

MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO RACIONAL MODIFICADO E HIDROGRAMA UNITARIO TRAPEZOIDAL

Fredy Rios Cruz¹, Victor H. Alcocer Yamanaka², Victor J. Bourguett Ortiz³
y Ramón Dominguez Mora⁴

^{1,2,3}Subdirección General Técnica, Comisión Nacional del Agua, Av. Insurgentes Sur 2416, Copilco El Bajo, Coyoacán, Ciudad de México.

⁴Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, México.

E-mail: fredy.rios@conagua.gob.mx, yamanaka@conagua.gob.mx, victor.bourguett@conagua.gob.mx, rdominguezm@iingen.unam.mx

Introducción

Las obras hidráulicas necesarias para proteger a la población, como lagunas de regulación, presas rompe picos, bordos de protección de cauces, sistemas de drenaje pluvial, o para dar servicio, como estructuras de cruce en carreteras, alcantarillas, puentes, y presas de almacenamiento, requieren de un análisis hidrológico de la cantidad y duración de la lluvia, para obtener el gasto y volumen máximo de escurrimiento, y su distribución en el tiempo.

Para calcular las avenidas de diseño de una obra hidráulica, existen métodos empíricos y métodos de hidrogramas. Hay varios métodos disponibles para estimar las avenidas de diseño, pero ninguno es aplicable a todas las cuencas; dependiendo de la obra a diseñar, se selecciona el método; por ejemplo, si se va a diseñar una alcantarilla, el Método Racional es suficiente, ya que solo se requiere conocer el gasto máximo, pero si se requiere diseñar una obra de almacenamiento, donde se debe conocer el hidrograma de escurrimiento y volumen, se necesita un método de hidrograma.

El objetivo del presente trabajo, es mostrar la aplicabilidad del método del Hidrograma Unitario Racional Modificado y Hidrograma Unitario Trapezoidal.

Hidrograma unitario racional modificado

El Método Racional se usa para calcular el gasto máximo de cuencas pequeñas, el gasto máximo es producto del área de drenaje, intensidad de lluvia y un coeficiente de escurrimiento; aplicable a áreas menores a 2.5 km² (FHWA, 1980), menor a 8 ha en áreas urbanas (Poertner, 1974), menor a 80 ha (Cleveland, et. al., 2011), menor a 10 km² (Gupta, R.S., 1989, OPW (2012)), menor a 25 km² en zonas rurales de Canadá y Australia y menor a 5 km² en zonas urbanas de Australia (OPW, 2012).

El Método del Hidrograma Unitario Racional Modificado (HURM) es una extensión del Método Racional, que se usa para generar el hidrograma de escurrimiento donde el gasto máximo no es suficiente para realizar un diseño. El gasto máximo de descarga del HURM, es el gasto máximo producto de aplicar el Método Racional, Cleveland, et. al. (2011).

El HURM fue desarrollado por Poertner (1974), para reflejar que duraciones de lluvia mayores al tiempo de concentración de la cuenca, dará como resultado un volumen de escurrimiento mayor. Ya que además de las limitaciones de áreas del Método Racional, es criticado suponer que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración. En cuencas de drenaje urbano pequeñas, la duración de la lluvia es normalmente mayor que el tiempo de concentración, y en cuencas grandes el tiempo de concentración puede exceder la duración de la lluvia (Singh y Cruise, 1989, citado por Cleveland et. al., 2011).

El HURM puede considerar un solo evento de lluvia, pero variando la intensidad de lluvia a lo largo del tiempo (OPW, 2012).

El método del HURM desarrollado en Virginia, EU, se muestra en la figura 1. Donde se observan tres casos, tipo I, un hidrograma triangular, donde la duración de la lluvia es igual al

tiempo de concentración; tipo II, un hidrograma trapezoidal donde la duración es mayor al tiempo de concentración; tipo III, un hidrograma trapezoidal donde la duración es menor al tiempo de concentración; en todos los casos, el descenso del hidrograma es 1.5 veces el tiempo de concentración, similar al del hidrograma unitario sintético del NRCS.

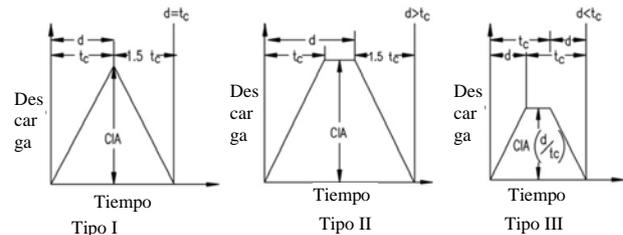


Figura 1.- Hidrograma desarrollado en Virginia, EU.

De acuerdo a Smith y Lee (1984), citado por Cleveland et. al. (2011), el resultado del hidrograma de escurrimiento directo $Q(t)$, como una convolución en el tiempo es la ecuación 1.

$$Q(t) = \int_0^t i_e(\tau)u(t - \tau)d\tau \quad [1]$$

donde τ es el tiempo usado para la integración y $i_e(\tau) = Ci$ es la lluvia en exceso. Donde el desacoplamiento de la lluvia en exceso es fundamental en la interpretación del HURM como un caso especial de la teoría del hidrograma unitario (Cleveland et. al., 2011).

Dhakal, N. et. al. (2014) aplico el método del HURM en 80 cuencas con más de 1400 eventos de lluvias en Texas, EU, áreas de cuencas de 0.80-65 km². Concluyendo que el método funciona bien al igual que otros métodos de hidrogramas unitarios.

Hidrograma unitario trapezoidal

En 1982 la extinta Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, del Departamento del Distrito Federal, hoy Sistema de Aguas de la Ciudad de México, desarrollo el método del Hidrograma Trapezoidal Sintético o Hidrograma Unitario Trapezoidal (HUTrapezoidal). Para el cálculo de avenidas de diseño en sistema de colectores de drenaje.

En la figura 2 se muestra la forma de Hidrograma Unitario Trapezoidal (DGCOH, 1982).

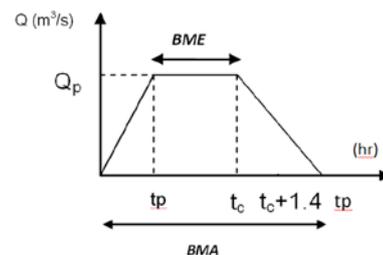


Figura 2.- Hidrograma Unitario Trapezoidal (DGCOH, 1982).

Donde Q_p es el gasto máximo, t_p el tiempo pico, t_c el tiempo de concentración, BME y BMA, la base menor y mayor del trapezio.

Bajo la premisa, que el volumen de escurrimiento producido por el hidrograma es el área bajo el trapecio, así como la precipitación efectiva multiplicada por el área, se obtiene el gasto máximo con la ecuación 2.

$$Q_p = \frac{2V_e}{2t_c + 1.4t_p} \quad [2]$$

Donde Q_p es el gasto máximo, V_e el volumen de escurrimiento igual a la precipitación efectiva por el área, t_c el tiempo de concentración y t_p el tiempo pico igual a la duración escogida.

Se hace la convolución de para cada espacio de tiempo, con la precipitación correspondiente distribuida en el tiempo.

Casos de aplicación

Los métodos de hidrogramas unitarios trapezoidales descritos, se aplicaron en dos casos.

Caso 1: Avenidas de diseño para el Periodo de retorno de 10 000 años de la presa Olinalá, en el Estado de Guerrero, México.

Los datos de la cuenca son; área de 8.22841 km², tiempo de concentración de 1.16 horas, coeficiente de escurrimiento de 0.48 y altura de lluvia de 171.8 mm, para duración de un día y T_r 10000 años.

Los factores del hietograma de diseño de 24 horas, para una relación de lluvia de 1 a 24 horas de 0.65, se muestran en la figura 3.

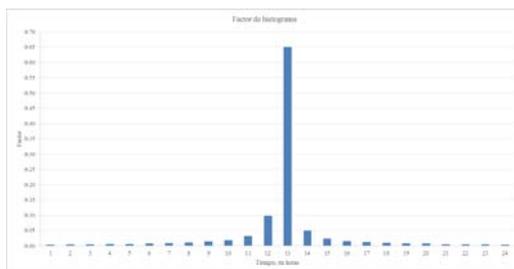


Figura 3.- Factores del hietograma de 24 horas.

Caso 2: Avenidas de diseño para el Periodo de retorno de 10 000 años de la presa Tultitlán, Estado de Hidalgo, México.

Los datos de la cuenca son; área de 78.63 km², tiempo de concentración de 1.78 horas, coeficiente de escurrimiento de 0.49 y altura de lluvia de 710 mm, para duración de un día y T_r 10000 años.

Los factores del hietograma de diseño de 24 horas, para una relación de lluvia de 1 a 24 horas de 0.30, se muestran en la figura 4.

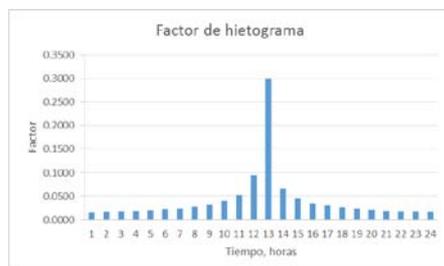


Figura 4.- Factores del hietograma de 24 horas.

Resultados

Caso 1.

En la figura 5 se muestra los hidrogramas de salida del caso 1. Donde puede apreciarse que los gastos máximos son prácticamente iguales para ambos métodos, 95.43 m³/s para el método del HURM y 95.53 m³/s para el método del HUTrapezoidal, mientras que los volúmenes son de 694,941 m³ y 698,561 m³, respectivamente.

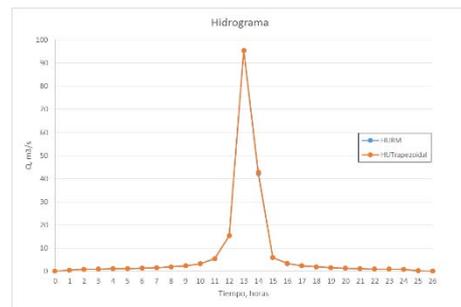


Figura 5.- Hidrogramas de salida presa Olinalá.

Caso 2:

En la figura 6 se muestra los hidrogramas de salida del caso 2. Donde se aprecia que los gastos máximos de salida son prácticamente iguales, 1,479.72 m³/s para el método del HURM y 1,485.26 m³/s para el método del HUTrapezoidal, mientras que los volúmenes son de 26.97 hm³ y 27.24 hm³, respectivamente.

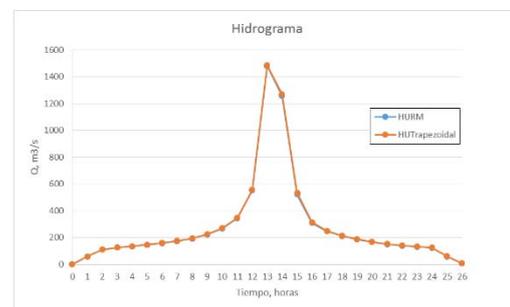


Figura 6.- Hidrogramas de salida presa Tultitlán.

Conclusiones

A la luz de los resultados se concluye que los métodos de hidrogramas unitarios HURM y HUTrapezoidal dan prácticamente los mismos resultados, en los casos aalizados las diferencias son del orden de 0.004 %; por lo tanto pueden usarse en la estimación de avenidas de diseño de estructuras hidráulicas donde es necesario conocer los volúmenes de escurrimiento distribuido en el tiempo.

Los autores recomiendan usar los métodos, aun en estructuras donde solo se necesita conocer el gasto máximo y que las áreas de aportación sean mayores a las limitantes de los métodos empíricos tradicionales, como el Método Racional, ya que estos métodos de hidrogramas unitarios pueden usarse para cuencas grandes (Dhakal et. al, 2011); y por otra parte al cumplir con la teoría de hidrogramas unitarios, se puede usar en áreas de hasta 5 000 km².

Referencias

- Cleveland, T. G. et. al. (2011). *Use of the Rational and modified Rational Method for hydraulic Design*. Texas Tech University, Texas, EU.
- Dhakal, N. et. al. (2014). "Modified rational unit hydrograoh method and applications". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Water Management*. Vol. 167, Issue 7.
- DGCOH. (1982). *Manual de hidráulica urbana. Tomo 1. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica*. Departamento del Distrito Federal, México.
- OPW. The Office of Public Works. (2012). "Flood Studies Update (FSU) Programme, Flood Estimation in Small and Urbanised Cathments". *Hydrology and Coastal Section*. Irlanda.
- Poertner, H.G. (1974). *Practices in Detention of Urban StormWater Runoff*. APWA Special Report No. 43 Washington, D.C.: American Public Works Association.