

# MODELACIÓN HIDROLÓGICA. COMPARACIÓN DE HIDROGRAMAS CALCULADOS CON UN MÉTODO CONCENTRADO Y UNO DISTRIBUIDO

F. D. González<sup>1,2</sup>, J. L. Aragón-Hernández<sup>2</sup>, y E. Bladé<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

<sup>2</sup> Departamento de Hidráulica, División de Ingenierías Civil y Geomática, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

<sup>3</sup> Instituto de Investigación Flumen (UPC y CIMNE), España.

E-mail: fabiandariogonzalezescalona@gmail.com, jaragonh@unam.mx, ernest.blade@upc.edu

## Introducción

El análisis hidrológico consiste en determinar los hidrogramas de diseño a la salida de una cuenca hidrológica empleando distintas técnicas (Campos, 1988). Tradicionalmente, se emplean modelos lluvia-escorrentamiento de parámetros concentrados, pero hoy en día, es viable el uso de métodos de parámetros distribuidos. En este trabajo, se realiza una comparación de dichos métodos, validando los resultados con caudales punta de una estación hidrométrica; la aplicación se realizó en la cuenca del río Marquelia, ubicada en el estado de Guerrero, México (Figura 1).

## Método concentrado

El modelo lluvia-escorrentamiento requirió información fisiográfica, topográfica e hidrológica; para ello se utilizó un modelo digital de terreno con resolución de 15 m (INEGI, 2016), con lo cual se obtuvo una cuenca de 1,016.11 km<sup>2</sup>, longitud de cauce principal de 76.55 km, pendiente de 0.00792, tiempo de concentración (fórmula de Kirpich) de 12.05 hr y duración de la tormenta de diseño de 6.94 hr.



Figura 1.- Cuenca del río Marquelia.

Se estimaron los valores máximos anuales asociados a distintos periodos de retorno (Escalante y Reyes, 2002), tanto de los caudales con la estación hidrométrica localizada a la salida de la cuenca como de la precipitación de siete estaciones climatológicas con influencia sobre la misma (Figura 2).

Además, se calcularon las curvas i-d-t empleando el método de Chen (Chen, 1983), lo que permitió determinar lluvias de diseño asociadas a distintos periodo de retorno (5, 10, 20 y 50 años); la infiltración se obtuvo con el método del número de curva (Hernández, 2014). Finalmente, se calcularon los hidrogramas de escurrimiento directo en la salida de la cuenca, con el método del hidrograma unitario sintético adimensional (Chow, 1994).



Figura 2.- Polígonos de Thiessen y estaciones climatológicas.

## Método distribuido

Como modelo hidrológico lluvia-escorrentamiento de parámetros distribuidos se utilizó Iber, modelo de flujo bidimensional que emplea las ecuaciones de aguas poco profundas en dos dimensiones (Bladé et al, 2014). La cuenca se discretizó en 44,034 elementos triangulares (Figura 3) con diferentes tamaños (lados con longitud de 100 m en promedio en el cauce principal, 200 m en los secundarios y 400 m en el resto del dominio); la lluvia se distribuyó empleando el método de los polígonos de Thiessen y en función del uso de suelo (Tabla 1) se asignaron distintos los coeficientes de fricción de Manning.

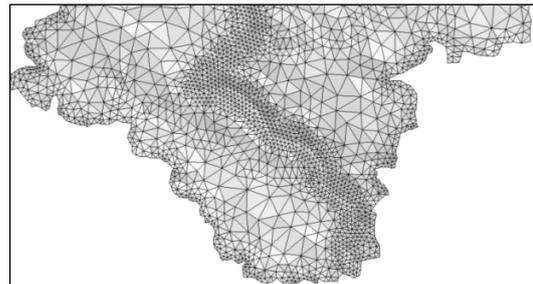


Figura 3.- Malla de cálculo en la salida de la cuenca.

Tabla 1.- Uso de suelo de la cuenca

Uso de suelo	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Zona Urbana	5.34	0.53
Bosque	260.51	25.64
Cuerpo de agua	1.01	0.10
Pastizal	126.38	12.44
Agricultura	75.48	7.43
Vegetación	545.83	53.72
Sabanoide	1.55	0.15

## Resultados

Para validar los resultados obtenidos, primero se realizó una comparación de los caudales punta asociados a distintos periodos de retorno de la estación hidrométrica con los calculados por ambos métodos. En el método concentrado el parámetro de calibración fue el valor del número de curva, en cambio, en el método distribuido, los parámetros a calibrar fueron el coeficiente de fricción de Manning y las pérdidas de precipitación por el almacenamiento en las depresiones del terreno.

A manera de ejemplo, en la figura 4 se muestran los hidrogramas en la salida de la cuenca por ambos métodos asociados a un periodo de retorno de 20 años, y en la tabla 3 el error relativo tanto de los caudales punta como de los volúmenes.

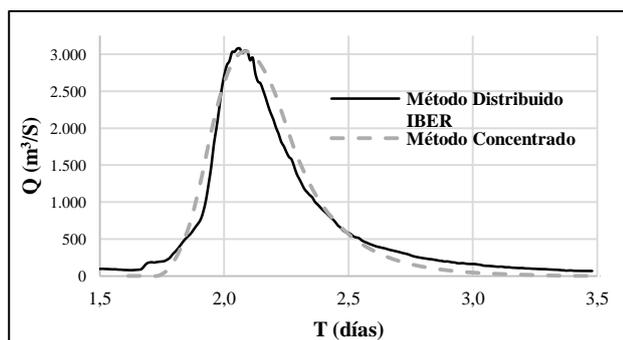


Figura 4.- Hidrogramas de escurrimiento directo asociados a un periodo de retorno de 20 años.

Tabla 2.- Comparación de caudales y volumen de escurrimiento directo.

Método Concentrado	Método distribuido	Error relativo (%)
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>		
3,028.6	3,077.4	2
<b>Volumen (Hm<sup>3</sup>)</b>		
116.140	120.755	4

## Conclusiones

El tiempo de proceso y cálculo con un modelo concentrado es de minutos, aunque sólo permite calcular un hidrograma de escurrimiento directo; en cambio, el modelo distribuido permite conocer la distribución temporal de la profundidad, velocidad, así como el hidrograma en cualquier sección de una corriente, entre otras variables hidráulicas que pueden ser procesadas para la gestión de la cuenca, sin embargo, el tiempo de cálculo puede ser de varias horas.

Este estudio, permite analizar las virtudes y debilidades de cada modelo así como dar validez a los resultados calculados al compararlos con datos medidos. La aplicación de modelos distribuidos es escasamente utilizada debido a su complejidad, sin embargo, la tecnología ha permitido modificar este criterio y presentar una alternativa al cálculo de los procesos hidrológicos.

La comparación de los caudales punta y los volúmenes de escurrimiento directo calculados, presentan un error relativo considerablemente bajo con respecto al valor medido, tomando valores que van del 2 al 9 %.

## Referencias

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M. E., Dolz, J., y Coll, A. (2014). "Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos." *Revista Internacional de Métodos Numéricos para cálculo y diseño en Ingeniería*, 30(1), 1–10.
- Campos, D. F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Chen, C. I. (1983). "Rainfall intensity-duration-frequency formulas". *Journal of the Hydraulics Engineering*, 109 (12), 1603-1621.
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología aplicada*. McGrawHill, Santafé de Bogotá, Colombia, 584 pp.
- Escalante, C. y Reyes, L. (2002). *Técnicas estadísticas en hidrología*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández, F. (2014). *Obtención del número de curva (CN) para la república mexicana mediante el uso de sistemas de información geográfica aplicando la metodología del TR-55*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM, México.
- INEGI (2016). *Continuo de elevaciones Mexicano 3.0*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México ([www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)).