

INTERPRETACIÓN DEL CONCEPTO DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN MODELOS HIDROLÓGICOS BASADOS EN MÉTODOS DE DEPÓSITO. APLICACIÓN AL MÓDULO DE CÁLCULO HIDROLÓGICO DEL PROGRAMA SWMM 5

Fco. Javier Martínez Solano¹; P. Amparo López Jiménez¹; Vicente S. Fuertes Miquel¹; y
Joaquín Izquierdo Sebastián¹

Resumen – En el cálculo del tamaño más adecuado para una conducción de aguas pluviales el concepto de *tiempo de concentración* ha venido siempre ligado al instante en que se produce el máximo caudal en una determinada sección de una red de alcantarillado. Sin embargo, la definición más extendida es la del tiempo que tardaría una gota caída en un extremo de la cuenca en ingresar en la red de evacuación (Wanielista et al., 1977). Esta última definición no permite determinar este tiempo en modelos hidrológicos basados en depósitos pues en éstos no existe el concepto de longitud de cuenca ni de tiempo de recorrido en flujo superficial. En este trabajo se analizará el cálculo hidrológico utilizado por SWMM 5 vE con el fin de utilizar éste para determinar el máximo caudal a evacuar en una determinada sección de la red. Este análisis comparativo se completará con un caso de estudio que permita interpretar los resultados.

Abstract – During the project of stormwater sewer, the time of concentration is usually interpreted as the time when the peak flow occurs. However, the most widely extended definition of time of concentration is the longest time that takes a particle of water to reach the discharge point of a catchment (Wanielista et al., 1977). This latter definition doesn't allow calculate the time of concentration when using hydrologic models based on reservoirs since in these the concept of flow length in the catchment doesn't exist. In this paper an analysis of the hydrologic module of SWMM 5 vE will be made. The aim of this work is to determine the maximum flow to be evacuated through a pipe. The paper finishes with a case study which permits a comparison and interpretation of the results.

Palabras clave: Modelación de redes, escorrentía superficial, sistemas de alcantarillado.

Keywords: Network modelling, surface runoff, sewage systems

¹ Universidad Politécnica de Valencia – Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente – Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos – Camino de Vera S/N – CP E46022 – Valencia (España) – Tel: (+34) 96 3879890 – Fax: (+34) 96 3877981 E-mail: jmsolano@gmmf.upv.es

INTRODUCCIÓN

Desde que en 1906 Lloyd-George publicó las bases del método racional como herramienta para la determinación del caudal máximo que discurrirá por una determinada sección de una red de alcantarillado, el concepto de *tiempo de concentración* ha venido siempre ligado al instante en que se produce el máximo caudal en una determinada sección de una red de alcantarillado. Dejando de lado las múltiples limitaciones que presenta el método racional como herramienta para el proyecto de redes de evacuación de aguas pluviales, es evidente que su determinación es un problema complejo que condiciona la aplicación de dicho método.

Para la realización de un correcto diseño y análisis hidráulico de una red de alcantarillado, sería deseable disponer de una cantidad de datos de precipitación suficientemente amplia para caracterizar, pluviométricamente hablando, la zona objeto de estudio (Martínez et al., 2004). Estos datos son, en general, relativamente sencillos de obtener y manipular (véase Fuertes et al., 2002). Sin embargo, para completar el proyecto de la red es necesario conocer las características de la cuenca a evacuar, incluyendo aquellas que afectan al flujo superficial. Es habitual condensar estas características en tres parámetros recogidos en la fórmula característica del método racional: el coeficiente de escorrentía (c), el área de la cuenca, (A) y el tiempo de concentración (T_c).

En el presente trabajo se hace un repaso de distintas expresiones que se han ido desarrollando a lo largo de los años para estimar este último. Además, se analiza el método de cálculo utilizado por el programa *Storm Water Management Model* (SWMM) desarrollado por la U.S. EPA y recientemente traducido al español por miembros del Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia (GMMF, 2005).

El objetivo final del trabajo es comparar los valores del tiempo de concentración evaluados con las expresiones presentadas con los resultados de éste según el análisis de una cuenca sencilla mediante el programa SWMM 5 vE. Se intentará igualmente interpretar el significado físico de este parámetro cuando se utiliza combinado con métodos de cálculo que no consideran el tiempo de viaje como variable (como es el caso del método del depósito no lineal incorporado en SWMM 5 vE).

CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Concepto de tiempo de concentración

Se entiende por tiempo de concentración (T_c) el *tiempo que tarda una gota caída en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca vertiente en llegar a una determinada sección de cálculo*. El tiempo de concentración se puede expresar, por tanto, de la siguiente forma:

$$T_c = \max(T) = \max(T_r + T_e) \quad (1)$$

En la ecuación anterior, T_e es el tiempo de escorrentía (o tiempo de entrada), es decir, el tiempo que tarda una gota caída en un punto de la cuenca en alcanzar la entrada al sistema de colectores. Dicho de otra forma, es el tiempo que esa gota circula en régimen de escorrentía superficial. Por su parte, T_r es el tiempo de recorrido en el interior del sistema de colectores. Admitiendo que la velocidad de circulación por las conducciones fuera constante e igual a v , siendo L la distancia que separa el punto de entrada a la red y la sección de cálculo, se tendría:

$$T_r = \frac{L}{v} \quad (2)$$

No cabe duda de que el problema del cálculo del tiempo de concentración es principalmente un problema de cálculo del tiempo de escorrentía, pues el tiempo de recorrido es relativamente sencillo de determinar. Existen numerosas ecuaciones que tratan de resolver este problema a través de fórmulas semiempíricas. A continuación se presentan algunas de ellas. En ellas, se determina el tiempo de concentración para una cuenca, es decir el tiempo de escorrentía de la misma. Por coherencia con la nomenclatura habitual, mantendremos la notación de T_c para el tiempo de escorrentía.

Expresiones del Soil Conservation Service

Una referencia inevitable en el cálculo del tiempo de escorrentía es la monografía editada por el Soil Conservation Service en 1975 (USDA SCS, 1986). Al SCS estadounidense se le debe la utilización del método del número de curva (o CN , *Curve Number*) para la contabilización de la escorrentía en áreas rurales y pequeñas cuencas urbanas. Éste se basa en las siguientes expresiones:

$$F(t) = P(t) - \frac{[P(t) - I(t)]^2}{[P(t) - I(t) + S(t)]} \quad (3)$$

$$S(t) = 25,4 \left(\frac{100}{CN} - 10 \right)$$

En ellas, P es el volumen de lluvia acumulado, F el volumen equivalente de retención I las pérdidas iniciales de lluvia y S la máxima retención posible, todas ellas expresadas en mm. CN es el número de curva que da nombre al método.

A partir de esta forma de determinar el volumen de agua retenida (y que por tanto no contribuye a la escorrentía) el SCS, en la primera edición del *Technical Release 55* (editada en 1975) se presentó una expresión del tiempo de concentración para una cuenca, según:

$$T_c = \frac{L^{0,8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{190 \cdot \sqrt{S}} \quad (4)$$

Posteriormente se realizó una segunda edición de la misma publicación, en 1986, en la que se distingue entre flujo plano (cuando la cuenca no es muy grande, $L < 100$ m) en el cual el caudal se reparte aproximadamente igual a lo largo de toda la cuenca; y el flujo

concentrado en cauces principales cuando la cuenca es mayor. Para estos casos proporciona las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 \text{Flujo plano:} \quad T_c &= 5,476 \frac{(n \cdot L)^{0,8}}{\sqrt{p_2} \cdot S^{0,4}} \\
 \text{Flujo encauzado:} \quad \begin{cases} \text{Suelo no pavimentado: } T_c = \frac{L}{301,32 \cdot S^{0,5027}} \\ \text{Suelo pavimentado: } T_c = \frac{L}{384,25 \cdot S^{0,5015}} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Expresiones basadas en el modelo de onda cinemática

Algunos autores han obtenido fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración basadas en modelos de transporte por onda cinemática. De todas ellas, destacaremos dos. La primera, debida a Morgali & Linsey (1965), se obtuvo para superficies urbanizadas. La expresión presentada es la siguiente:

$$T_c = \frac{18,49 \cdot L^{0,593} \cdot n^{0,605}}{I^{0,388} S^{0,38}} \tag{6}$$

Más reciente es la aportación de Ogbonna (2004), quien aporta una nueva expresión verificada para el caso concreto de un terreno de arena compacta y libre de vegetación ($n = 0,01$). La expresión que proporciona es:

$$T_c = \frac{0,4 \cdot L}{60 \sqrt{g \cdot S \cdot y_{max}}} \tag{7}$$

Un problema que presentan en general este tipo de métodos es que, aunque suelen resultar más exactos (en ambos casos han sido contrastados mediante experimentación) resultan incómodos de manejar. Ambos dependen, de una parte, de las características de la cuenca; y de otra parte de las características de la lluvia. Cuando se utilizan en el proyecto de redes de evacuación, la intensidad de lluvia se relaciona con el tiempo de concentración siguiendo los postulados del método racional, por lo que ha de recurrirse a procesos iterativos de cálculo. Si bien éstos no son complejos, sí son tediosos y costosos en tiempo. Además, en el caso de la expresión de Ogbonna, se precisa conocer el nivel máximo que se alcanza en el flujo superficial, lo cual en sí mismo resulta complicado de calcular.

Otras referencias

Existen muchas otras referencias. A continuación destacaremos dos que, al igual que sucede con las ecuaciones del SCS para flujo ya encauzado, parten de la opinión de que el tiempo de escorrentía es una característica inherente a la propia cuenca y, por tanto, independiente de las condiciones de la lluvia. Si bien, esto no es estrictamente cierto, sirve como primera aproximación en los métodos en los que es necesario iterar o como método rápido de cálculo del tiempo de concentración.

Por orden cronológico, la primera de ellas se debe a la *Federal Aviation Agency* de los EE.UU. (ref. 1970). Si bien fue desarrollada para el drenaje de las pistas de los aeropuertos estadounidenses, se utilizó frecuentemente en cuencas urbanas con alto grado de impermeabilización. La expresión aportada es:

$$T_c = \frac{3,26(1,1-c)\sqrt{L}}{S^{\frac{1}{3}}} \quad (8)$$

Catalá Moreno (1989) da otra expresión muy sencilla para determinar de manera aproximada el tiempo de concentración:

$$T_c = 0,0945 \frac{L^{0,76}}{S^{0,4}} \quad (9)$$

Existen otras muchas expresiones del tiempo de concentración de una cuenca (Kirpich, 1940; Izzard, 1946; ASCE, 1996) pero aquí hemos pretendido señalar sólo algunas de ellas, las más representativas.

MODELO HIDROLÓGICO DE DEPÓSITO NO LINEAL. MÓDULO DE ESCORRENTÍA DE SWMM 5

Descripción general

El modelo hidrológico utilizado por el programa SWMM 5 está basado en el método de los depósitos no lineales. En el cálculo de una determinada cuenca, ésta debe subdividirse en unidades menores (denominadas genéricamente subcuencas). En estas subcuencas es recomendable que las características físicas (pendiente, rugosidad del terreno, conductividad hidráulica, etc.) sean relativamente homogéneas. En general, a mayor grado de discretización (mayor número de subcuencas) tendremos:

- Mayor homogeneidad de cada subcuenca
- Mayor precisión en el cálculo hidrológico
- Mayor tiempo de cálculo

El modelo trabaja independientemente con cada subcuenca, admitiendo un único aporte bruto en cada una. Este aporte puede ser de lluvia, deshielo de nieve, procedente de otra subcuenca o incluso un aporte debido al flujo subterráneo. Ese único aporte presenta distintas descargas o salidas de la cuenca. En primer lugar, se establece un balance inicial por el cual al aporte bruto se le deducen las pérdidas iniciales por evapotranspiración, almacenamiento en depresión e intercepción (mojado de superficies). El aporte restante se acumula en un hipotético depósito cuya superficie es la propia superficie de la cuenca. El agua almacenada en ese depósito contribuye además a la infiltración hacia el subsuelo, de manera que sólo empezará a aparecer caudal de escorrentía cuando el nivel de agua en este depósito sea superior a las pérdidas iniciales.

La Figura 1 muestra de manera esquemática el modelo hidrológico de SWMM 5.

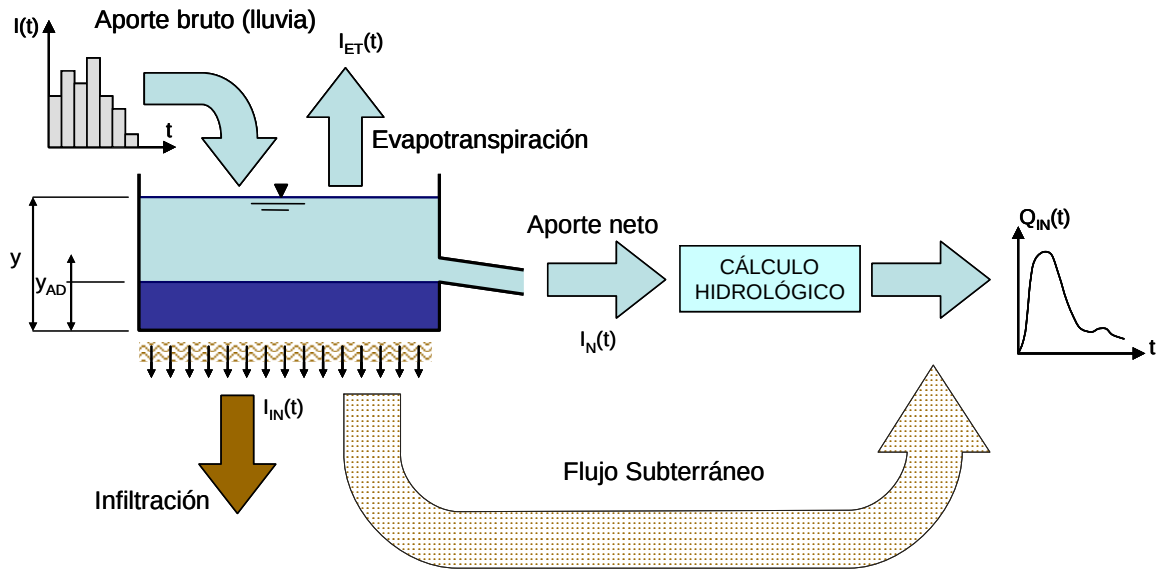


Figura 1. Esquema del modelo hidrológico utilizado en el programa SWMM 5.

Solución numérica

Este modelo de depósito no lineal se concreta en dos ecuaciones: la ecuación de continuidad (balance de masas) y una ecuación de transporte basada en la ecuación de Manning.

Ec. Continuidad:

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dy}{dt} = A \cdot I_N - Q \quad (10)$$

Ec. Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \sqrt{S} R_H^{2/3} A_c \quad (11)$$

En esta ecuación, I_N representa el aporte neto o exceso de lluvia por unidad de superficie, esto es:

$$I_N = I - I_{ET} - I_{IN} \quad (12)$$

En la ecuación de Manning, A_c es la sección de paso para el flujo superficial, definida por:

$$A_c = b \cdot (y - y_{AD}) \quad (13)$$

Obviamente, la diferencia $y - y_{AD}$ no puede ser negativa (es decir, no habrá transporte hasta que y no supere las pérdidas iniciales representadas por y_{AD}). En cuanto al radio hidráulico, SWMM asume flujo plano en canal rectangular, es decir, que el calado es despreciable frente a la anchura de la lámina de agua. Por tanto:

$$R_H = \frac{b \cdot (y - y_{AD})}{b} = y - y_{AD} \quad (14)$$

Así, la ecuación de manning se puede reescribir como:

$$Q = \frac{1}{n} \sqrt{S} \cdot b \cdot (y - y_{AD})^{\frac{5}{3}} \quad (15)$$

Sustituyendo en la ecuación de continuidad (10) y dividiéndolo todo por A queda la segunda de las ecuaciones que utiliza SWMM:

$$\frac{dy}{dt} = I_N - \frac{\sqrt{S} \cdot b}{A \cdot n} \cdot (y - y_{AD})^{\frac{5}{3}} = I_N - K \cdot (y - y_{AD})^{\frac{5}{3}} \quad (16)$$

Esta ecuación se resuelve mediante diferencias finitas de dos puntos. La notación se muestra en la Figura 2:

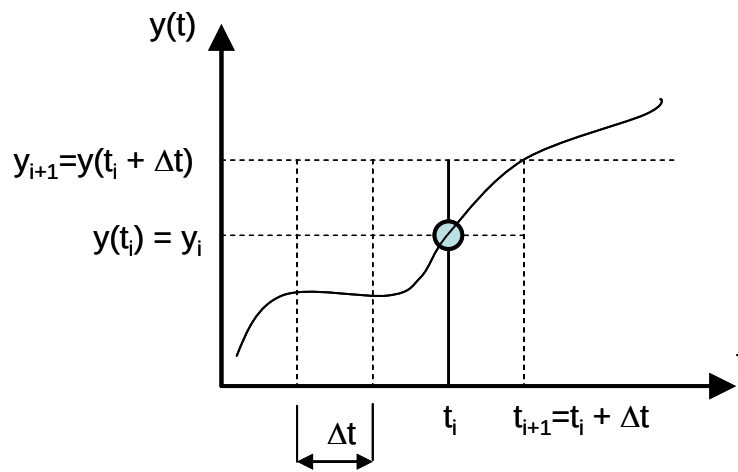


Figura 2. Esquema de diferencias finitas utilizado por SWMM en el cálculo hidrológico.

El nivel de agua se admite que es la media entre el nivel en el instante inmediatamente anterior (y_i) y el nivel que se pretende determinar en el instante actual (y_{i+1}):

$$y = \frac{y_i + y_{i+1}}{2}$$

Por tanto,

$$\frac{dy}{dt} \equiv \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta t} = I_N(t_{i+1}) - K \cdot (y - y_{AD})^{\frac{5}{3}}$$

Por tanto, el nivel y_{i+1} se calcula mediante iteraciones (método de Newton-Raphson) en la ecuación:

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta t} = I_N(t_{i+1}) - K \cdot \left(\frac{y_{i+1} + y_i}{2} - y_{AD} \right)^{\frac{5}{3}} \quad (17)$$

Una vez determinado este nivel se determina el caudal de escorrentía, si ha lugar, a partir de la ecuación (15).

A la vista del método presentado, cabe destacar que no aparece la longitud de la cuenca en ninguna ecuación. Esto hace que el concepto de tiempo de escorrentía quede desvirtuado

en este método de resolución. En este caso, la definición de tiempo de escorrentía debería cambiar a *tiempo necesario para alcanzar el caudal de escorrentía máximo*. Esta nueva definición sí es posible aplicarla y, además, incluye la posibilidad de utilizarla para lluvias de intensidad variable (cosa que por el propio planteamiento del método racional no es posible).

APLICACIÓN A UN CASO DE ESTUDIO

Como caso de estudio para comparar distintos métodos de determinar el tiempo de concentración se utilizará la cuenca de la Figura 3. Se trata de una cuenca cuadrada de 100x100 m (1 ha de superficie). Se probarán dos configuraciones distintas de la misma cuenca: evacuación por la parte central y evacuación por un lateral. Admitiremos un valor del coeficiente de rugosidad de Manning de 0,02 para ambos tipos de suelo. Además, probaremos distintos valores del porcentaje de suelo impermeable: 0, 25, 50, 75 y 100%.

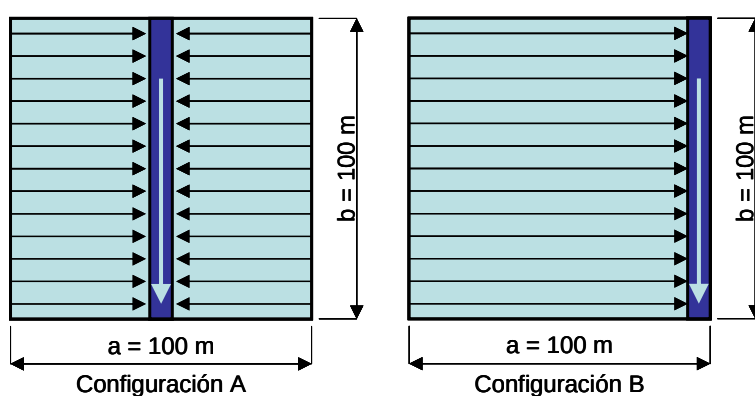


Figura 3. Cuenca utilizada como caso de estudio.

La lluvia utilizada es una lluvia de 30 mm mantenida durante 2 horas y considerando una intensidad constante:

$$I(\text{mm/h}) = \frac{h(\text{mm})}{D(\text{h})} = \frac{30}{2} = 15 \text{ mm/h}$$

A efectos de cálculo, la longitud utilizada para el cálculo del tiempo de concentración depende de la configuración de la cuenca:

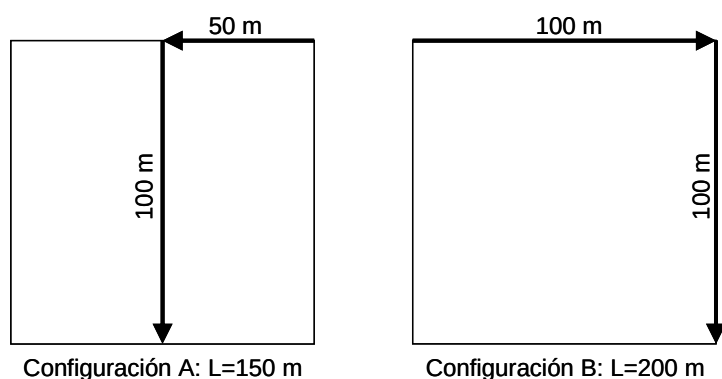


Figura 4. Determinación de la distancia desde el punto más alejado hasta el punto de ingreso en la red de drenaje.

Tabla 1. Cálculo del tiempo de concentración a través de las fórmulas semiempíricas descritas.

Ecuación	Config. A	Config. B
SCS (1975)	15,28	19,23
SCS (1986)	15,19	19,12
Morgali & Linsey (1965)	14,63	17,35
Ogbonna (2004)	18,43	24,58
Federal Aviation Agency (1970)	18,53	21,40
Catalá Moreno (1989)	26,87	33,44

En este cuadro comparativo se observa que todas las expresiones dan valores relativamente parecidos, destacando quizás la fórmula aportada por Catalá, que da valores claramente superiores.

Si analizamos ahora los resultados obtenidos por SWMM para los distintos valores del porcentaje de impermeabilidad se obtienen resultados poco coherentes con lo que acabamos de ver.

- Se observa en primer lugar que cuando se tiene suelo impermeable, la escorrentía se produce casi inmediatamente, mientras que en presencia de suelo permeable ésta se retrasa hasta que se ha compensado el déficit inicial de humedad del suelo y se han superado las pérdidas iniciales.
- Otra observación importante es que el caudal máximo se produce sistemáticamente cuando acaba la lluvia, salvo en el caso de suelo 100% impermeable. Esto se debe a que el fenómeno de infiltración es un fenómeno atenuado, por lo que a mayor duración de la precipitación, menor tasa de infiltración al producirse un efecto difícil

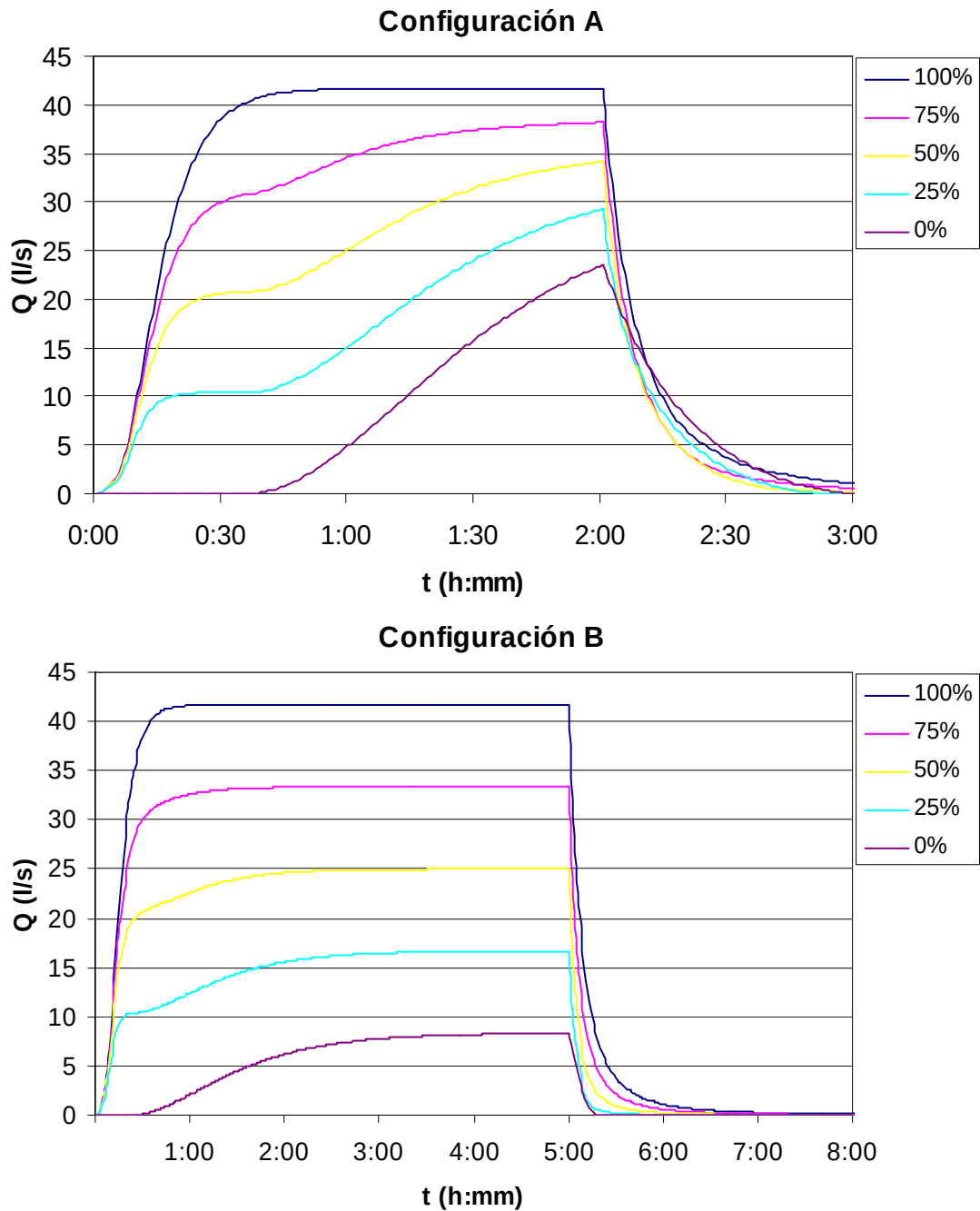


Figura 5. Resultados obtenidos con SWMM 5 vE para distintos valores del porcentaje de suelo impermeable.

Podemos modificar el modelo desarrollado en SWMM para incluir el concepto de “tiempo de viaje”. Creando un canal de tipo rectangular cuya anchura sea la asignada a la cuenca y cuya longitud sea la correspondiente a la configuración de la misma, combinaremos el tiempo necesario para que comience a producirse la escorrentía y el necesario para cruzar toda la cuenca. Utilizaremos el modelo de onda cinemática para poder comparar con las expresiones antes mencionadas.

Ecuación	Config. A	Config. B
SCS (1975)	15,28	19,23
SCS (1986)	15,19	19,12
Morgali & Linsey (1965)	14,63	17,35
Ogbonna (2004)	18,43	24,58
Federal Aviation Agency (1970)	18,53	21,40
Catalá Moreno (1989)	26,87	33,44
SWMM 5 vE (Q_{max})	45,34	48,88
SWMM 5 vE (T_e)	12,83	14,92

CONCLUSIONES

En este artículo se ha realizado un análisis de las distintas alternativas existentes para la determinación del tiempo de concentración en una cuenca. Posteriormente se ha analizado el método de cálculo de la escorrentía superficial utilizado por el modelo de cálculo SWMM 5 vE. De la comparación de ambos se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El modelo hidrológico de depósitos no lineales utilizado por SWMM no resulta adecuado para la determinación del tiempo de concentración, puesto que no existe transporte en superficie propiamente dicho, al no existir el concepto de longitud del curso principal en la cuenca.
- El modelo SWMM incorpora como posibilidad de cálculo tanto el régimen uniforme como el cálculo mediante onda cinemática. Esto posibilita el transformar el flujo de escorrentía superficial en un flujo encauzado que permita, además, incluir la longitud de la cuenca. De esta forma, se puede obtener un tiempo de viaje que se puede asimilar como tiempo de concentración.
- La finalidad última del tiempo de concentración es determinar la duración de la lluvia más desfavorable para el proyecto de un colector de evacuación de aguas pluviales. En este sentido, SWMM permite contemplar aspectos tales como la infiltración o la configuración de la cuenca de manera que es posible obtener el caudal máximo asociado a un determinado período de retorno sin recurrir al cálculo de un tiempo de concentración que no suele ser sencillo ni fiable.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo ha sido posible gracias al Ministerio de Ciencia y Tecnología de España, quién ha financiado el proyecto de investigación nº DPI2003-02676,

titulado *MAGIAS: Desarrollo de una herramienta para modelación de sistemas de abastecimiento de agua utilizando sistemas de información geográfica y algoritmos genéticos*.

NOTACIÓN

A	=	Área de la cuenca (m^2)
A_c	=	Área de paso del curso principal de la cuenca (m^2)
b	=	Anchura de la cuenca (m)
g	=	Aceleración de la gravedad = $9,8065 \text{ m/s}^2$
I	=	Intensidad, tasa de flujo por unidad de superficie (I_N , de lluvia bruta; I_{ET} , de evapotranspiración; I_{IN} , de infiltración; I_N , de lluvia neta; en mm/h o m/s)
L	=	Longitud del curso principal en la cuenca (m)
n	=	Coefficiente de rugosidad de Manning
p_2	=	Precipitación recogida en un episodio de lluvia de 24 horas de duración y 2 años de período de retorno (mm)
p_{max}	=	Precipitación máxima en un episodio de lluvia (mm)
S	=	Pendiente de la cuenca (m/m)
T_c	=	Tiempo de concentración (min)
T_e	=	Tiempo de escorrentía (min)
T_r	=	Tiempo de recorrido (min)
y	=	Nivel de agua (en la cuenca, en un colector, etc., en m)
y_{AD}	=	Nivel de agua correspondiente a pérdidas iniciales (almacenamiento en depresión, evapotranspiración e intercepción, en m)
y_{max}	=	Nivel máximo alcanzado por el flujo superficial (m)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Catalá Moreno, F. (1989). *“Cálculo de caudales en las redes de saneamiento”*. Ed. Paraninfo. Madrid.
- Federal Aviation Agency (1970). *“Advisory circular on airport drainage.”* Rep. A/C 050-5320-5B. Dep. Transportation, Washington D.C. (EE.UU.)
- Fuertes Miquel, V.S.; Martínez Solano, F.J.; Pérez García, R.; Iglesias Rey, P.L. (2002). *“Flujo en Lámina Libre”*. Ed. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

- Izzard, C.F. (1946). "*Hydraulics of runoff from developed surfaces*". Proc. Highway Res. Board, N. 26, pp. 129-146.
- Kirpich, Z.P. (1940). "*Time of concentration of small agricultural watersheds*". Civil Engineering, N.10 (6), p.362.
- Martínez Solano, F.J.; Pérez García, R.; López Jiménez, P.A.; López Patiño, G. (2004). "*Estudio Pluviométrico de la ciudad de Castellón*". Proc. IV III SEREA - Seminario Hispano-Brasileño sobre Planificación, Proyecto y Operación de Redes de Abastecimiento de Agua. Valencia (España), 15 – 18 junio 2004.
- Morgali, J.R. & Linsley, R.K. (1965). "*Computer simulation of overland flow*". ASCE Journal of Hydr. Division, N. 90 (30), pp. 81-100.
- Ogbonna, S.U. (2004). "*Formula for the Time of Concentration of runoff*". ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 130, N°6, Junio 2004, pp. 576-579.
- Overton, D.E. & Meadows, M.E. (1976). "*Stormwater modeling*", pp. 58-88. Academic Press. Nueva York (EE.UU.), 1976.
- USDA SCS (1986), "*Urban hydrology for small watersheds*". Technical Release 55 (Soil Conservation Service, SCS), Washintong D.C. (EE.UU.) 1975, revisado 1986.
- Wanielista, M; Kerster, R. & Eaglin, R. (1977). "*Hydrology, water quantity and quality control*". 2ª Edición. Wiley, Nueva York (EE.UU.).

