

MONTAJE EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN TECHOS VERDES

Nicolas Cortes Torres, Angie K. Guasca Gallardo, Andrés F. Duque Montenegro, Roger S. Guio González, Edgar L. Villarreal González y Andrés E. Torres Abello.

Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

E-mail: ncorrest@unal.edu.co, akguascag@unal.edu.co, afduquem@unal.edu.co, rsguiog@unal.edu.co, elvillarrealg@unal.edu.co, andres.torres@javeriana.edu.co

Introducción

El desarrollo urbano y el cambio en el uso del suelo generado a partir de la construcción de grandes zonas impermeables, conlleva graves impactos sobre el ciclo hidrológico. Las superficies artificiales disminuyen la permeabilidad del suelo, lo cual produce una mayor escorrentía superficial y una menor infiltración; así mismo, la eliminación de la cobertura vegetal se ve reflejada en la disminución de la evapotranspiración. Desde hace unas décadas han ganado mucha aceptación a nivel internacional las alternativas no convencionales para el manejo sostenible del agua lluvia en los centros urbanos, alternativas conocidas como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) (Butler & Davies, 2004; Rodríguez Díaz, 2013). Si bien en la actualidad existen varios tipos de SUDS que contribuyen al manejo del agua lluvia, los techos verdes en particular poseen una mayor proporción de aplicabilidad debido a que en los centros urbanos, las cubiertas impermeables representan un importante porcentaje de la zona urbana (Gorani, 2017).

Los techos verdes están constituidos por un sistema sustrato-vegetación multicapa, el cual aporta en los procesos de retención y detención de agua lluvia en ambientes urbanos, almacenando considerables volúmenes de agua que podrían colmar el sistema de alcantarillado tradicional (Butler & Davies, 2004, p. 462), situación que se presenta con frecuencia en distintas ciudades de Colombia. Estos techos ofrecen una alternativa que trae consigo beneficios tales como aumentar los tiempos de concentración y disminuir el caudal pico; sin embargo, dentro de las condiciones climatológicas del territorio colombiano, es muy poco lo que se conoce con respecto al funcionamiento hidrológico de estos techos, en particular para el régimen hidroclimático de la ciudad de Bogotá.

Diseño, descripción y construcción del montaje

Con el fin de entender el comportamiento hidrológico de los techos verdes en la ciudad de Bogotá, se implementó un modelo agregado de lluvia-escorrentía, denominado TR-20, desarrollado por el *Soil Conservation Service* (SCS) en 1972, el cual para un solo evento de tormenta (P) describe el agua retenida en la cuenca como la suma de una abstracción inicial (I_a) y una profundidad adicional de agua (F_a), que siempre es menor o igual a un valor definido como retención potencial máxima (S). Por conservación de masa (Ecuación [1]), la precipitación efectiva (P_e), es la lluvia que finalmente genera escorrentía superficial. (Mockus, Hjelmfelt, & Service Natural Resources Conservation, 2004)

$$P_e = P - I_a - F_a \quad [1]$$

A partir de la concepción teórica de este modelo, se planteó un montaje experimental en el cual se pudiese medir directa o indirectamente, el evento de precipitación (P), el caudal de escorrentía superficial-subsuperficial (P_e) y el cambio de almacenamiento de agua en la capa sustrato-vegetación del techo verde (I_a , F_a ; medición indirecta de la evapotranspiración en que se generará al finalizar el evento de lluvia).

Por ello se diseñó un montaje experimental compuesto 4 marcos

de carga y un simulador de lluvia en los cuales se evaluarán 8 parcelas de 1m^2 de techos verdes; para este caso se evaluó una combinatoria de dos tipos de sustratos con espesores de 5 y 10cm y dos especies vegetales (*Sedum* y *Echeveria Ballsii*). Todo el sistema de adquisición de datos opera con un conjunto de sensores de caudal y peso, conectados a la plataforma Arduino.

El simulador de lluvia obtiene la información de los eventos de precipitación a partir del sensor de caudal YF-S201; y su funcionamiento parte del efecto hall, el cual mediante un sistema de molinete envía impulsos eléctricos cada vez que se genera una revolución de sus aspas.

Por otra parte, el caudal de escorrentía superficial-subsuperficial y el cambio de almacenamiento de agua en la capa sustrato-vegetación del techo verde son medidos a partir de un conjunto de celdas de carga las cuales trabajan en pares para formar una configuración de puente de Wheatstone completa. Las celdas de carga están conformadas por galgas extensiométricas que mediante una deformación mecánica modifican el valor de las resistencias en el puente de Wheatstone provocando de esta forma la variación de tensión eléctrica, la cual es leída por un conversor análogo digital encargado de realizar la transformación de una señal analógica a una digital para su posterior procesamiento en la tarjeta de adquisición de datos. Un primer conjunto de estos sensores está compuesto por 4 medios puentes de Wheatstone con una capacidad de 50 kg. Se encuentran ubicados entre dos placas metálicas localizadas debajo de los marcos de carga y buscan medir el caudal de escorrentía (términos de peso) superficial-subsuperficial generado por los techos verdes y drenados hacia unos contenedores plásticos. Del mismo modo un segundo conjunto de sensores se encuentran localizados sobre los marcos de carga, emulando el funcionamiento de una balanza y su objetivo es el medir los cambios en el almacenamiento de agua de los techos verdes que se encuentran ubicados sobre la placa metálica superior; dicha placa además de proteger los sensores posee un sistema de variación de la inclinación, el cual permite evaluar el comportamiento del techo verde con diferentes ángulos de inclinación. (Figura 1 a y b).

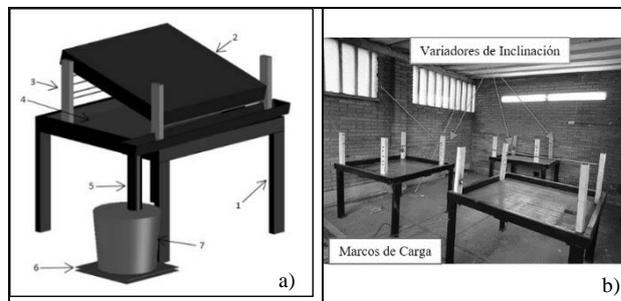


Figura 1.- Marcos de carga. a) Diseño marco de carga (1. Marco de carga, 2. Localización del techo verde, 3. Variador de inclinación, 4.

Ubicación de celdas de carga para la medición del cambio en el almacenamiento, 5. Drenaje del flujo de escorrentía del techo verde, 6. Ubicación de celdas de carga para la medición del caudal de escorrentía, 7. Contenedor del caudal de escorrentía). b) Montaje marcos de carga.

Finalmente, se instalaron dos sensores de temperatura al interior de la habitación en la cual se llevaron a cabo las pruebas esto

con el fin de tener esos datos como variable de control y posteriormente lograr un análisis de la evapotranspiración. Para dicho propósito se usó el sensor AM2305. En la Tabla 1 se muestran las características de cada una de las variables involucradas en el sistema de adquisición de datos.

Tabla 1.- Características de las variables a medir.

Variable	Unidades de medición	Rango	Precisión
Caudal	l/min	1-30	0.06
Peso	kg	5 - 120	0.001
Temperatura	°C	17 - 25	0.1

Para la obtención de las variables involucradas se diseñó un sistema de adquisición de datos usando el software Arduino IDE y la tarjeta de adquisición de datos Arduino UNO. En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques para la mesa de carga principal, en esta mesa de carga se toman los valores de caudal y temperatura; a su vez se conectan como esclavos las tarjetas Arduino UNO de las otras mesas de carga para tomar los valores de peso y en una de ellas del otro sensor de temperatura como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 3, el Arduino UNO principal envía los datos recopilados cada minuto mediante una cadena string al módulo SD el cual se encarga de guardarlos en un archivo de texto para su posterior análisis.

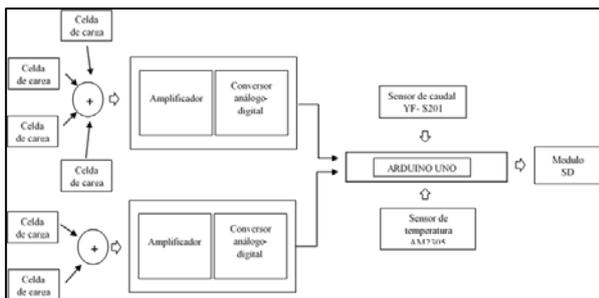


Figura 2.- Diagrama de bloques de adquisición de datos.

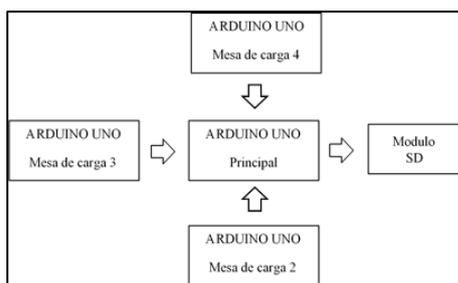


Figura 3.- Diagrama de bloques del sistema.

Resultados de la calibración

Se inició con la calibración del sensor de peso, en la cual mediante las lecturas que entrega el conversor análogo digital a la tarjeta se realiza una comparación con los pesos conocidos en un rango de 5 kg a 120 kg con la linealización de esta curva se obtuvo una ecuación para aplicar dentro del programa. (Figura 4). Para el sensor de caudal se realizó una comparación entre número de pulsos y volumen, con la pendiente encontrada tras la linealización se encontró el factor de conversión para hallar el caudal a partir de los pulsos obtenidos. La curva de calibración se encuentra en la Figura 5 y tiene un rango de volúmenes entre 1L y 20L. Por último para la calibración del sensor de temperatura se tomaron valores de temperatura patrón mediante un multímetro con termocupla y los datos que arrojaba la lectura del sensor, la curva de calibración se muestra en la Figura 6.

Conclusiones

Con el diseño y la descripción que se realizó de este montaje experimental es posible evaluar la capacidad de retención-detención de lluvia de un techo verde, así como su producción de evapotranspiración posterior a un evento de precipitación.

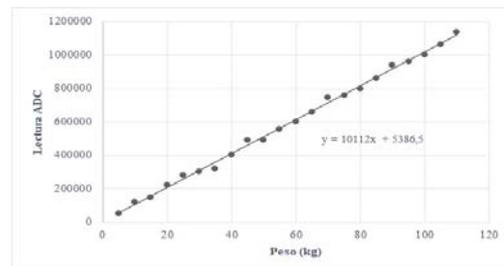


Figura 4.- Curva de calibración mesa de carga principal.

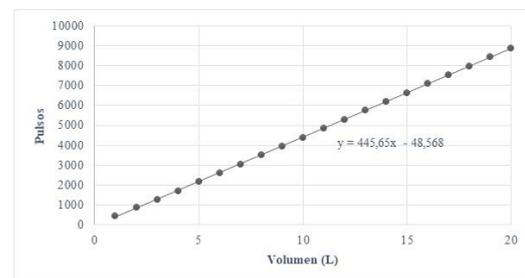


Figura 5.- Curva de calibración sensor de flujo.

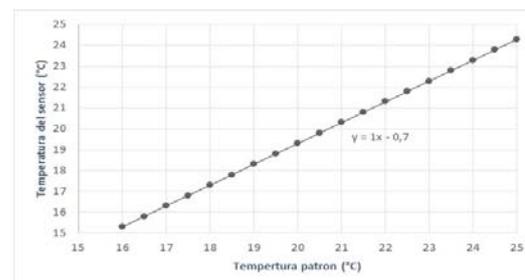


Figura 6.- Curva de calibración sensor de temperatura.

La versatilidad de este montaje permite realizar ensayos aplicando diferentes configuraciones de sustrato (espesor y composición), vegetación, inclinación e intensidad de precipitación. En cuanto a los sensores utilizados en el montaje, los sensores de temperatura y caudal al entregar señales digitales, los datos que entregan son menos dispersos y su calibración resulta más sencilla; lo contrario sucede con el sensor de peso que entrega una señal analógica y su procesamiento resulta más complejo; sin embargo el sistema Arduino UNO cumple con las características para la adquisición de este tipo de datos.

Referencias bibliográficas

- Butler, D., & Davies, J. W. (2004). *Urban Drainage*. (Spon Press, Ed.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (Second Ed.).
- Gorani, G. (2017). *Assessing the impact of urbanisation on surface runoff peak flows in Bogota*. Division of Water Resources Engineering Department of Building & Environmental Technology Lund University.
- Mockus, V., Hjelmfelt, A. T., & Service Natural Resources Conservation. (2004). *Chapter 10 Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall*. In *National Engineering Handbook Hydrology* (p. 79).
- Rodríguez Díaz, H. A. (2013). *Drenaje Urbano Elementos de Diseño. Drenaje urbano no convencional*. (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Ed.). Bogotá.
- Bandara, A. Balasooriya, H. *Smart Irrigation Controlling System for Green Roofs Based on Predicted Evapotranspiration*. Robotics and Control Laboratory Department of Electrical Engineering University of Moratuwa.