sivakumar, B. (2002). Hydrology and Floodplain Analysis [Análisis de hidrología y llanuras aluviales]. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 38(4), 1169. <https://search.proquest.com/openview/defa364f42061ab186bf753325df8dbc/1?pq-origsite=gscholar&cbl=34915>
- S.K, S. (2016). *Irrigation Engineering and Hydraulic Structures [Ingeniería de Riego y Estructuras Hidráulicas]*. S. Chand Publishing. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=WkRxDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Irrigation+Engineering+and+Hydraulic+Structures&ots=KrVYq7HbG2&sig=JSARJ0EhKotFif9A85wGjOCvymI>
- Spellman, F. R. (2008). *Manual de operaciones de plantas de tratamiento de agua y aguas residuales*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18963>
- Sturm, T. W. (2021). Open Channel Hydraulic, 3RD EDITION [HIDRÁULICA DE CANAL ABIERTO, 3.^a EDICIÓN]. *Open Channel Hydraulics*. <https://www.solutions-practice.com/uploads/b/eb4690-ed34-11ed-ba72-8735d4e660b1/8583d4e0-3dd2-11ee-b8fc-d3139f40fa32.pdf>

- Stuyt, L. C. P. M., Dierickx, W., & Beltrán, J. M. (2005). *Materials for Subsurface Land Drainage Systems [Materiales para sistemas de drenaje terrestre subterráneo]*. Food & Agriculture Org. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/08/MaterialesparaSistemasdeDrenajeSubterraneo.pdf>
- Teshome, M. (2020). *A Review of Recent Studies on Urban Stormwater Drainage System for Urban Flood Management [Una revisión de estudios recientes sobre sistemas de drenaje de aguas pluviales urbanas para la gestión de inundaciones urbanas]* (2020100295). Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202010.0295.v2>
- Suarez, E. (2024). *Tipos de drenajes y su importancia—IngeCivil*. <https://www.ingecivil.net/2019/05/29/tipos-de-drenajes-y-su-importancia/>
- Villalobos, V., Joyler, Y., Arriola, M. A., & Adolfo, G. (2017). *Universidad De Huánuco Facultad De Ingeniería Escuela Académico Profesional De Ingeniería Civil Trabajo De Suficiencia Profesional Para Optar El Título Profesional De: Ingeniero Civil*. https://www.academia.edu/40035959/FACULTAD_DE_INGENIERIA_ESCUELA_PROFESIONAL_DE_INGENIERIA_CIVIL_TESIS_PARA_OBTENER_EL_T%C3%8DTULO_PROFESIONAL_DE_INGENIERO_CIVIL_AUTOR
- Vega, A. O. (2023). *Rejillas Alcantarillado 0 Rejillas Plásticas 0 Rejillas Vehiculares 0 Rejillas Fuertes 0 Rejilla De Acueductos 0 Rejilla De Alcantarillados 0 Rejilla Para Sumideros 0 Rejilla Para Alcantarillado 0 Rejillas Aguas Lluvias 0 Rejillas Para Canaletas 0 Canaletas Con Rejillas 0*. <https://www.maderplast.co/15-rejillas-alcantarillado-0-rejillas-plasticas-0-rejillas-vehiculares-0-rejillas-fuertes-0-rejilla-de-acueductos-0-rejilla-de-alcantarillados-0-rejilla-para-sumideros-0-rejilla-para-alcantarillado-0-rejillas-aguas-lluvias.html>

Ward, A. D., & Trimble, S. W. (2003a). *Environmental Hydrology, Second Edition [Hidrología ambiental, segunda edición]*. CRC Press.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yANwmTjf588C&oi=fnd&pg=IA3&dq=Environmental+Hydrology,+Second+Edition+ward&ots=69j16ey27V&sig=1RpNNK9Z-EcxVpnRqUL2Xm0nfH8>

Ward, A. D., Trimble, S. W., & Publishers, L. (2009). *Intent Of The Course [Intención Del Curso]*. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/0309877770010105>

Webber, J. L., Fletcher, T., Farmani, R., Butler, D., & Melville-Shreeve, P. (2022). Moving to a future of smart stormwater management: A review and framework for terminology, research, and future perspectives [Avanzando hacia un futuro de gestión inteligente de aguas pluviales: una revisión y un marco para la terminología, la investigación y las perspectivas futuras]. *Water Research*, 218, 118409.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118409>

Xue, Z. (2020). *Sistemas de drenaje urbano sostenible*.

<https://eбуаh.uah.es/dspace/handle/10017/44038>

Yepes, V. (2020). *Drenaje de excavaciones mediante zanjas perimetrales* – El blog de Víctor Yepes. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2020/03/30/drenaje-de-excavaciones-mediante-bombeo-desde-zanjas-perimetrales/>

Yingyong, X. (2015). *Advances in low impact development technology for urban stormwater management [Avances en tecnología de desarrollo de bajo impacto para la gestión de aguas pluviales urbanas]*. | Yingyong Shengtai Xuebao | EBSCOhost.

<https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A4%3A28067988/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A103434062&crl=c>

Zischg, J., Rogers, B., Gunn, A., Rauch, W., & Sitzenfrei, R. (2019). Future trajectories of urban drainage systems: A simple exploratory modeling approach for assessing socio-technical transitions [Trayectorias futuras de los sistemas de drenaje urbano: un enfoque de modelado exploratorio simple para evaluar las transiciones sociotécnicas]. *Science of The Total Environment*, 651, 1709-1719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.061>

Zeedyk, B., y Jansens, JW (2004). *Introducción al control de la erosión*. Earth Works Institute. <https://nwaltoolkit.com/wp-content/uploads/2021/06/An-Introduction-to-Erosion-Control.pdf>

Zubillaga, A. *Canales de drenaje*. (2022). ULMA Architectural. <https://www.ulmaarchitectural.com/es-es/canales-de-drenaje>