



XXIII SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA. IBAGUÉ, 15 AL 17 DE AGOSTO DE 2018.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TANQUE DE DETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Jaime E. Parra, Edgar L. Villarreal
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
jeparrao@unal.edu.co, elvillarrealg@unal.edu.co

RESUMEN

La urbanización acelerada cambia el uso del suelo e impacta el ciclo hidrológico, incrementando la escorrentía superficial. El drenaje tradicional de aguas lluvias conlleva muchos problemas y no es sostenible. Mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) se plantea un manejo del agua lluvia más responsable, emulando las condiciones naturales que existían antes del desarrollo urbanístico.

Como parte de un trabajo de investigación, se ha diseñado y construido un tanque de detención de aguas lluvias. Esta estructura consiste en un tanque subterráneo de 10.22 m^3 , construido con geoceldas en polipropileno, mediante la cual se busca detener la escorrentía proveniente de una parte (450 m^2) de la cubierta del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Para el dimensionamiento del tanque se aplicaron tres métodos utilizados en el drenaje urbano. Una vez determinado el volumen del tanque y la respectiva estructura de salida, se llevó a cabo una simulación matemática del comportamiento de la estructura de detención utilizando lluvias reales y sintéticas. Los resultados de la modelación matemática indican que la estructura tiene un buen desempeño en cuanto a la detención del agua lluvia y reducción de caudales pico.

PALABRAS CLAVE: SUDS, tanque de detención, celdas geocelulares.

ABSTRACT

Accelerated urbanization changes land use and impacts the hydrological cycle, increasing surface runoff. The traditional drainage of stormwater currently has many problems and is not sustainable. Through Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) a more responsible stormwater management is proposed, emulating the natural conditions that existed before the urban development.

As part of a research project, a stormwater detention tank has been designed and constructed. This structure is an underground tank of 10.22 m^3 , constructed with polypropylene geocellular modules, whose aim is to detain the runoff coming from a part (450 m^2) of the roof of the Physical Modeling Laboratory of the Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogota. Three methods used in urban drainage were applied for sizing the tank. Once the volume of the tank and the respective outlet structure were determined, a mathematical simulation of the behavior of the detention tank using real and synthetic rainfalls was carried out. The performance of the structure through mathematical modeling shows satisfactory results in terms of stormwater detention and peak flow attenuation.

KEYWORDS: SUDS, detention tank, geocellular modules.

Mayor Información



INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas de drenaje urbano tradicionales están presentando problemas en varias ciudades de Colombia. Estos problemas están relacionados con inundaciones, contaminación de los cuerpos naturales de agua, exceso de escorrentía superficial, entre otros. Para mitigar el impacto de estos problemas existe hoy en día un conjunto de medidas que se conoce como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, SUDS. Durante las últimas décadas se ha dado un gran desarrollo de estos sistemas en varios países del mundo, particularmente en el Reino Unido, los Estados Unidos, Australia, entre otros (Fletcher, y otros, 2014). Este tipo de sistemas no goza de gran popularidad en Colombia, y solo recientemente se ha promovido de manera incipiente su implementación por medio de algunas entidades relacionadas con el medio ambiente y el recurso hídrico. En nuestro medio no existen normas establecidas para su diseño e implementación, y es a través de proyectos piloto (o de demostración) que se propone investigar estos sistemas y eventualmente generar normas para su implementación.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son relativamente recientes y su implementación a nivel internacional se ha intensificado desde principios de los años 1990 (Poletto & Tass, 2004). Los SUDS surgieron de la necesidad de cambiar la filosofía tradicional del drenaje del agua lluvia por la del manejo sostenible de esta. Este cambio en la filosofía de diseño implica hacerle espacio al agua lluvia en ambientes urbanos, de forma que respecto a caudales pico y volúmenes de escorrentía se mantengan las condiciones previas a un determinado desarrollo urbanístico.

Para lograr lo anterior, se han propuesto una serie de medidas llamadas estructurales y no estructurales (Butler & Davies, 2011). Hoy en día estas medidas son vistas como una combinación de prácticas que son determinadas por medio de una evaluación de condiciones, examen de alternativas y apropiada participación pública para lograr su efectividad (Villarreal, 2005). Dentro de las medidas estructurales se encuentran los tanques de detención de agua lluvia. La detención se refiere a mantener almacenada la escorrentía por periodos de tiempo relativamente cortos y después descargarla controladamente al alcantarillado público, o a los cauces naturales de agua en donde esta regresa al ciclo hidrológico. La detención no reduce el volumen total de escorrentía, sino que lo redistribuye reduciendo el caudal pico de salida. (Butler & Davies, 2011).

A mediados de los años 1980 se instalaron en Europa por primera vez tanques de detención construidos con celdas geocelulares. Su uso se intensificó a principios de los años 1990 y a finales de esta misma década estas estructuras fueron introducidas al Reino Unido (CIRIA, 2016). Durante los últimos 15 años ha habido un rápido crecimiento en la disponibilidad de tipos de celdas en todo el mundo y hoy en día son usadas ampliamente para detención, almacenamiento, e infiltración de aguas pluviales cuando las condiciones del terreno lo permiten. La construcción de tanques de detención con este tipo de material ha ganado mucha popularidad debido a su gran resistencia y a la gran facilidad de instalación, lo que reduce considerablemente los costos.

En Colombia en la actualidad no existe un manual o norma para el diseño de los tanques de detención (Parra, 2018), y esta investigación pone a prueba diferentes métodos

Mayor Información

de dimensionamiento. Adicionalmente, mediante modelación matemática se estudió el desempeño de uno de estos sistemas instalado en la Universidad Nacional Sede Bogotá. En este sentido, esta investigación representa un aporte al manejo sostenible del agua lluvia.

METODOLOGÍA

El área de estudio de la presente investigación es el costado norte del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (**Figura 1**). Mediante la implementación del tanque se busca detener el agua lluvia de una parte de la cubierta de este edificio correspondiente a 450 m². Antes de la implementación del tanque, el agua lluvia de esta parte de la cubierta era descargada directamente al alcantarillado combinado existente en el campus la Universidad.



Figura 1.- Localización de instalación de tanque de detención de agua lluvia al costado norte del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos en la Universidad Nacional de Colombia. Fuente: (GOOGLE EARTH, 2015)

El predimensionamiento de un tanque de detención consiste en encontrar un volumen de almacenamiento adecuado, por medio del cual se logre la atenuación del caudal pico producto del desarrollo urbanístico. Para el caso de estudio se aplicaron tres métodos utilizados en drenaje urbano (Parra, 2018):

- Método racional modificado
- Método del hidrograma triangular
- Método de la envolvente de lluvias

El periodo de retorno recomendado para dimensionar tanques de detención suele ser de 2 a 10 años (Watkins, 1991). Puesto que en Colombia aún no existe una norma al respecto, para esta investigación se decidió utilizar varios periodos de retorno, y de esta forma obtener volúmenes de detención empleando los métodos mencionados anteriormente. Los volúmenes obtenidos se compararon para seleccionar el almacenamiento requerido. A continuación se describen brevemente estos métodos.

Método racional modificado

El método racional modificado es una extensión del método racional, y se utiliza para desarrollar hidrogramas mediante los cuales se puede estimar un volumen de detención. La suposición básica del método es determinar la duración crítica de una tormenta, es decir, la duración para la cual se obtiene el volumen de detención máximo para unas condiciones dadas (Mays & Tung, 2002). La información necesaria para aplicar el método son las curvas IDF representativas de la zona de estudio, y las características físicas de la cuenca antes y después del desarrollo urbanístico. La geometría de los hidrogramas está definida por el caudal pico después del desarrollo (Q_p), el caudal de descarga permitido después del desarrollo (Q_A), el tiempo de concentración (t_c), y la duración crítica de la tormenta (t_D). El volumen de almacenamiento de diseño se obtiene como la diferencia entre los dos hidrogramas (**Figura 2**).

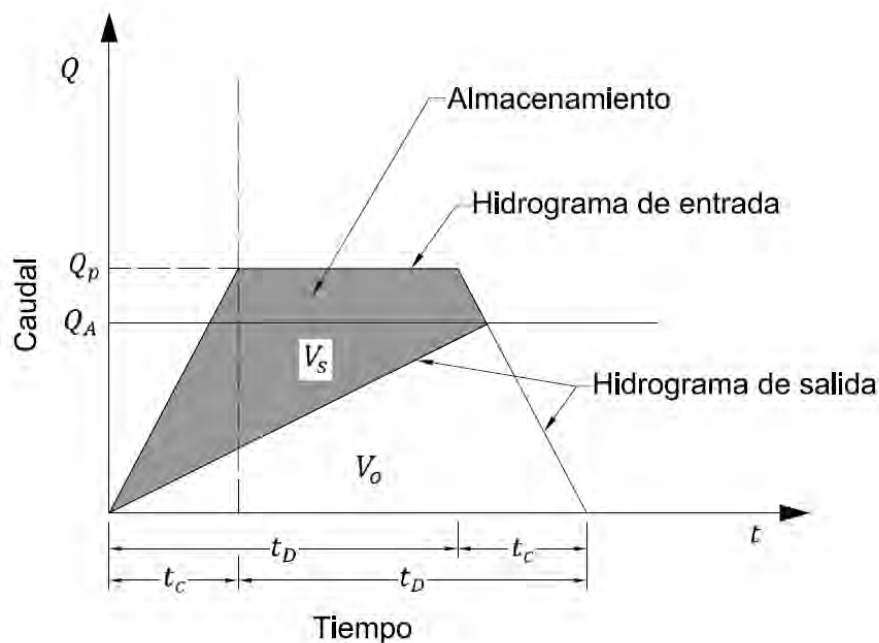


Figura 2.- Representación del método racional modificado. Fuente: (Butler & Davies, 2011)

Analíticamente, el volumen de almacenamiento necesario para lograr Q_A está dado por (Mays & Tung, 2002):

$$V_s = 60Q_p t_D - 30Q_A(t_D + t_c) \quad (1)$$

Dónde:

V_s es el volumen de almacenamiento, l

Q_p es el caudal pico después del desarrollo, l/s

Q_A es el caudal antes del desarrollo, l/s

t_D es el tiempo de duración de la tormenta, min

Mayor Información

t_c es el tiempo de concentración de la cuenca en estudio, min

Método del hidrograma triangular

Este método se basa en la estimación preliminar del volumen de almacenamiento requerido para atenuar el caudal pico, mediante la diferencia entre dos hidrogramas con forma triangular, los cuales representan las condiciones de la cuenca antes y después del desarrollo urbanístico (**Figura 3**); el volumen de detención estimado por este método corresponde al área entre los dos hidrogramas.

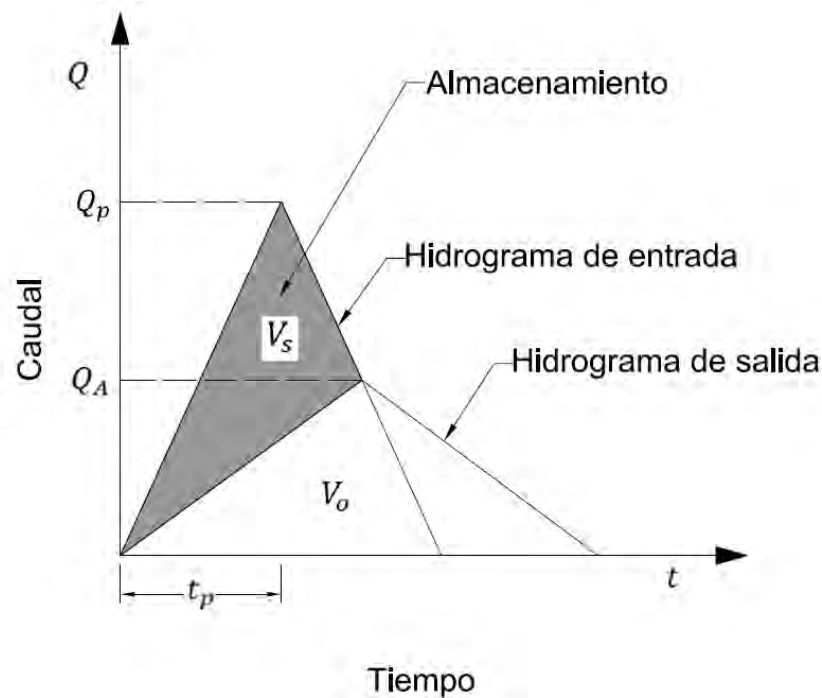


Figura 3.- Método del hidrograma triangular. Fuente: (Federal Highway Administration, 2009)

De acuerdo con este método, el volumen de almacenamiento está dado por la ecuación (2).

$$V_s = 60t_p(Q_p - Q_A) \quad (2)$$

Dónde:

V_s es el volumen de almacenamiento, l

Q_p es el caudal pico después del desarrollo, l/s

Q_A es el caudal antes del desarrollo, l/s

t_p es el tiempo de concentración de la cuenca en estudio, min

Los caudales Q_p y Q_A se calculan por medio del método racional utilizando las variables de intensidad de lluvia y coeficiente de escorrentía, de acuerdo con cada

Mayor Información

condición. El tiempo al pico t_p se calcula como el tiempo de concentración t_c , después del desarrollo.

Método de la envolvente de lluvias

Este es un método gráfico, el cual consiste en comparar los volúmenes de entrada y salida de la estructura de detención. Utilizando las curvas IDF de la zona de interés, se obtiene la curva del volumen que ingresa al tanque de detención (V_i), para un determinado periodo de retorno. El volumen de salida de la estructura de detención (V_o) se asume como una descarga constante, la cual es gobernada por la condición de salida. La máxima diferencia en las ordenadas de las dos curvas, representa el almacenamiento S requerido para el periodo de retorno considerado (**Figura 4**):

$$S = V_i - V_o \quad (3)$$

Dónde:

S es el volumen de almacenamiento, m^3

V_i es el volumen de ingreso al tanque, m^3

V_o es el volumen de salida del tanque, m^3

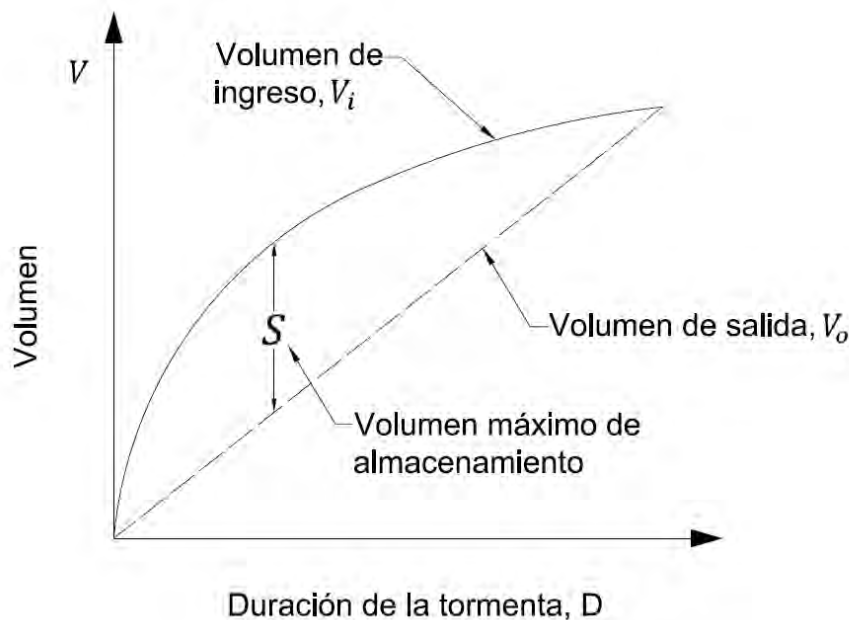


Figura 4.- Gráfica de la envolvente de lluvias para diferentes caudales de salida. Fuente: (Butler & Davies, 2011).

El volumen de ingreso V_o se calcula con la intensidad de lluvia para cada paso de tiempo por medio de la ecuación (4).

$$V_i = iAt_D \quad (4)$$

El volumen de salida V_o es calculado por medio de la ecuación (5):



$$V_o = Q_A t_D \quad (5)$$

A diferencia de los dos métodos descritos anteriormente, el método de la envolvente de lluvias no considera el tiempo de concentración.

Estructura de salida del tanque

El siguiente paso en el diseño del tanque de detención es definir la estructura de salida. Mediante esta se garantiza que el caudal de salida del tanque sea el caudal permitido después del desarrollo. Para el tanque de detención del presente estudio, se instaló una tubería de salida en la parte más profunda del tanque que funciona como un orificio sumergido, donde:

$$Q = AC_d \sqrt{2gH} \quad (6)$$

Dónde:

Q es el caudal a través del orificio, m^3/s

A es el área transversal del orificio sumergido, m^2

C_d es el coeficiente de descarga del orificio, adimensional

H es la altura de la línea de energía sobre el orificio, m

g es la gravedad, m/s^2

RESULTADOS

Para el dimensionamiento del tanque se definió como caudal permitido el caudal que se tenía antes del desarrollo. La filosofía detrás de este criterio es que la estructura de detención garantice que el desarrollo urbanístico no altere las condiciones anteriores al desarrollo. Adicionalmente, debido al carácter impermeable de la cubierta del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos, se asumió que toda la precipitación se convierte en escorrentía superficial.

En la **Tabla 1** se presenta el resumen de los resultados obtenidos con los tres métodos de predimensionamiento.

Tabla 1.- Resumen de resultados del predimensionamiento. Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS PREDIMENSIONAMIENT O	Volumen			Caudal Pico			Caudal antes de desarrollo		
	(m ³)			(l/s)			(l/s)		
Periodo de retorno (años)	2	5	10	2	5	10	2	5	10
Método racional modificado	6.3								
	9	7.34	8.15	5.15	5.91	6.56	3.44	3.94	4.37
Hidrograma triangular	2.5								
	4	2.92	3.23	11.90	13.66	15.15	3.44	3.94	4.37
Envolvente de lluvias	4.7								
	8	5.49	6.09	7.91	8.55	8.98	3.44	3.94	4.37

Como se puede observar, el volumen de almacenamiento máximo requerido es de 8.15 m³, lo que significa que con este volumen, se puede cumplir con la condición antes del desarrollo para todos los periodos de retorno analizados. Debido a que no se puede instalar un tanque de exactamente 8.15 m³, y a las condiciones locales del sitio de instalación, se optó por instalar un tanque con un volumen de 10.22 m³, lo que significa un volumen adicional de aproximadamente el 20% disponible para el momento en el que se presente un evento de precipitación mayor a los mostrados en esta investigación.

Modelación matemática del desempeño del tanque

Con el fin de caracterizar el posible desempeño del sistema para diferentes eventos de precipitación se consideraron perfiles de lluvias sintéticas y reales. Los perfiles de lluvia sintéticos se obtuvieron por medio del método del bloque alterno para periodos de retorno de 2, 5 y 10 años, utilizando la información de las curvas IDF para la Estación Universidad Nacional, operada por el IDEAM. Los perfiles de lluvias reales se obtuvieron de los registros de la red de pluviógrafos de la Universidad Nacional, operados por el Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos (GIREH). Como criterio de selección se optó por escoger los eventos de lluvia más intensos del registro (el cual va desde el año 2008 hasta el 2011), para los dos periodos de lluvia de Bogotá.

La información de lluvias, junto con la geometría del tanque (volumen vs elevación) y las características de la estructura de salida (descarga vs altura de lámina de agua) fueron introducidas en el programa PondPack[®] para llevar a cabo la simulación del efecto de detención del tanque.

Lluvias sintéticas

Por medio de modelación matemática, se transitaron los hidrogramas a través del tanque y se obtuvo el comportamiento del volumen de agua, mostrado en la **Figura 5**, y el caudal a la entrada y salida mostrado en la **Figura 6**.

En la **Figura 5** se puede observar que el volumen de agua dentro del tanque empieza a subir rápidamente y el descenso es más lento, siendo este regulado por la estructura de salida. Para todos los periodos de retorno considerados, el máximo volumen que ocupa el

Mayor Información

agua lluvia almacenada es menor a 10.22 m^3 , el cual es máximo volumen disponible que tiene el tanque, siendo este un resultado satisfactorio. El tiempo de desocupado del tanque fue de 105 minutos.

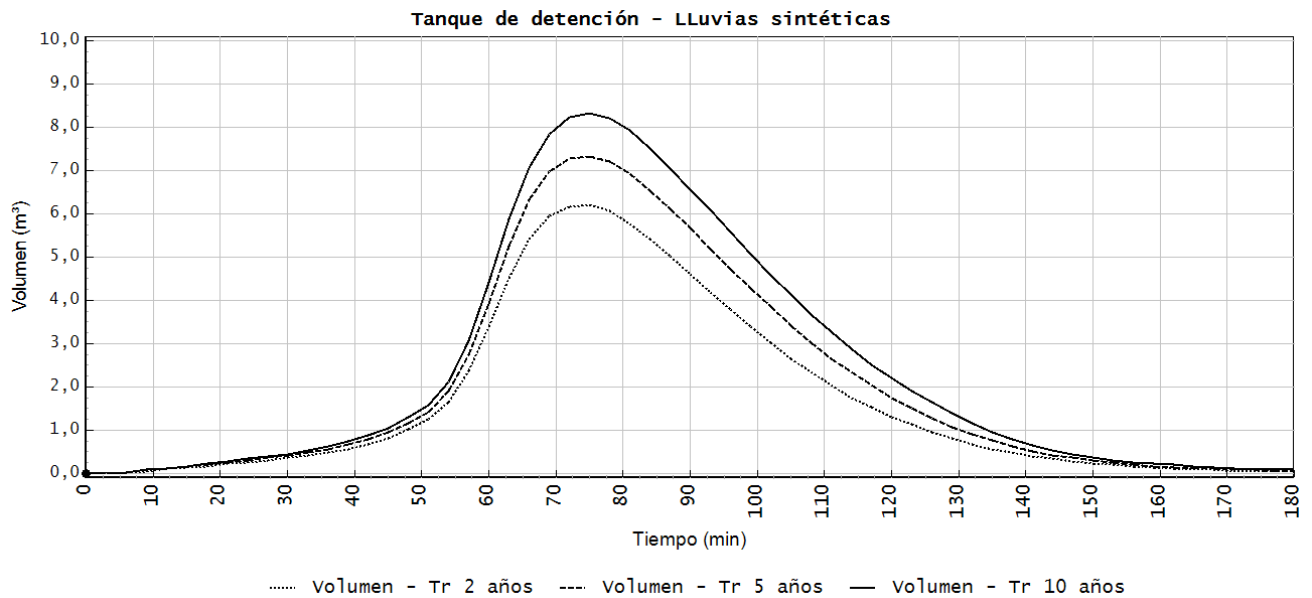


Figura 5.- Variación del volumen de agua dentro del tanque para el periodo de retorno de 2, 5 y 10 años. Fuente: Elaboración propia

Los máximos valores calculados para los periodos de retorno 2, 5 y 10 años, son 6.2 m^3 , 7.3 m^3 y 8.3 m^3 respectivamente. Debido a que el tanque instalado tiene un volumen de 10.22 m^3 el tanque es capaz de realizar la detención del volumen esperado.

En la **Figura 6** se puede observar la atenuación del caudal pico lograda con el tanque de detención para un periodo de retorno de 10 años. De un caudal pico de entrada de 11.8 l/s se redujo a un caudal de salida de 4.6 l/s siendo una reducción del 62% aproximadamente. El retraso de los caudales pico antes y después del desarrollo fue de 15 minutos.

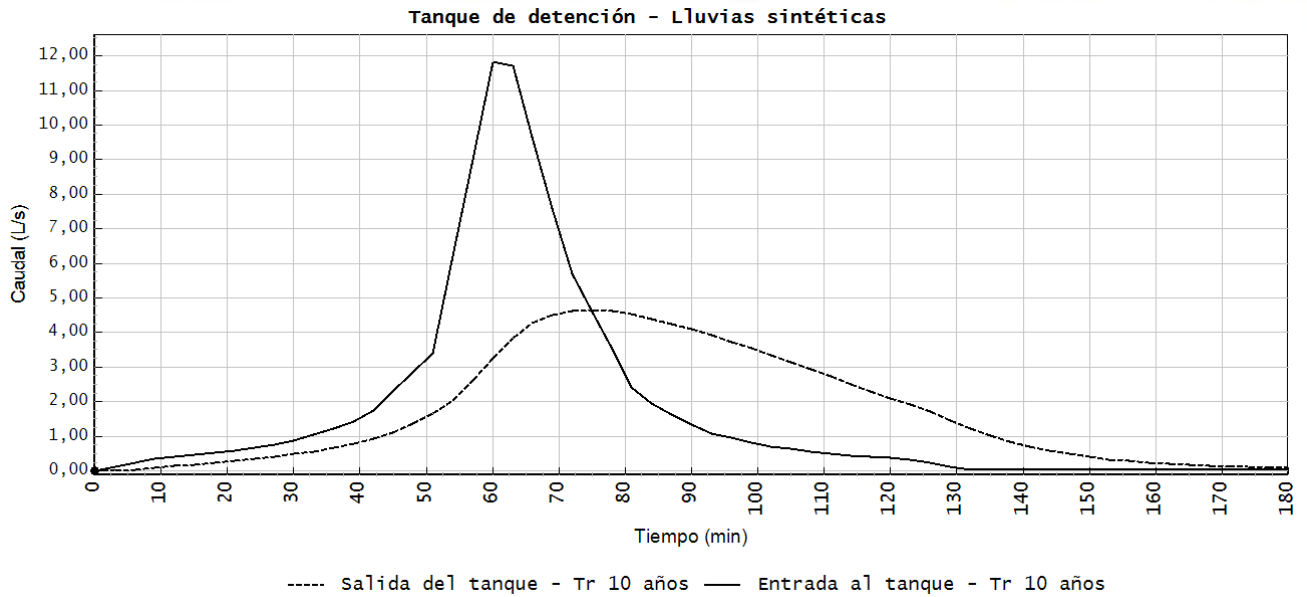


Figura 6.- Hidrogramas de entrada y salida del tanque de detención de agua lluvia para un periodo de retorno de 10 años. Fuente: Elaboración propia

Lluvias reales

Con el fin de investigar el comportamiento del tanque de detención bajo condiciones reales de precipitación, se realizó la modelación para varios eventos de precipitación medidos en el campus de la Universidad. A manera de ejemplo, en la **Figura 7** se muestran las gráficas de los resultados obtenidos con el hidrograma construido para el evento de precipitación registrado el día 14-03-2008. Se puede observar que el volumen máximo registrado fue de 1.67 m^3 lo que muestra que, a pesar de su larga duración, no requirió de gran parte de volumen de detención. Este fue un aguacero con una duración de 500 minutos es decir 8 horas y 10 minutos (entre las 10:00 horas y las 18:10 horas), y una baja intensidad. La precipitación total fue de 33.6 mm.

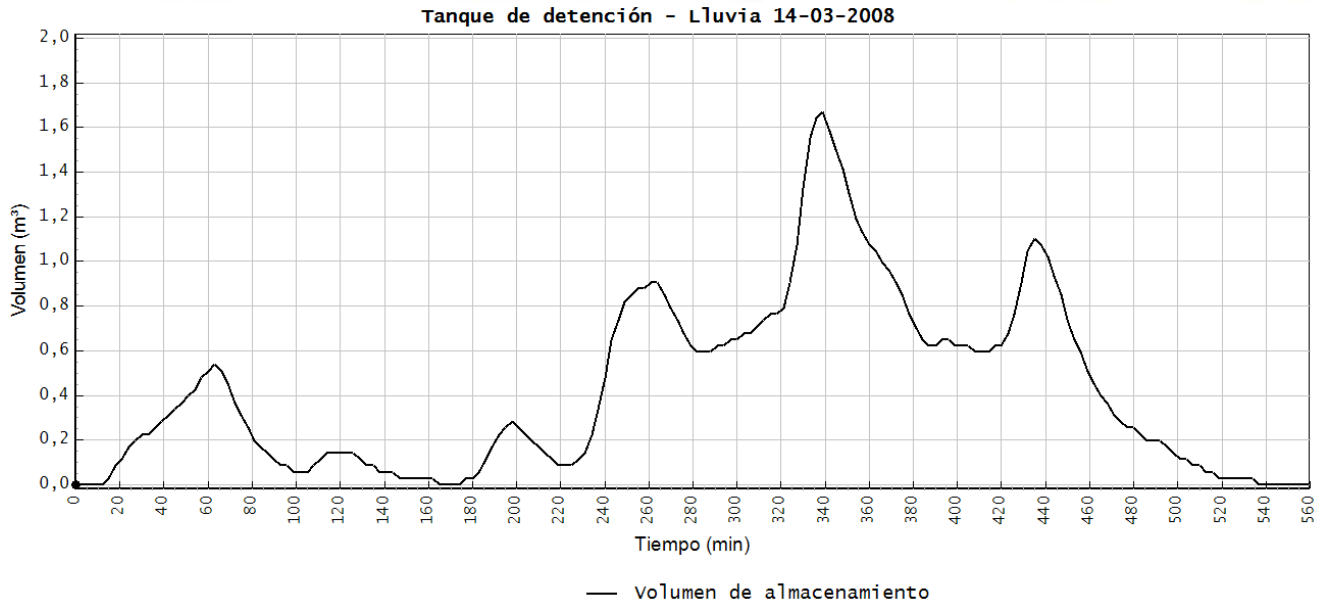


Figura 7.- Variación del volumen de agua dentro del tanque para el evento de precipitación registrado el 14-03-2008. Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 8** se puede observar que el tanque cumple teóricamente con la función de atenuar todos los picos de caudal y de retrasar los tiempos de los caudales pico, es decir, trasladarlos a la derecha en la gráfica. Se puede observar también que la curva de salida tiene una respuesta con una oscilación mucho menor. La reducción del pico de caudal fue de 3.00 l/s a 1.75 l/s en su máxima atenuación, siendo una reducción del 42% aproximadamente.

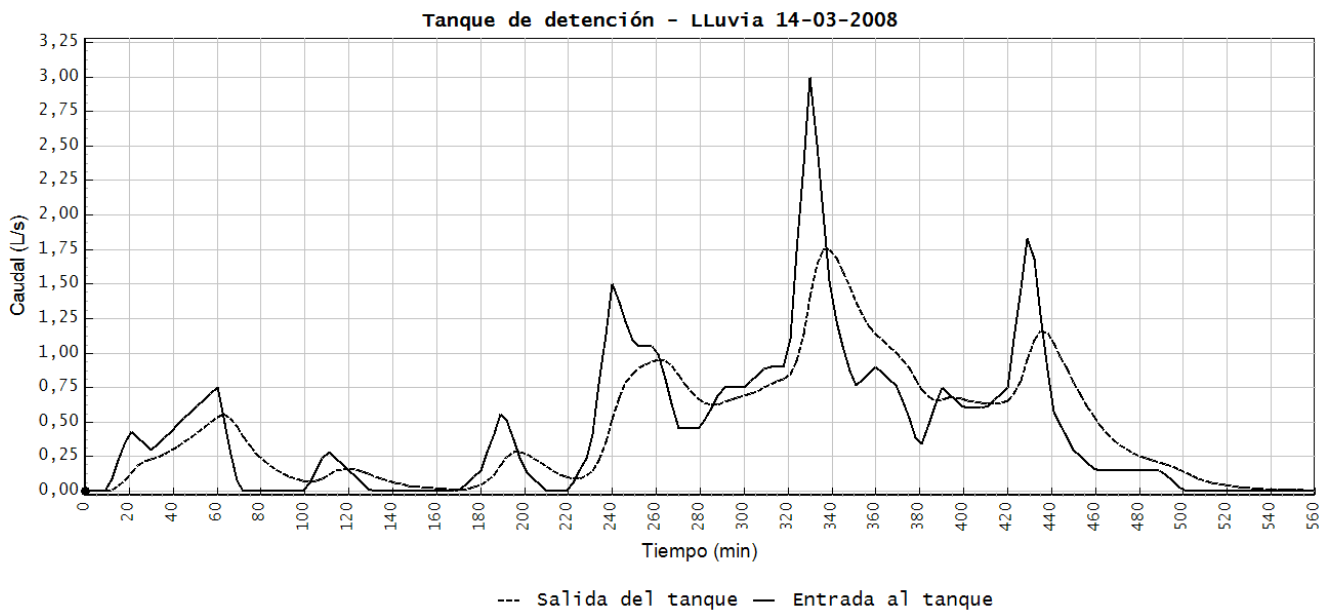


Figura 8.- Hidrogramas de entrada y de salida en el tanque para el evento de precipitación registrado el 14-03-2008. Fuente: Elaboración propia

Mayor Información

El resumen de los resultados de las modelaciones matemáticas realizadas con lluvias reales se presenta en la Tabla -2.

Tabla -2.- Resumen de resultados modelación matemática de lluvias sintéticas y lluvias reales. Fuente: Elaboración propia

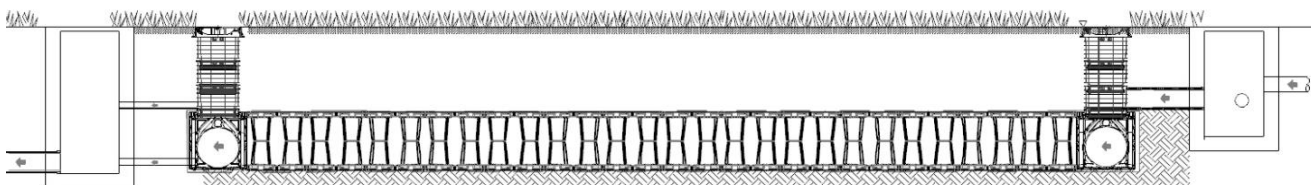
RESULTADOS MODELACIÓN MATEMÁTICA	Elevación			Volumen			Caudal Pico			Caudal salida del tanque			Porcentaje de atenuación caudal pico		
	(m)			(m ³)			(L/s)			(L/s)			%		
Periodo de retorno	2	5	10	2	5	10	2	5	10	2	5	10	2	5	10
Lluvia sintética Método Bloque Alterno	0.37	0.44	0.50	6.20	7.30	8.30	9.30	10.65	11.85	3.90	4.30	4.65	58%	60%	61%
Lluvia real 03-11-2007	0.28			4.50			6.74			3.26			52%		
Lluvia real 17-12-2007	0.49			8.23			11.15			4.65			58%		
Lluvia real 14-03-2008	0.10			1.68			3.00			1.75			42%		
Lluvia real 24-05-2008	8.77			1.50			1.82			1.56			14%		
Lluvia real 02-11-2008	0.54			9.08			9.75			4.88			50%		
Lluvia real 02-04-2009	0.05			0.80			1.18			0.86			27%		
Lluvia real 14-10-2009	0.26			4.25			6.00			3.19			47%		
Lluvia real 09-11-2010	0.14			2.50			3.51			2.25			36%		
Lluvia real 10-11-2011	0.18			2.93			3.45			2.55			26%		
Lluvia real 14-12-2011	0.12			1.80			2.76			1.84			33%		

En la Tabla -2 se puede observar que el porcentaje de atenuación del caudal pico tiene valores que varían entre el 14% y el 58%. Se evidencia que este porcentaje de atenuación varía según la intensidad del aguacero, es decir de acuerdo con la magnitud del caudal pico.

También se puede observar en la Tabla -2 que el máximo volumen de agua dentro del tanque alcanzado por estos eventos reales fue de 9.08 m³, registrado el día 02-11-2008 lo que se interpreta como un dimensionamiento adecuado del tanque de detención, puesto que no excede el valor de 10.22 m³ instalados. Este es el evento más intenso analizado en esta investigación el cual tuvo una duración de 54 min y una generación de caudal de 10 l/s. La elevación máxima de la lámina de agua en el tanque para este evento fue de 0.58 m.

Instalación del tanque

El tanque de detención de agua lluvia se construyó utilizando el sistema ACO StormBrixx de celdas geocelulares en polipropileno, cada una con dimensiones 1.20 m (largo), 0.60 m 8 (ancho) y 0.61 m (altura). Cada celda tiene una capacidad de almacenamiento de 0.42 m³ teniendo en cuenta que el porcentaje de vacíos es del 97% (ACO DRAIN, 2015). También se implementó una tubería de rebose, para el caso en el que el evento de precipitación supere el valor establecido en el diseño del tanque. En la **Figura 9** se muestra un esquema de la configuración del sistema de detención.



Mayor Información

Figura 9.- Perfil de instalación de tanque de detención con celdas geocelulares. Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 10** se muestra una vista en planta del sistema. Los círculos localizados en las esquinas representan los ductos de inspección donde se conectaron las tuberías de entrada y salida. La tubería de entrada se conectó por medio de una caja de inspección nueva, y la tubería de salida se conectó a una caja de inspección existente.

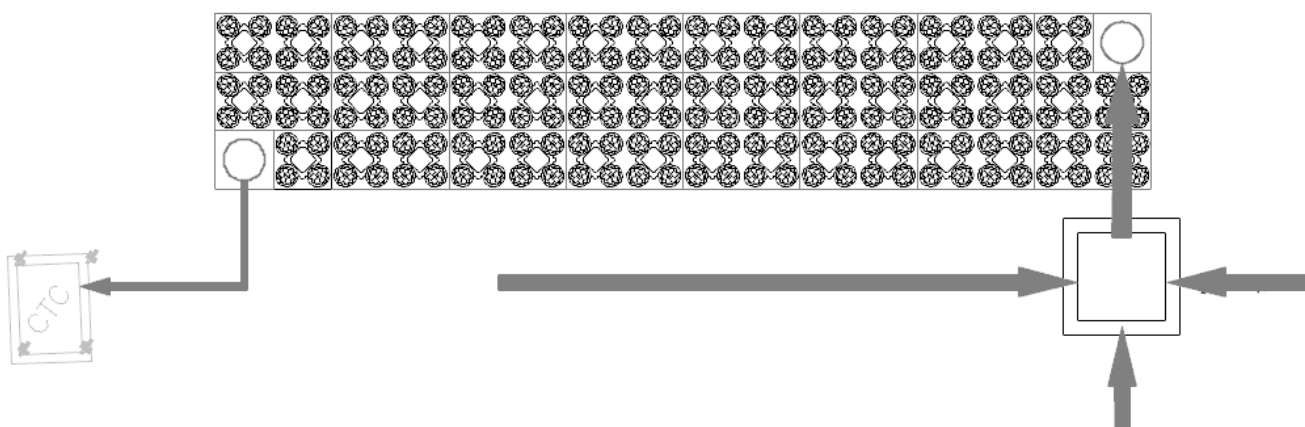


Figura 10.- Esquema de instalación en planta de tanque de detención con celdas geocelulares. Fuente: Elaboración propia

En el sitio de instalación del tanque se realizaron apiques, y con los resultados de ese estudio se verificó que el nivel freático no interfiriera con la instalación ni el desempeño del tanque. La medición más crítica del nivel freático fue tomada en noviembre de 2017, un mes altamente lluvioso en el cual se registró a una profundidad de 1.69 m (Ingenieros Consultores de Proyectos Civiles G&V, 2017) mientras que la base del tanque tiene una profundidad de 1.50 m. Según las recomendaciones de instalación, se debe construir este tipo de tanques por encima del nivel freático menos profundo probable (CIRIA, 2008). El tanque se recubrió con un geotextil como se puede observar en la **Figura 11**.



Figura 11.- Instalación de tanque de detención con celdas geocelulares. Fuente: Elaboración propia

Mayor Información



DISCUSIÓN

En el predimensionamiento del tanque, el método racional modificado arrojó los mayores volúmenes de almacenamiento. Esto se debe a la distribución teórica de la lluvia en este método, en la cual el tiempo de duración de la tormenta es mayor que el tiempo de concentración de la cuenca. El método del hidrograma triangular y el de la envolvente de lluvias, arrojaron resultados de volúmenes de almacenamiento más bajos. Para el predimensionamiento del tanque se asumió que el caudal máximo de salida permitido es el caudal correspondiente a las condiciones antes del desarrollo. Se recomienda adoptar este criterio para los diseños en Colombia, puesto que con este se asegura un impacto mínimo de los desarrollos urbanísticos.

Los volúmenes de detención obtenidos para los diferentes periodos de retorno presentan una diferencia menor 1 m^3 , para todos los métodos de predimensionamiento empleados. La selección del periodo de retorno para diseño, el cual suele ser un factor determinante para el dimensionamiento de obras hidráulicas, no tuvo un efecto significativo para el dimensionamiento del tanque de detención para los periodos de retorno considerados. En este sentido, se debe profundizar más en términos costo beneficio para la implementación de estos sistemas en nuestro país.

Los volúmenes de detención obtenidos por los diferentes métodos para un T_r de 10 años varían entre 2.5 y 8.15 m^3 , siendo los valores más bajos obtenidos mediante el método del hidrograma triangular. Por otra parte, la diferencia entre el método racional modificado y la envolvente de lluvias es de 2 m^3 . Se optó por implementar un volumen de 10.22 m^3 , ya que se consideró que en cuanto a costos de instalación la diferencia no es significativa.

CONCLUSIONES

Para realizar el predimensionamiento de un tanque de detención, el método racional modificado es una herramienta sencilla que permite una buena aproximación para un volumen de almacenamiento de agua lluvia. Esta conclusión resulta de observar el comportamiento teórico del volumen de agua dentro del tanque, en el que en la mayoría de los casos 8.15 m^3 es suficiente, resultado del predimensionamiento. El método del hidrograma triangular, y el método de la envolvente de lluvias, a pesar de que son sencillos de aplicar, presentaron un sub-dimensionamiento del volumen de almacenamiento. Al momento de diseñar un tanque de detención se debe verificar los resultados obtenidos por varios métodos de cálculo, teniendo en cuenta su aplicación, limitaciones y variables utilizadas.

El tanque de detención de agua lluvia instalado en el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de la Universidad Nacional, con 10.22 m^3 de volumen útil, cumple con el requerimiento de almacenamiento para los eventos de precipitación con periodo de retorno de 2, 5 y 10 años. Para los eventos reales de precipitación transitados por el tanque, no se presentaron desbordamientos en el sistema. También se pudo determinar que la reducción de caudal pico para los perfiles de lluvia sintética considerados fue de 58%, 60% y 61% para los periodos de retorno de 2, 5 y 10 años respectivamente, lo que muestra una

Mayor Información



tendencia creciente en función del periodo de retorno de la lluvia. En otras palabras, entre mayor sea el caudal pico, mayor será la atenuación del caudal en porcentaje.

El desempeño del tanque de detención de agua lluvia demostró ser eficiente como sistema de atenuación de caudales para la cubierta del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de la Universidad Nacional puesto que reduce los caudales pico en todos los casos, con lo que se logra mantener las condiciones de caudal pico antes del desarrollo.

El proyecto del que hace parte la presente investigación tiene como objetivo el seguimiento a mediano y largo plazo de proyectos piloto. Con los resultados de esta, y otras investigaciones que se están adelantando actualmente, se procura dar las bases técnicas para reglamentar el uso de estos sistemas, así como promover el manejo sostenible del agua lluvia en las ciudades colombianas. Esta investigación busca brindar herramientas de dimensionamiento y aportar conocimiento en el campo de los SUDS y su aplicabilidad en Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACO DRAIN.** (10 de Enero de 2015). Stormbrixx Stormtank SUDS. Rendsburg, Alemania.
- Boyd, M. J.** (1982). "Preliminary design procedures for detention basins.". *Water Resources Publications*, 45-49.
- Butler, D., & Davies, J. W.** (2011). *Urban Drainage*. London: Spon Press.
- CIRIA.** (2008). *C 680 Structural Design of Modular Geocellular Drainage Tanks*. Londres, UK: CIRIA.
- CIRIA.** (2015). *C 753 The SuDS Manual*. Londres, UK: CIRIA.
- CIRIA.** (2016). *C 737 Structural and Geotechnical Design of Modular Geocellular Drainage Systems*. Londres, UK: CIRIA.
- Department of Environment, Water and Natural Resources.** (2015). *Water sensitive urban design*. Adelaide, Australia: Government of South Australia.
- Federal Highway Administration.** (2009). *URBAN DRAINAGE DESIGN MANUAL*. Fort Collins, Colorado: FHWA.
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., y otros.** (2014). *SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage*. Londres: Urban Water Journal.
- GOOGLE EARTH.** (09 de Febrero de 2015). GOOGLE IMAGES. Bogotá, Cundinamarca, Bogotá. Obtenido de GOOGLE EARTH COLOMBIA.
- Haestad Methods Water Solutions.** (2007). *Stormwater Conveyance Modeling and Design*. Exton, PA: Bentley Institute Press.
- Hernández, D. M.** (2011). *Criterios para una planeación estratégica de SUDS en Bogotá*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Ingenieros Consultores de Proyectos Civiles G&V.** (2017). *ESTUDIO DE SUELOS Y RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN PARA EL PROYECTO OFICINAS DE*

Mayor Información



EXTENSIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE BOGOTÁ. Bogotá: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

Instituto Nacional de Vías. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras.* Bogotá: Ministerio de Transporte - República de Colombia .

Martínez, C. O. (2015). *SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE SUDS: INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA URBANA PARA EL CONTROL Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA.* Ciudad de México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Mays, L. W., & Tung, Y.-K. (2002). *HYDROSYSTEMS ENGINEERING AND MANAGEMENT.* New York: Water Resources Pubns.

Parra, J. E. (2018). *Diseño e implementación de un tanque geocelular de detención de agua lluvia para el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Poleto, C., & Tass, R. (2004). Sustainable Urban Drainage Systems. *Urban drainage 2002: global solutions for urban drainage*, 57.

Schlüter, W., Spitzer, A., & Jefferies, C. (2002). Performance of Three Sustainable Urban Drainage Systems in East Scotland. *Global Solutions for Urban Drainage*, 1.

Susdrain. (12 de Marzo de 2012). *susdrain.* Recuperado el 25 de Febrero de 2018, de http://www.susdrain.org/case-studies/case_studies/dunfermline_eastern_expansion_residential_suds_scheme_dunfermline.html

SUSDRAIN. (03 de February de 2012). *SUSDRAIN* . Recuperado el 20 de Enero de 2018, de DELIVERING SuDS: http://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/retention_and_detention/Retention-detention.html#_

Vanegas, A. F., & Flórez, S. H. (2012). *TRINCHERAS DE RETENCIÓN / INFILTRACIÓN UTILIZADAS COMO SISTEMAS ALTERNATIVOS AL DRENAJE URBANO.* 2012: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.

Villarreal, E. L. (2005). *Beneficial Use of Stormwater.* Lund, Suecia: Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology.

Watkins, D. (1991). *The Hydraulic Design and Performance of Soakaway.* Wallingford: HR Wallingford.

Mayor Información