



UNA REVISIÓN SOBRE LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO: UN ESTADO DEL ARTE

Juliana Rafaela Ayola Fontalvo

Universidad Magdalena

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Santa Marta D.T.C.H., Colombia
2020



UNA REVISIÓN SOBRE LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO: UN ESTADO DEL ARTE

Juliana Rafaela Ayola Fontalvo

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Civil

Director (a):

Ing, M. Sc, Ph.D. Carlos Arturo Martínez Cano

Director Grupo Integrado de Investigación en Ingeniería Civil - GIIC

Línea de Investigación:

Hidráulica

Grupo de Investigación:

Grupo Integrado de Investigación en Ingeniería Civil - GIIC

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Santa Marta D.T.C.H., Colombia

2020

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad del Magdalena para optar al título de Ingeniera Civil

Jurado

Jurado

Santa Marta, 21 de mayo de 2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero que todo a Dios por todas las bendiciones y amor infinito que me ha brindado día a día para cumplir con cada una de las cosas que me propongo.

A mis padres Julio Ayola y Marivi Fontalvo, por haberme proporcionado la oportunidad de formarme profesionalmente y enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue.

A mi hermana, demás familiares y amigos que me brindaron su compañía y apoyo constante.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Carlos Martínez Cano, el Director de mi pasantía, por su paciencia, dedicación, y acompañamiento a lo largo del proceso de la realización de esta.

Gracias a la Universidad Del Magdalena, su cuerpo docente y a cada una de las personas que fueron partícipes del proceso a lo largo del estudio de mi pregrado, ya sea de manera directa o indirecta, por cada uno de sus aportes que hoy en día se ven reflejado en la culminación de mi paso por esta alma mater.

Resumen

Los sistemas de alcantarillado y de drenaje urbano, son una serie de tuberías y obras complementarias, necesarias para recibir y evacuar las aguas residuales de la población, ya sean domésticas o industriales y la escorrentía superficial producida por la lluvia, dentro de sus funciones primarias se encuentra la conducción de fluidos, mitigar la contaminación ambiental y sanitaria puesto que el objetivo de estos sistemas es el de mejorar la calidad de vida de la sociedad global; estos sistemas requieren de un cuidado específico el cual se realizan a través de inspecciones, estudios y/ o pruebas a las tuberías y diferentes estructuras que conforman dichos sistemas.

La rehabilitación de las redes de alcantarillado son aquellas intervenciones que se realizan para el mejoramiento y el estado óptimo de estos.

Este documento reúne una información concreta sobre algunos temas principales dentro de la rehabilitación de redes de alcantarillado y de drenaje urbano, se realiza una revisión de los métodos implementados para afrontar con los diferentes impactos generados a raíz de estos trabajos, como también las diferentes metodologías que se han creado para el diseño optimizado de tuberías según la necesidad requerida, tipos de materiales y estrategias especializadas para un sistema de alcantarillado completo, fallas y problemáticas estructurales, dimensionamiento y comportamiento de las tuberías a lo largo de su vida útil.

Se discutió los temas según los aportes realizados por profesionales especialistas en redes de alcantarillado, a través de las investigaciones realizadas con el fin de ampliar el conocimiento y las estrategias para el crecimiento y mejoramiento de los sistemas de alcantarillado.

Palabras claves: Sistemas de alcantarillado, Gestión de activos, Rehabilitación de sistemas de alcantarillado, Drenaje urbano, Indicadores de desempeño.

ABSTRACT

The sewerage and urban drainage systems are a series of pipes and complementary works necessary to receive and evacuate the population's wastewater, whether domestic or industrial, and the surface runoff produced by rain, within its primary functions, is find the conduction of fluids, mitigate environmental and sanitary contamination since the objective of these systems is to improve the quality of life of global society; These systems require specific care which is carried out through inspections, studies and / or tests of the pipes and different structures that make up these systems.

The rehabilitation of sewerage networks are those interventions that are carried out for the improvement and the optimal state of these.

This document brings together concrete information on some main issues within the rehabilitation of sewerage and urban drainage networks, a review of the methods implemented to deal with the different impacts generated as a result of these works, as well as the different methodologies that They have been created for the optimized design of pipes according to the required need, types of materials and specialized strategies for a complete sewerage system, failures and structural problems, dimensioning and behavior of pipes throughout their useful life.

The topics were discussed according to the contributions made by professionals specialized in sewerage networks, through the investigations carried out in order to expand knowledge and strategies for the growth and improvement of sewerage systems.

Keywords: Sewer systems, Asset management, Rehabilitation of sewer systems, Urban drainage, Performance indicators.

Contenido

	<u>Pág.</u>
1. Introducción.....	11
2. Objetivos	14
2.1 Objetivo general	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. Metodología	15
4. Análisis.....	17
4.1 Gestión de activos en sistemas de alcantarillado.....	17
4.2 Evaluación de sistemas de alcantarillado.....	21
4.3 Modelado de drenaje urbano	34
4.4 Indicadores de desempeño	40
4.5 Enfoques sostenibles	43
4.6 Marco de optimización para la rehabilitación.....	55
5. Direcciones Futuras	62
6. Conclusiones	64
7. Referencias	66

Lista de ilustraciones y tablas

Pág.

<i>Ilustración 1. Fuentes típicas de I / I en sistemas de alcantarillado sanitario.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 2. El triángulo de gestión para la evaluación del desempeño.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 1. Ventajas y desventajas de implementar techos verdes.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 2. Ventajas y desventajas de implementar la recolección de agua de lluvia.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 3. Ventajas y desventajas de implementar pavimentos permeables.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 4. Ventajas y desventajas de implementar zanjas de infiltración</i>	<i>48</i>

Esta investigación se basa en tres conceptos principales: medidas de rehabilitación, impulsores futuros y métodos de optimización. En términos de control de escorrentía en áreas urbanas, estos tres conceptos se pueden presentar de la siguiente manera:

1. Introducción

Las medidas de rehabilitación para el control de la escorrentía en áreas urbanas se abordan comúnmente aplicando la evaluación de riesgos en soluciones prácticas para lograr los estándares deseados de servicios en el desarrollo y diseño de planes de contingencia. Muchas investigaciones proponen diferentes tipos de medidas dependiendo de los objetivos a alcanzar y los factores relevantes que afectan los sistemas de drenaje urbano, como la evaluación de las medidas de calidad del agua (Elliot y Trowsdale, 2007; German et al. 2005; Ingvertsen 2011), medidas técnicas y económicas (Davis y Birch, 2009; Zhou et al. 2013, Derecho y medidas sociales (Hvitved-Jacobsen et al. 2010) y medidas de control de la fuente de drenaje (Chocat et al., 2007; Schroll et al. 2011), entre otros. A medida que surge, las medidas de rehabilitación pueden usarse como base para priorizar acciones para prevenir inundaciones y contaminación. Las prioridades se pueden implementar con base en evaluaciones de riesgos de inundación, pero también en evaluaciones económicas, sociales, naturales, físicas e institucionales. La jerarquía se basa en la idea de que aquellos que han sido los más afectados deben ser ajustados primero, por lo que las medidas propuestas deben ser flexibles y resistentes con una disposición óptima para identificar qué alternativa proporciona un mejor rendimiento para el control de la escorrentía.

Los objetivos de las medidas de diseño y dimensionamiento son impulsados en gran parte por el entorno del sistema social. Como tal, los valores sociales tienen efectos continuos en la mayoría de los objetivos (UNESCO, 2017). El desarrollo económico general y sus consecuencias para la financiación de los proveedores de infraestructura también influirán en los objetivos (Scholes et al., 2006). Un cambio en el marco legal también podría tener consecuencias para los objetivos de las medidas (UE, 2017). Un factor importante para identificar medidas de rehabilitación es la lluvia. La duración, intensidad y frecuencia de los eventos de lluvia se ven afectados por alteraciones fundamentales a largo plazo en los patrones climáticos. La descripción de las causas y las consecuencias generales del cambio climático global se encuentran en el IPCC (2014). Otro factor considerado para las

medidas es la carga de contaminación influenciada por el uso del suelo del área de captación (Ingvertsen,2011). Los desarrollos espaciales tienen influencias importantes en las cargas contaminantes de la escorrentía, los desarrollos futuros del uso de la tierra se caracterizan por incertidumbres. Los impulsores del sistema para el rendimiento hidráulico, el tratamiento, el mantenimiento y el desarrollo tecnológico son también la mayor parte de las incertidumbres futuras con respecto a las medidas de rehabilitación. Al definir escenarios, es posible reducir el número de combinaciones posibles de diferentes controladores a un número limitado de posibles estados futuros (Eckart,2012; Scholes y Revitt,2008).

Finalmente, debido a los avances relativamente recientes en diferentes áreas relacionadas con el modelado de drenaje urbano, se han utilizado técnicas de optimización para un diseño óptimo (Guo et al., 2008). A lo largo de los años se han utilizado varias técnicas de optimización temprana, que incluyen programación lineal, programación no lineal y programación dinámica. Sin embargo, no se puede garantizar que las soluciones sean el verdadero óptimo ya que algunos métodos evalúan muy pocas opciones y detendrán la optimización una vez que se haya encontrado una solución factible (Heaney et al., 2002). Se han aplicado diversas técnicas de optimización innovadoras a los problemas de optimización de ingeniería con el fin de encontrar estrategias óptimas mediante el uso de enfoques de objetivos múltiples a través del cálculo evolutivo (Afshar et al., 2005; Barreto et al. 2010). Las perspectivas para el desarrollo futuro mediante la mejora de la eficiencia del diseño, la implementación del diseño integrado, el manejo de múltiples objetivos de diseño, que implican limitaciones de diseño factibles y la investigación de los impactos de los modelos de costos, entre otros, se han identificado como nuevos horizontes (Guo et al., 2008). Además, Woodward et al. Han realizado una nueva metodología basada en la optimización de objetivos únicos y múltiples que utiliza los conceptos y análisis de Opciones reales para identificar, de manera automatizada, estrategias de intervención de riesgo de inundación a largo plazo flexibles / adaptables.(2014), Gersonius et al. (2014)y Manocha y Babovic (2018).

Los conceptos teóricos mencionados anteriormente tienen en común que proporcionan la base para el desarrollo de medidas de rehabilitación para el control de la escorrentía en áreas urbanas, en particular el marco para las medidas óptimas de rehabilitación. Para

abordar esta idea en esta investigación, se presenta una revisión de los aspectos más relevantes.

2.1 Objetivo general

2. Objetivos

Formular un documento académico que exponga los avances existentes en rehabilitación de sistemas de alcantarillados y su implementación.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda de investigaciones enfocadas en la rehabilitación y mejoramiento de redes de alcantarillado.
- Analizar y describir las investigaciones revisadas con el fin de tener una visión global y una perspectiva del avance del conocimiento en el campo de la rehabilitación de redes de alcantarillado.
- Identificar posibles direcciones futuras de rehabilitación de redes de alcantarillado para posterior aplicación.

3. Metodología

La metodología que se utilizó en esta investigación es de tipo revisión bibliográfica, se encontraron documentos de diferentes tipos: artículos de revista, trabajos de investigación, trabajos de grado, de pregrado, posgrado y doctorado en fuentes bibliográficas de bases de datos electrónicas disponibles como Scopus y Science Direct.

la búsqueda se realizó por medio de palabras claves, tales como: Mejoramiento de redes de alcantarillado", "rehabilitación de sistemas de alcantarillado", "mantenimiento de redes de alcantarillado", "gestión de activos de sistemas de alcantarillados", "modelado de drenaje urbano", "Evaluación de sistemas de alcantarillados", "Indicadores de desempeño de redes de alcantarillado", "Marco de optimización para la rehabilitación", "enfoques sostenibles" y "futuros conductores de sistemas de alcantarillado".

Estas palabras permitieron definir la búsqueda de los artículos sobre rehabilitación y mejoramiento de los sistemas de alcantarillado. En cuanto a los artículos señalados en esta investigación datan desde 1999, hasta febrero de 2020 para un total de 82 documentos referenciados.

Instrumentos

La información se recopiló y organizó en una matriz de referencia, donde se sintetizan brevemente cada uno de los documentos, en términos de resumen, introducción y conclusiones. La matriz de referencia está conformada por 6 ítems donde se escriben los autores, año de publicación, título, descripción, clasificación y categoría; El ítem de clasificación se subdivide en 6 temas: (i) Gestión de activos en sistemas de alcantarillado, evaluación del sistema de alcantarillado, (ii) Evaluación de las condiciones del alcantarillado, estructural, hidráulica, ambiental y social. (iii) Modelación del drenaje urbano, (iv) Indicadores de desempeño (v) Enfoques sostenibles y (vi) Marco de optimización para la rehabilitación.

Procedimiento

Se hizo la comparación de las fuentes bibliográficas para identificar las repeticiones, vacíos, confirmaciones, ampliaciones, falencias, así como la calidad de la información sobre el tema de investigación.

Seguidamente se realizó la lectura, revisión y análisis según el enfoque de los documentos seleccionados por la aplicación.

El análisis se elaboró relacionando perspectivas: Después de recopilar la información pertinente para cumplir el objetivo propuesto, se hicieron correlaciones, es decir, se asociaron las conclusiones de las investigaciones que compartían perspectivas equivalentes o contrastables.

Por último, con los datos obtenidos se realizó un documento final que integra la información recopilada. En las secciones del índice 4, se exponen los avances y vacíos de conocimiento en la rehabilitación y mejoramiento de sistemas de alcantarillado.

4.1 Gestión de activos en sistemas de alcantarillado.

4. Análisis

La gestión de activos de alcantarillado es una combinación de prácticas de gestión operacional, económica, de ingeniería, y otras aplicadas a activos (físicos). Su objetivo es maximizar el valor derivado de un inventario de activos durante su ciclo de vida, en el contexto de la entrega de un buen nivel de servicio a clientes, comunidades y medio ambiente, en un nivel de riesgo bajo, que va más allá de las escalas de toma de decisiones geográficas, temporales e institucionales (Marlow, et al 2010).

Renovar y reemplazar la infraestructura pública de agua del país es una tarea continua. La gestión de activos puede ayudar a una empresa de servicios públicos a maximizar el valor de su capital, así como sus operaciones y mantenimiento. La gestión de activos proporciona a los gerentes de servicios públicos y a los tomadores de decisiones información crítica sobre los activos de capital y el momento de las inversiones. Algunos pasos clave para la gestión de activos son hacer un inventario de activos críticos, evaluar su condición y rendimiento, y desarrollar planes para mantener, reparar y reemplazar activos y financiar estas actividades (EPA,2008).

Los sistemas de alcantarillado son infraestructuras urbanas vitales, que requieren una gestión de activos adecuada para salvaguardar la capacidad de servicio y equilibrar la vida útil frente a los costos de rehabilitación. En Europa, el valor total de los activos de alcantarillado asciende a € 2000 mil millones. Suponiendo una tasa de reemplazo de una vez cada 100 años, los costos anuales de rehabilitación ascienden a € 20 millones (Langeveld y Clemens,2015). La gestión de activos se asocia comúnmente con la operación, mantenimiento y renovación de activos. Es una metodología en la que un equipo de ingenieros puede utilizar para influir en sus sistemas de gestión y centrarse en los impactos del ciclo de vida completo de las decisiones en lugar de considerar únicamente las implicaciones a corto plazo. Los administradores de infraestructura involucrados en la gestión de activos de redes de alcantarillado aprovechan la oportunidad de integrar nuevas estrategias socio-económicas a las obras, con el fin de reducir los costos y minimizar las molestias a los ciudadanos (Van Riel et al., 2014).

Las empresas de servicios de agua y aguas residuales pueden usar la gestión de activos para asegurarse de que se pueda realizar el mantenimiento planificado y que los activos de capital (bombas, motores, tuberías, etc.) puedan repararse, reemplazarse o actualizarse a tiempo y que haya suficiente dinero para pagarlo (EPA, 2008). De acuerdo con Elkjaer et al.(2007) En los sistemas de drenaje urbano, la gestión de activos puede expresarse mediante las siguientes palabras clave:

- Tomando un **enfoque de ciclo de vida**, la gestión de activos cubre todas las etapas, desde la planificación hasta la disposición final y el reemplazo. Por lo tanto, la gestión de activos mejora las decisiones de inversión para nuevos activos y maximiza el valor y la utilidad de los activos existentes. No importa si es un activo único o un grupo de activos, todas las etapas deben tenerse en cuenta.
- La gestión de activos es **integral**, ya que integra todo tipo de costos (inversión, operación, mantenimiento, social, riesgo) y los efectos de todo el ciclo de vida.
- La gestión de activos es un enfoque **sistemático**, ya que optimiza el valor del ciclo de vida de los activos físicos utilizando una determinada metodología, estructura y procesos comerciales bien planificados. Por lo tanto, la gestión de activos es una estrategia de **gestión rentable** a largo plazo.
- La gestión de activos es **dinámica e iterativa**, ya que incluye la supervisión del rendimiento, la retroalimentación y la mejora continua de la gestión de los activos.
- Al apoyar el proceso de toma de decisiones al proporcionar pronósticos de los costos de propiedad a largo plazo, la gestión de activos contribuye a una **asignación sostenible de recursos**.

Se han desarrollado varios enfoques que apuntan a la gestión de activos en el drenaje urbano. Cardoso et al.(2012) presenta una gestión de activos de infraestructura de agua urbana, una metodología para apoyar el desarrollo del agua urbana a través de un enfoque estructurado en cuatro empresas de agua. Este trabajo incluye factores de diversidad, limitaciones, beneficios y resultados relacionados con el desempeño y el riesgo. Van Riel et al.(2015) analiza cómo se toman realmente las decisiones para el reemplazo del alcantarillado y en qué medida se aborda la complejidad del entorno de toma de

decisiones. La decisión de argumentación de 150 proyectos de reemplazo de alcantarillado en los Países Bajos se obtuvo mediante entrevistas. Esta investigación afirma que la planificación de reemplazo de un administrador de activos de alcantarillado depende de las obras públicas. En consecuencia, la rentabilidad individual como criterio de evaluación debe ampliarse para incluir la utilidad grupal.

La gestión rentable de los activos de alcantarillado es necesaria para obtener un nivel de servicio preferido con los costos públicos más bajos. Van Riel et al.(2014) también comparó las fuentes de información relacionadas con la calidad de la tubería, evaluó la información real proporcionada y describió las incertidumbres asociadas dentro de la siguiente pregunta: ¿qué información de qué calidad es necesaria para una gestión rentable de los activos de alcantarillado? Los operadores de alcantarillado deben ser conscientes de esto y ser capaces de juzgar el impacto de las incertidumbres en las decisiones que deben tomar en el día a día, para motivar sus elecciones adecuadamente. Plihal et al.(2016) desarrolló un nuevo método para la inspección rápida de redes de alcantarillado que comprende una combinación de sensores acústicos y la última generación de cámaras con zoom para alcantarillas. El sensor acústico es muy poderoso para detectar anomalías en la sección transversal de la longitud del alcantarillado. Combinado con una cámara con zoom de registro, este método es capaz de proporcionar información sobre la condición de la alcantarilla comparable con las inspecciones tradicionales de CCTV para la mayoría de las condiciones. También, (Ruwanpura et al., 2004) propone un modelo que simula la condición de la red de alcantarillado, se considera una herramienta rentable y eficaz para la toma de decisiones y el análisis de sistemas reales. A pesar de que esta es una herramienta nueva utilizada en la planificación de proyectos, se cree que es un enfoque innovador para fines de predicción cuando los datos son limitados, debido a que este método utiliza el pronóstico de la condición futura de las tuberías y a su vez pronostica cada reparación y/o renovación.

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - EPA (2008), se encuentran algunos beneficios de una gestión de activos, como prolongar la vida útil de los activos y mejorar las decisiones sobre rehabilitación, reparación y reemplazo de activos, presupuestos centrados en actividades críticas para un rendimiento sostenible, cumplir con las expectativas de servicio y los requisitos reglamentarios, mejorar las

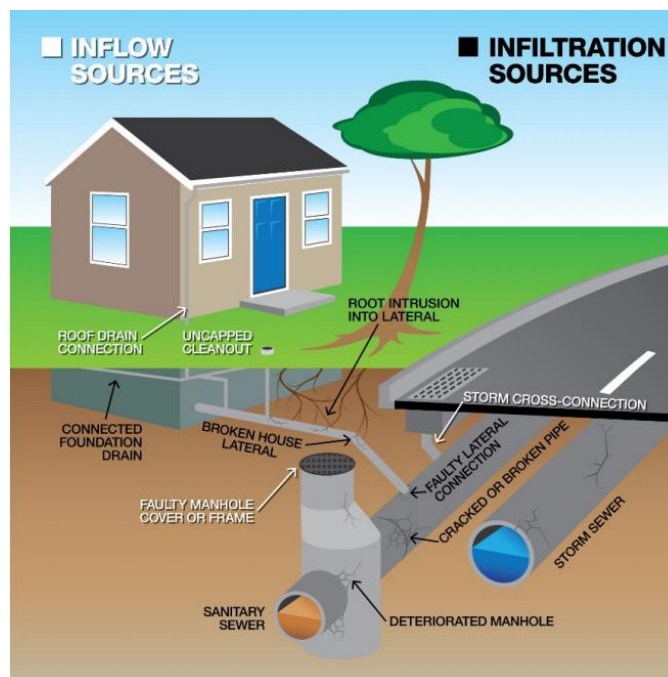
respuestas a emergencias, mejorar la seguridad de los activos y la reducción de los costos generales tanto para las operaciones como para los gastos de capital. HRG(2016) establece el saber qué infraestructura tiene más probabilidades de fallar (y corregir las deficiencias antes de que lo haga) puede ahorrar mayores gastos más adelante en forma de reclamos de propiedad, pérdida de agua, etc. Saber qué fallas serían las más catastróficas, lo ayuda a destinar dinero para su prevención como primera prioridad con las limitaciones presupuestarias de la gestión de servicios públicos municipales, es posible que no pueda evitar todas las fallas del sistema, por lo que es importante saber cuáles tienen el potencial de causar el mayor daño financiero e impactar a la mayoría de los clientes. De esta manera, puede concentrar sus esfuerzos en prevenirlos primero. Si ocurre una falla, un buen plan de gestión de activos incluirá un plan de respuesta proactiva, que le permitirá responder de manera más rápida y eficiente (reduciendo así el daño y la interrupción).

Toda ejecución de una obra de recuperación de tubería de alcantarillado ya sea por el método convencional o no convencional conlleva aspectos socioeconómicos, tales como: área de influencia de la obra, licencia de excavación, intervención y ocupación del espacio público, permisos, determinación del entorno de la obra, identificación de interferencia de servicios públicos, demarcación y aislamiento, manejo de tránsito peatonal y vehicular, programa de señalización, cierre de vías, programa de desvíos, seguridad industrial, programa de prevención de accidentes y de seguridad, campañas de capacitación y por último servicios e infraestructura de la obra (Yeun & Sunil, 2004). En las comparaciones de la gestión de activos entre las operaciones por métodos convencionales y métodos tecnológicos, los autores (Alarcon & Pachecho, 2014) estudian los daños colaterales ocasionados por la operación de instalación de redes de alcantarillado por el método convencional y por las nuevas tecnologías, afirmando que al analizar el estudio de daños colaterales según los daños considerados, se obtuvo la estructura de costos en la que se observa que el método convencional tendría hasta un 26% de daños colaterales y las nuevas tecnologías teniendo daños hasta un 3%, esto, teniendo en cuenta el mínimo y máximo de perjuicios colaterales respectivamente sobre cada método de operación.

4.2 Evaluación de sistemas de alcantarillado

Parte de la siguiente descripción sobre la evaluación de los sistemas de alcantarillado está tomada de la Federación de Medio Ambiente del Agua - WEF (2017). Las alcantarillas son una serie de tuberías conectadas que transportan aguas residuales o aguas pluviales a una ubicación aguas abajo designada para su tratamiento o eliminación. Hay tres tipos diferentes de alcantarillas: sanitarias, pluviales o combinadas. Las alcantarillas sanitarias y las alcantarillas combinadas transportan las aguas residuales desde hogares, instituciones y negocios a una planta de tratamiento centralizada. Las alcantarillas sanitarias transportan solo aguas residuales, mientras que las alcantarillas combinadas transportan tanto aguas residuales como pluviales. El transporte y el tratamiento de las aguas residuales son importantes porque ayudan a prevenir enfermedades transmitidas por el agua y promueven el saneamiento general antes de descargar de manera segura a las aguas receptoras. Las alcantarillas pluviales transportan el deshielo y el agua de lluvia desde los patios, aceras y caminos y lo dirigen a las aguas receptoras directamente o a través de las mejores instalaciones de prácticas de gestión para eliminar ciertos contaminantes.

Los defectos del alcantarillado son deficiencias del sistema de tuberías como resultado del envejecimiento del sistema, falla estructural, falta de mantenimiento adecuado y / o malas prácticas de construcción y diseño. Pueden incluir condiciones como tuberías rotas, juntas con fugas, tapas de alcantarillas con agujeros, sellado deficiente y laterales de alcantarillas infestadas de raíces (Figura 2.1) En las alcantarillas sanitarias, esto puede conducir a una Infiltración e Ingreso excesivos que pueden ser más notorios después de las condiciones de precipitación.



(Imagen de WEF, 2017)

Ilustración 1. Fuentes típicas de I / I en sistemas de alcantarillado sanitario

Las experiencias de la industria de vanguardia indican que antes de invertir en mejoras de la capacidad de alcantarillado sanitario para manejar en excesivo, es prudente mejorar las condiciones estructurales del sistema de alcantarillado para lograr niveles prácticos de reducción de I / I primero y luego considerar complementar con transporte / almacenamiento del tamaño correcto y sistemas de tratamiento aguas abajo. La rehabilitación del sistema de alcantarillado debe realizarse primero para determinar la magnitud de la posible reducción de I / I. Puede ser que la rehabilitación parcial o integral del sistema restablezca niveles adecuados de la capacidad de transporte. La capacidad adicional de transporte / almacenamiento / tratamiento debe complementarse según sea necesario.

La rehabilitación del alcantarillado puede considerarse reparación y renovación, para reducir el flujo extraño y abordar defectos estructurales. Las reparaciones generalmente se realizan para permitir que la tubería funcione hasta el final de su vida útil, mientras que la renovación es más integral que la reparación y extiende la vida útil de la tubería. Los proyectos de rehabilitación de alcantarillado pueden incluir una combinación de reparaciones y renovación con un enfoque en restaurar la integridad estructural y la

reducción práctica de I / I. Cada componente del sistema se analiza para determinar dónde las áreas defectuosas permiten que I / I ingrese al sistema y se aplica el método de reparación o renovación más rentable para eliminar esa fuente de I / I mientras se asegura que el agua extraña no migre para ingresar al sistema a través de un defecto diferente.

4.2.1 Evaluar las condiciones de alcantarillado

Dentro de la evaluación de los sistemas de alcantarillado se tienen en cuenta tres aspectos principales: condiciones estructurales, hidráulicas, ambientales y sociales (Butler y Davies, 2011; Barreto2012; Stanic2016). Estas condiciones requieren un juicio o experiencia adecuados además de un análisis técnico objetivo. Dado que no es posible predecir el momento preciso de una falla en la tubería, la categorización con diferentes niveles de deterioro o riesgo hace posible calificar la condición del sistema. Hay una serie de clasificaciones de condición de alcantarillado que se han desarrollado como pautas generales. El Centro de Investigación del Agua (WRc) en Europa, la Federación del Medio Ambiente del Agua y la Sociedad Americana de Ingeniería Civil en EE. UU., Y el Consejo Nacional de Investigación en Canadá son algunos ejemplos. Normalmente, los municipios desarrollan sus planes de rehabilitación y adoptan un sistema específico de evaluación del estado, otros adaptan las pautas mencionadas. No todos los elementos de las líneas de guía se pueden implementar en todos los casos, cada ciudad tiene sus propios requisitos y disposiciones.

Condiciones estructurales

Se pueden tener en cuenta diferentes métodos de inspección para una evaluación de tuberías de alcantarillado teniendo en cuenta la cantidad de información suministrada, los costos de la aplicación y su disponibilidad. Las inspecciones de alcantarillas son un componente importante de la evaluación del sistema de alcantarillado debido a la sensibilidad de las alcantarillas a defectos estructurales y / o infiltración e flujo de entrada que pueden producir desbordamientos del alcantarillado. La inspección de pozos de registro no solo proporciona información valiosa sobre la condición física de los pozos de registro, sino también una oportunidad para observar diámetros de tubería, inversiones y sobrecargas dentro de las alcantarillas principales (BSD,2014).

Los sistemas de alcantarillado no se desean, entre otras cosas, disminuye el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales y aumenta los desbordamientos combinados de alcantarillado. Como la rehabilitación de alcantarillas para reducir es costosa, los administradores del agua no solo necesitan métodos para medir con precisión, sino que también necesitan diferentes marcos para evaluar el desempeño real de las medidas de rehabilitación.

Stauffer et al. (2012) evalúan estadísticamente el desempeño de las medidas de rehabilitación para reducirlas. Fue posible utilizando observaciones en una cuenca definida como grupo de control y evaluando la importancia del efecto observado mediante análisis de regresión. Demuestran la utilidad del enfoque en un estudio de caso, donde la rehabilitación redujo la infiltración de aguas subterráneas en un 23,9% y la entrada de aguas pluviales en un 35,7%. Aunque los resultados no fueron estadísticamente significativos, las investigaciones sobre el diseño experimental de las campañas de monitoreo confirmaron que la variabilidad de los datos, así como el número de observaciones recopiladas antes de la rehabilitación, afectan el límite de detección del efecto. Las aplicaciones prácticas futuras deben considerar un diseño experimental cuidadoso.

La inspección de circuito cerrado de televisión se utiliza desde hace décadas como estándar de la industria para la inspección del sistema de alcantarillado y la evaluación del rendimiento estructural. Khan et al.(2010) presenta un estudio que utiliza redes neuronales artificiales para investigar la importancia e influencia de ciertas características de las tuberías de alcantarillado sobre su desempeño estructural, expresado en términos de clasificación de condición. Los resultados del análisis de sensibilidad describen la naturaleza y el grado de la influencia de cada parámetro (tuberías de alcantarillado relacionadas, diámetro de tubería, profundidad / cubierta enterrada, material de cama, material de tubería, longitud de tubería, edad y circuito cerrado de televisión) en la condición estructural de la tubería. Se espera que los modelos desarrollados beneficien a académicos y profesionales (ingenieros municipales, consultores y contratistas) para priorizar los planes de inspección y rehabilitación de las redes de alcantarillado existentes. Dentro de lo estudiado por Khan (2010), se indica que después de 70 m, cualquier aumento

adicional en la longitud de la tubería tiene un soporte de impacto en la condición de la tubería. La razón puede atribuirse a la densidad reducida de las juntas finales.

Un estudio de caso en Bogotá - Colombia, Angarita et al. (2017) identificaron y cuantificaron variables explicativas físicas y ambientales para el estado estructural de las redes de drenaje urbano. En el análisis se utilizó información de 2291 inspecciones de CCTV recopiladas por la Compañía de Agua y Alcantarillado de Bogotá utilizando equipos tele operados durante 2008-2010. Se utilizaron modelos de regresión lineal para identificar las características ambientales y físicas de las tuberías que están significativamente asociadas con la ocurrencia, magnitud y tipo de fallas comúnmente encontradas. A pesar de que los niveles de correlación muestran que el modelo desarrollado tiene una capacidad predictiva muy baja. Se descubrió que el proceso de selección de activos para la inspección de CCTV se puede optimizar, aumentando la tasa de éxito en la detección de fallas. Por su parte Langeveld, et al (2019) muestran que la revisión de estudios de caso relevantes indica que, si existe la degradación del material, y que esta ocurre lentamente, basándose en los datos de inspección (CCTV) de tres municipios holandeses. La degradación mecánica es el resultado de tensiones que se ejercen sobre la tubería (o junta) y su nivel supera el umbral de fractura del material. Aparece en forma de fisuras (grietas, grietas) o roturas. Las tensiones se originan por la presión interna, las desviaciones debidas a la cobertura del suelo y el proceso de producción (tensiones residuales). Se pueden imponer tensiones adicionales por flexión axial debido al lecho y compactación inadecuados del suelo. La calidad de la extrusión de la tubería puede ser un factor decisivo para la longevidad de la tubería, ya que se observa el inicio de grietas en huecos e impurezas incorporados. Posteriormente, la propagación de la grieta se rige por la magnitud y la dirección de los esfuerzos aplicados. Este mecanismo de falla se conoce como Crecimiento lento de grietas (SCG).

Otro estudio de caso en Malasia ha sido presentado en Safira et al. (2018). El objetivo principal del estudio fue desarrollar una herramienta de predicción de la condición estructural en la tubería de alcantarillado de canal abierto para facilitar al operador la estimación del riesgo de degradación de una determinada tubería de alcantarillado. La investigación de circuito cerrado de televisión (CCTV) se utilizó para observar la condición estructural de la tubería de alcantarillado; por lo tanto, se puede clasificar utilizando el

sistema de calificación del programa de evaluación y certificación de tuberías (PACP). El modelo de cadena de Markov se usó más tarde para predecir la condición estructural futura en la tubería de alcantarillado de canal abierto antes del desarrollo de la herramienta de predicción. Se evaluó un total de 37 km de longitud de tubería de alcantarillado que cubre aproximadamente el 23% de la longitud total de tubería de alcantarillado dentro del área de estudio.

Para Torres et al (2017), los sistemas de gestión del agua en general y los sistemas de drenaje urbano (UDS) en particular deben diseñarse para garantizar no solo la provisión de servicios públicos sino también su sostenibilidad y resiliencia. Con esto hace referencia a las amenazas del siglo que afrontan, tales como la rápida urbanización, el crecimiento demográfico, el cambio climático y la variabilidad, las restricciones de energía y una mayor regulación del medio ambiente. La teoría de la resiliencia estructural proporciona una base teórica para establecer la uniformidad de la resiliencia del sistema y las escalas o índices de impacto en varias disciplinas de manera consistente. Por ejemplo, Shi et al.(2018) introdujeron el concepto de energía de daño estructural dentro de la resistencia estructural del sistema de alcantarillado. En base a los comportamientos estructurales obtenidos de las muestras de tubería renovadas, se introduce la energía de daño estructural. La resistencia estructural es una teoría basada en tres ecuaciones importantes: la energía total absorbida por el entorno del sistema debido a una perturbación, el índice de resistencia de un sistema determinado derivado del porcentaje de daño del sistema y una función de impacto del entorno del sistema. Con base en una definición clara y conceptual de resiliencia, estas escalas e índices pueden usarse para desarrollar sistemas de resiliencia y estrategias de resiliencia efectivas para sistemas, facilitar la formulación de políticas consistentes en todos los campos y reforzar el enfoque de resiliencia en general, haciendo del desarrollo sostenible con la naturaleza un Objetivo alcanzable.

Caradot et al. (2017) presenta una valoración de incertidumbres en la evaluación del estado del alcantarillado. Los resultados indican que la probabilidad de inspeccionar correctamente una tubería en mal estado es cercana al 80%. La probabilidad de sobreestimar la condición de una tubería en mal estado (falso negativo) es del 20%, mientras que la probabilidad de subestimar la condición de una tubería en buen estado (falso positivo) es del 15%. Finalmente, la evaluación del estado del alcantarillado se puede

usar para evaluar el estado general de la red con una excelente precisión, probablemente debido a que los respectivos efectos de falso positivo y falso negativo son salvaguardas.

Al identificar áreas de alto riesgo de falla, las inspecciones se pueden implementar en función del estado del sistema y, por lo tanto, pueden aumentar significativamente el rendimiento de la red de alcantarillado. Anbari et al.(2017)desarrolló un nuevo modelo de evaluación de riesgos para priorizar la inspección de tuberías de alcantarillado utilizando Bayesian Networks (BN) como un enfoque probabilístico para calcular la probabilidad de falla y el método promedio ponderado para calcular las consecuencias de los valores de falla. Los resultados muestran que la mayoría de las alcantarillas (alrededor del 62%) tiene un riesgo moderado, pero el 12% de las alcantarillas se encuentran en una situación crítica. Con respecto a las restricciones presupuestarias, se espera que el modelo propuesto y los valores de riesgo resultantes ayuden a las agencias de aguas residuales a reparar o reemplazar tuberías de alcantarillado riesgosas, especialmente al tratar con conjuntos de datos incompletos e inciertos.

Las reparaciones rápidas son un proceso mediante el cual los sistemas de reparación críticos se realizan de manera más oportuna y rentable. La metodología utiliza el concepto de que cuando las fallas críticas prometen una reparación rápida durante las actividades de evaluación, los contratistas de guardia tomarán medidas para abordar los problemas. Siguiendo la evaluación de estándares dada en BSD(2014), las reparaciones rápidas de los activos de la infraestructura de alcantarillado están autorizadas cuando los defectos críticos se encuentran con una amenaza inmediata al medio ambiente, a la salud y seguridad públicas, crea problemas operativos que pueden provocar desbordamientos del alcantarillado o contribuir a una entrada sustancial al sistema.

Las inspecciones visuales también pueden llevarse a cabo durante una operación de CCTV por los Contratistas de CCTV. La condición estructural, la cantidad de sedimento, el flujo, el volumen, el contenido del flujo, los desechos y el olor pueden observarse para cada pozo de registro. A cada registro se le puede asignar una condición general de "excelente", "bueno", "regular" o "malo" durante la inspección visual. La posibilidad de tener diferentes métodos de inspección para analizar las condiciones estructurales de los sistemas de alcantarillado fortalece la información provista a los gerentes de alcantarillado para tomar las decisiones apropiadas.

Condiciones hidráulicas

Las pérdidas hidráulicas en las tuberías de alcantarillado son causadas por la rugosidad de la pared, los bloqueos y la sedimentación en la tubería. La resistencia hidráulica es un parámetro clave que se utiliza para dar cuenta de las pérdidas de energía hidráulica y predecir la propensión a inundaciones del sistema de alcantarillado. La aspereza cambia con el tiempo debido a procesos de corrosión, excentricidad y hundimiento de la articulación. La rugosidad hidráulica aumentada debido al envejecimiento del material de la tubería disminuye la capacidad de flujo de la tubería, lo que reduce el rendimiento hidráulico de los sistemas. Es valioso conocer el estado real de las tuberías de activos, como la rugosidad hidráulica y la geometría interior precisa para decidir si una tubería dada tiene o no suficiente capacidad hidráulica.

Un método común para estimar la resistencia hidráulica de una alcantarilla es analizar las imágenes de CCTV recolectadas y luego compararlas con una serie de valores sugeridos de rugosidad hidráulica publicados en los manuales de rehabilitación de alcantarillas. Romanova (2013) informa sobre el desarrollo de un nuevo método acústico no invasivo e instrumentación para medir la rugosidad hidráulica en tuberías parcialmente llenas bajo diversas condiciones estructurales y operativas de manera objetiva. Los resultados indican que, para la rugosidad local, el contenido de energía de la señal acústica reflejada es un indicador de la pérdida de carga de la tubería y la rugosidad hidráulica. En el caso de la rugosidad distribuida, la variación en las características temporales y de frecuencia de la onda de sonido propagada puede relacionarse empíricamente con la profundidad media del flujo, la velocidad media, la desviación estándar de la onda y la rugosidad hidráulica.

El escaneo láser ofrece perspectivas desafiantes para medir las características de las tuberías de alcantarillado. Las mejoras en la tecnología láser y las cámaras digitales en teoría admiten una aplicación rentable de perfiles láser para medir la geometría interior de las tuberías de alcantarillado. Clemens et al.(2014) Construyó una configuración de laboratorio para exponer según las pruebas en una tubería de alcantarilla corroída nueva y de 89 años de antigüedad, ya que el escaneo láser ciertamente es capaz de medir la geometría interior con la suficiente precisión como para determinar las pérdidas de espesor de pared para tuberías corroídas, Se tiene en cuenta la alineación del láser y la cámara.

La precisión obtenida, sin embargo, no fue suficiente para cuantificar la rugosidad hidráulica.

La información sobre las condiciones hidráulicas de las tuberías de alcantarillado deterioradas contribuirá a una mejor comprensión de los cambios en los procesos, que es esencial para alcanzar una gestión eficaz de los activos de alcantarillado. Stanic et al.(2016) Presentar el potencial de los métodos de escaneo láser para una evaluación precisa, no invasiva y no intrusiva de la rugosidad hidráulica de las tuberías de alcantarillado de hormigón. Los resultados muestran un potencial prometedor del enfoque de escaneo láser para una cuantificación simple y rápida de la rugosidad hidráulica en un sistema de alcantarillado.

Kuliczowska ha realizado otra investigación relacionada con el riesgo de falla hidráulica en alcantarillas de concreto debido a la corrosión interna. (2016). El propósito de la investigación fue descubrir la frecuencia de ocurrencia de corrosión interna en alcantarillas de concreto, el grosor de las paredes corroídas y desarrollar el método para determinar el riesgo de falla hidráulica debido a las tuberías corroídas. El método propuesto hace que sea probable eliminar o disminuir el riesgo estructural causado por la corrosión interna en alcantarillas de concreto, lo que se puede hacer mediante encuestas CCTV programadas de alcantarillado y renovación sin zanjas realizadas de acuerdo con los planes establecidos de antemano.

Recientemente, Li et al. (2019) propuso un estudio a largo plazo para identificar los factores de control de la corrosión del alcantarillado de hormigón utilizando cámaras de corrosión a escala de laboratorio bien controladas para variar los niveles de concentración de H₂S (sulfuro de hidrógeno), la humedad relativa, la temperatura y la ubicación en el alcantarillado. Utilizando los resultados del estudio a largo plazo, se utilizaron tres modelos diferentes basados en datos, es decir, regresión multilíneal (MLR), red neuronal artificial (ANN) y sistema de inferencia neuronal adaptativa (ANFIS), así como la interacción entre parámetros ambientales evaluado para predecir el tiempo de inicio de corrosión (t_i) y la tasa de corrosión (r). Se observó que la predicción de estos modelos es bastante sensible. Sin embargo, son más robustos para predecir (r) mientras la concentración de H₂S esté disponible. Usando la concentración de H₂S como una sola entrada.

El rendimiento de reducción hidráulica en alcantarillas y tuberías de aguas residuales también aparece debido a la corrosión biogénica del concreto (bio-corrosión). Ocurre principalmente debido a la difusión de soluciones agresivas y la producción en el lugar de ácido sulfúrico por microorganismos oxidantes de azufre. Su prevención comúnmente requiere la modificación de la mezcla de concreto o la aplicación de una capa de recubrimiento químico / antimicrobiano resistente a la corrosión en la superficie interna de las tuberías. Roghanian y Banthia(2019) investigó tres amplias familias de materiales de recubrimiento, recubrimientos a base de cemento Portland, a base de geo-polímero y a base de fosfato de magnesio. Los resultados muestran que los materiales de revestimiento desarrollados tienen una resistencia significativamente superior a la corrosión biogénica en comparación con los revestimientos a base de cemento ordinarios.

El monitoreo de los sedimentos del alcantarillado es esencial para comprender los procesos de sedimentación y erosión dentro del marco de pérdidas hidráulicas. La sonda es una de las técnicas disponibles para medir sedimentos en tuberías de alcantarillado. Lepot et al.(2016) evalúe una técnica de sonda, cuantifique sus incertidumbres y pruébela en diferentes circunstancias utilizando experimentos de laboratorio y de campo. Para ello, presentan un nuevo algoritmo para reconocer la interfaz agua-sedimento. Se ha introducido y probado un nuevo algoritmo de gradiente para estimar mejor las interfaces de sedimento de agua y pared de alcantarillado. El algoritmo de gradiente máximo da como resultado una mejor precisión, especialmente para la detección de paredes de alcantarillado. Esto mejora la precisión de la superposición del perfil de la tubería de alcantarillado con el perfil de sedimento. El análisis y la validación de los datos se han realizado con el objetivo de calcular automáticamente las áreas y volúmenes de sedimentos.

Dicen Laplace (1991), Verbanck (1992), Bertrand-Krajewski et al., (2006) que es necesario comprender mejor la acumulación, erosión y transferencia de sedimentos para poder desarrollar un buen sistema de drenaje, aun teniendo presente los sedimentos y erosiones. Por su parte Lepot et al. (2017) habla de las investigaciones que se realizan para mejorar estas problemáticas, y estas son:

- 1) Implementar un nuevo algoritmo para ubicar mejor la interfaz agua-sedimento.

- 2) Evaluar la respuesta de la sonda a varios tipos de sedimentos (arena, grava, piedras, lodos).
- 3) Cuantificar repetitividad y las incertidumbres de las mediciones.
- 4) Evaluar factores influyentes en la calidad de la medición.

La sedimentación en alcantarillas también ocurre regularmente de acuerdo con el flujo natural alterno. Bonakdari et al.(2015) Investigaron las características hidráulicas del flujo en canales con una sección transversal circular con diferentes pendientes del lecho y sus efectos sobre la capacidad de transporte de sedimentos mediante el uso de una simulación numérica 3D del campo de flujo con el software ANSYS-CFX. Estudia las características hidráulicas del flujo que pasa a través de un canal circular en condiciones de dos o tres fases. La velocidad de auto limpieza y la concentración volumétrica de sedimentos en varios números de Froude se calcularon mediante resultados de laboratorio para validar los resultados del modelo numérico. Los resultados de las simulaciones numéricas indican una adaptación adecuada de los modelos numéricos y experimentales. Los contadores de velocidad longitudinal obtenidos por simulación numérica se compararon en flujos de dos o tres fases. Las fluctuaciones en la placa del lecho introdujeron la transferencia de sedimentos cerca del lecho del canal circular.

Condiciones ambientales y sociales.

A medida que el alcantarillado envejece, se requiere un plan de trabajo de rehabilitación no solo para preservar el sistema de alcantarillado en un nivel óptimo de servicio sino también para mitigar los impactos ambientales y sociales. El impacto ambiental predominante son las descargas de desbordamiento a los cuerpos de agua receptores. Si la concentración o masa de contaminantes es alta, puede producir graves daños a la vida acuática y / o usuarios aguas abajo. Una fuente adicional de contaminación es la exfiltración de alcantarillas a acuíferos. Los problemas asociados incluyen enfermedades promovidas por la proliferación de vectores, malos olores y mala estética debido a la basura. Según Viña (2019), en Colombia un 70% de las aguas residuales en los centros urbanos del país no son tratadas, lo que genera problemas de contaminación en el medio ambiente.

Usando sensores de bajo costo, se pueden recopilar datos sobre la ocurrencia y duración de los desbordamientos en cada estructura de CSO en un Sistema Combinado de Alcantarillado (CSS). La recopilación y el análisis de datos reales se pueden utilizar para evaluar, mejorar y mantener CSS para reducir la cantidad y el impacto de los desbordamientos. Montserrat et al.(2015) introdujo un marco para evaluar el rendimiento de CSS utilizando monitoreo de bajo costo, para evaluar la capacidad de un CSS utilizando datos de duración de desbordamiento y volumen de lluvia y para definir el rendimiento de estructuras de OSC con estadísticas. El estudio también incluye la evaluación de un acuerdo CSS con las pautas gubernamentales y la generación de modelos de árbol de decisión para brindar apoyo a los gerentes para tomar decisiones sobre el mantenimiento del sistema. Demostrado con un estudio de caso real, los resultados obtenidos pueden ser de gran ayuda para los gerentes e ingenieros que se ocupan de problemas del mundo real, mejoras y mantenimiento de CSS.

Los métodos para monitorear y controlar el desbordamiento combinado de alcantarillado (CSO) aún requieren mejoras. Maté-Marín et al.(2018) presentaron un dispositivo para el monitoreo de flujos pluviales y cloacas y el control de flujos contaminantes llamado DSM-flujo. Es un canal que proporciona condiciones hidráulicas apropiadas adecuadas para la medición de caudales y volúmenes de desbordamiento mediante un medidor de nivel de agua. Se obtiene una relación etapa-descarga para el flujo DSM experimentalmente y se válida para múltiples configuraciones hidráulicas de entrada. Con respecto a estos resultados, el flujo DSM parece ser una buena alternativa en comparación con los métodos actuales para monitorear de manera confiable las estructuras de las OSC. El método de medición es independiente de las condiciones hidráulicas aguas arriba del dispositivo y las incertidumbres asociadas con las mediciones de descarga y volumen son relativamente bajas, particularmente para tormentas fuertes.

Una de las principales consecuencias de la urbanización es la degradación de la calidad del agua superficial que puede afectar directamente la salud pública. Por lo tanto, las consideraciones de calidad de las aguas pluviales se han convertido en uno de los desafíos críticos con los que se enfrentó la gestión de las aguas pluviales (Obropta y Kardos 2007). Se han construido sistemas de intercepción de alcantarillas a lo largo de ríos en áreas de rápida urbanización para recolectar descargas de aguas residuales no reguladas debido a

conexiones incorrectas entre alcantarillas pluviales y alcantarillas sanitarias. De acuerdo con Chen et al.(2019), los desbordamientos del sistema de interceptación (ISO) de diferentes orificios en un sistema de interceptación de alcantarillado pueden interactuar entre sí, por lo tanto, los contaminantes de las ISO muestran una variación espacial. Su trabajo se centra en la comprensión de la variación espacial de los contaminantes para los ISO para la toma de decisiones informada. Aplicando el marco a un estudio de caso real, se demuestra que los volúmenes ISO y el contaminante aumentan aguas abajo y las variaciones espaciales están influenciadas por los tamaños y las pendientes de los interceptores. También las contribuciones de escorrentía y alcantarillado a la contaminación ISO varían de diferentes tipos de contaminantes y diferentes ubicaciones. La separación del alcantarillado no puede reducir significativamente las cargas contaminantes de la escorrentía.

Una alternativa ambiental estudiada (Laryah M, et al, 2002) establece "Sistemas de drenaje bioecológico (BIOECODS)". Promueve la infiltración de aguas pluviales desde áreas impermeables (por ejemplo, tejados, aparcamientos) mediante el uso de canales bioecológicos. Así mismo, libera gradualmente las aguas pluviales mediante el uso de canales bioecológicos, almacenes de detención bioecológicos subterráneos en línea y estanques secos bioecológicos. Finalmente, la función de BIOECODS es mejorar el tratamiento de la calidad de las aguas pluviales utilizando el concepto de tren de tratamiento mediante la utilización de canales y estanques bioecológicos (por ejemplo, estanques húmedos, humedales) a medida que las aguas pluviales se mueven aguas abajo, así liberando las aguas reunidas a los alrededores de las vías con el fin de reducir las inundaciones e infiltraciones.

La exfiltración es la fuga de aguas residuales de un sistema de alcantarillado. Su impacto puede dañar la salud pública y el medio ambiente y requerir reparaciones costosas. Un enfoque para localizar defectos incluye la supervisión de todas las características del sistema de alcantarillado, hay diversas tecnologías de rehabilitación disponibles para corregir las fuentes de exfiltración y estas incluyen: lechada química, lechada de cemento, deslizamiento, tubería curada en el lugar, tubería doblada y conformada, rotura de tubería y reparación de puntos. La inspección periódica de la infraestructura de alcantarillado puede ayudar a identificar la exfiltración temprana para que se puedan tomar medidas para

detenerla y reparar el daño. La detección oportuna de la exfiltración puede minimizar el impacto ambiental y el alcance de la intervención requerida. Rutsch ha realizado una evaluación exhaustiva de la exfiltración de las tuberías de alcantarillado con fugas.(2006). Se describen a fondo varios métodos para determinar la exfiltración y se consideran dos enfoques para realizar extensas pruebas de redes de alcantarillado reales con el fin de evaluar su aplicación potencial para ayudar a las ciudades y operadores a definir estrategias de rehabilitación orientadas a los problemas.

Se ha encontrado contaminación del alcantarillado en sistemas separados de drenaje pluvial en áreas urbanas durante el flujo de clima seco. Para determinar si la transmisión del alcantarillado se está produciendo desde fugas sanitarias directamente a desagües pluviales separados, Sercu et al realizaron experimentos de campo en tres cuencas diferentes.(2011). Se identificaron áreas con alto y bajo riesgo de exfiltración de alcantarillado en desagües pluviales. Rhodamine WT (RWT) se agregaron a las alcantarillas sanitarias y se monitorearon en pozos de registro utilizando sondas ópticas configuradas para monitoreo continuo desatendido. Se detectaron picos de RWT en áreas de alto riesgo y se encontraron múltiples ubicaciones de contaminación del alcantarillado. Este estudio proporciona evidencia directa de que las alcantarillas sanitarias con fugas pueden contaminar directamente los desagües pluviales con fugas cercanas con alcantarillas no tratadas durante el clima seco y sugiere que las fugas crónicas de alcantarillas sanitarias contribuyen a la contaminación fecal aguas abajo.

4.3 Modelado de drenaje urbano

Actualmente, los sistemas de drenaje urbano han recibido especial consideración debido a la preocupación por los recursos hídricos sostenibles y la atención sobre las interrelaciones entre todo el ciclo del agua, el medio ambiente y la sociedad. La importancia del modelado de drenaje urbano ha sido reconocida para fortalecer la vida humana. En particular, la modelización del sistema de drenaje urbano se centra en los temas principales y avanzados, que incluyen la calidad y cantidad del agua, la modelización de inundaciones urbanas, el pronóstico de inundaciones urbanas, las herramientas de modelización, el análisis basado en el riesgo y las interacciones socioeconómicas.

Owens y Walling (2002) afirma que la modelación juega un papel muy importante en el desarrollo de estrategias para el manejo de los sistemas de drenaje. Tradicionalmente, suele diseñarse el sistema de drenaje empleando metodologías basadas en el uso del método racional para la estimación del caudal de diseño de cualquiera de los elementos que conforman el sistema.

Las herramientas de modelado se utilizan para predecir la ubicación, la probabilidad y el impacto de las inundaciones de aguas superficiales. Como las inundaciones en aguas superficiales no son una ocurrencia regular que puede entenderse completamente a través de la observación, los modelos predictivos permiten comprender dónde podrían ocurrir inundaciones, cómo esto podría cambiar en condiciones extremas y ayudar a evaluar la efectividad de las medidas para manejar el riesgo de inundaciones en aguas superficiales.

El modelado y la predicción de inundaciones urbanas se refieren a los procesos de transformación de la lluvia en un hidrograma de inundación, el modelado de inundaciones generalmente implica descripciones aproximadas de los procesos de transformación de lluvia-escorrentía. Estas especificaciones se basan en descripciones empíricas, físicas o conceptuales combinadas de los procesos físicos involucrados. En el drenaje urbano, los modelos son útiles para diversos fines, como la evaluación general de inundaciones, contaminación, gestión operativa, control en tiempo real y análisis de interacciones entre subsistemas. El sistema de captación urbana tiene en cuenta una red detallada con el diseño de elementos auxiliares. El tipo de modelo aplicado depende del objetivo de modelado, cobertura espacial, disponibilidad de datos y tecnología.

Ana y Bauwens (2010) concluye que los modelos estadísticos que se basan en una relación probabilística entre los datos de entrada y salida del modelo, son los enfoques más factibles y aplicados con mayor frecuencia. Esto se debe básicamente a la complejidad de los procesos responsables del deterioro de las alcantarillas y la imposibilidad de poner a disposición parámetros mecanicistas suficientes a lo largo del tiempo y el espacio. Los datos más básicos necesarios para describir el deterioro son los registros de condición y las edades correspondientes de las tuberías. Otras variables explicativas, como el diámetro, la profundidad de colocación, etc., también pueden ser relevantes (Ana et al., 2009; Muñeler, 2002).

Los modelos en una dimensión (1D) se utilizan normalmente para simular el flujo a través de geometrías definidas mediante el cálculo de las ecuaciones de Saint-Venant (Abbott y Minns, 1998; Price y Vojinovic, 2011). Estas ecuaciones describen la evolución de la profundidad del agua y la descarga o la velocidad media del flujo, que representan los principios de conservación de la masa (ecuación de continuidad) y el momento. El enfoque 1D presenta algunas limitaciones, ya que no existe una relación espacial con la superficie que dificulta la estimación de los daños en los edificios (Mark y Hoster, 2004). Sin embargo, la superficie urbana puede tratarse como una red de canales abiertos y estanques conectados al sistema de tuberías normalmente asociado como enfoque 1D-1D (Kuiry et al., 2010). El proceso de simulación en el caso del modelado 1D-2D acoplado se basa en esquemas de solución numérica para el cálculo de niveles, descargas y velocidades del agua. La red de canales y tuberías está conectada con el modelo de flujo de inundación que considera la superficie urbana como un dominio de flujo bidimensional. Los dos dominios 1D y 2D normalmente están acoplados en las celdas de la cuadrícula sobre los puntos computacionales del canal a través de puntos mutuos de la celda conectada y la sección del canal (Seyoum et al., 2012); Vojinovic y Tutulic, 2009).

Los modelos 2D implican un menor grado de promedio de ecuaciones hidráulicas fundamentales en comparación con los modelos 1D, por lo tanto, puede considerarse como una descripción más realista de las condiciones de flujo. El modelado 1D-2D es una buena opción cuando se trata de eventos extremos y la superficie urbana está cubierta con profundidades de inundación excesivas. La mayoría de los modelos de inundación de aguas superficiales aplican perfiles de lluvia de diseño de período de retorno conocido y un Modelo Digital de Terreno (DTM) del paisaje. La lluvia se convierte en escorrentía dependiendo del tipo de uso de la tierra (rural o urbano) y luego se enruta a lo largo de las rutas de flujo hacia los puntos bajos donde puede acumularse. Al examinar la extensión y profundidad máximas de las inundaciones en cada punto del área modelada, podemos determinar las viviendas, negocios e infraestructura que probablemente estén expuestos a las inundaciones.

DTM, que representa la superficie del suelo sin ningún objeto, como planos y edificios, es necesario para el análisis de la topografía del terreno, para configurar modelos 2D, procesar los resultados del modelo, delinear los riesgos de inundación, producir mapas de

inundaciones, estimar daños y evaluar diversas medidas de mitigación. Además, un Modelo de superficie digital (DSM) que representa la superficie de la tierra e incluye todos los objetos en ella. Incluye edificios, vegetación y carreteras, así como características naturales del terreno. Puede ser útil para aplicaciones de modelado de paisajes, modelado de ciudades y visualización (Abdullah et al., 2011) .

El riesgo de inundación de las aguas superficiales tiene el potencial de aumentar en el futuro debido a diferentes fuerzas impulsoras, como el crecimiento de la población y la dinámica urbana. No es sostenible depender de la infraestructura tradicional de alcantarillado y aguas superficiales, para gestionar las inundaciones de aguas superficiales en UDS a largo plazo. El diseño de tuberías más grandes y almacenamiento subterráneo es costoso y, a veces, no se puede adaptar a condiciones extremas. En términos de modelado, se debe implementar un enfoque holístico del drenaje que tenga en cuenta todos los aspectos de la UDS y produzca acciones sostenibles y a largo plazo. Esto requiere un examen de las fuentes, vías y receptores de las aguas de inundación para garantizar que se pueda aplicar una gama completa de medidas. En toda la zona urbana y durante cualquier evento, los flujos deben gestionarse y adaptarse de manera que causen un daño mínimo a las personas,

El avance de la hidroinformática tiene mucho que ofrecer a la industria del agua (Abbott, 1991; Abbott, 1999) y particularmente a las tormentas urbanas y al drenaje de aguas residuales. Price (2000) revisa aspectos de minería de datos y descubrimiento de conocimiento de grandes bases de datos de activos. La naturaleza complementaria del modelado basado en datos físicos y basados en datos del rendimiento de la red de drenaje, y los roles de los sistemas de soporte de decisiones y la gestión del conocimiento. Se afirma que la forma tradicional de buscar el drenaje urbano necesita cambiar. La existencia de procedimientos de ingeniería y las mejores prácticas de gestión dentro del drenaje urbano ofrece una base efectiva para el apoyo a la toma de decisiones, mejorada por el conocimiento tácito de los ingenieros que se hace explícito a través de la aplicación de dichos sistemas de apoyo a la decisión.

(Egger et al., 2013), proponen un modelo de red existente con carencias de datos, centrándose en el error sistemático creado por la falta de datos históricos. Los datos para la aplicación práctica discutidos en el presente capítulo se derivan de una utilidad en la

cual la rehabilitación sistemática y extensa de la red de alcantarillado se introdujo a mediados de la década de 1980 y ha continuado hasta el presente. Utilizamos un subconjunto de datos que comprende más de 6700 tuberías de hormigón hilado con diámetros de 800 mm o menos. No se logró estimar los parámetros del modelo, la razón principal es que los conjuntos de datos disponibles no contienen suficiente información para estimar las tasas de rehabilitación independientemente de los parámetros que definen el deterioro.

Durante las últimas dos décadas, especialmente con la disponibilidad de la energía y el software de la computadora, ha tenido un impacto en las posibilidades de los ingenieros en ejercicio de estudiar el comportamiento hidrodinámico de los sistemas de drenaje. Clemens (2001) propone métodos relacionados con el uso de modelos informáticos en el campo del drenaje urbano. Este trabajo discute los procesos relevantes al modelar la hidrodinámica en un sistema de drenaje mediante la combinación de diferentes características de un modelo 1D y mediciones, con el objetivo de obtener una mayor precisión y confiabilidad de modelado.

Djordjevic et al. (1999) presentan un enfoque para la simulación de la escorrentía de lluvia en el cual el modelo numérico toma en cuenta no solo el flujo a través del sistema de alcantarillado, sino también el flujo en la superficie. El modelo numérico maneja simultáneamente las ecuaciones dinámicas completas del flujo a través del sistema de alcantarillado y las ecuaciones simplificadas del flujo superficial. Chen et al. (2007) También desarrolló un modelo numérico integrado para simular los procesos de escorrentía en áreas urbanas. Se usa un modelo 1D para calcular los hidrogramas de lluvia-escorrentía y las condiciones de flujo en las redes de drenaje. Se emplea un modelo 2D para enrutar el flujo en la superficie terrestre. Ambos modelos se resuelven mediante diferentes esquemas numéricos y utilizando diferentes pasos de tiempo con el flujo a través de pozos de registro adoptados como conexiones de modelo. La sincronización de tiempo entre ambos modelos se tiene en cuenta para garantizar enlaces de modelos adecuados.

El desarrollo de estrategias rentables de gestión de inundaciones se ha vuelto importante para muchas ciudades, Vojinovic y Tutulic (2009) exploran el análisis de diferencia en terrenos irregulares. Se muestra que en el caso de terrenos adecuados para modelos exclusivamente 1D, la predicción de las variables de flujo a lo largo del canal puede ser

realista. Cuando se trata de la proyección en un mapa 2D, la representación de la topografía del terreno junto con las técnicas de mapeo empleadas introduce un factor limitante en su aplicación exitosa. Los resultados de este estudio brindan a los usuarios de modelos numéricos información que puede usarse para ayudarlos a determinar qué herramienta usar y qué aspectos considerar para hacer análisis más confiables de los procesos de inundación en áreas urbanas.

Siekman (2013), presenta opciones de una gestión de área optimizada a través de un drenaje urbano resistente. Los resultados del estudio confirman que el uso combinado de instalaciones descentralizadas para inundaciones pluviales es un primer paso para proteger la infraestructura urbana. Las instalaciones descentralizadas son más flexibles que las centralizadas y tienen una mayor capacidad de adaptación que se necesita teniendo en cuenta los diversos efectos del cambio climático. El modelo de drenaje doble se usó para simular instalaciones descentralizadas combinadas de gestión del agua de lluvia con fines de inundación. Mugume et al. Llevaron a cabo un nuevo análisis de resiliencia.(2015) para investigar el desempeño de un sistema de drenaje urbano durante escenarios de falla de tuberías. Los resultados indican que la estrategia de diseño que incorpora tanques de almacenamiento distribuidos aguas arriba minimiza el volumen de inundación y la duración media de la inundación nodal. Cuando se consideran los costos asociados con la falla, las estrategias de diseño resilientes, la infiltración reduce la escorrentía podrían resultar más rentables durante la vida útil del diseño.

En la zona urbana del Cantón Marcelino Maridueña (Núñez et al, 2018) desarrollaron un sistema de modelado mediante el programa SewerCAD, que ofrece una amplia gama de beneficios que permite determinar de forma práctica y en corto tiempo los posibles problemas que pueden presentarse en eventos desfavorables, mediante su cómputo y cálculo es posible evaluar velocidades máximas, mínimas, propiedad de auto limpieza, capacidad hidráulica, tirantes de agua mínimos, máximos, perfiles de flujo, pendientes, terreno natural, cámaras, entre otros; para poder comparar con los estándares de calidad que aseguren una óptima funcionalidad de sus estructuras y estimar una posible rehabilitación o renovación.

Como se dijo antes, algunos de los principales desafíos para modelar la lluvia y la escorrentía en áreas urbanizadas es la compleja interacción entre el sistema de

alcantarillado y la superficie terrestre, y la heterogeneidad espacial de las características clave urbanas. Leandro et al.(2016)Proponer una metodología para considerar la variabilidad de los tipos de edificios y la heterogeneidad espacial de las superficies terrestres. Se demostró que la capacidad de representar las características clave urbanas de la heterogeneidad espacial se ve claramente mejorada por la metodología desarrollada. Webber et al. Presentaron una evaluación rápida de las opciones de gestión de inundaciones de aguas superficiales en cuencas urbanas.(2018). Proponen un nuevo marco para la evaluación de la intervención de inundaciones de aguas superficiales en alta resolución. El marco mejora la eficiencia computacional mediante la utilización de datos accesibles, representaciones simplificadas de intervenciones y un modelo de inundación de autómatas celulares eficiente en el uso de recursos. Los resultados del estudio de caso demuestran que el marco puede proporcionar valores de rendimiento cuantitativos para una variedad de intervenciones. La velocidad de análisis respalda la aplicación del marco como una herramienta de toma de decisiones para la planificación del agua urbana.

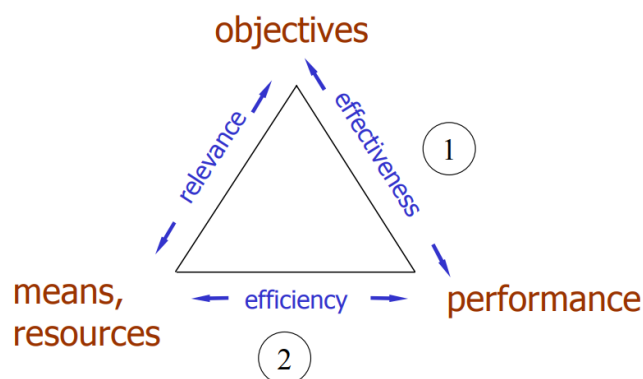
(Vargas y Villegas,2013) plantean la utilización de SWMM como modelo de sistema de redes. Propusieron un Modelado de Alcantarillado Sanitario y Pluvial, mediante el “Software EpaSwmm”, Se llevó a cabo mediante el Método del bloque alterno. Es útil para comportamientos de redes de alcantarillado en los aspectos hidráulicos e hidrológicos, los cuales permiten conocer el comportamiento de las redes desde el inicio hasta el final de la urbanización. El método de los bloques alternos consiste en que, a partir de la definición de una duración total de una tormenta y la definición de duraciones de intervalos dentro de esa duración total, se distribuyen bloques de precipitaciones correspondientes a esas duraciones utilizando las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, y obteniendo un Histograma de Diseño.

4.4 Indicadores de desempeño

Los indicadores relacionados con el diseño del sistema de alcantarillado son parámetros que se utilizan para describir propiedades relevantes del sistema. La introducción de la Directiva Marco del Agua y más específica del enfoque combinado establece la necesidad de nuevos indicadores para evaluar el desempeño del sistema de alcantarillado. En este

caso, no es suficiente considerar solo los indicadores clásicos para el drenaje urbano, es necesario considerar también los parámetros, que describen el impacto de las actividades de drenaje urbano en las aguas receptoras (Ver, De Toffol, 2006).

De acuerdo con la Investigación científica e industrial de la Commonwealth (Vincent et al., 2007), La evaluación del desempeño es una parte esencial de la gestión. Cada organización debe tener objetivos y medios para alcanzarlos (Figura 2.2) y es esencial para evaluar cómo se cumplen estos objetivos (efectividad) y cómo se utilizan los recursos (eficiencia).



(Imagen de Vincent et al., 2007)

Ilustración 2. El triángulo de gestión para la evaluación del desempeño.

El rendimiento se puede definir y evaluar desde una variedad de perspectivas. En la ilustración 2. corresponde al grado en que los productos y servicios de una organización responden a las necesidades de sus clientes. (2) Está relacionado con el grado en que la organización utiliza los recursos a su disposición, tanto estratégicos como operativos. El rendimiento debe evaluarse mediante el uso de un conjunto de indicadores asociados con criterios y niveles objetivo (Ilustración 2). Las asociaciones de parámetros los convierten en indicadores. Los criterios son límites de los valores del indicador utilizados para clasificar los valores del indicador en rangos aceptables o no aceptables. Un valor nominal y un rango de desviación de valores aceptables alrededor del valor nominal definen los niveles objetivo.

Los indicadores ambientales son una herramienta útil para medir su impacto. Sin embargo, se debe considerar cuidadosamente el desarrollo de un conjunto de indicadores para

eliminar, planificar o programar impactos específicos. Donnelly et al.(2007) demostrar la capacidad de un enfoque basado en talleres para desarrollar criterios adecuados para seleccionar indicadores ambientales en una Evaluación Ambiental Estratégica (SEA). En el enfoque se utilizó un equipo multidisciplinario con representantes de cada uno de los cuatro campos ambientales, biodiversidad, agua, aire y factores climáticos, junto con expertos de SEA, expertos en planificación, académicos y consultores. Los resultados de esta revisión junto con los criterios originales se aplicaron a la lista final acordada. Algunos de los criterios seleccionados incluyen, relevancia para el plan, capacidad para priorizar y capacidad para identificar conflictos con otros objetivos del plan u SEA.

Los sedimentos en las alcantarillas son la fuente de diversos problemas y perturbaciones, como la reducción de la sección hidráulica y los desbordamientos prematuros, los olores y los problemas de corrosión, y la liberación de contaminantes durante los flujos máximos y los eventos de tormenta, las afectaciones en las tuberías por la falta de mantenimiento provocan que su desempeño se vea afectado, dicen Ashley et al (2004). Scheidegger, et al (2012) tuberías de cualquier material en un desempeño óptimo reducen los problemas de infiltración hasta en un 23.9%. Una gran cantidad de enfermedades humanas están relacionadas con el acceso deficiente al agua y los sistemas de alcantarillado, el manejo deficiente de desechos sólidos y el drenaje insuficiente de aguas pluviales. Rego et al.(2013) desarrollar indicadores de saneamiento ambiental y clasificar las condiciones de saneamiento en cuencas de alcantarillado específicas y sus respectivos vecindarios. La base de datos utilizada contiene información sobre los componentes de saneamiento dentro de las áreas de sistemas de alcantarillado, drenaje urbano, suministro de agua, tipología de edificios, pavimento de carreteras y limpieza pública. Los datos se evaluaron mediante el análisis de conglomerados. Se identificó la variable clave de cada componente y se clasificaron ocho cuencas de alcantarillado y veintitrés vecindarios en las categorías de "bueno", "regular" y "pobre". El uso de indicadores de saneamiento ambiental permite a los tomadores de decisiones encontrar áreas críticas y definir prioridades para mejorar las condiciones de saneamiento ambiental. Según PlasticsEurope, (2017) Con respecto a los sistemas de tuberías para el suministro de agua potable y eliminación de aguas residuales, los materiales poliméricos más utilizados son: el PVC, el PE y el PP. Especialmente para tuberías de alcantarillado por gravedad, el PVC se ha utilizado

ampliamente en las últimas décadas y se ha convertido en el material de construcción dominante.

Según Kuliczowska y Zwierzchowska (2016) Se analizaron tres tipos de defectos en tuberías de PVC, es decir, abolladuras, deflexiones y pandeo, para determinar si es posible la rehabilitación sin zanjas de tales tuberías y para mejorar los modelos de deterioro de alcantarillas existentes. Las principales conclusiones se refieren a las presiones presentadas dentro de la tubería generando posibles defectos dentro del desempeño de la tubería. Así mismo se ven inmersos indicadores de desempeño como diámetros y espesores que se ajustan a las presiones requeridas para el proyecto.

Según lo informado por Santos et al. (2018) en las últimas dos décadas, la evaluación del desempeño basada en los indicadores de desempeño (IP) ha sido una de las áreas que muestra el mayor avance en el sector del agua. Sin embargo, se han llevado a cabo pocos proyectos e iniciativas de evaluación del desempeño basados en PI con respecto a los sistemas de drenaje urbano. Por esta razón, presentan un estado de la técnica para comprender la aplicabilidad de las metodologías existentes, sus limitaciones y direcciones futuras. El objetivo principal de la investigación fue desarrollar un marco de evaluación de desempeño con enfoque en el sistema de drenaje urbano, incluyendo recomendaciones de mejores prácticas. El rendimiento se cuantificó mediante la aplicación de métricas de rendimiento, como PI, y se clasificó en función de los valores de referencia.

La evaluación del desempeño también consideró diferentes contextos de actividad, integrando varios tipos de sistemas de drenaje urbano, incluidos el SUDS convencional y su combinación. Categorías prácticas como ambiental, ecológica, hidráulica, infraestructura, social y económica. Las características definidas para el marco de evaluación del desempeño llenan los vacíos en el campo y facilitan su aplicación por las empresas de servicios públicos de agua y los municipios.

4.5 Enfoques sostenibles

Pasar de soluciones de ingeniería duras (es decir, sistemas convencionales de alcantarillado por tuberías) a algunos dispositivos en los que el agua de lluvia se va a drenar por medios naturales y no habrá necesidad de que las alcantarillas pluviales se

denominen Sistemas de Drenaje Sostenibles (SUDS) o Infraestructura Verde (GI) (Woods-Ballard et al. 2015). La sostenibilidad puede existir en la compleja red del sistema de drenaje urbano. La implementación de técnicas de diseño sostenible servirá para producir un sistema de drenaje viable a largo plazo. Los sistemas de drenaje de aguas superficiales deben considerar cuestiones de calidad, cantidad y amenidades. Los SUDS son más sostenibles que los sistemas tradicionales porque:

- Controla la velocidad de flujo de la escorrentía superficial, reduciendo el impacto de la urbanización.
- Protege y / o mejora la calidad del agua.
- Considera el entorno natural y las necesidades de la comunidad.
- Crea nuevos hábitats de vida silvestre entre los cursos de agua.
- Promover la recarga natural de agua subterránea.

Este enfoque sostenible del drenaje urbano es un logro ya que los sistemas tienen como objetivo tratar con la escorrentía superficial en el punto en que ocurre y gestionar la contaminación potencial en su origen. La introducción de SUDS en un área permite que el desarrollo futuro tenga lugar en áreas donde la capacidad del sistema de drenaje tradicional está llena. El principio detrás de SUDS es imitar los procesos de drenaje natural, eliminar los contaminantes y gestionar el riesgo de inundación en la fuente, al tiempo que demuestra ser un contribuyente significativo al aumento de la biodiversidad (Jensen et al.,2010).

Técnicas SUDS / GI

Las técnicas de SUDS son diferentes y permiten alcanzar diferentes objetivos, como la mejora de la calidad del agua, la protección contra inundaciones, el aumento de la biodiversidad o la restauración urbana. Dependiendo del objetivo que deba maximizarse, es posible utilizar filtros de zanja, sistemas de biorretención, zanjas con vegetación, estanques y humedales. Diferentes SUDS permiten proponer un enfoque para varias escalas de implementación, que se pueden subdividir de la siguiente manera:

- Espacios abiertos
- Lotes de propiedades
- Edificios
- Calle y estacionamiento
- Reequipamiento de áreas verdes existentes

A diferencia de las alcantarillas que dependen de sistemas centralizados y generalmente tienen una vida útil de aproximadamente 100 años, los SUDS se basan principalmente en la gestión local o in situ de la escorrentía de aguas pluviales urbanas y se pueden implementar de acuerdo con patrones de lluvia potencialmente cambiantes con relativamente poca antelación. Los sistemas pueden emplear básicamente cuatro mecanismos físicos para controlar las cantidades de agua de la siguiente manera: (Ingvertsen,2011).

(1) Almacenamiento en estanques o cuencas: el agua se puede liberar lentamente de regreso al sistema de alcantarillado u otros SUDS. (2) Infiltración en el subsuelo: el agua se filtra a depósitos de agua subterránea o tuberías de drenaje que conducen a cuerpos de agua superficiales cercanos. (3) Evaporación: una fracción del agua de una variedad de SUDS potencialmente dejará el sistema como vapor, pero ningún SUDS depende completamente de la evaporación. Las plantas típicamente mejoran la evaporación a través de la evapotranspiración. (4) Transporte: transporte de la escorrentía entre superficies impermeables y SUDS o entre SUDS individuales.

El enfoque SUDS para el drenaje incluye una amplia gama de métodos. Como consecuencia de esto, no hay una solución de drenaje correcta para un lugar específico. En la mayoría de las ocasiones, una combinación de técnicas resulta en mejores prácticas. Las técnicas de SUDS se pueden dividir en cuatro categorías: control del agua de lluvia en la fuente, trincheras de infiltración y desagües de filtro, canales y cuencas y estanques y humedales. Estas técnicas son descritas por Woods-Ballard et al.(2015) como sigue:

Fuente de control

Techos verdes

Son sistemas de varias capas que comprenden cobertura vegetal o paisajismo sobre una capa de drenaje. El objetivo es interceptar y retener la precipitación, lo que resulta en menos escorrentía superficial. Las ventajas y desventajas de implementar techos verdes se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de implementar techos verdes

Ventajas	Desventajas
Elimina eficazmente los contaminantes.	Más caro que la escorrentía tradicional.
Apto para desarrollos de alta densidad.	No apto para techos empinados.
Beneficios ecológicos, estéticos y de amenidades.	La vegetación del techo necesita mantenimiento.
No se necesita tierra.	La impermeabilización es vital ya que el techo actúa como un fregadero.
Mejora de la calidad del aire.	Proporcionar aislamiento del edificio. Absorbentes de sonido.

Colecta de agua de lluvia

El agua de lluvia de superficies impermeables se almacena y utiliza. El propósito de la recolección de agua de lluvia es reutilizar el agua y reducir las tasas de escorrentía superficial. Las ventajas y desventajas de implementar la recolección de agua de lluvia se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de implementar la recolección de agua de lluvia

Ventajas	Desventajas
Controla el flujo de la escorrentía superficial.	Riesgo de contaminación.

Reduce la demanda de agua de red.	Los tanques de almacenamiento subterráneos pueden ser complejos y costosos.
Los métodos como las colillas de agua son baratos.	Antiestético si el almacenamiento está por encima del suelo.
Fácil de instalar.	

Pavimentos Permeables

Proporcione una superficie duradera que permita que el agua superficial se infiltre a través del pavimento y en el suelo debajo. El agua puede almacenarse temporalmente en el pavimento antes de infiltrarse o liberarse en un sistema de drenaje. Las ventajas y desventajas de implementar pavimentos permeables se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de implementar pavimentos permeables

Ventajas	Desventajas
Eliminar contaminantes.	No se puede usar en áreas con riesgo de ser inundadas por grandes cargas de sedimentos.
Reduzca las tasas de escorrentía.	No probado en áreas de alta velocidad y grandes volúmenes de tráfico.
Bajo mantenimiento.	Prevención de hielo.
No toma tierra.	Prevención de estanques de superficie.

Infiltración y Filtrado

Trincheras de infiltración

Una zanja de infiltración es un canal excavado y poco profundo que se ha llenado con agregado de piedra para crear un depósito de almacenamiento subterráneo. El propósito de estas trincheras es permitir que la escorrentía se infiltre en el suelo a medida que ingresa a la trinchera.

Zanjas de filtración / desagües

Las zanjas o desagües de filtración son similares en construcción en comparación con las zanjas de infiltración, aparte de una tubería perforada que atraviesa el canal estrecho. El propósito de esto es permitir que el agua se filtre en el suelo circundante y en la tubería que luego transfiere el agua a una unidad de eliminación. Las ventajas y desventajas de implementar zanjas de infiltración se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de implementar zanjas de infiltración

Ventajas	Desventajas
La infiltración reduce la escorrentía.	Los bloqueos son comunes y difíciles de encontrar.
La contaminación del agua se reduce por filtración a través del suelo.	Acumulación de contaminantes difíciles de ver.
Se pueden construir trincheras en el paisaje.	Limitado a pequeñas cuencas. Alto costo de reposición.

Swales y cuencas

Estas variaciones en SUDS pueden tratarse como características dentro de las áreas ajardinadas de un sitio o incorporarse en piezas ornamentales. Las características se pueden instalar como parte de un sistema de drenaje que se conecta a un estanque o a un área de humedal.

Swales

Un swale es un área de depresión con césped que guía la escorrentía superficial desde el área de origen hacia un sistema de almacenamiento o descarga. Las zanjas se pueden incorporar al paisaje como bordillos en la carretera evitando métodos de construcción alternativos. Las zanjas son anchas y poco profundas como zanjas que proporcionan almacenamiento temporal, transporte, tratamiento y la infiltración de aguas superficiales.

Cuencas

Las cuencas están diseñadas para retener el agua durante algunas horas para garantizar un asentamiento de sólidos. Las cuencas solo se usan temporalmente y, fuera de los períodos de tormenta, permanecen secas. Proporcionan almacenamiento de agua a corto plazo y el asentamiento de sólidos asegura la filtración de agua reduciendo la contaminación.

Estanques y Humedales

Los estanques y humedales son ecosistemas naturales y en su forma original son partes valiosas del sistema de drenaje. La construcción de estos cuerpos de agua permanentes contribuirá a la comodidad visual y la biodiversidad y puede formar un enlace intrínseco en una red de sistemas de drenaje sostenibles. Los estanques y humedales pueden diseñarse con el potencial de almacenar varios niveles de agua en diferentes momentos. Esto los convierte en características que se ocupan de la escorrentía superficial y mejoran la capacidad de almacenamiento de inundaciones para un sistema de drenaje particular. El uso de humedales o estanques existentes para el tratamiento de aguas superficiales es poco probable que sea aceptable, pero esto no inhibe la creación de nuevas características.

Selección de SUDS / GI

El tren de gestión de aguas superficiales aborda la cuestión del drenaje en etapas, junto con los procesos que ocurren en una cuenca natural. El proceso comienza con la

prevención de forma individual y progresa al control local y regional. La escorrentía superficial no tiene que pasar por todas las etapas del tren de gestión. El objetivo es tratar el problema localmente y luego devolver el agua a su fuente. Los SUDS están diseñados utilizando los mismos principios de hidrología que los sistemas de drenaje tradicionales, pero diferentes métodos de aplicación. Se debe dar igual consideración a los problemas de calidad, cantidad y amenidades que resultan en un enfoque multidisciplinario para el drenaje. Los SUDS se seleccionan de acuerdo con el tren de gestión de aguas superficiales. La técnica preferida es tratar con la escorrentía superficial cerca de la fuente y gestionarla localmente (Woods-Ballard et al., 2015).

El tren de gestión recomienda usar una variedad de técnicas para tratar el problema del drenaje. Los sistemas de drenaje son parte de un ciclo más amplio de agua y su consideración es esencial en términos del proceso de desarrollo. La variación del sitio identifica la necesidad del uso de diferentes tipos de SUDS. La ubicación, el tamaño y la densidad urbana del sitio restringen el tipo de SUDS que se puede implementar. La selección de sistemas de drenaje no es un proceso claro y las evaluaciones de la capacidad del sitio deben considerarse en un contexto más amplio con un enfoque geográfico más amplio en lugar de detalles técnicos limitados. El control de la fuente es el método preferido de gestión de los recursos hídricos. La clave para el control de la fuente es la prevención en lugar de la mitigación, si los peligros no se dan cuenta, entonces el riesgo no tiene que ser manejado.

Las prácticas de Infraestructura Verde (IG) se han identificado como un método sostenible de gestión de aguas pluviales a lo largo de los años. Debido a la creciente popularidad de GI como estrategia integrada de gestión del agua urbana, la mayoría de las herramientas actuales de modelado de cuencas incorporan estas prácticas, como módulos incorporados. Jayasooriya y Ng (2014) presentan una revisión de una selección de las herramientas de modelado más recientes y populares en función de su accesibilidad. Esta revisión proporciona el conocimiento fundamental de diferentes herramientas de modelado que ayudarán con la detección de un modelo de acuerdo con los requisitos de la cantidad de herramientas disponibles. Se presentan futuras instrucciones de investigación sobre el desarrollo de herramientas más completas para el modelado y las recomendaciones de IG.

Se ha creado un marco flexible para modelar procesos hidrológicos multidimensionales y de calidad del agua dentro de las prácticas de IG de aguas pluviales (Ver, Massoudieh et al. 2017). Este enfoque conceptualiza las prácticas de IG utilizando bloques (características espaciales) y conectores (interfaces) que representan componentes funcionales de una IG. El marco utiliza un algoritmo implícito de Newton-Raphson para resolver ecuaciones que representan la hidráulica, el transporte de partículas y la transformación de los componentes de la calidad del agua. Se presentaron cuatro casos de demostración que muestran aplicaciones para una variedad de prácticas GI de tipo común, pero implementaciones de sistemas únicos que incluyen un sistema basado en bioretención, un sistema de pavimento permeable, una cuenca de infiltración hipotética y un estanque mojado hipotético de calidad de agua que interactúa con el agua subterránea. Estas demostraciones muestran la capacidad del marco para representar efectivamente varios procesos que afectan el flujo, así como el transporte y la transformación de la contaminación dentro de los sistemas IG.

Wang et al. (2017) También presenta un nuevo marco para la toma de decisiones en el sistema de drenaje sostenible. Integra resistencia, rendimiento hidráulico, control de contaminación, uso de agua de lluvia, análisis de energía, emisiones de gases de efecto invernadero y costos dentro de 12 indicadores. Se seleccionaron métodos de análisis de criterios múltiples de peso de entropía para apoyar la selección del esquema. Este marco ayudará al tomador de decisiones a elegir un esquema de diseño apropiado para la implementación sin subjetividad.

La infraestructura azul y verde (BGI) proporciona una amplia gama de servicios ecosistémicos (ES) y otros beneficios al gestionar las aguas pluviales, más allá del control del flujo y la contaminación. Ashley et al.(2018)describe los beneficios de SUDS Tool, desarrollada en el Reino Unido por la Asociación de Investigación e Información de la Industria de la Construcción (CIRIA) para valorar los beneficios de BGI para las medidas de aguas pluviales. La herramienta se ha aplicado a estudios de casos en toda Europa. Incluye un conjunto de beneficios basados en servicios ecosistémicos aplicados al uso de BGI para el manejo de aguas pluviales. Incertidumbres en esta evaluación de beneficios múltiples, que detalla los procesos utilizados en la herramienta. Las incertidumbres al usar las herramientas de valoración de BGI ayudan a informar la entrega de medidas de aguas

pluviales se demuestran en este trabajo como potencialmente de magnitud suficiente para justificar la consideración explícita por parte de profesionales y tomadores de decisiones.

La evaluación de la efectividad de las prácticas de infraestructura verde (IG) para mejorar la hidrología del sitio y la calidad del agua y su costo asociado podría proporcionar información valiosa para los tomadores de decisiones al crear estrategias de desarrollo / re-desarrollo. Chen et al.(2019) presentar un modelo de precipitación pluvial a escala de captación para mejorar la simulación de las prácticas de gestión del agua urbana, incluidas las prácticas de IG. Este modelo es capaz de simular con mayor detalle superficies impermeables, como aceras, carreteras, entradas de vehículos y estacionamientos, realizar cálculos de costos para convertir estas superficies impermeables en pavimentos porosos y seleccionar áreas adecuadas para la biorretención en el área de estudio.

La efectividad de las prácticas GI para mejorar la hidrología y la calidad del agua en una cuenca hidrográfica combinada se examinó en once escenarios de simulación utilizando 8 prácticas. Se calculó el costo total y la rentabilidad de cada escenario considerando una vida útil de práctica de 20 años. Los resultados mostraron que la implementación combinada de las prácticas gastrointestinales funcionó mejor que la aplicación de prácticas individuales por sí sola. Los niveles de adopción y las combinaciones de prácticas GI podrían reducir potencialmente el volumen de escorrentía. Agregar más prácticas no necesariamente logró una escorrentía sustancial y reducciones de contaminantes basadas en las características del sitio. Este modelo mejorado se puede aplicar a diferentes ubicaciones para ayudar a evaluar los usos beneficiosos de las prácticas de IG.

Futuros conductores.

Los dos factores principales que afectan la escorrentía de las áreas urbanas locales son la lluvia y el área impermeable conectada al sistema de drenaje, estos influyen en la fuente de inundación y las vías. Además, la condición del sistema de drenaje y su propensión a bloquearse, ya sea debido a factores locales o problemas de mantenimiento, también influyen localmente en las vías. La urbanización depende del desarrollo, ya sea formal (planificado) o informal, como la pavimentación de jardines, que generalmente se encuentra dentro del área no controlada del desarrollo permitido. Un ejemplo de una

revisión detallada de los futuros impulsores del riesgo de inundación específicamente en términos de SUDS se puede encontrar en Eckart(2012).

La intensidad de la lluvia está aumentando y la tasa a la cual las superficies pavimentadas se están introduciendo actualmente en áreas urbanas, lo que resulta en aumentos similares en los flujos y volúmenes de aguas pluviales que pueden afectar los sistemas de drenaje existentes (Ashley et al., 2005; Noor et al.2018)desarrolló un marco metodológico para actualizar las curvas de intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones (IDF) bajo escenarios de cambio climático. Se utiliza un método de estadísticas de salida del modelo (MOS) para reducir la precipitación diaria de los modelos de circulación general (GCM), y se utiliza una red neuronal artificial (ANN) para la desagregación de la precipitación diaria proyectada a la precipitación máxima por hora, que luego se utiliza para El desarrollo de curvas IDF. Finalmente, los primeros cuartiles, medianas y terceros cuartiles de las intensidades de lluvia proyectadas se estiman para desarrollar curvas IDF con nivel de incertidumbre. Las curvas IDF desarrolladas en este estudio pueden usarse para la planificación de la infraestructura de gestión de aguas pluviales urbanas resistente al clima.

De acuerdo con Jean et al. (2018), los desbordamientos combinados de alcantarillas (CSOs) originan problemas ambientales y riesgos para la salud, pero existe una guía deficiente sobre el uso de datos de lluvia para dimensionar soluciones óptimas de control de CSO. Revisan los tipos de información de lluvia disponibles como entrada para el modelado de CSO y evalúan los impactos de tres métodos de selección de datos de lluvia (simulación continua, tormentas históricas seleccionadas en función de la profundidad de lluvia o intensidad máxima y tormentas derivadas de IDF) en la estimación de los umbrales de volumen de CSO en para alcanzar objetivos específicos de frecuencia estacionales de CSO. Se descubrió que las características locales de las estructuras de desbordamiento tenían una influencia marginal en los resultados obtenidos de la simulación continua en comparación con la simulación basada en eventos. Por lo tanto, el uso de eventos de lluvia de diseño debe restringirse a la evaluación preliminar de los umbrales de volumen de las CSO, y la estimación del volumen final para el dimensionamiento de la solución debe revisarse bajo simulación continua.

Los valores sociales tienen efectos continuos sobre los objetivos de UDS. Las demandas sociales, ecológicas y culturales podrían alcanzar importancia a medida que aumenta el conocimiento público de los requisitos de sostenibilidad. La comprensión de cómo la urbanización interviene con los patrones de flujo es necesaria para desarrollar estrategias para el manejo de aguas pluviales, el control de inundaciones urbanas y los estándares de desarrollo urbano Gomes et al.(2012). Cambiar los requisitos legales también podría tener consecuencias para los objetivos de SUDS, por esta razón, la planificación del drenaje urbano debe considerar un amplio conjunto de aspectos y debe integrarse con la política de uso del suelo, la planificación de la ciudad, el código de construcción y toda la legislación relacionada (Furlong et al.2018).

El desarrollo económico general y sus consecuencias para la financiación de los proveedores de infraestructura también influirán en los objetivos de SUDS. La crisis financiera de los organismos públicos podría dar lugar a tendencias hacia una mayor privatización de la infraestructura o una disminución de los estándares para el diseño y la operación de la infraestructura a fin de reducir los costos. La duración, intensidad y frecuencia de los eventos de lluvia se ven afectados por alteraciones fundamentales a largo plazo en los patrones climáticos. La disponibilidad de información sobre precipitaciones con alta resolución espacial es de fundamental importancia en muchas aplicaciones en el campo de los recursos hídricos (Corzo et al.,2009; Rodríguez y cols.2012; Li et al.2013; Alvis et al.2016) Existe una diferencia significativa entre lo que puede proporcionar la ciencia del clima y lo que se requiere para el diseño de sistemas de infraestructura (Hallegatte,2009).

Los diferentes impulsores del entorno del sistema social contribuyen a las influencias de las cargas de contaminación en los sistemas de drenaje, la carga de contaminación de la escorrentía está influenciada por el uso del suelo del área de captación (Martínez et al., 2014). Los aumentos en el volumen de tráfico, así como los desarrollos en las tecnologías de tráfico también influirán en las cargas de contaminación de la escorrentía urbana de manera considerable. La carga de contaminación de la escorrentía urbana también se ve afectada por la contaminación general del aire, para evitar esto, se deben considerar los desarrollos futuros de la contaminación del aire. Además, la carga de contaminación está influenciada de diversas maneras por los desarrollos a mediano y largo plazo, estas

incertidumbres estructurales no pueden reducirse y pueden describirse utilizando escenarios futuros (Galvis et al.,2014; Galvis et al.2014; Martínez-Cano et al.2014)

Los desarrollos espaciales en las ciudades también han experimentado una extensa expansión del suelo urbano que ha creado varios impactos negativos en el ecosistema urbano. Los impulsores de la sub urbanización son procesos sociales como el crecimiento de la población, los requisitos cambiantes de vivienda y el aumento de la demanda media de espacio vital por persona. Los desarrollos locales en sitios de desarrollo único también afectan el tamaño de las superficies pavimentadas y, a nivel local, se asocian con una serie de incertidumbres propias. Las interacciones de los diferentes desarrollos espaciales globales y locales están asociadas con incertidumbres, en la mayoría de las ciudades las tendencias pueden derivarse de la disminución de la población en un sitio y el aumento de la población en otro sitio. Las tendencias de desarrollo espacial están asociadas con incertidumbres a mediano y largo plazo y podrían describirse en escenarios futuros (Sánchez,2013; Sánchez y cols.2013).

Las fuerzas impulsoras en relación con el rendimiento hidráulico pueden ocurrir durante el proceso de operación del sistema. Durante el funcionamiento, existe el peligro de fallas: los cuellos de botella en las zanjas causados por desechos, plantas, sedimentos, etc., tales cuellos de botella ocurren accidentalmente, pero el peligro podría reducirse mediante un control y mantenimiento regulares. Además, hay problemas con la sedimentación de las instalaciones de infiltración. Estos problemas podrían reducirse mediante medidas de construcción como instalaciones de sedimentación o filtración a través del suelo vegetal o con medidas de manejo como restringir el uso de las áreas de infiltración para evitar la compactación del suelo y el mantenimiento regular. Por lo tanto, las incertidumbres para el rendimiento hidráulico pueden reducirse significativamente mediante un control y mantenimiento regulares.2016b; Lepot et al.2016).

4.6 Marco de optimización para la rehabilitación.

La toma de decisiones puede considerarse como un proceso de conocimiento que resulta en la selección de un curso de acción entre varios escenarios alternativos. Cada proceso de toma de decisiones produce una elección final y el resultado puede ser una acción o una opinión de elección (Reason,1990). Brindar un apoyo efectivo a las decisiones para

mejorar la planificación, la toma de decisiones y el desempeño de los sistemas de agua es de importancia crítica para los administradores del agua. Hay muchos ejemplos en los que la necesidad de apoyo a la decisión para los problemas relacionados con el agua ha llevado a altos costos ambientales, sociales y económicos para las sociedades. La optimización es un tipo de modelado que proporciona soluciones a problemas que se refieren a la elección de una "mejor" configuración o un conjunto de parámetros que logran algún objetivo (Savic,2008).

Para aplicar uno de los métodos de optimización, se debe definir el enunciado del problema, así como una definición clara de los objetivos y restricciones, interrelaciones específicas entre regiones factibles para la solución, cursos de acción alternativos. Posteriormente, se debe formular un modelo matemático: en la toma de decisiones, las preferencias se definen usando una función llamada función objetivo (Martínez et al.,2018). El problema del tomador de decisiones puede presentarse como uno de elegir una acción entre las variables de decisión factibles que maximizan o minimizan el valor de esta función. La selección de variables de decisión puede estar sujeta a restricciones o restricciones, y por lo tanto, también se debe definir un conjunto de modelos que representen tales restricciones (Price y Vojinovic,2011).

Optimización evolutiva

La optimización evolutiva (EO) es un algoritmo meta heurístico genérico basado en la población que utiliza un enfoque basado en la población en el que más de una solución participa en una iteración y desarrolla una nueva población de soluciones en cada iteración (Goldberg, 1989). Las razones de su popularidad son muchas: (1) EO no requiere ninguna información derivada (2) EO es relativamente simple de implementar y (3) EO es flexible y tiene una aplicabilidad generalizada (Deb,2011). La optimización evolutiva para un solo objetivo es diferente de las metodologías clásicas de optimización en las siguientes formas principales (Goldberg,1989):

- Un procedimiento EO generalmente no usa información de gradiente en su proceso de búsqueda. Por lo tanto, las metodologías EO son procedimientos de búsqueda directa, lo que les permite aplicarse a una amplia variedad de problemas de optimización.

- Un procedimiento EO utiliza más de una solución (un enfoque de población) en una iteración, diferente de la mayoría de los algoritmos de optimización clásicos que actualizan una solución en cada iteración (un enfoque puntual). El uso de una población tiene una serie de ventajas: (1) proporciona un EO con un poder de procesamiento paralelo que logra una búsqueda global computacionalmente rápida, (2) permite que un EO encuentre múltiples soluciones óptimas, facilitando así la solución de múltiples problemas de optimización modal y multiobjetivo, y (3) proporciona un EO con la capacidad de normalizar variables de decisión (así como funciones objetivas y de restricción) dentro de una población en evolución utilizando los mejores valores mínimos y máximos de la población.
- Un procedimiento EO utiliza operadores estocásticos, a diferencia de los operadores deterministas utilizados en la mayoría de los métodos de optimización clásicos. Los operadores tienden a lograr un efecto deseado mediante el uso de mayores probabilidades de obtener resultados deseables, en lugar de utilizar reglas de transición predeterminadas y fijas. Esto permite que un algoritmo EO negocie múltiples, óptimos y otras complejidades mejores y les proporcione una perspectiva global en su búsqueda.

Problema de optimización de objetivos múltiples

Un problema de optimización multiobjetivo implica una serie de funciones objetivas que deben minimizarse o maximizarse. Como en un problema de optimización de un solo objetivo, el problema de optimización de múltiples objetivos puede contener una serie de restricciones que cualquier solución viable (incluidas todas las soluciones óptimas) debe satisfacer. En el contexto de la optimización multiobjetivo, el principio extremista de encontrar la solución óptima no puede aplicarse solo a un objetivo, cuando el resto de los objetivos también son importantes (Deb,2011). Diferentes soluciones pueden introducir compensaciones (resultados contradictorios entre objetivos) entre diferentes objetivos. Una solución que es extrema (en un mejor sentido) con respecto a un objetivo requiere un compromiso en otros objetivos. Esto prohíbe a uno elegir una solución que sea óptima con respecto a un solo objetivo. Esto sugiere dos objetivos ideales de optimización de objetivos múltiples:

- Descubrir un conjunto de soluciones que se encuentran en el frente óptimo de Pareto.
- Encuentre un conjunto de soluciones que sean lo suficientemente diversas como para representar la gama completa del frente óptimo de Pareto.

Los problemas de optimización de objetivos múltiples aumentan un conjunto de soluciones óptimas de Pareto que necesitan un procesamiento adicional para llegar a una única solución preferida. Para lograr la primera tarea, se convierte en una propuesta bastante natural usar un EO, porque el uso de la población en una iteración ayuda a un EO a encontrar simultáneamente múltiples soluciones no dominadas, lo que representa una compensación entre los objetivos, en una sola ejecución de simulación.

Algunas aplicaciones en sistemas de agua urbanos.

Las inundaciones en áreas urbanizadas se han convertido en un tema muy importante a medida que el nivel de servicio o desempeño de los sistemas de agua urbanos (UWS) se degrada con el tiempo. Para mantener un rendimiento aceptable, se han llevado a cabo investigaciones exitosas con el objetivo de definir un marco para tratar la toma de decisiones multicriterio en el contexto de UWS.

Los métodos de análisis multicriterio se han utilizado durante la última década para resolver problemas ambientales. Martin et al.(2007) presenta una aplicación de un enfoque de análisis multicriterio (MCA) para la gestión del drenaje urbano. Se realizó una encuesta francesa para evaluar el desempeño de diferentes mejores prácticas de gestión (BMP) a escala nacional; Los resultados destacan las principales razones que justifican el uso de BMP. Los resultados de MCA obtenidos permiten clasificar las diversas alternativas de mejor a peor, teniendo en cuenta las diferentes estrategias adoptadas por los tomadores de decisiones involucrados. El desarrollo de un enfoque multicriterio podría, en el futuro, servir como una herramienta de ayuda para la toma de decisiones, cuyo propósito sería guiar a los usuarios en su elección de la solución de fuente de aguas pluviales.

La gestión diaria del agua se ve desafiada por los extremos meteorológicos, que causan inundaciones y sequías. Andel(2009), presente el uso de pronósticos meteorológicos en la gestión operativa del agua. Este trabajo incluye la simulación continua de pronósticos

meteorológicos y predicciones hidrológicas con acciones de gestión asociadas durante varios años. Esto permite la comparación y optimización de estrategias alternativas de gestión anticipatoria. Las redes de monitoreo proporcionan datos que se analizan para ayudar a los gerentes a tomar decisiones informadas sobre sus sistemas de agua. Alfonso(2010), propuso métodos innovadores para diseñar y evaluar redes de monitoreo. La idea principal es maximizar el rendimiento de los sistemas de agua optimizando el contenido de información que se puede obtener de las redes de monitoreo. Se realizó mediante la combinación de modelos y dos conceptos teóricos: teoría de la información y valor de la información.

La mayoría de las redes de alcantarillado están compiladas de activos antiguos que son cada vez más susceptibles al fracaso. Ward y Savic (2012), presentó una metodología para la especificación óptima de la inversión en rehabilitación de alcantarillado. Se basa en trabajos previos que exploraron la aplicación de herramientas de optimización de objetivos múltiples para ayudar a los ingenieros con la especificación de estrategias óptimas de rehabilitación. Mediante la introducción de una herramienta de optimización de objetivos múltiples para el problema, se desarrolló una metodología única capaz de evaluar cuantificablemente estrategias de rehabilitación óptimas. Méndez y cols. (2013) propuesta de optimización automática de parámetros de un sistema de distribución de agua (WDS). El objetivo de este estudio fue determinar si el estimador de parámetros independiente del modelo se puede utilizar para desarrollar un modelo de período extendido totalmente calibrado para un WDS utilizando un modelo de simulación. Este enfoque es capaz de fijar parámetros basados en un umbral de sensibilidad dado.

La operación de las instalaciones de control de inundaciones existentes es uno de los métodos eficientes para la gestión del drenaje urbano. Schütze et al.(2002) propuso una nueva metodología de optimización para la operación de estanques de detención urbana. Este trabajo integra un algoritmo evolutivo con un modelo de simulación para gestionar eficazmente las capacidades de almacenamiento de detención durante los períodos de inundación. Las curvas de reglas óptimas se compararon con el método de operación actual y muestran que el método propuesto puede disminuir la inundación de la red de los eventos de lluvia extrema más pequeños y más grandes.

Podría ser necesario reducir el tiempo de cómputo largo durante los procesos de optimización. La computación paralela en la optimización de objetivos múltiples es una alternativa para acelerar el problema de optimización de la computación, se utilizan algoritmos diseñados específicamente para ejecutarse simultáneamente en diferentes procesadores. Tres estrategias paralelas han sido desarrolladas por Burger et al.(2009) para distribuir los cálculos en varios núcleos de procesador. Las tres estrategias son: la estrategia de flujo paralelo, la estrategia de canalización de agrupación y la estrategia de canalización ordenada. Estas estrategias se han desarrollado con una visión sobre la estructura de los modelos de drenaje urbano y se han implementado dentro de un entorno de simulación específico, llamado CityDrain3. Esta herramienta de software de drenaje urbano se utilizó para demostrar los efectos de tiempo de ejecución y aceleración de las tres estrategias. Se analizaron diferentes sistemas de drenaje urbano para detectar deficiencias y límites de las estrategias. Los resultados de referencia revelan que la estrategia de tubería ordenada es capaz, a veces significativamente, de reducir el tiempo de ejecución de todos los sistemas de alcantarillado probados.

Barreto (2012) introduce un marco para abordar la toma de decisiones multicriterios para la rehabilitación de los sistemas de drenaje urbano. Este trabajo se centra en varios aspectos, como la mejora del rendimiento de la optimización multicriterio mediante la inclusión de nuevas características en el algoritmo NSGA-II y la selección adecuada de criterios de rendimiento, como la paralelización pequeña. Se utilizaron bibliotecas de máquinas virtuales paralelas (PVM) para un algoritmo recientemente desarrollado en un enfoque maestro-esclavo. Se creó un pequeño clúster compuesto por una variedad de PC con procesadores de uno o varios núcleos. Se probaron dos estudios de caso en el marco paralelo, uno utilizando una pequeña red con 12 tuberías y el otro para una subcuenca compuesta por 168 tuberías.

Una alternativa para satisfacer la demanda de recursos informáticos es la computación en la nube con su capacidad inherente de explotar el paralelismo en muchos niveles. La computación en la nube también se ha convertido en una nueva tecnología fundamental para facilitar el acceso a las capacidades computacionales para los usuarios de paralelismo. Vélez(2012), presenta un método denominado Diseño y control basado en modelos (MoDeCo) para el diseño óptimo de los sistemas de aguas residuales urbanas.

Presenta una descripción detallada de la integración de herramientas de modelado para sistemas de alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas residuales y ríos. Este trabajo también presenta dos alternativas para reducir considerablemente la demanda computacional al optimizar los sistemas integrados en aplicaciones prácticas, como el uso de modelos sustitutos y la computación en la nube. Proporciona una excelente herramienta para diseñadores y administradores de infraestructura de aguas residuales urbanas.

Moya et al. (2013), consideró el problema de estudiar cómo la inundación está influenciada por las incertidumbres en los niveles de agua de los embalses en la cuenca, y las incertidumbres en el modelo de elevación digital (DEM) utilizado en el modelo hidráulico 2D. La computación en la nube se utilizó a través de clústeres sobre la base de varias computadoras de escritorio de oficina. Muestran su eficiencia y la considerable reducción del tiempo de computadora requerido para el análisis de incertidumbre de modelos complejos. Los experimentos realizados permitieron asociar probabilidades a diferentes áreas propensas a inundaciones. Los resultados ofrecen una tecnología eficaz y eficiente que hace que el modelado consciente de la incertidumbre sea una posibilidad práctica incluso cuando se utilizan modelos complejos.

Basupi y Kapelan presentan una metodología flexible que combina técnicas de muestreo como Monte Carlo - MC o Latin Hypercube - LH simulaciones, análisis de árbol de decisión y optimización de algoritmos genéticos. (2013). La metodología brinda decisiones flexibles y óptimas a medida que se desarrolla la demanda futura de agua. El problema del diseño del sistema óptimo de distribución de agua (WDS) bajo demanda incierta de agua futura se formula aquí como un problema de optimización de objetivos múltiples. Los objetivos incluyen la minimización del costo total de intervención y la maximización de la resistencia final de WDS. Las variables de decisión son las intervenciones de diseño convencionales y los valores de umbral de demanda de agua. Los resultados muestran que se logra un valor al crear flexibilidad en el diseño en comparación con el enfoque determinista en la planificación a largo plazo de los WDS bajo incertidumbre.

Algunos investigadores se han acercado a la reducción del tiempo de computación mediante el uso de modelos sustitutos (SM) que imitan el modelo mecanicista y son computacionalmente menos exigentes. Ariestiwi(2013); Seyoum y Vojinovic(2008) y Vélez (2012) utilizar SM para simulaciones de redes de tuberías que se validan contra modelos

distribuidos basados físicamente (DPM). Los SM se configuran agrupando la red DPM en compartimentos en los que el volumen de agua se rige por los equilibrios de masa. Las descargas y los recargos de los compartimentos aguas abajo se calculan a partir de curvas de descarga de volumen explícitas. Los SM se aplican en una cuenca de 45 km². El número de estados simulados y los tiempos de simulación se reducen en aproximadamente 3 y 6 órdenes de magnitud, respectivamente. La incertidumbre de los parámetros SM se examinó utilizando la metodología de estimación de incertidumbre de probabilidad generalizada (GLUE). Se aplicaron dos métodos de muestreo diferentes. Los límites de aceptabilidad para el control, la advertencia y la planificación en tiempo real dieron como resultado muchos modelos aceptados aguas arriba y pocos o ninguno en las áreas propensas a remansos aguas abajo.

5. Direcciones Futuras

En este documento se ha llevado a cabo el estado del arte sobre los sistemas de redes de alcantarillado, basándose específicamente en lo siguiente: gestión de activos, evaluación del sistema de alcantarillado, indicadores de desempeño, enfoques sostenibles, y marco de optimización. Con éstos ítems se desarrollan direcciones o líneas futuras de búsqueda de información, desarrollo, y constante actualización.

Gestión de activos. Existe la necesidad de realizar una buena gestión de activos para encontrar una calidad adecuada. Plihal et al.(2016) desarrolló un nuevo método para la inspección rápida de redes de alcantarillado. HRG(2016) establece el saber qué infraestructura tiene más probabilidades de puede ahorrar mayores gastos. La gestión de activo se debe analizar la relación costo/beneficio en cuanto a lo que éste comprende, por lo que es necesario realizar métodos para clasificar los procesos de mantenimiento y los riesgos que conlleva la operación de una red de alcantarillado. A demás, se requiere un método que contenga todas las clasificaciones y operaciones para desarrollar una gestión de activos adecuada.

Evaluación del sistema de alcantarillado. Los defectos del alcantarillado son deficiencias del sistema de tuberías como resultado del envejecimiento del sistema, falla

estructural, falta de mantenimiento adecuado y / o malas prácticas de construcción y diseño. En los estudios analizados, se indica que parte de los daños en los sistemas de alcantarillado se debe a la infiltración, por lo que es prudente mejorar las condiciones estructurales del sistema de alcantarillado para lograr niveles prácticos de reducción de infiltración. Más investigación es requerida para evaluar los niveles de deterioros generados por la infiltración y la manera cómo afecta las redes y así desarrollar métodos que eviten en porcentaje nivel el daño ocasionado.

Indicadores de desempeño. La investigación acerca del desempeño basado en indicadores en sistemas de drenajes urbanos es poca. Se requiere más investigación acerca de la evaluación de desempeño partiendo de los indicadores. A demás se requiere más investigación acerca de las afectaciones que generan los sedimentos dentro de las redes de alcantarillado en el rendimiento y las condiciones hidráulicas.

Enfoques sostenibles. Los SUDS permiten que el desarrollo futuro tenga lugar en áreas donde la capacidad del sistema de drenaje tradicional está llena. El principio detrás de SUDS es imitar los procesos de drenaje natural, eliminar los contaminantes y gestionar el riesgo de inundación en la fuente. Sin embargo, no se ha determinado una solución de drenaje correcta para un lugar específico en superficies pavimentadas, lo cual genera incertidumbres. Se requiere realizar una investigación o método que clasifique los tipos de SUDS adecuados en puntos específicos y así mitigar las infiltraciones.

Marco de optimización. Las incertidumbres debido a los niveles de aguas en las redes, significan falencias en el momento de determinar áreas propensas a inundaciones, distintos autores como Moya, et al (2013); Basupi (2013); Ariestiwi (2013), han desarrollado distintos modelos de simulación de las redes. Estas investigaciones han dado un impulso positivo a la optimización de las redes con modelos computacionales. En futuras investigaciones, se debe tener en cuenta un sistema de predicción de inundaciones en áreas del sistema de drenaje. El drenaje urbano y el control de inundaciones es solo una parte de la optimización de un sistema, se debe considerar un análisis completo desde el nivel de la cuenca para obtener una optimización completa en el futuro.

6. Conclusiones

En este documento se presenta un estado del arte sobre distintos puntos del mejoramiento y rehabilitación de las redes de alcantarillado. Este estado del arte se enfoca en la gestión de activos, indicadores de desempeño, marco de optimización, enfoques sostenibles, evaluación y modelación de redes de alcantarillado.

Un problema crítico de los sistemas de redes de alcantarillado es la infiltración ya que esta genera deterioro en las redes de alcantarillado, colmataciones, degradación en la tubería, entre otros daños, generando bajos rendimientos, reducción de tiempos de mantenimiento y costos adicionales. Actualmente se están desarrollando los SUDS con el fin de imitar los procesos de drenaje natural, eliminar los contaminantes y gestionar el riesgo de inundación. Los SUDS permiten que los rendimientos de las redes aumenten ya que evitan las colmataciones del sistema, así mismo, la optimización de las redes ha mejorado considerablemente teniendo en cuenta que al reducir las inundaciones las predicciones de los diseños serán más óptimas.

Las inspecciones de los sistemas de redes de alcantarillado a través de sensores o TV han mejorado la calidad de evaluación de un sistema de alcantarillado (rugosidad, estructura hidráulica, entre otros). La posibilidad de tener diferentes métodos de inspección para analizar las condiciones estructurales de los sistemas de alcantarillado fortalece la información prevista a los gerentes de alcantarillado para tomar las decisiones apropiadas. Los distintos métodos de inspección ayudan considerablemente la gestión de activos ya que permite analizar de manera más acertada si se debe rehabilitar o renovar una red de alcantarillado. Así mismo, se discute sobre la variedad de materiales con las cuales se

fabrican, el tipo de fallas que muestran con las inspecciones realizadas y cuál es la recomendación a cada necesidad según sus especificaciones.

A través de los años, se ha ido reduciendo considerablemente la utilización de renovación de tuberías ya que ahora se cuenta con tipos de implementación como modelos tecnológicos y metodologías capaces de generar información como rendimientos hidráulicos, escurrimientos, evaluaciones, e incluso predicciones de la tubería. El uso de la tecnología ha incentivado a rehabilitar y no renovar distintas áreas en redes de alcantarillado, ya sea por tramos o completa. Esto impacta de manera positiva en la inversión económica que se debe requiere con respecto a la rehabilitación en vez de una renovación de tubería.

Las investigaciones analizadas indican que existen vacíos de conocimiento en el tema, por consiguiente, se necesita más investigación para obtener mejoras en la optimización y calidad de operación de las redes de alcantarillado.

- 7. Referencias**
- Hernández Rodríguez, N., Obregón Neira, N., & Torres, A. (Abril de 2016). Identificación de factores de tipo categórico relacionados con la condición estructural de tuberías de alcantarillado en Bogotá a partir de conceptos de entropía de la información. *Ingeniería Solidaria*, 63-71.
- Sánchez, s., Sabau, M., Montero, L., González, J., Abellán, A., & Osorio, C. (2017). A look to the sustainable draining systems: criteria of sustainability and successful cases. *International Journal of Conservation Science*, 453-464.
- Valbuena Villalonga, M. (19 de 09 de 2016). *Rehabilitación de redes de alcantarillado mediante técnicas LID, usando SWMM5 en un caso real*. Barcelona.
- A Novel Decision Support System For Optimized Sewer Infrastructure Asset Management. (2014).
- A. Montserrat, L. B. (2015). Using data from monitoring combined sewer overflows to assess, improve, and maintain combined sewer systems. (Uso de datos de monitoreo de desbordamientos de alcantarillado combinados para evaluar, mejorar y mantener sistemas de alcantarillado combinados).
- Alaa Al Hawari, T. Z. (2018). Defect-Based ArcGIS Tool for Prioritizing Inspection of Sewer Pipelines (Herramienta ArcGIS basada en defectos para priorizar la inspección de tuberías de alcantarillado).
- Alaa Hawari, F. A. (2018). Condition assessment model for sewer pipelines using fuzzy-based evidential reasoning (Modelo de evaluación de condición para tuberías de alcantarillado utilizando razonamiento probatorio basado en difusos).
- Ali Shojaeizadeh, M. G. (2019). Site-Scale Integrated Decision Support Tool (i-DSTss) for Stormwater Management (Herramienta de soporte de decisiones integradas a escala del sitio (i-DSTss) para la gestión de aguas pluviales).

- Amir AF Nassiraei, Y. K. (2006). A New Approach to the Sewer Pipe Inspection: Fully Autonomous Mobile Robot KANTARO (Un nuevo enfoque para la inspección de tuberías de alcantarillado: robot móvil totalmente autónomo KANTARO).
- António Freire Diogo *, L. T. (2017). An effective and comprehensive model for optimal rehabilitation of separate sanitary sewer systems (Un modelo eficaz y completo para la rehabilitación óptima de sistemas de alcantarillado sanitario separados.).
- António Freire Diogo, L. T. (2014). "An effective and comprehensive model for optimal rehabilitation of separate sanitary sewer systems, (Un modelo efectivo y completo para la rehabilitación óptima de. *ESAJ*.
- Asset Management Overview. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (2007).*
- Aurele, U., Ngamalieu, N., Martinez, J., Rey, I., & Mora, D. (2019). *Multi-Objective Optimization for Urban Drainage or Sewer Networks Rehabilitation through Pipes Substitution and Storage Tanks Installation.*
- Bal Gandhi, A. G. (s.f.). Prediction of Sewer Pipe Main Condition Using the Linear Regression Approach (Predicción de la condición principal de la tubería de alcantarillado utilizando el enfoque de regresión lineal).
- Blanco, S. A., Torres, P., & Galvis, A. (2017). *Identification of resilience factors, variables and indicators for sustainable management of urban drainage systems.*
- C. Egger, A. S. (2013). Sewer deterioration modeling with condition data lacking historical records (Modelo de deterioro de alcantarillado con datos de condición que carecen de registros históricos).
- Caradot, N., Rouault, P., Clemens , F., & Cherqui, F. (2017). *Evaluation of uncertainties in sewer condition assessment.*
- Carlos Martínez, A. S. (2018). Configuring Green Infrastructure for Urban Runoff and Pollutant Reduction Using an Optimal Number of Units. (Configuración de infraestructura verde para la escorrentía urbana y la reducción de la contaminación utilizando un número óptimo de unidades).
- Carlos Martínez, A. S. (2018). Multi-objective Evaluation of Urban Drainage Networks Using a 1D/2D Flood Inundation Model. (Evaluación de objetivos múltiples de redes de drenaje urbano utilizando un modelo de inundación 1D / 2D).
- Clemens, F., Van der Schoot, W., Langeveld, J., & Lepot, M. (2014). • Uncertainties associated with laser profiling of concrete sewer pipes for the quantification of the interior geometry.

- Coelho, H. A. (2012). Infrastructure Asset Management of urban water systems. (Gestión de activos de infraestructura de sistemas urbanos).
- D., B. (1993). Urban runoff pollution prevention and control planning. *EPA*, 6.
- Duanshun Li, A. C. (2019). Sewer damage detection from unbalanced CCTV inspection data using deep convolutional neural networks with hierarchical classification. (Detección de daños en alcantarillas a partir de datos de inspección de CCTV desequilibrados utilizando redes neuronales).
- Dulcy M. Abraham, R. D. (1998). Optimization Modeling for Sewer Network Management (Modelado de optimización para la gestión de redes de alcantarillado).
- E. Ana, J. a. (2007). Sewer Network Asset Management Decision Support Tools: A Review. (Herramientas de soporte de decisiones de gestión de activos de red de alcantarillado: una revisión).
- Elkjaer J., J. N. (2007). Asset management in urban drainage. (Gestión de activos en drenaje urbano).
- Emilia Kuliczowska, A. Z. (2016). A qualitative analysis of early defects present in PVC-U sewers but not observed in rigid pipes (Un análisis cualitativo de defectos tempranos presentes en alcantarillas de PVC-U pero no observado en tuberías rígidas).
- Estuñipan, H. A. (2009). *METODOLOGÍA PARA MODELAR EL SISTEMA DE DRENAJE INCORPORANDO LOS PROCESOS DE ACUMULACIÓN Y LAVADO EN UNA CUENCA URBANA*. Bogotá: Campus Universidad Nacional de Colombia.
- Franz Tscheikner-Gratl, N. C. (2020). Sewer asset management – state of the art and research needs. (Gestión de activos de alcantarillado: estado del arte y necesidades de investigación).
- Greta Vladeanu, J. C. (2018). Consequence of Failure of Sewers (COFS) Model for Risk-Based Asset Management Using Analytical Hierarchy Process (Modelo de Consecuencia de Falla de Alcantarillas (COFS) para la Gestión de Activos Basada en Riesgo Usando el Proceso de Jerarquía Analítica).
- H. Angarita, P. N. (2017). *Identificación de factores de riesgo para la gestión patrimonial óptima de sistemas de drenaje urbano: estudio piloto en la ciudad de Bogotá*.
- H. Bonakdari, I. E. (2018). Numerical Analysis of Sediment Transport in Sewer Pipe. (Análisis numérico del transporte de sedimentos en tuberías de alcantarillado).
- Haver, R. R., & McBean, E. A. (2014). Predicting the structural condition of individual sanitary sewer pipes with random forests.

-
- Hawari, A. A., Zayed, T., & Elmasry, M. (2018). Defect-Based ArcGIS Tool for Prioritizing Inspection of Sewer Pipeline.
- Hernández Rodríguez, N., Obregón Neira, N., & Torres, A. (Abril de 2016). Identificación de factores de tipo categórico relacionados con la condición estructural de tuberías de alcantarillado en Bogotá a partir de conceptos de entropía de la información. *Ingeniería Solidaria*, 63-71.
- Hewayde, E. (2019). Marks rating system – an approach in condition assessment and prioritization of sewer rehabilitation – a case study. (Sistema de calificación de marcas: un enfoque en la evaluación del estado y la priorización de la rehabilitación de alcantarillas: un est.
- Hoon, J., & Hoon, E. (2017). *Development of Resilience Index Based on Flooding Damage in Urban Areas*.
- Jarmo J. Hukka, T. S. (2015). "Resilient asset management and governance for deteriorating water services infrastructure. (Gestión de activos y gobernanza resilientes.
- Jigneshkumar Patel, R. K. (2019). Investigation of Methods for Gravity Pipelines Inspection /Investigación de métodos para la inspección de tuberías por gravedad).
- Kaddouraa, K., & Zayedb, T. (2018). An integrated assessment approach to prevent risk of sewer exfiltration.
- Kardos, J., & Obropta, C. (2007). Revisión de modelos urbanos de calidad de aguas pluviales: enfoques deterministas, estocásticos e híbridos.
- Kelly Baah, B. D. (2012). Risk and Performance Oriented Sewer Inspection Prioritization (Priorización de inspección de alcantarillado orientada al riesgo y el rendimiento).
- Kelly Baah, B. E. (2015). A risk-based approach to the management of sanitary sewer pipeline assets. (Un enfoque basado en el riesgo para la gestión de activos de tuberías de alcantarillado sanitario).
- Khan, Z., Zayed, T., Asce, M., & Moselhi, O. (2010). Structural Condition Assessment of Sewer Pipelines. *ASCE*.
- Kiliczowska, E., & Zwierzchowska, A. (2016). *A qualitative analysis of early defects present in PVC-U sewers but not observed in rigid pipe*.
- Li, X., Khademi, F., Liu, Y., Akbari, M., Wang, C., Bond, P., . . . Jiang, G. (2019). *Evaluation of data-driven models for predicting the service life of concrete sewer pipes subjected to corrosion*.

- Liliana López-Kleine, N. H. (2016). Physical characteristics of pipes as indicators of structural state for decision-making considerations in sewer asset management. (Las características físicas de las tuberías como indicadores de la condición estructural y su utilización para tomar decisio.
- Liu, Z., & Kleiner, Y. (2013). "State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes. (Revisión de vanguardia de tecnologías de inspección para el estado.
- Liu, Z., & Kleiner, Y. (2013). "State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes. (Revisión de vanguardia de tecnologías de inspección para el estado.
- Luigi Berardi, O. G. (2009). An effective multi-objective approach to prioritisation of sewer pipe inspection (Un enfoque efectivo de objetivos múltiples para priorizar la inspección de tuberías de alcantarillado).
- Madhu K. Muralia, M. R. (2019). The development and application of improved solids modelling to enable resilient urban sewer networks. (El desarrollo y la aplicación de modelos mejorados de sólidos para permitir redes de alcantarillado urbano resistentes).
- Mahmoud Halfawy, L. D. (2008). Integrated Decision Support System for Optimal Renewal Planning of Sewer Networks (Sistema integrado de soporte de decisiones para la planificación óptima de renovación de redes de alcantarillado).
- Mahmoud Halfawy, L. D. (2008). Integrated Decision Support System for Optimal Renewal Planning of Sewer Networks. (Sistema integrado de soporte de decisiones para la planificación óptima de renovación de redes de alcantarillado).
- Makris, K., Langeveld, J., & Clemens, F. (2019). *A review on the durability of PVC sewer pipes: research vs. Practice.*
- Margaret A. Hahn, R. N. (2002). Expert System for Prioritizing the Inspection of Sewers: Knowledge Base Formulation and Evaluation. (Sistema experto para priorizar la inspección de alcantarillas: formulación y evaluación de la base de conocimientos).
- Martinez, C., Sanchez, A., Toloh, B., & Vojinovic, Z. (2018). Multi-objective Evaluation of Urban Drainage Networks Using a 1D/2D Flood Inundation Model.
- Mohammad Javad Anbari, M. T. (2016). Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks. (Modelo de evaluación de riesgos para priorizar la inspección de tuberías de alcantarillado en redes de recolección de aguas residuales).

- N. Stanić, W. v. (2013). Potential of laser scanning for assessing structural condition and physical roughness of concrete sewer pipes.
- Nelson, E., Spetch, W., & Knox, A. (2005). Remoción de metales de las descargas de agua por un humedal de tratamiento. *INTERSCIENCE*.
- Nuñez, J., Ullauri, A., & Barzola, J. (2018). *Diagnóstico, Modelación y Determinación de la Capacidad Hidráulica de sistemas de Alcantarillado*. Guayaquil.
- Olga Duran, K. A. (2002). Automated sewer pipe inspection through image processing (Inspección automatizada de tuberías de alcantarillado a través del procesamiento de imágenes).
- P. Staufer, A. S. (2012). "Assessing the performance of sewer rehabilitation on the reduction of infiltration and inflow. (.
- Parastou Kharazmi. (2019). Experimental assessment of the state of the lining materials used in the rehabilitation of sewers in residential buildings (Evaluación experimental del estado de los materiales de revestimiento utilizados en la rehabilitación de alcantarillas en edificios).
- Petr Hlušík, M. Z. (2019). Risk Analysis of Failure in Sewer Systems in Czech Municipalities (Análisis de riesgo de falla en sistemas de alcantarillado en municipios checos).
- Pouzol, T., Borruel, A., Suner, D., Lepot, M., & Bertrand, J. (2017). Measurement of sewer sediments with acoustic technology: from laboratory to field experiments.
- Rathnayake, U., & Anwar, F. (2019). Dynamic control of urban sewer systems to reduce combined sewer overflows and their adverse impacts.
- Read, G. F. (2004). *Sewers Replacement a new construction*. SCIENCE.
- Royer, J. R. (2019). Corroded reinforced concrete sanitary sewer pipe geopolymer coating (Revestimiento de geopolímero de tuberías de alcantarillado sanitario de hormigón armado corroído).
- S.M. Elachachi, D. B. (2006). Uncertainties, quality of information and efficiency management of sewer assets. (Incertidumbres, calidad de la información y gestión eficiente de los activos de alcantarillado).
- SANCHÉZ, s., SABAU, M., Montero, L., González, J., Abellán, A., & Osorio, C. (2017). A LOOK TO THE SUSTAINABLE DRAINING SYSTEMS: CRITERIA OF SUSTAINABILITY AND SUCCESSFUL CASES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CONSERVATION SCIENCE*, 453-464.

- Scheidegger, A., Reichert, P., Egger, C., & Maurer, M. (2013). *Modelo de deterioro de alcantarillado con datos de condición que carecen de registros históricos*. Dußendorf, Suiza: Eawag, Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática.
- Scheidegger, A., Staufer, P., & Rieckermann, J. (2012). Assessing the performance of sewer rehabilitation on the reduction of infiltration and inflow.
- Sergio Eduardo Hernández Niño, J. L. (2009). Nuevos procedimientos en la recuperación de redes de alcantarillados . 26-27.
- Shadab Shishegar, S. D. (2018). "Optimization methods applied to stormwater management problems: a review. (.
- Shahbahrami, S., Short, T., Wirahadikusumah, R., & Abraham, D. (1998). Optimization Modeling for Sewer Network Management.
- Shaurav Alam, R. L. (2015). A retrospective evaluation of the performance of linear systems used to rehabilitate municipal gravity sewers (Una evaluación retrospectiva del rendimiento de los sistemas lineales utilizados para rehabilitar alcantarillas de gravedad municipales.).
- Shishegar, S., Duchesne, S., & Pelletier, G. (2018). *Optimization methods applied to stormwater management problems: a review*.
- Siekmanna, T. S. (2013). Resilient urban drainage – Options of an optimized area-management. (Drenaje urbano resistente: opciones de gestión optimizada del área).
- Stanic, N., Francois, H., & Jeroen G. , L. (2016). Estimation of Hydraulic Roughness of Concrete Sewer Pipes by Laser Scanning.
- Stanic, N., Van der Schoot, W., Kuijter, B., Langeveld, J., & Clemens, F. (2013). Potential of laser scanning for assessing structural condition and physical roughness of concrete sewer pipes.
- Staufer, P., Scheidegger, A., & Rieckermann, J. (s.f.). *Evaluar el desempeño de la rehabilitación de alcantarillas en la reducción de infiltración y afluencia*.
- Takara, K., Abdullah, R., Zakaria, A., Ghani, A., & Sidek, I. (2002). *SISTEMAS DE DRENAJE BIOECOLÓGICO (BIOECODS): UN ENFOQUE INTEGRADO*. Pulau Pinan, Malasia.
- Ugarelli, R., Venkatesh, G., Bratteb, H., Vittorio Di Federico, A., & Sægrov, a. S. (2010). Asset Management for Urban Wastewater Pipeline Networks. (Gestión de activos para redes de tuberías de aguas residuales urbanas).

-
- Valbuena Villalonga, M. (19 de 09 de 2016). *Rehabilitación de redes de alcantarillado mediante técnicas LID, usando SWMM5 en un caso real*. Barcelona.
- Villegas, R., & Vargas, M. (2013). MODELACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA URBANIZACIÓN PLAZA MADRID MEDIANTE EL SOFTWARE EPA SWMM.
- Vladeanu, G. (2018). Wastewater Pipe Condition Rating and Deterioration Modeling for Risk-Based Decision-Making (Clasificación de la condición de la tubería de aguas residuales y modelación del deterioro para la toma de decisiones basada en el riesgo).
- Vladeanu, G., & Matthews, J. (2018). • Consequence of Failure of Sewers (COFS) Model for Risk-Based Asset Management Using Analytical Hierarchy Process.
- Zhen-sheng Lianga, J. S.-m.-M.-h. (2019). Experimental and modelling evaluations of sulfide formation in a mega sized deep tunnel sewer system and implications for sewer management. (Evaluaciones experimentales y de modelado de la formación de sulfuro en un sistema de alcantarillado de túnel prof.
- Tran, H.D., 2007. Investigation of Deterioration Models for Stormwater Pipe Systems. Ph.D. thesis. Victoria University, Melbourne, Australia
- Ana, E.V., Bauwens, W., 2010. Modeling the structuraldeterioration of urban drainage pipes: the state-of-the-art in statistical methods. Urban Water J. 7 (1), 47 e 59 .
- Ana, E., Bauwens, W., Pessemier, M., Thoeye, C., Smolders, S., Boonen, I., de Guedre, G., 2009. An investigation of the factors influencing sewer structural deterioration. Urban Water J. 6 (4), 303 e 312



LICENCIA PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA. -

Ciudad y Fecha: Santa Marta D.T.C.H., 21 de mayo de 2020

Trabajo de Investigación (LA OBRA): Una revisión sobre la rehabilitación y mejoramiento de redes de alcantarillado: un estado del arte.

Autores o Titulares del Derecho: JULIANA RAFAELA AYOLA FONTALVO

Por medio del presente documento los autores o titulares del derecho de autor confieren a **LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA** ente universitario autónomo público, de carácter educativo, creado mediante Ordenanza N° 05 de la Asamblea Departamental de 27 de octubre de 1958, con personería jurídica reconocida mediante Resolución N° 831 de 3 de diciembre de 1974, identificada con el NIT 891.780.111 - 8, representada en este acto por **ERNESTO GALVIS LISTA**, mayor de edad, vecino de Santa Marta, identificado con la cédula de ciudadanía N° 13.719.546 expedida en Bucaramanga, en su condición de Vicerrector de Investigación de la alma mater, haciendo uso de la facultad otorgada a la Vicerrectoría de Investigación dirigir y controlar las acciones de protección y propiedad de los resultados de la investigación, según se dispuso en el numeral 9. del ARTICULO 25 del Acuerdo Superior N° 017 de 2011, licencia de uso no exclusiva, limitada y gratuita del Trabajo de investigación arriba mencionado, a efectos de integrarlo en el Repositorio Institucional de **LA UNIVERSIDAD**; dicha licencia estará sujeta a los siguientes términos y condiciones:

PRIMERA: Objeto. - La licencia tiene por objeto la autorización no exclusiva, limitada y gratuita de uso respecto de **LA OBRA**, a los efectos de ser reproducida, compilada y publicada en medio impreso o digital dentro del Repositorio Institucional de **LA UNIVERSIDAD**, y otros índices o bases de datos de carácter académico o científico que **LA UNIVERSIDAD** determine, en los que podrá ser objeto de acceso y consulta por parte de sus usuarios. A estos efectos **LA UNIVERSIDAD** podrá efectuar modificaciones del formato o contenido de **LA OBRA**, distribuirla a título gratuito u oneroso, así como reproducirla e incluirla en índices nacionales e internacionales o bases de datos. En general, a los efectos de su difusión académica y científica, **LA UNIVERSIDAD** podrá efectuar cualquier tipo o modo de uso o explotación que de las obras se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer.

SEGUNDA: Derechos que la universidad podrá licenciar o autorizar, a su vez, a los usuarios del repositorio institucional. - **LA OBRA** será publicada y puesta a disposición de los usuarios del Repositorio Institucional de **LA UNIVERSIDAD** para su acceso y consulta, bajo los términos de la licencia pública internacional de derechos de autor Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada CC BY-NC-ND, cuyos términos y condiciones **EL AUTOR/AUTORES** manifiesta(n) conocer y aceptar.

TERCERA: Alcance del Objeto. - Sin detrimento de lo dispuesto en el objeto, la autorización de uso objeto de la presente licencia comprenderá, además, los siguientes términos y condiciones:

a) La publicación de **LA OBRA** debe hacerse en el formato que el Repositorio lo requiera. **EL AUTOR/AUTORES**, autoriza(n) a **LA UNIVERSIDAD** para hacer la vinculación y conoce(n) que, dado que se publica en Internet, la comunicación pública tendrá un alcance mundial.

b) **EL AUTOR/AUTORES** faculta(n) a **LA UNIVERSIDAD** para incluirla **LA OBRA** n en los índices y buscadores que se estimen pertinentes y permitan promover su difusión.



LICENCIA PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA. -

c) EL AUTOR/AUTORES acepta(n) que **LA UNIVERSIDAD** pueda transformar el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

CUARTA: Licencia Gratuita. - La licencia objeto del presente Contrato se hace a título gratuito, por lo tanto, **EL AUTOR/AUTORES** renuncia(n) a recibir remuneración alguna por cualquier uso o modo de explotación realizado en ejecución de la presente licencia. Así mismo **EL AUTOR/AUTORES** conoce(n) y acepta que los usuarios del Repositorio Institucional podrán hacer un uso a título gratuito de **LA OBRA** al amparo de la licencia Creative Commons que le(s) otorga.

QUINTA: Duración. - La presente licencia es de duración indefinida. No obstante, **EL AUTOR/AUTORES** podrá(n) revocar la autorización de publicación en el Repositorio Institucional mediante una notificación dirigida a la Biblioteca "Germán Bula Meyer" de **LA UNIVERSIDAD**. No obstante, lo anterior se entiende sin detrimento de los derechos licenciados o autorizados, hasta entonces a los usuarios del Repositorio Institucional al amparo de la licencia Creative Commons, la cual es de carácter irrevocable.

SEXTA: Garantía de Autoría y Titularidad.- **EL AUTOR/AUTORES** manifiesta(n) y garantiza(n) que **LA OBRA** se trata de un producto de investigación original de su exclusiva autoría y titularidad de derechos de autor, que se encuentran plenamente facultados para otorgar la licencia objeto del presente contrato, y que con el contenido de la obra no se está vulnerando derechos de terceros, en materia de derecho de autor, derechos de propiedad industrial, derecho al buen nombre, derecho de intimidad o derecho de imagen. En consecuencia, **EL AUTOR/AUTORES** saldrá(n) al saneamiento frente a cualquier reclamación de que pueda ser objeto **LA UNIVERSIDAD** por parte de terceros, respecto de la eventual infracción de los mencionados derechos. Así mismo, si **LA OBRA** es producto de un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una organización, entidad, con excepción de **LA UNIVERSIDAD**, **EL AUTOR/AUTORES** manifiesta(n) y garantiza(n) que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo acuerdo.

SEPTIMA: Limitación de Responsabilidad. - **EL AUTOR/AUTORES** reconoce(n) y acepta(n) que **LA UNIVERSIDAD** no será responsable de ninguna utilización indebida la **OBRA** por parte de terceros, sean o no usuarios de su repositorio institucional. Por tanto, **EL AUTOR/AUTORES** podrá(n) y deberá(n) ejercer directamente las acciones o reclamaciones a que haya lugar por la eventual infracción a sus derechos, única y exclusivamente contra los eventuales responsables de tales infracciones. **LA UNIVERSIDAD** no está en la obligación de asumir ningún tipo de reclamación o gestión al respecto.

En constancia se firma a los veintiún días del mes de mayo de 2020,

EL AUTOR/AUTORES

LA UNIVERSIDAD

ERNESTO GALVIS LISTA
Vicerrector de Investigación



LICENCIA PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA. -

CONFIDENCIALIDAD

SOLICITUD DE RESTRICCIÓN DE PUBLICACIÓN Aplica

☒

No Aplica

☐

ESPACIO PARA LOS SOLICITANTES

Se solicita la restricción de la publicación en el siguiente periodo de tiempo:	DESDE	HASTA (Max 5años)
	21 / 05 / 2020	21 / 05 / 2024

JUSTIFICACIÓN DE SOLICITUD:

La información consignada en las pasantías hace parte de información que se reportará en artículos científico cuya producción se realiza a la fecha

Teniendo en cuenta lo anterior, solicitamos aplicar las medidas tecnológicas necesarias para impedir el acceso a los contenidos a quienes no estén facultados legalmente para ello.

FIRMA DE ESTUDIANTE DE GRADO

