

## **La simulación hidráulica en el diseño de sistemas de alcantarillado**

Roberto Gaytán

R. Gaytán

Universidad Autónoma de Zacatecas, Ave. Ramón López Velarde, No 801, Col. Centro, CP 98000,  
Zacatecas, Zacatecas  
gaytanb\_2004@yahoo.com.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de  
Santiago, Guanajuato, 2013.

## **Abstract**

A proposal of design of a storm sewer system was realised, for the neighborhood Villas de Guadalupe, municipality of Guadalupe, Zac., where it was applied the combination of two different methodologies, the American Rational method and the model of simulation Storm Water Management Model (SWMM). The objective was to detect advantages of the simulation models. The analysis of results obtained from the system shows important advantages of model SWMM on the Rational method, because different storm scenes can be simulated that allow to predict the zones susceptible to flood and the diameters of the pipes can be optimized, allowing to save in the design of the pluvial systems.

## **1 Introducción**

El desarrollo urbano altera sustancialmente la hidrología de las cuencas donde se produce.

En particular, se modifican la red de drenaje natural y el proceso de transformación lluvia-escorrentía, incrementándose los volúmenes de escurrimiento y la velocidad en la superficie del terreno. Por efecto de la urbanización, los cauces naturales que conformaban la red de drenaje natural sufren alteraciones, lo que afecta de forma directa su capacidad de desagüe y por tanto se propicia la existencia de inundaciones.

Por lo anterior podría decirse que frecuentemente el desarrollo urbano ha sido poco respetuoso con la red de drenaje natural, lo que ha provocado problemas de inundaciones, por incapacidad de la red de drenaje artificial construida en su lugar. La aplicación del método Racional Americano en el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial, es práctica común en nuestro país.

El uso de esta metodología ha permitido por su sencillez el diseño de muchos sistemas de alcantarillado pluvial (Kibler, 1982); pero su aplicación tiene varios inconvenientes cuando se tienen áreas susceptibles de inundación, con sus consecuentes costos económicos y molestias a las poblaciones donde se presentan.

Las condiciones actuales tan cambiantes en el régimen de precipitaciones, requiere considerar el uso de otras metodologías que permitan prevenir este tipo de situaciones y los daños correspondientes.

Las simplificaciones que considera el método Racional Americano, no permiten conocer el comportamiento real de los sistemas pluviales en general, debido a que esta metodología considera un flujo estático permanente en cada tramo de tubería que forma parte de la red de alcantarillado (Bradley et al, 1996).

El comportamiento real de los sistemas pluviales es variable durante la precipitación, lo cual dista mucho de la suposición del comportamiento lineal del escurrimiento en las tuberías del alcantarillado.

Una alternativa al uso de las tradicionales tormentas de diseño es la simulación continua, que supera muchas de las desventajas e inconvenientes de los métodos que utilizan eventos de diseño y que permite considerar por igual condiciones para cualquier frecuencia (Guo y Adams, 1998). No obstante, desde hace algunos años, se han desarrollado una serie de modelos basados en la reproducción, más o menos fiel, de los procesos hidráulicos que realmente se producen en la cuenca (Puertas-Suárez-Cagiao, 2002), tanto los de tipo hidrológico e hidráulico, como los de calidad. El funcionamiento del sistema, como hemos dicho, es extraordinariamente complejo, por lo que también se deben realizar simplificaciones que agilicen el proceso de toma de datos y de cálculo. La filosofía fundamental en la modelación de redes de drenaje es una aproximación reduccionista mediante la cual es posible aproximarse a la respuesta total del sistema a través de la simulación de la respuesta individual de los componentes del mismo (Choi y Ball, 2002). Tal es el caso del fraccionamiento Villas de Guadalupe, zona casi plana ubicada entre las coordenadas, 758390.08 -759145.35 E y 2518954.07 – 2519483.33 N de la proyección WGS84 zona 13. Tiene una superficie aproximada de 18 has. Se localiza sobre tierras de cultivo de temporal, que con el paso del tiempo se han convertido en zonas habitacionales suburbanas. Las pendientes del terreno son suaves menores al 1%. El escurrimiento natural es del noroeste al sureste. Colinda al norte y al oriente con un arroyo intermitente que actualmente transporta aguas, residuales procedentes de otras colonias nuevas ubicadas al norte y oriente de la zona denominada la Condesa, debido a su ubicación aguas arriba de la zona de estudio descargan en este arroyo, y justo en el Fraccionamiento Villas de Guadalupe se convierte en dren, este tiene una altura aproximada de 3.00 m X 8.00 m de ancho, el cual fue construido con anterioridad para la protección de zonas de cultivo desviando el agua producto de las precipitaciones que inundaban sus cultivos ubicados en la misma área, figura 1.

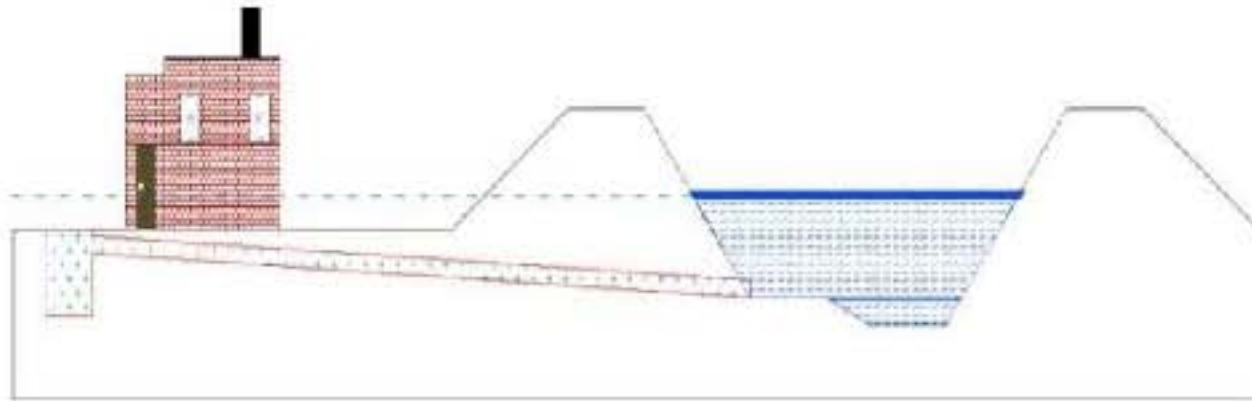
**Figura 1** Localización zona de estudio



Este dren actúa en temporada de lluvias como una represa que invierte el flujo del interior del dren hacia la zona habitacional de villas del Guadalupe, pues en época de tormentas el nivel del agua en el interior del dren.

Es mayor que el nivel de la única rejilla existente en la colonia, de dimensiones 2m X10m conectada al dren con una tubería de 30cm de diámetro, que es insuficiente para el desalojo total del agua pluvial que transita por la colonia, ocasionando daños materiales y molestias a la población local, figuras 1.1 y 1.2.

**Figura 1.1** Problema de inundaciones en temporada de lluvias



**Figura 1.2** Rejilla de aguas pluviales de 2 x 10m



El objetivo del presente trabajo es diseñar el sistema pluvial que resuelva el problema de inundaciones usando la combinación de dos metodologías diferentes: a) el método Racional Americano y b) el modelo de simulación Storm Water Management Model (SWMM); después validar o modificar los resultados obtenidos con el método racional aplicando el modelo SWMM.

## 1.1 Métodos y materiales

Se propuso desarrollar el proyecto del sistema de alcantarillado pluvial basado en la metodología del método Racional.

Donde se limitó la elevación de tirantes de la tubería para que en ningún caso fueran mayores al 85% del valor del diámetro y se cumpliera a cabalidad con las normas del manual para agua potable alcantarillado y saneamiento (MAPAS), de la Comisión Nacional del Agua, para después validar o modificar los resultados obtenidos, mediante la simulación con SWMM (EPA USA, 2005).

El trazado de la red de drenaje pluvial fue como se muestra en la figura 1.3.

Se recopiló la información necesaria para construir el modelo hidrológico preliminar de la zona, para esto se usó el programa Watershed Modeling System (WMS, 2006), que es un programa para la delineación de cuencas y la determinación de parámetros geométricos, por lo que se utilizó información topográfica del modelo de elevaciones digital (DEM), obtenido del continuo de elevaciones mexicano del INEGI, cartas de uso y tipos de suelo para determinación de los números de curva y el sentido de los escurrimientos; las subcuencas obtenidas con WMS se muestran en la figura 1.4.

**Figura 1.3** Trazo de red pluvial propuesto

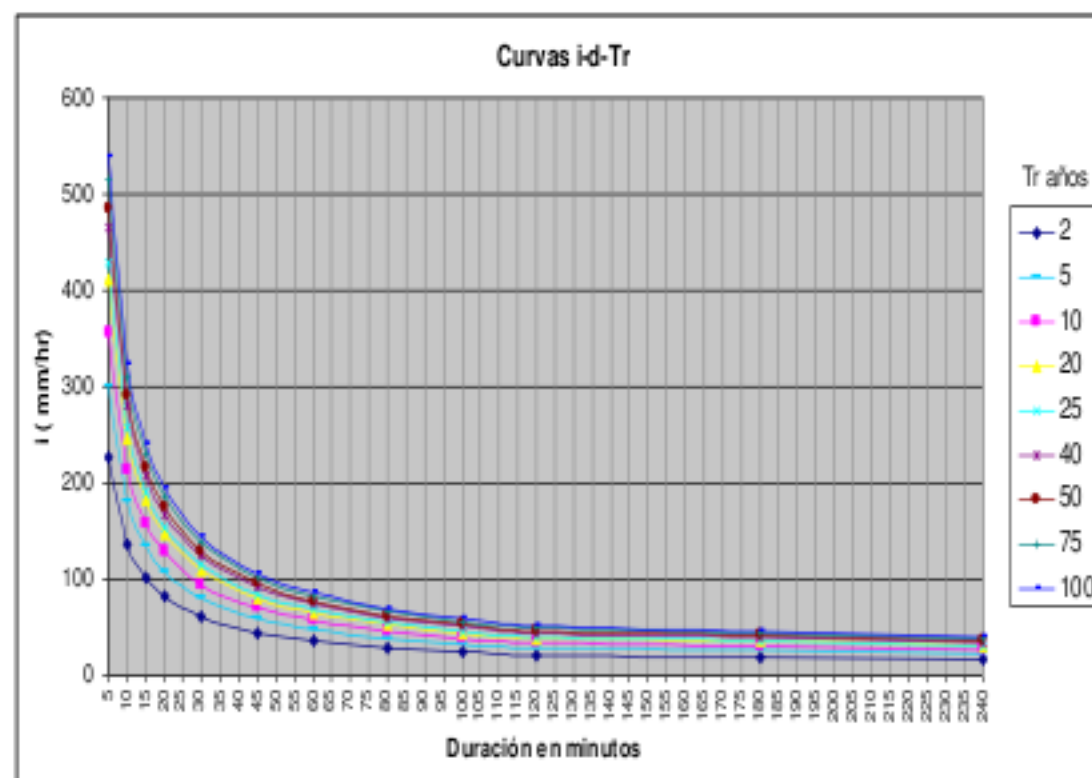


**Figura 1.4** Subcuencas delimitadas con WMS



El método racional fue utilizado para obtener los flujos máximos de los hidrogramas de escurrimiento para cada una de las subcuencas. Cada subcuenca representa el área que captan los tramos de la red. La información meteorológica de la estación Guadalupe fue utilizada y depurado sus datos de precipitación empleando metodologías empíricas contenidas en los textos “Procesos del Ciclo hidrológico” editado por la Universidad de San Luis Potosí y el “Manual para la Estimación de Avenidas Máximas en Cuencas y Presas Pequeñas” de la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, ambos desarrollados por Daniel Francisco Campos Aranda. El tiempo de concentración fue calculado para cada subcuenca y junto con las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (I-D-T), se determinó la tormenta de diseño de dos años de periodo de retorno, obtenidas con la información de la estación meteorológica de Guadalupe, figura 1.5.

**Figura 1.5** Curvas I-D-T de la estación Guadalupe



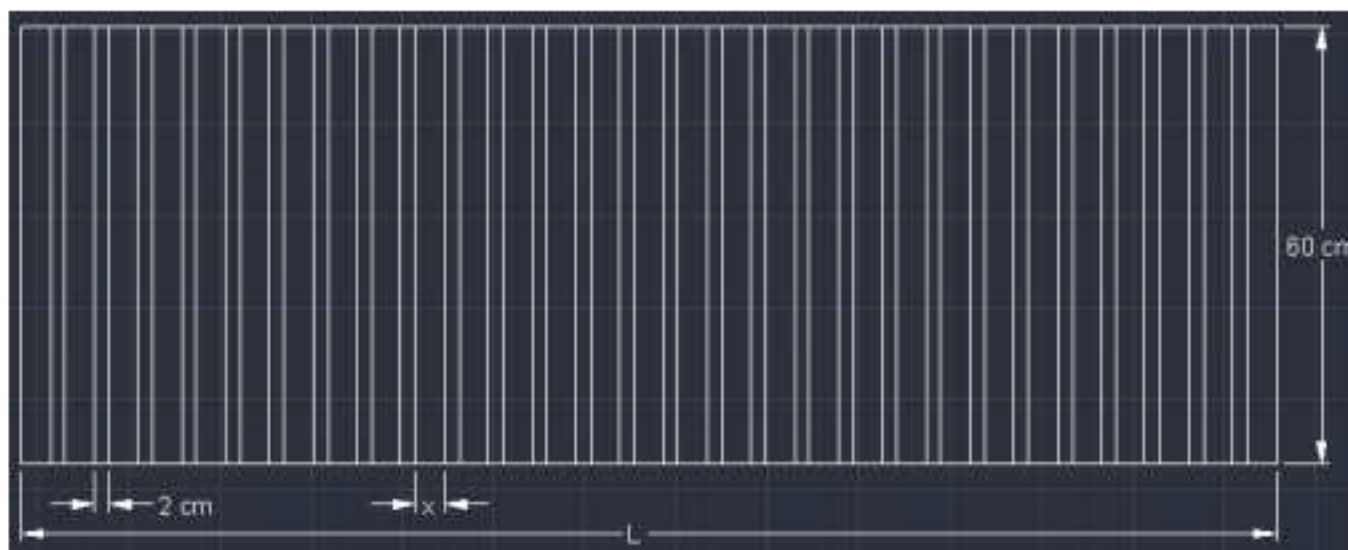
La información obtenida con WMS fue luego introducida en el software de simulación Storm Water Management Model (SWMM), donde se terminó de construir el modelo de la cuenca.

Para determinar los tamaños óptimos de los diámetros de la red de drenaje pluvial, se cargaron en SWMM los hidrogramas obtenidos con el método racional y se realizaron las corridas de simulación, donde se vigiló se cumplieran las normas de diseño referentes a pendientes permitidas y las velocidades máximas y mínimas permisibles, según el tipo de material de las tuberías, se consideraron tuberías de concreto, PVC y acero galvanizado.

Para el diseño de las bocas de tormenta se utilizó la ecuación de Maninng para flujos a superficie libre y la ecuación para orificios.

Las dimensiones de las bocas de tormenta se propusieron de dimensiones 1.20m X 0.60m, con tubos de descarga de 0.30 cm de diámetro, como se muestra en la figura 1.6.

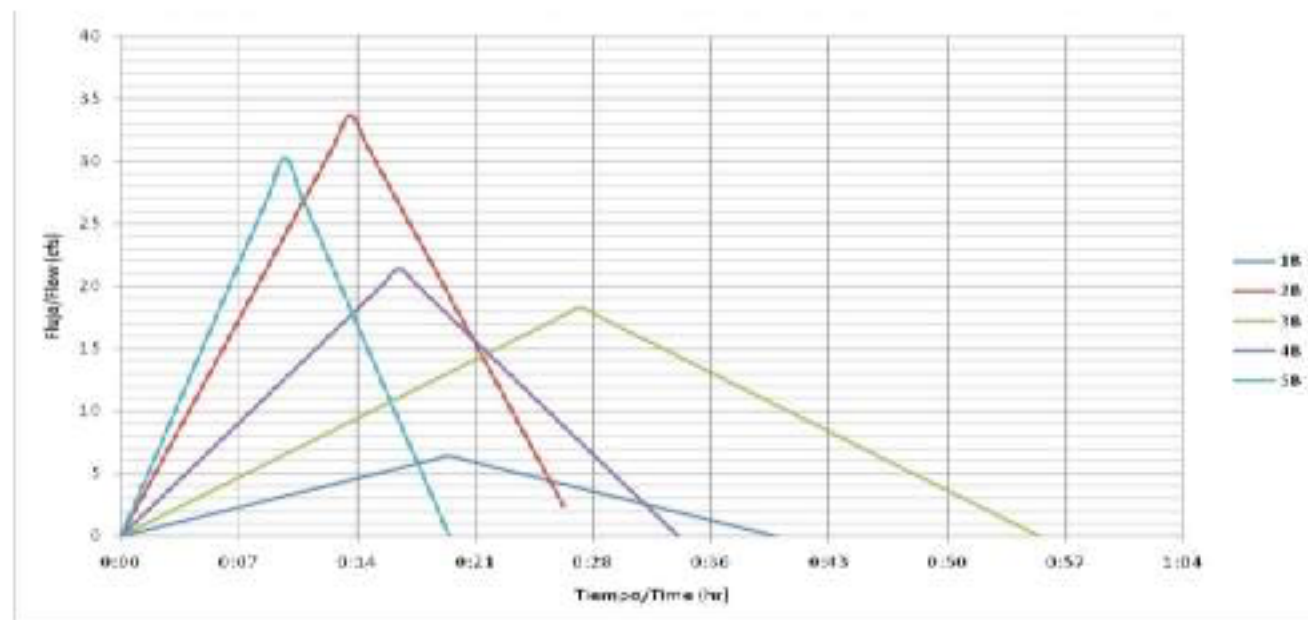
**Figura 1.6** Dimensiones de las bocas de tormenta



## 1.2 Resultados y discusión

Los flujos de escurrimiento máximos obtenidos con el método racional en las cinco subcuencas de la zona de estudio se muestran en la figura 1.7.

**Figura 1.7** Flujos máximos obtenidos con el método Racional

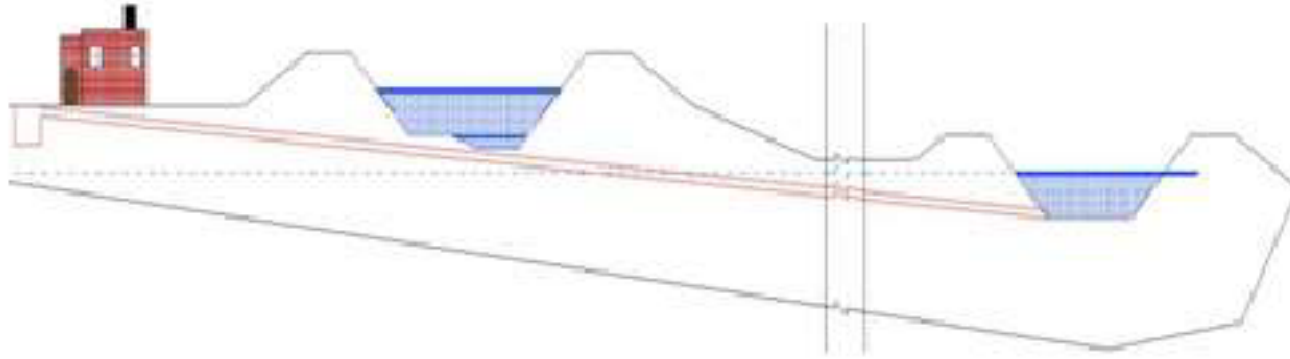


En las simulaciones realizadas en SWMM se observaron los resultados de las velocidades, tirantes y pendientes en los diferentes tipos de tubería, después se analizaron las características de los materiales de las tuberías y se optó por proponer tuberías de acero galvanizado, tiene un coeficiente de rugosidad de Maninng de 0.012 y es muy liviana.

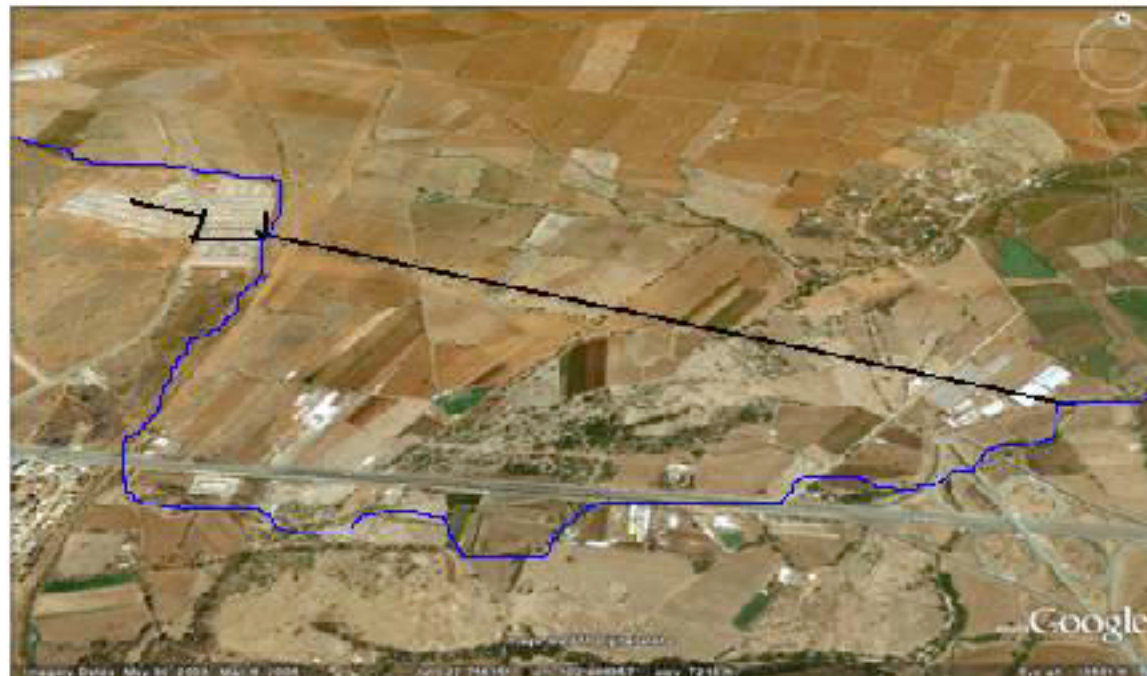
También se observó en las simulaciones realizadas, que el aumento del número de descargas al dren y el incremento de los diámetros de la tubería de la red propuesta, por sí mismos no solucionarán los futuros problemas de inundación en el fraccionamiento, debido a que existe muy poca diferencia de nivel entre la plantilla del dren y la elevación de las nuevas descargas de la red pluvial, la pendiente obtenida en los tramos de descarga al dren es de 0.00035 m/m, que es inferior a la mínima permitida de 0.0015 m/m; por lo que no evitarían la inversión del flujo al fraccionamiento.

Esta situación obligó a buscar otra alternativa de solución; ésta fue colocar la tubería por debajo del dren en el fraccionamiento para luego conectar la descarga a una longitud de 2270 m aguas abajo del fraccionamiento, donde se logra un desnivel entre el fraccionamiento villas de Guadalupe y la descarga de la red de 32.5 m que es suficiente para cumplir con la pendiente mínima y evitar la inundación en la zona, figura 1.8 y 1.9.

**Figura 1.8** Propuesta de alternativa aguas abajo del arroyo



**Figura 1.9** Localización del punto de conexión de la descarga

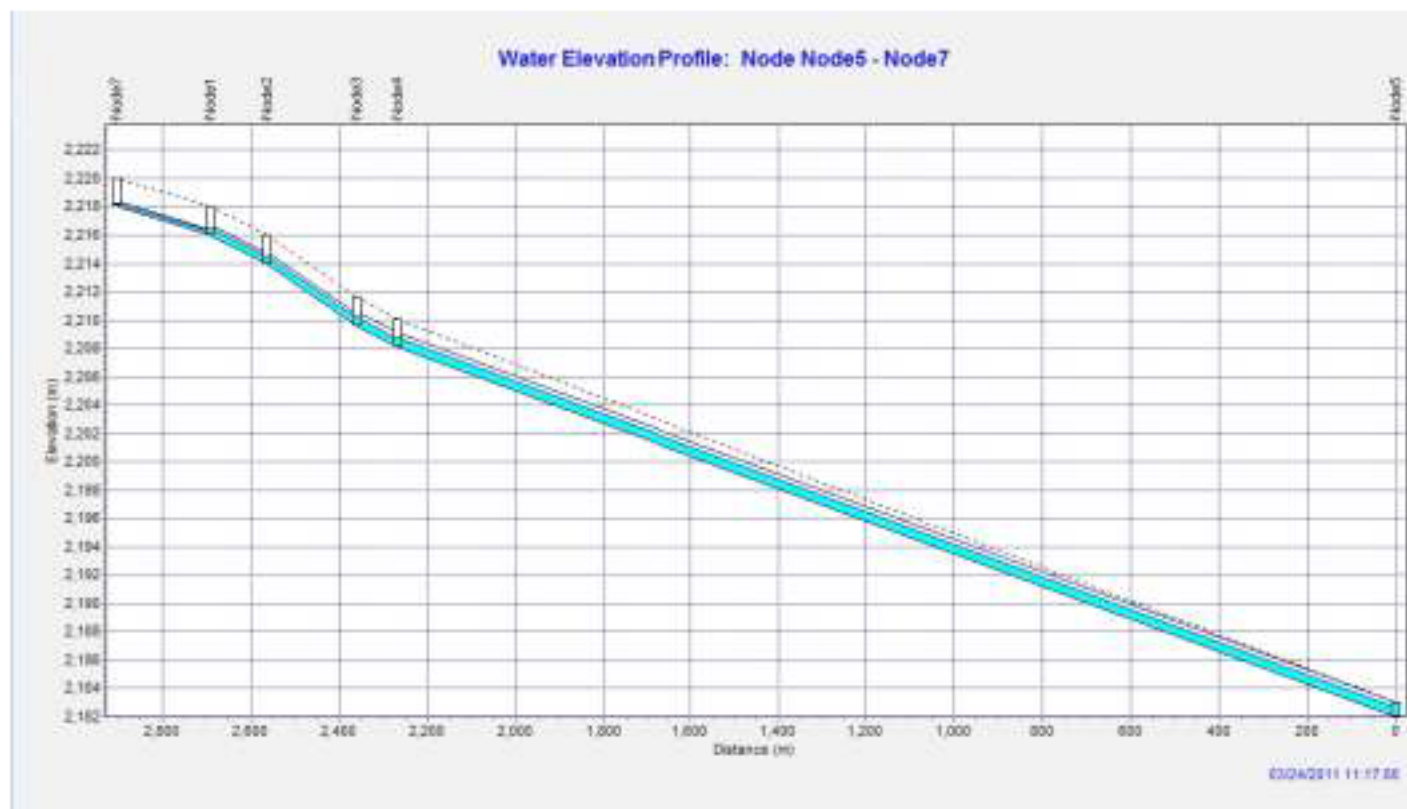


Los resultados de las simulaciones para el sistema de alcantarillado pluvial propuesto obtenido con el modelo SWMM, se muestran en la tabla 1. Los tirantes máximos obtenidos para la tubería de acero galvanizado en el sistema de alcantarillado pluvial se muestran en la figura 11.

**Tabla 1** Resultados del sistema con el modelo SWMM

Tubo	Longitud (m)	Cota Plantilla inicial	Cota Plantilla final	Pendiente (m/m)	Diámetro (cm)	Velocidad (m/s)	Flujo Max. (l/s)	Tirante Max. (cm)
7-1	212	2218.00	2216.00	0.00946	40	1.86	176	29
1-2	130	2216.00	2214.00	0.01538	70	3.40	1035	52
2-3	203	2214.00	2209.59	0.02168	80	4.34	1561	54
3-4	90	2209.59	2208.09	0.01668	100	4.29	2238	63
4-5	2270	2208.09	2182.00	0.01149	100	4.19	1959	64
6-3	125	2211.60	2209.59	0.01600	50	2.83	498	47

**Figura 1.10** Perfil de tirantes máximos obtenidos con SWMM



### 1.3 Conclusiones

El uso de modelos de simulación como SWMM ofrece una ventaja muy grande con respecto al uso muy generalizado del método Racional, que si bien es muy aceptado para resolver los problemas de diseño de redes de alcantarillado pluvial; no permite visualizar el comportamiento de los escurrimientos dentro de las alcantarillas que como se dijo antes es variable en el tiempo, lo cual se puede verificar con las simulaciones del modelo de la red.

Se observa también que la red por si misma sirve como un estructura de almacenamiento temporal del agua, que atenúa el proceso de inundación, esto es de suma importancia, pues este conocimiento permite diseñar sistemas más apegados a la realidad que se pueden utilizar de forma conjunta con otras estructuras de detención como tanques de almacenamiento temporal para aliviar de forma controlada el fenómeno de las inundaciones.

Otra ventaja del modelo es que permite observar la variación de los tirantes de circulación dentro de los ductos, pudiendo predecir de esta manera si en algún momento de la tormenta considerada para el diseño, los ductos se desborden produciendo inundaciones; lo que es imposible predecir con el uso del método Racional.

También se pueden simular diversos escenarios modificando la tormenta de diseño y con ello revisar los diámetros de los tubos, para encontrar los diámetros óptimos, esto permite realizar diseños de proyectos más económicos pues los diámetros obtenidos serán los más adecuados, evitando se sobredimensionen los sistemas de alcantarillado pluvial.

Una ventaja adicional en el uso del modelo SWMM, es que se puede realizar simulación continua lo cual es ventajoso cuando se tienen tormentas frecuentes y el comportamiento es diferente a cuando se tienen eventos aislados de precipitación, por las condiciones de humedad antecedente.

#### **1.4 Referencias**

Bradley, A., Cooper, P., Potter, K. y Price, T. (1996). Floodplain Mapping Using Continuous Hydrologic and Hydraulic Simulation Models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1 (2), 63-68.

Choi, K. y Ball, J. (2002). Parameter estimation for urban runoff modelling, *Urban water*, 4, 31-41.

EPA USA (2005). Storm water management model User's manual version 5.0 Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati. (Traducción al Español por GMMF), p 257.

Guo, Y. P. y Adams, B. J. (1998). Hydrologic analysis of urban catchments with event-based probabilistic models. 1. Runoff volume. *Water Resources Research*, 34(12), 3421-3431. 2. Peak discharge rate. *Water Resources Research*, 34(12), pp.3433-3443.

Kibler, D. (1982). *Urban Stormwater Hydrology*. Water Resources Monograph 7. Washington, USA: American Geophysical Union.

Puertas, J., Suárez, J. y Cagliaio, J. (2002). El sentido físico de los parámetros en la modelización numérica del drenaje urbano, *Ingeniería del agua*, 9, 3, 269-278.

WMS (2006). *Watershed Modeling System Software V.7.1*. Brigham Young University. 242 Clyde Building. Provo, UT 84602. [on line]: <http://www.emrl.byu.edu/wms.htm>

