

PARAMETRIZACIÓN DE CÁLCULOS DE CAUDALES POR MÉTODOS DE RELACIÓN PRECIPITACIÓN - ESCORRENTÍA

Ingrid Alfaro Lopez

Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador.
E-mail: altagracia.alfaro@gmail.com

Introducción

La estimación del volumen de agua pluvial descargada en el tiempo en un punto específico de la cuenca, es fácilmente determinable utilizando un gráfico comúnmente llamado hidrograma (Caudal transitado vs. Tiempo de tránsito), el cual es de mucha utilidad al momento de planificar y diseñar obras de control de la escorrentía. También se debería de potenciar su uso, específicamente para mostrar los efectos hidrológicos de las propuestas de proyectos urbanos y cambio de uso de suelo en las cuencas.

En el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), es muy común que no se cuente con registros históricos de escurrimiento, y en el caso de existir, son muy recientes y no cuentan con información histórica; sin embargo, la importancia de conocer la cantidad de agua pluvial que transita en el tiempo, en un punto específico se vuelve necesaria. Por lo tanto, se vuelven imperantes los análisis de relación entre precipitación-escorrimiento, siendo la Formula Racional, la utilizada con mayor frecuencia, probablemente por contar en el AMSS áreas pequeñas de cuencas; no obstante, también son utilizados algunos otros métodos, sobre todo en cuencas con tamaños considerables, tal y como el hidrograma unitario y el hidrograma unitario sintético (triangular); los cuales, junto con el primero, serán los 3 métodos analizados en esta investigación.

Aunque los métodos de análisis son muchos más que los 3 mencionados anteriormente, y dependen de diferentes factores o características, no es evidente cual es el mejor modelo de estimación y bajo cuales condiciones; sin embargo, se realizará una parametrización de los 3 métodos comúnmente utilizados en el AMSS y se concluirá en los cambios que muestran cada metodología, específicamente evaluando cambio de área, coeficiente de escorrentía y la intensidad de precipitación. Asimismo, se evidenciará el parámetro con mayor efecto de cambio en los cálculos y se tendrán las bases para investigar la aplicabilidad de estos métodos en el Área Metropolitana de San Salvador específicamente en las cuencas urbanas de la misma.

Metodología

Existen una gran cantidad de metodologías para el cálculo de caudales través de la relación precipitación escorrentía, sin embargo, se han elegido para esta investigación, el uso de tres metodologías descritas a continuación:

Formula Racional

Es el método más antiguo de la relación entre la Precipitación y el escurrimiento, ya que su origen se remonta a 1851 o 1889 (Chow, V.T., 1964 y Raudkivi, 1979), el método basa en encontrar el caudal máximo, analizando el área de la cuenca, altura o intensidad de precipitación y es muy utilizado en el diseño de drenajes urbanos.

Su fórmula matemática se detalla de la siguiente forma:

$$Q = KCIA \quad [1]$$

Dónde: Q= Caudal m³/s. C= coeficiente de escurrimiento (Adimensional). I= Intensidad de la lluvia (mm/min). A= área de la cuenca (m²). K= factor para uniformizar Unidades.

Este método calcula el máximo caudal de una cuenca pequeña, dando su ocurrencia en el tiempo de concentración, ya que en ese tiempo toda la cuenca está contribuyendo al escurrimiento. El método, además, considera la cobertura del suelo, su geología y pendiente, estimando las pérdidas (Infiltración, Evaporación, Intercepción, etc.) y estimando el porcentaje de lluvia escurrido, determinando así, el Coeficiente de escorrentía.

Hidrograma Unitario

Existen distintas metodologías que surgen del hidrograma unitario, uno de ellos es la metodología según Snyder el cual realizó una regionalización de los parámetros del hidrograma unitario, para 41 cuencas de Estados Unidos. En conjunto con Espery, Altman y Graves, desarrollaron un conjunto de ecuaciones generalizadas para la construcción de hidrogramas unitarios, las cuales se detallan a continuación:

$$T_p = 3.1L^{0.23}S^{-0.25}I^{-0.18}\Phi^{1.57} \quad [2]$$

$$Q_p = 31.62 \times 10^3 A^{0.96} T_p^{-1.07} \quad [3]$$

$$T_B = 125.89 \times 10^3 A Q_p^{-0.95} \quad [4]$$

$$W_{50} = 16.22 \times 10^3 A^{0.93} Q_p^{-0.92} \quad [5]$$

$$W_{75} = 3.24 \times 10^3 A^{0.79} Q_p^{-0.78} \quad [6]$$

Para esta investigación únicamente se utilizarán las dos primeras ecuaciones con el propósito de conocer el caudal pico. Donde el tiempo de ocurrencia del pico para el hidrograma unitario medido desde el principio de la escorrentía: T_p (en minutos), está dado por la ecuación i, detallando cada variable, se establece que: L= la distancia total (en pies) a lo largo del canal principal desde el punto considerado, hasta el Parteaguas (aguas arriba). S= la pendiente del canal principal (en pies por pie) definida por $H/0.8L$, donde H es la diferencia de elevación entre A y B, siendo A el punto en el fondo de canal a una distancia de $0.2L$ aguas abajo de la divisoria de aguas de la cuenca; B es un punto en el fondo del canal en el punto considerado aguas abajo. I = el área impermeable dentro de la cuenca (en porcentaje), igual al 5% para una cuenca no desarrollada. Φ = el factor de conducción adimensional para la cuenca, el cual es una función del porcentaje de impermeabilidad y de la rugosidad (ver figura 1)

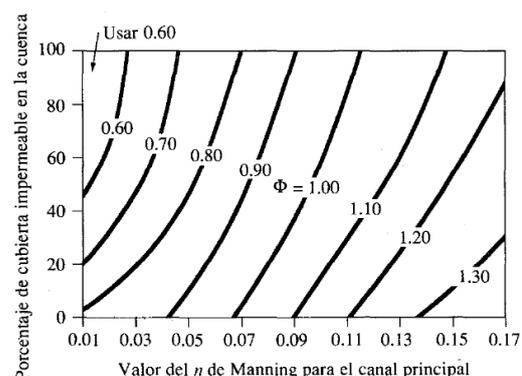


Figura 1.- Factor de Conducción de la cuenca Φ , como función de la rugosidad del canal y de la impermeabilidad de la cuenca (Chow, 1994).

Hidrograma Triangular

Mockus desarrollo un hidrograma unitario sintético de forma

triangular (Mockus, 1957), el cual es utilizado por el SCS (Soil Conservation Service), y que a pesar de su simplicidad proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma: caudal máximo, tiempo base y el tiempo en que se produce el máximo caudal. Dados el caudal máximo y el tiempo de retardo para la duración de exceso de precipitación, el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional para una cuenca dada. (Natural Resources Conservation Service, 2007) De la geometría del hidrograma unitario se tiene el caudal máximo como:

$$Q_m = 0.555 \frac{A}{t_p} \quad [7]$$

Donde A= área de la cuenca, t_p = tiempo del máximo caudal y Q_m = caudal máximo en m3/s

Logrando encontrar el caudal máximo o pico con la siguiente ecuación:

$$q_b = \frac{2V}{t_b} \quad [12]$$

Teniendo el dato de tiempo de ocurrencia, se puede obtener el caudal pico (en cfs/pulg), utilizando la formula ii, la cual depende también del Área de drenaje de la cuenca (en millas cuadradas).

Transformando el caudal pico en unidades internacionales la formula queda establecida de la siguiente forma:

$$Q_p = 895.37 A^{0.96} T_p^{-1.07} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad [13]$$

Para el cálculo de cada Formula a utilizar se definirán tres escenarios de modificaciones, detallados a continuación:

a) Cálculo de caudal con diferentes coeficientes de escorrentía, sin modificar el área de la cuenca ni la intensidad de la lluvia.

Para esto, se toman valores en un rango desde 0.01 hasta 0.99; analizando así comportamientos desde inmuebles naturales con alta infiltración hasta sellado de suelo.

b) Cálculo de caudal con diferentes áreas de la cuenca, sin modificar el coeficiente de escorrentía ni la intensidad de la lluvia

Las diferentes áreas a considerar se basarán en la restricción del Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS (Art. V.14, método Racional). El rango será desde 0.1 hasta 3 km²

c) Cálculo de caudal con diferentes intensidades de lluvia, sin modificar el área de la cuenca ni el coeficiente de escorrentía.

Utilizando los registros de dos estaciones meteorológicas que se emplazan dentro del AMSS: Ilopango, y Boquerón, de las cuales se toman los rangos desde 0.7 hasta 4.90; logrando analizar tormentas con periodos de retorno de 2 hasta 50 años.

Resultados

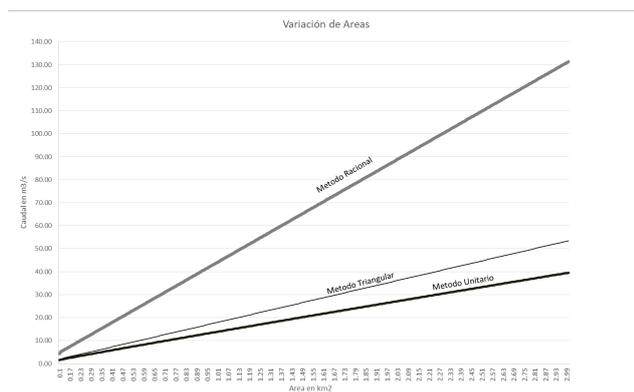


Figura 2.- Cálculo de caudales, variando únicamente el área.

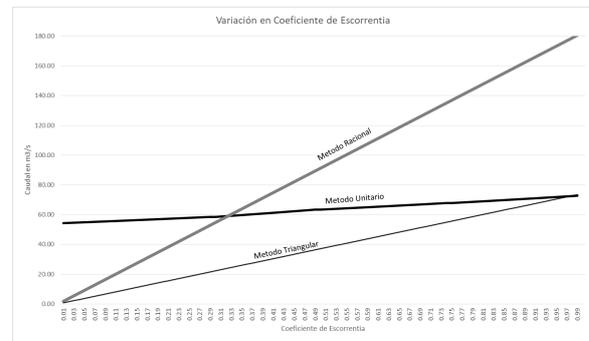


Figura 3.- Cálculo de caudales, variando el coeficiente de escorrentía.

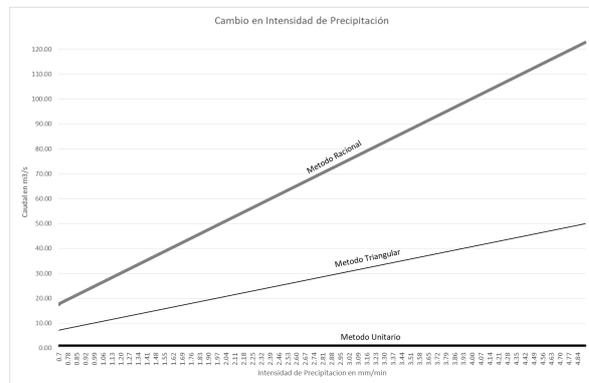


Figura 4.- Cálculo de caudales, variando la intensidad de la escorrentía.

Discusión

En las gráficas anteriores, se observan las tendencias de valores de caudales, calculándolos por los tres diferentes métodos analizados y variando el mismo parámetro en cada uno de los métodos.

Se observa además que los tres métodos, mantienen un comportamiento similar, los valores de caudal para el método de la Formula Racional, son los que obtienen una tendencia lineal casi de 45° en su línea de ajuste, para los valores de caudal del método del Hidrograma Triangular, la tendencia siempre resulta ser lineal sin embargo la línea tiene una inclinación aproximada de 30°, con lo que se logran valores menores de caudales en comparación con el método de la Formula Racional, pero que son igual de sensibles al cambio en los parámetros. El hidrograma unitario, es el que muestra la tendencia lineal, pero con una inclinación aproximada de 20°, mostrando valores de caudal menores a los dos métodos anteriores, pero variando en el escenario 1 de cambio en el coeficiente de escorrentía o conducción de la cuenca, esto debido, a que el método considera el efecto de la rugosidad de la cuenca, pero en relación a la conductividad de la cuenca por medio del porcentaje de la impermeabilización y el coeficiente de Manning, asimismo los otros dos métodos, consideran la rugosidad de la cuenca pero por medio del coeficiente de escorrentía que es la proporción de lluvia que escurre en la cuenca.

Referencias bibliográficas

- Raudkivi, A. J., (1979). Hydrology Pergamon press, Oxford.
- Chow, V.T., (1964). Handbook of applied hydrology Mc Graw Hill. New York.
- Chow, V.T., (1994). Hidrologia Aplicada Mc Graw Hill. Colombia
- Mockus, Victor, (1957). Use of storm and watershed characteristics in synthetic unit hydrograph analysis and application. U.S. Soil Conservation Service.
- Natural Resources Conservation Service, (2007). Hydrology National Engineering Handbook, part 630, Chapter 16 “hydrographs” page 16-2.