

Propuesta de un sistema urbano de drenaje sostenible para reducir los niveles de inundación en la ciudad de Cúcuta, Colombia

Proposal of a sustainable urban drainage system for reduce flood levels in city of Cúcuta, Colombia

Nelson Javier Cely-Calixto^a

^aDocente e Investigador, nelsonjaviercc@ufps.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2083-6978>, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

Forma de citar: Cely-Calixto, N. J.. (2022). Propuesta de un sistema urbano de drenaje sostenible para reducirlos niveles de inundación en la ciudad de Cúcuta, Colombia. *Eco Matemático*, 13 (2),6-17

Recibido: 20 de Agosto de 2020

Aceptado: 12 de Noviembre de 2020

Palabras clave

Aguas pluviales,
Drenaje sostenible,
SUDS.

Resumen: Las redes de drenaje pueden presentar problemas que dificultan el manejo de las aguas pluviales debido a fenómenos climáticos como las temporadas de lluvias y las temporadas de sequía. El mal funcionamiento del drenaje pluvial puede deteriorar las estructuras viales e impiden la adecuada movilidad de vehículos y transeúntes a causa de las inundaciones en el sector. La ciudad de Cúcuta solo tiene alcantarillado sanitario, ocasionando que el manejo de las aguas pluviales sea deficiente. Esto se relaciona con que, en varios sectores de la ciudad, ocurran estancamientos y se sature la infraestructura sanitaria convirtiéndose en un problema al momento de presentarse precipitaciones. En este sentido, el objetivo de este trabajo es resolver al problema de estancamiento de aguas pluviales en la intersección entre la Avenida 12E y la Calle 2N, Cúcuta, Colombia, a través de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles. Por lo tanto, se desarrolló una propuesta para el transporte e infiltración de las aguas pluviales a través de la aplicación de ecuaciones matemáticas la Resolución colombiana 0330 del 2017. Además, se realizó una ambientación 3D para visualizar la mejora paisajística con la implementación del drenaje sostenible. El caudal de diseño calculado para el drenaje pluvial fue de 8.48 m³/s, por lo cual, se optó por dividir el sistema en dos partes para optimizar el diseño. A partir de los parámetros de diseño, se estableció un sistema con 9 rejillas, 2 sistemas de tuberías, 7 pozos de inspección y 2 desarenadores. La propuesta de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles en el sector de estudio, es una alternativa de construcciones sostenibles, que permiten una reducción de los impactos negativos sobre el ambiente y el uso eficiente de los recursos hídricos.

*Autor para correspondencia: nelsonjaviercc@ufps.edu.co

Doi: <https://doi.org/10.22463/17948231.3529>

[2462-8794© 2022 Universidad Francisco de Paula Santander. Este es un artículo bajo la licencia CC BY 4.0](https://doi.org/10.22463/17948231.3529)

Keywords

Rainwater,
Sustainable Drainage,
SUDS.

Abstract: Drainage networks may present problems that hinder stormwater management due to climatic phenomena such as rainy and dry seasons. Malfunctioning storm drainage systems can deteriorate road structures and impede the proper mobility of vehicles and pedestrians due to flooding in the sector. The city of Cúcuta has only sanitary sewers, resulting in poor stormwater management. This is related to the fact that, in several sectors of the city, stagnation occurs and the sanitary infrastructure is saturated, becoming a problem at the time of rainfall. In this sense, the objective of this work is to solve the problem of rainwater stagnation at the intersection of Avenida 12E and Calle 2N, Cúcuta, Colombia, through Sustainable Urban Drainage Systems. Therefore, a proposal for stormwater conveyance and infiltration was developed through the application of mathematical equations using the methodology of Sustainable Urban Drainage Systems design using Colombian Resolution 0330 of 2017. In addition, a 3D setting was made to visualize the landscape improvement with the implementation of sustainable drainage. The calculated design flow for the storm drainage was 8.48 m³/s, therefore, it was decided to divide the system into two parts to optimize the design. Based on the design parameters, a system with 9 grates, 2 pipe systems, 7 manholes, and 2 desanders was established. The proposal of Sustainable Urban Drainage Systems in the sector under study is an alternative for sustainable construction, which allows a reduction of negative impacts on the environment and the efficient use of water resources.

Introducción

Los problemas de manejo de las aguas pluviales y las inundaciones urbanas se presentan en diferentes ciudades del mundo, lo cual se ha relacionado con los procesos de urbanización y el cambio climático (Zhou, 2014). Los procesos de urbanización han reducido las áreas permeables ocasionando un mayor volumen de escorrentía que sobrepasa la capacidad de los sistemas de drenaje pluvial existentes (Rodríguez et al, 2018). Los efectos del cambio climático generan temporadas de alta magnitud y frecuencia de precipitaciones, que producen inundaciones (Zhou, 2014; Rodríguez et al, 2018).

Las redes de drenaje están enfrentando temporadas de lluvias torrenciales trayendo caudales que exceden el periodo de diseño y a su vez las sequias que sugieren no ampliar la capacidad de estos sistemas (Yunianta & Setiadji, 2019; McClymont et al, 2020). Esto como consecuencia del cambio climático, implica una problemática en temporadas

de lluvia como lo es el estancamiento de agua por falta de capacidad de recolección y transporte, deteriorando la malla vial. Adicionalmente, la lenta evacuación del agua pluvial en las vías urbanas impide la adecuada movilidad de vehículos y transeúntes a causa de las inundaciones.

De manera convencional, los sistemas de drenaje pluvial están diseñados con el fin de recolectar y transportar rápidamente el agua de escorrentía de las áreas urbanas hacia las aguas receptoras (Perales et al ,2017; La Rosa & Pappalardo, 2021). Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) utilizan construcciones sostenibles que permiten la infiltración del agua, como áreas verdes y cuencas de infiltración (Tedoldi, et al, 2016). Los sistemas de drenaje son una de las estructuras más importantes para las urbanizaciones en cuanto al saneamiento, por lo cual deben ser construidos de forma que se promuevan oportunidades para la multifuncionalidad como lo hacen los SUDS. El objetivo no solo que es que se eviten las inundaciones, sino también,

que se fomenten beneficios como la regulación del microclima, la recreación y mejoramiento del paisaje (Lourenco et al, 2020).

Los SUDS ejercen control de manera eficiente sobre la escorrentía de aguas pluviales en el entorno urbano, representando una estética natural y cuidando los recursos hídricos, al aplicar los diseños convencionales basados en tuberías y el aumento de los espacios de infiltración (Maqbool & Wood, 2022; Hoang & Fenner , 2016).

La ciudad de Cúcuta cuenta en su mayoría solo con alcantarillado sanitario, ocasionando que el manejo de las aguas pluviales sea deficiente al momento de presentarse precipitaciones. Esto está relacionado con una planeación vial que deja de lado el manejo de la escorrentía para así llegar hacia los puntos definidos para su captación como los son el Canal Bogotá y el Río Pamplonita en la ciudad de Cúcuta (Luo et al, 2021). Solo un pequeño porcentaje de la ciudad de Cúcuta cuenta con un adecuado sistema de alcantarillado pluvial. Por lo tanto, la propuesta de cálculos y diseño de un SUDS se realiza con el propósito de dar solución al estancamiento del agua lluvia en la intersección

entre la Avenida 12E y la Calle 2N, la cual está ubicada en uno de los sectores más susceptibles a inundarse en la ciudad de Cúcuta.

Materiales y Métodos

En esta sección se presentan las características del caso estudio para la propuesta, aplicando ecuaciones matemáticas para el desarrollo de la metodología SUDS así como el análisis de diseño hidráulico e hidrológico, según factores como la hidrología, topografía, geotecnia, y el factor climático.

Área de estudio

La propuesta está dirigida a un sector en el barrio Quinta oriental en la intersección de la Avenida 12E y la Calle 2N, en Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. La intersección colinda al sur con la sede de enfermería y la sede principal de la Universidad Francisco de Paula Santander y por el norte el Colegio Municipal María Concepción Loperena, con coordenadas aproximadas de latitud $7^{\circ}54'2.97''$ N y longitud $72^{\circ}29'21.64''$ O. En la Figura 1 se presenta la ubicación del sector objeto de estudio.

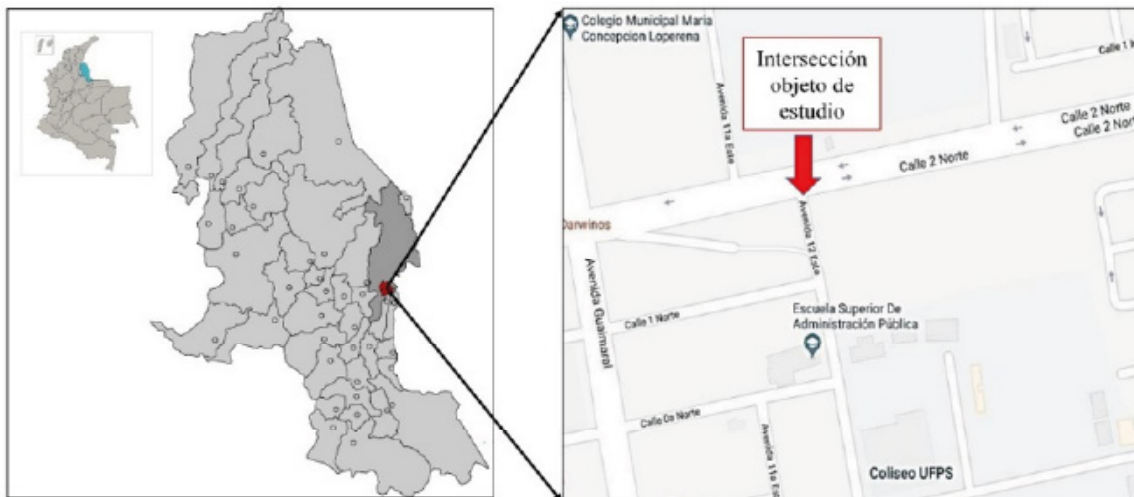


Figura 1. Ubicación de la intersección de la Avenida 12E y la Calle 2N, en Cúcuta, Colombia.

En la intersección existe una rejilla para la captación de aguas pluviales que se conducen a esta zona mediante procesos de escorrentía por una depresión entre las calles. En épocas de precipitación de alta intensidad, las vías de la intersección se inundan a nivel del andén de la Universidad Francisco de Paula Santander, obstruyendo y/o superándolo (Figura 2).



Figura 2. Problema de inundación en la intersección Av. 12E y Cl. 2N.

Factor topográfico

Se determinó el área de 42.787 Ha de drenaje en la intersección, dentro de esta área se encuentra la Universidad Francisco de Paula Santander. Teniendo en cuenta que la universidad debe diseñar un sistema de alcantarillado para el manejo de las aguas lluvia y debido a que se observa que estas aguas pluviales no llegan al punto del sector estudiado, se decide no incluir 9.680 Ha que hacen parte de ésta. Con esto el área total a drenar por la intersección es de 33.107 Ha.

Factores geotécnicos

El perfil superficial de los suelos de la zona, se encuentra dominado por una serie de capas de espesores variables, compuestos por limos arenosos y en algunos casos arena limosa, ocasionalmente materiales de relleno con predominio de tamaños de arena y densidades variables (Florez, 2015). En la Calle 2N se presenta un manto de cantos sub-redondeados en matriz de gravas areno-limosas de

densidad media a suelta. Se han medido ángulos de fricción interna (ϕ) del orden de $30^\circ < \phi < 35^\circ$; cohesión no drenada (C_u) de 0.8 kg/cm²; además se reportan módulos de elasticidad (E) variable, $120 < E < 1000$ kg/cm²; Peso unitario (γ) promedio de 18.2 kN/m³; Relación de Poisson (μ) de 0.35 (Florez, 2015).

Factores climáticos

La información de la temperatura, la humedad del aire, la radiación solar y la evaporación se obtuvo por medio de la estación climatológica Aeropuerto Camilo Daza de Cúcuta (código: 1601501), la cual pertenece a una red coordinada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

En la ciudad de Cúcuta, la temperatura promedio es de 27.58 °C, presentándose la mínima absoluta de 23.20 °C en febrero y diciembre, la máxima absoluta de 30.90 °C en el mes de septiembre y octubre, esta temperatura corresponde a un piso térmico cálido. La humedad relativa anual presenta un valor medio de 70.83 %, la precipitación media multianual acumulada de 732.10 mm y la media mensual multianual de 60.99 mm. Las épocas secas van desde diciembre a febrero y desde junio a agosto; las épocas lluviosas van desde marzo hasta mayo y de septiembre a noviembre. El mes más lluvioso es octubre con 111.90 mm. En cuanto a la evaporación total tiene un promedio anual de 2190.60 mm.

Las curvas Intensidad - Frecuencia - Duración (IDF) de las lluvias permite analizar las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con períodos de retorno específicos (Bonilla et al, 2022). Esto es necesario para el cálculo de los parámetros de diseño de las estructuras como los drenajes pluviales. Para la estimación del caudal pico de aguas pluviales se utiliza la intensidad media de la precipitación dada

por las curvas IDF para el período de retorno de diseño definido con base en el literal D.4.3 del RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico) adoptado por la Resolución 0330 (2017).

Análisis hidrológico e hidráulico

Las características hidrológicas e hidráulicas del sector de estudio están determinadas por los tipos de superficies existentes en el sector, las pendientes de las estructuras viales construidas que facilitan la escorrentía superficial, asimismo, se utilizó un análisis estadístico de las precipitaciones para la estimación del caudal y los porcentajes de área construidos en la zona. El grado de urbanización de un sector influye negativamente sobre las superficies permeables y facilita el escurrimiento por tejados y vías que a su vez por una falta de drenaje pluvial circulan por la vía hasta encontrar una ruta que llega al canal Bogotá o al Río Pamplonita en la ciudad de Cúcuta.

Para el cálculo del caudal de diseño se utilizó el método racional básico, donde para áreas de drenaje menores de 80 Ha, considerando un periodo de retorno según la “Tabla 16” de Resolución 0330 (2017). Esto se determina mediante mapas organizacionales de la ciudad donde se ubica la intersección (Avenida 12E con Calle 2N), la cual es de uso residencial-comercial con predominio de zonas duras, por lo tanto, se eligió un periodo de retorno de 10 años. La ecuación general del método racional básico se presenta en la Ecuación (1).

$$Q=2.78*C*I*A \quad (1)$$

Donde, Q es el caudal de diseño (m³/s), C es el coeficiente de infiltración, I es la intensidad de

precipitación y A es el área de drenaje. El parámetro C se estimó de 0.885, con base en un promedio entre las zonas duras de la zona y las zonas verdes existentes en el área de estudio calculadas previamente como una aproximación mediante Google Earth pro. En cuanto al cálculo del parámetro I se consideró el periodo de retorno de 10 años.

Al igual, se debe hacer la estimación del tiempo de entrada, el cual, se refiere al tiempo que le toma al flujo superficial para viajar desde la parte más alejada de la sub-cuenca hasta el punto de entrada o sumidero más cercano a la red de tuberías que conforman el sistema de alcantarillados de aguas pluviales, (Resolución 0330, 2017 ; Chambi, 2018). Para esto previamente se calculó la longitud del trayecto que toma el agua pluvial hasta llegar a la intersección (1134.66 m) y la pendiente del terreno (0.811 %). El tiempo de entrada (Te) se estimó mediante la Ecuación (2), Resolución 0330 (2017).

$$T_e = \frac{0.707*(1.1-C)*L^{1/2}}{S_o^{1/3}} \quad (2)$$

Donde, L es la longitud de recorrido (m) y So es la pendiente longitudinal del recorrido (%), donde se obtiene el valor de Te, el cual es de 25.537 minutos.

Basado en la interpolación cuadrática entre los valores de la relación intensidad – duración – frecuencia para el periodo de retorno de 10 años (Figura 3), se calcula el valor de las intensidades (I3, I5 e I10), utilizando la Ecuación (3), Resolución 0330 (2017).

$$y_x = y_0 * \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x-x_2)} + y_1 \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_0-x_2)} + y_2 \frac{(x-x_0)*(x-x_1)}{(x_2-x_0)*(x_2-x_1)} \quad (3)$$

Donde, Y_x es el valor a calcular de la intensidad (según datos del periodo de retorno); Y_0 es el valor de la intensidad en el intervalo con la duración de la lluvia respectivamente menor a la del tiempo de concentración; X es el valor obtenido del T_e ; X_0 es la duración de lluvia respectivamente menor a la del tiempo de concentración calculado; X_1 es la duración de lluvia respectivamente mayor a la del tiempo de concentración calculado; X_2 es la duración de lluvia respectivamente mayor a X_1 ; Y_1 es el valor de la intensidad en el intervalo con la duración de la lluvia respectivamente menor a la del tiempo de concentración; Y_2 es el valor de

la intensidad mayor a Y_1 . Con esto se obtienen las intensidades I_3 es 74.129 mm/h, I_5 es 87.381 mm/h, I_{10} es 104.142 mm/h.

En la Figura 3 se presenta curva de Intensidad Duración Frecuencia para un periodo e retorno de 10 años, para la determinación de la intensidad y cálculo del caudal resultante por el método racional básico variando el periodo de retorno entre 3, 5 y 10 años fueron 6.04 m³/s, 7.11 m³/s, y 8.48 m³/s, respectivamente. De este modo, el caudal definido para el diseño es de 8.48 m³/s para un periodo de retorno de 10 años.

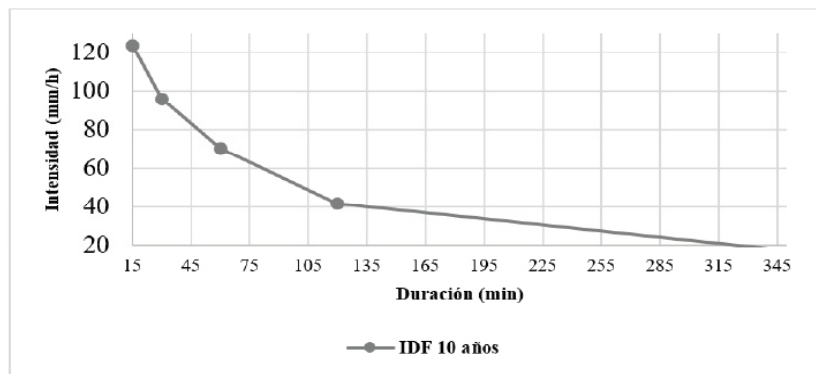


Figura 3. Curva IDF para un periodo de retorno de 10 años.

Definición de alternativas de los SUDS

Los grupos SUDS de retención, infiltración y control en fuente, fueron las alternativas que se consideraron viables para la aplicación de este caso estudio, teniendo en cuenta lo sugerido por la organización CIRIA en el “The SUDS Manual” (Woods et al, 2007). Estas alternativas son económicas, duraderas y pueden eliminar los puntos críticos de estancamiento de aguas pluviales. Utilizando la herramienta “Best” disponible en <https://www.susdrain.org/resources/best.html>, se realizó un análisis de alternativas, tomando como criterios de selección cuatro aspectos: el ambiental, amenazas, económico y técnico.

La alternativa seleccionada para la aplicación de la propuesta de SUDS en la intersección Av.

12E y Cl. 2N es los pozos de infiltración. La propuesta pretende diseñar un sistema de captación y transporte de aguas pluviales hacia el sector de estudio, por lo cual, con base en los criterios establecidos, esta alternativa fue considerada la mejor debido al elevado caudal de escorrentía que se debe manejar y el poco espacio disponible en la intersección. También, dado que en la intersección existen áreas verdes, se pretende aprovechar estos espacios que favorecen el posicionamiento del área de infiltración (Yunianta & Setiadji, 2018).

Se seleccionó como medio de filtración un desarenador que permita retener partículas de arena gruesa, puesto que, al encontrarse la intersección sobre una zona habitacional, el mayor contribuyente de desechos al agua de escorrentía es el arrastre de partículas sobre el suelo pavimentado. El uso de

los pozos de infiltración ha demostrado que puede reducir el pico de inundación en hasta un 50 % en comparación con el caso de que no hubiera pozos de infiltración (Kusumastuti et al 2017).

Resultados

El caudal de diseño calculado para el drenaje pluvial fue de 8.48 m³/s. Este valor de caudal requiere que las tuberías tengan un diámetro elevado con mayores costos en la etapa de la construcción del drenaje pluvial. Por lo cual, se optó por dividir el sistema en dos partes para los costos de construcción y optimizar el diseño. A partir de los parámetros de diseño, se estableció un sistema con 9 rejillas, 7 pozos de inspección y 2 desarenadores.

Área de infiltración

La determinación de las dimensiones de los pozos de infiltración y la capacidad de infiltración se realiza a partir del volumen de escorrentía y la tasa de infiltración del suelo según la ubicación (Kusumastuti et al 2017). Por este motivo, Se tomó como volumen de lluvia a almacenar durante 25.537 minutos, de acuerdo con las características de precipitación de la ciudad de Cúcuta, donde se considera que se presenta el caudal pico en la intersección según el método racional básico. Según las características morfológicas de la zona, el caudal de infiltración es de 8.7 m³/s en un área definida para el sistema de drenaje de 174 m² de material aluvial de grano fino sin nivel freático, para asegurar la infiltración del caudal pico (8.48 m³/s) de lluvia en el punto planteado para la recolección.

Captación del drenaje pluvial sostenible

El sistema de captación vial permite que la escorrentía de aguas superficiales se infiltra a través de una instalación artificial, integrada por canales laterales (Yunianta & Setiadji, 2019). La captación de agua pluvial consiste en rejillas laterales en la intersección, con el fin de garantizar mayor durabilidad evitando el cruce de vehículos

por encima de éstas como sí pasa con las rejillas ubicadas perpendicularmente al eje de la vía.

Para la rejilla para un caudal de 8.48 m³/s, considera la profundidad sobre la rejilla de 0.10 m, valor máximo de la lámina de agua mientras estos volúmenes son transportados por el sistema de canales. Así establecido un porcentaje de obstrucción del 50 % para la rejilla, en representación al área que ocupada por las barras oblicuas que evitan grandes espacios vacíos, que pueden ocasionar accidentes a los usuarios de la vía. Se obtiene como perímetro real de la rejilla un valor 325 m, esta longitud divide 10 para obtener tramos de rejilla de mínimo 32.5 m con secciones transversales de 0.6 m de ancho y 31.3 m (longitudes efectivas).

Conducción del drenaje pluvial sostenible

Las tuberías conducen el agua pluvial proveniente de cada canal donde se capta el agua por medio de las rejillas. Estas tuberías cuentan con las características para redes pluviales según, [14]. Las propiedades geométricas estimadas utilizando valores de pendiente de 0.8 %, rugosidad absoluta (Ks) de 2.3x10⁻⁵ m y viscosidad cinemática (γ) de 1.10x10⁻⁶ m²/s, se presentan en la Tabla I y el esquema de la ubicación de las tuberías la Figura 4.

Tabla I. Características Geométricas De Los Diámetros Internos De Las Tuberías Necesarios Y Verificación De Parámetros De Diseño.

Tubería	Altura del nivel de agua /diámetro de la tubería	Altura del nivel de agua	Área mojada transversal	Perímetro mojado	Radio hidráulico de la sección de flujo	Caudal	Velocidad	Diámetro interno real	Número de Froude	Esfuerzo cortante
(#)	-	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(L/s)	(m/s)	(m)	-	(Pa)
1 a 10	0.91	0.55	0.27	1.52	0.18	848.00	3.14	0.79	1.13	13.96
11 y 15	0.83	0.67	0.45	1.84	0.24	1696.00	3.80	0.75	1.40	19.06
12 y 16	0.90	0.80	0.59	2.23	0.27	2544.00	4.28	1.10	1.30	23.54
13 y 17	0.90	0.90	0.74	2.50	0.30	3392.00	4.57	1.26	1.30	26.22
14	0.86	0.95	0.87	2.62	0.33	4240.00	4.89	1.15	1.45	29.29

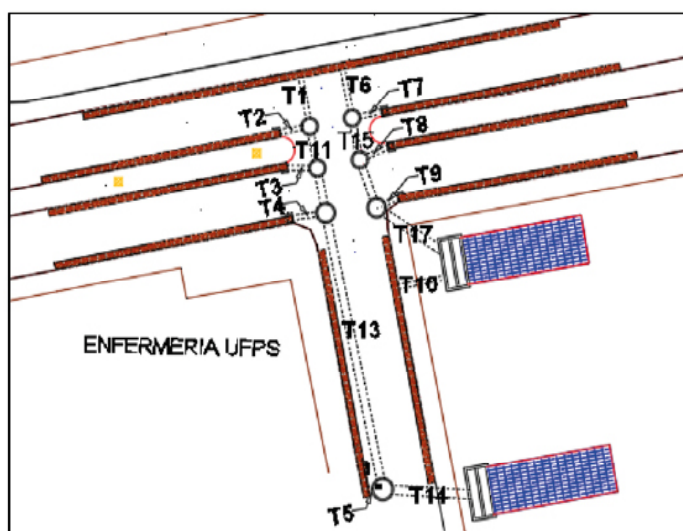


Figura 4. Ubicación e identificación de las tuberías.

El diseño se estableció distribuyendo el caudal en dos partes, para evitar diámetros de tubería elevados que hagan necesario incluir una mayor envergadura de las estructuras de conexión. Las características de las tuberías son de un diámetro interno real > 260 mm, velocidad mínima real en el colector con un esfuerzo cortante > 2.0 MPa, velocidad < 5 m/s o de hasta 10 m/s (en caso de colectores con flujo superiores a 500 L/s), y una profundidad de flujo $< 93\%$ del diámetro interno real de este, correspondiente a flujo lleno.

Pozos de inspección

Los pozos de inspección son cámaras de tipo 1 donde establece un uso para diámetros de tuberías que varían entre 800 mm y 1200 mm, sin o con cambio de dirección hasta 45 grados con respecto a la línea de flujo (Empresas Municipales de Cali [EMCALI], 2017). Se establecieron 7 pozos de inspección, en la Figura 5 se muestra el esquema de la ubicación de los 7 pozos de inspección y la respectiva identificación.

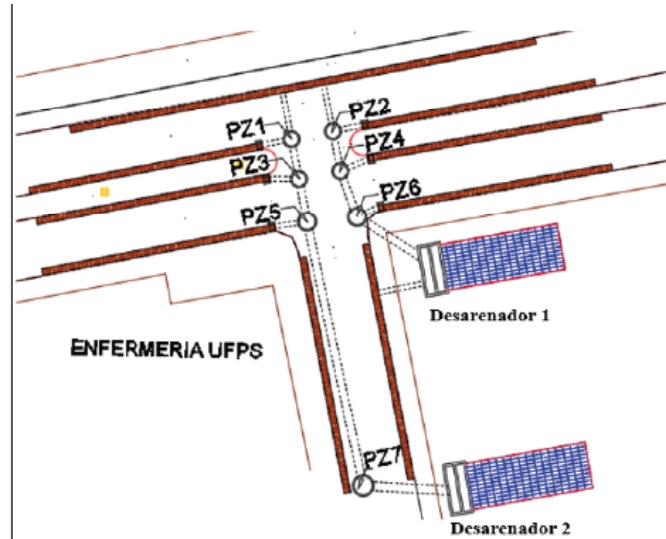


Figura 5. Ubicación de los pozos en la intersección

Desarenadores

Se establecieron dos desarenadores, uno para cada sistema de tubería (Figura 5) y se definió una conexión directa a una línea de *aquacell*, la cual transporta el agua hacia el tanque de infiltración. Esto para solucionar la dificultad relacionada con el área de infiltración, puesto que, las conexiones de diámetro nominal de 160 mm no logran evacuar rápidamente el caudal que llega al sector, así como, se disminuye el área superficial que ocupa el desarenador.

La reducción de la velocidad de entrada al desarenador se realiza por medio de una pantalla deflectora. La altura de la pantalla deflectora se diseña con base en el diámetro de la tubería de mayor tamaño de entrada más 40 cm por debajo de la misma, ubicada a una altura inicial definida por la cota clave de la tubería entrante.

El desarenador 1 consta de una altura interna total de 3.45 m y externa de 4.05 m; y un espesor para la pantalla de 0.30 m donde se define un ancho interno de 2.30 m. El desarenador 2 se define una altura interna total de 4.30 m y externa de 4.90 m; y un espesor para la pantalla de 0.30 m donde se define un ancho interno de 2.50 m.

Multifuncionalidad de los pozos de infiltración

La gestión de las aguas pluviales a través de los SUDS, optimiza ingenierilmente las técnicas convencionales de construcciones de drenajes urbanos, integrando los aspectos ambientales, y sociales de cada zona donde se implementan. [El control en la zona con los pozos de infiltración retiene el inicio de la formación de escorrentía superficial, por medio de superficies permeables y áreas verdes como se observa en la Figura 6 utilizando herramientas de realidad aumentada (Cacua, 2017).

Los pozos de infiltración favorecen la integración de las estructuras de drenaje y los espacios verdes, conformando una construcción urbana sostenible. Los objetivos multifuncionales de la aplicación de SUDS se enfocan en tener un sistema eficiente para la recolección de las aguas pluviales y a su vez se vean aumentados los valores paisajísticos del sector (Loc et al, 2017).



Figura 6. Ambientación de la Intersección Avenida 12E y Calle 2N (a) aplicación del sistema de drenaje, (b) área de infiltración

También, la presencia de un medio que retiene contaminantes en el sistema de pozos de infiltración como los desarenadores, permiten el aseguramiento de la calidad del agua y su posible reutilización (Lourenco et al, 2020), en zonas verdes próximas a la Universidad Francisco de Paula Santander ;Cúcuta (Estupiñán et al 2015)

Conclusiones

Se realizó la propuesta de un sistema de drenaje con la aplicación de cálculos de diseño que puede cumplir con múltiples objetivos para la sustentabilidad de área estudiada. Estos sistemas son construcciones sostenibles que representan una alternativa útil para hacer frente a los crecientes problemas por la urbanización y el cambio climático. La propuesta puede evitar las inundaciones que se presentan en el sector de la Intersección de la Avenida 12E y la Calle 2N de Cúcuta y agregar valores paisajísticos a la construcción para el beneficio de las personas. Particularmente, el sistema de pozos de infiltración es considerado como eficiente para controlar las inundaciones y ofrece la integración de las estructuras de drenaje y los espacios verdes.

Referencias

- Bonilla, C. A., Ramón, J. D. & Ramón J.A. (2022) *Sistemas de drenaje urbano* Universidad de Pamplona.
- Cacua-Peñaloza I.J. (2017). Recurso instruccional para el desarrollo del contenido de estructuras mediante la aplicación de la realidad aumentada en el área de tecnología. caso: colegio “Pablo Correa León” Cúcuta, Colombia. *Eco Matemático*, 9(1), 97-121. <http://dx.doi.org/10.22463/17948231.1732>
- Chambi, L. Z. (2018). *Análisis y diseño de la red de alcantarillado y drenaje pluvial en el distrito de alto selva alegre “el mirador” provincia de Arequipa mediante el programa swmm 5.1* (tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa). Repositorio Institucional UNSA.<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6728>
- Empresas Municipales de Cali. (2017). *Norma técnica de recolección de aguas residuales y lluvias, NDI-SE-RA-007/V1.0*. EMCALI.
- Estupiñán-Roa, N., Solano-Cañas, B. E., & Rodríguez-Ibarra, Z. (2015). Incidencia de un acuerdo en la permanencia estudiantil en la UFPS. (Un análisis con tablas y gráficos estadísticos). *Eco Matemático*, 6(1), 86–90. <https://doi.org/10.22463/17948231.462>
- Florez, C. H. (2015). *Consultoría para la elaboración de los estudios y diseños de las obras del colector de aguas lluvias de la calle 2N, en la ciudad de San José de Cúcuta* (tesis de pregrado, Universidad Francisco de paula Santander).

- Hoang, L., & Fenner, R. A. (2016). System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure, *Urban Water Journal*, 13(7), 739-758, <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1036083>
- Kusumastuti, D., Jokowinarno, D., Khotimah, S., & Dewi, C. (2017). The use of infiltration wells to reduce the impacts of land use changes on flood peaks: An Indonesian catchment case study, *Pertanika Journal of Science and Technology*, 25(2), 407-424.
- La Rosa, D., & Pappalardo, D. (2021). Policies and planning of urban green infrastructure and sustainable urban drainage systems, *In Urban Services to Ecosystems*, 17(1), 297-316. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75929-2_16
- Loc, H. H., Duyen, P. M., Ballatore, T. J., Lan, N. H., & Das-Gupta, A. (2017). Applicability of sustainable urban drainage systems: an evaluation by multi-criteria analysis, *Environment Systems and Decisions*, 37(3), 332-343. <https://doi.org/10.1007/s10669-017-9639-4>
- Lourenco, I. B., Guimaraes, L. F., Alves, M. B., & Miguez, M. G. (2020). Land as a sustainable resource in city planning: The use of open spaces and drainage systems to structure environmental and urban needs, *Journal of Cleaner Production*, 276, 123096. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123096>.
- Luo, H., Oberg, N., Landry, B. J., & García, M. H. (2021). Assessing the system performance of an evolving and integrated urban drainage system to control combined sewer overflows using a multiple-layer based coupled modeling approach. *Journal of Hydrology*, 603, 127130. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127130>
- Maqbool, R., & Wood, H. (2022). Containing a sustainable urbanized environment through SuDS devices in management trains, *Science of The Total Environment*, 807, 150812. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150812>.
- McClymont, K., Cunha, D., G., F., Maidment, C., Ashagre, B., Vasconcelos, A., F., Macedo, M., B., & Imani, M. (2020). Towards urban resilience through Sustainable Drainage Systems: A multi-objective optimisation problem. *Journal of Environmental Management*, 275, 111173. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111173>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017, 08 de Junio). *Resolución 0330 del 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009*. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>
- Perales, S., Andrés, I., Hernández, C., Vallés, F., Martín, M., Martín, I., Escuder, B., & Andreu, A. (2017). The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain, *Journal of Cleaner Production*, 163, S113-S124. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.153>.
- Riyaz, M. (2014). *Environmental impact assessment for development of drainage works and storm water infiltration galleries in H. DH. Kulhudhuffushi, Maldives*. UNDP.
- Rodríguez, L., Zubelzu, S., Perales, S., & Canogar, S. (2018). Techniques and criteria for sustainable urban stormwater management. The case study of Valdebebas (Madrid, Spain). *Journal of Cleaner Production*, 172, 402-416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.070>
- Tedoldi, D., Chebbo, G., Pierlot, D., Kovacs, Y., & Gromaire, M., C. (2016). Impact of runoff

infiltration on contaminant accumulation and transport in the soil/filter media of Sustainable Urban Drainage Systems: A literature review, *Science of the Total Environment*, 569-570, 904-926. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.215>.

Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). *The SUDS manual (C697)*. CIRIA.

Yunianta, A. & Setiadji, B. H. (2018). Sustainable road drainage system: Experimental model, In *MATEC Web of Conferences*, 181, 11005 <http://eprints.undip.ac.id/66026/>

Yunianta, A., & Setiadji, B. H. (2019). Design of Sustainable Road Drainage System Model, *Journal of Sustainable Engineering: Proceedings Series*, 1(1), 35-45. <https://doi.org/10.35793/joseps.v1i1.5>

Zhou, Q. (2014). A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts. *Water* 6(4), 976–992. <https://doi.org/10.3390/w6040976>