

# TIEMPO DE ENTRADA DE AVENIDAS MÁXIMAS EN UN VASO DE ALMACENAMIENTO

Ana María Solís Encarnación y Claudia Rojas Serna

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica  
Av. San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, C.P. 09340, México, D.F.  
México, Teléfono: (+52) 55 5804 4600, ext. 1010  
E-mail: anam.solis@yahoo.com.mx, crojas@xanum.uam.mx

## Introducción y objetivo

En este trabajo se desarrolla una metodología para estimar los tiempos de entrada de las avenidas máximas a un vaso de almacenamiento. El **objetivo** del trabajo desarrollado es introducir el conocimiento de dicho tiempo de entrada, como fundamento técnico sobre el tiempo en el que se esperaría que entraría a la presa una avenida máxima para poder anticiparse al nivel que se puede presentar en el vaso de almacenamiento y decidir con antelación su operación en estas circunstancias.

Entre los criterios que se utilizaron y se compararon para el desarrollo de la metodología se mencionan los siguientes:

- I. **Tránsitos hidrológicos** que consideraron las características físicas de la cuenca y principalmente del cauce. Esto permitió identificar y relacionar patrones entre el tiempo de concentración y el **tiempo de duración de las avenidas máximas**.
- II. Desarrollo de **modelos** que consideraron las **avenidas máximas registradas en las subcuencas de aportación a la presa**.

Los mejores resultados se obtienen con los modelos desarrollados de tipo polinómico; que relacionan la duración de las avenidas en la parte alta de la cuenca, con respecto a los registros de entrada al vaso de almacenamiento.

## Metodología

La metodología se ha desarrollado aplicando los criterios mencionados precedentemente y analizando los resultados que se obtenían en la presa de estudio. A continuación se menciona la metodología en tres etapas. En la primera etapa se presenta la presa que se analizó y las estaciones hidrométricas de las cuales se utilizaron sus registros. En la segunda etapa se describen los tránsitos hidrológicos que se realizaron en la cuenca de aportación al vaso de almacenamiento. La tercera etapa se refiere a los modelos que se desarrollaron para relacionar la duración de las avenidas de las subcuencas de aportación con las avenidas que entran a la presa estudiada.

## Presa de estudio

La presa que se estudió para el desarrollo de la metodología es la presa "Ing. Carlos Ramírez Ulloa", la cual es conocida como la presa "El Caracol". Esta presa se ubica en el río Balsas, en la IV Región Hidrológica-Administrativa "Balsas", su uso es para generación de energía eléctrica y forma parte del sistema "El Caracol"- "Infiernillo"- "La Villita". En la Figura 1 se presenta la ubicación de la presa el Caracol y su cuenca de aportación dentro de la IV Región Hidrológica-Administrativa "Balsas".

Se utilizó la información de las estaciones hidrométricas ubicadas en el río Balsas, mismas que son gestionadas por la Comisión Federal de Electricidad. En la Figura 2 se muestra la ubicación de las cinco estaciones hidrométricas que se utilizaron para este trabajo: "San Juan Tetelzingo", "Atenango del Río", "Papalutla", "Ixcamilpa" y "Frayle".



Figura 1.- Ubicación de la presa El Caracol dentro de la región Hidrológica Administrativa IV Balsas.

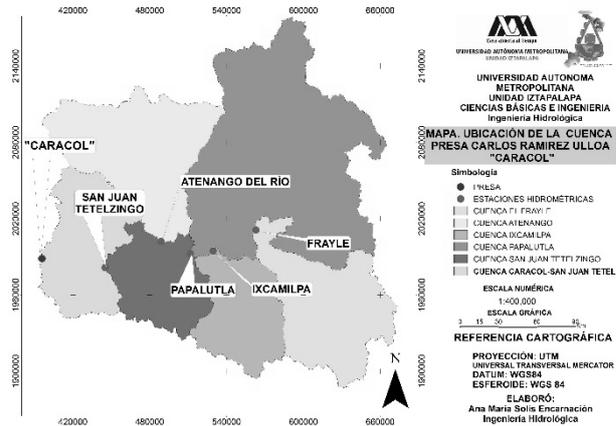


Figura 2.- Estaciones hidrométricas ubicadas en el río Balsas y delimitación de sus cuencas de aportación.

## Tránsitos hidrológicos

En este estudio se utiliza un método hidrológico para realizar los tránsitos de las avenidas máximas. Esto ya que la aplicación de un método hidráulico requiere de un conocimiento más extenso de las características físicas del tramo del cauce en análisis. Se aplica el Método de Muskingum, el cual se fundamenta en la ecuación de continuidad y su ecuación es la siguiente.

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 \quad [1]$$

donde:

$$C_0 = \frac{-KX + 0.5\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta t} \quad [2]$$

$$C_1 = \frac{KX + 0.5\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta t} \quad [3]$$

$$C_2 = \frac{K - KX - 0.5\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta t} \quad [4]$$

Es recomendable que  $\Delta t$  sea menor o igual a una décima parte del tiempo pico del hidrograma en análisis. Los valores de  $K$  y  $X$  tienen las mismas unidades de tiempo y los tres coeficientes  $C_0$ ,  $C_2$  y  $C_3$  suman la unidad.

### Tiempo de entrada de las avenidas

Se analizaron para cada una de las cinco estaciones hidrométricas, todas las avenidas diarias de los cinco años en los cuales se registraron las máximas avenidas. Las características que se consideraron de los hidrogramas correspondientes a cada una de las avenidas identificadas por presentar un gasto pico durante el año (ver ejemplo de la Figura 4) son las siguientes: gasto pico  $Q_i$ , tiempo pico  $dQ_i$  y duración de la avenida  $dT_i$ , donde el subíndice  $i$  corresponde al número de la avenida analizada. En la Figura 4 se ilustran estas tres características, mismas que se consideraron como variables para el desarrollo del modelo polinómico.

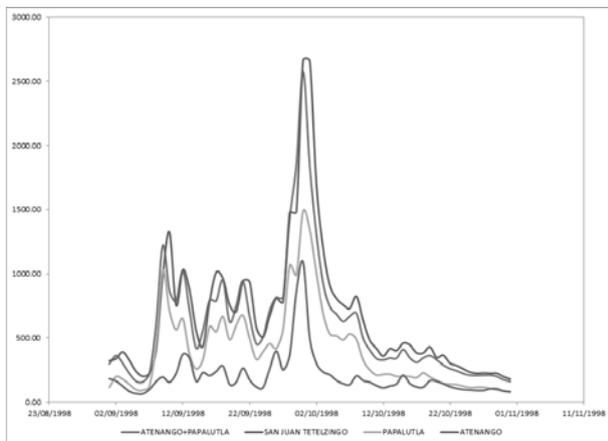


Figura 3.- Avenida máxima registrada de influencia en la presa El Caracol durante el periodo 1979-2006.

Los modelos polinómicos desarrollados tienen la siguiente forma:

$$y = \alpha x^\beta \quad [5]$$

La selección de los modelos se realizó de acuerdo a los valores del coeficiente de correlación y regresión  $R$  (Aparicio, 1997), mismo que debe ser lo más posible cercano a la unidad. Este coeficiente se calcula con la siguiente fórmula:

$$R = \beta \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \quad [6]$$

donde  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$  son la desviación estándar de  $x$  y  $y$ .

En las ecuaciones [5] y [6], las variables  $x$  y  $y$  corresponden a las variables  $Q_i$ ,  $dQ_i$  y  $dT_i$  que fueron definidas precedentemente.

### Conclusiones

El tiempo que tardan en entrar las avenidas máximas a un vaso de almacenamiento se puede determinar conociendo las características de las avenidas registradas en la parte alta de todas las cuencas de aportación a la presa. Para esto es necesario disponer de estaciones de aforo en la parte alta de la presa y principalmente en el cauce principal de la cuenca donde se ubica la presa. En nuestro caso de estudio, los modelos polinómicos desarrollados aportan mejores herramientas

prácticas para determinar el tiempo en que entrarían las avenidas máximas al vaso. Esto en comparación con los tránsitos hidrológicos realizados, ya que se tienen que hacer varias iteraciones para determinar las constantes  $K$  y  $X$  (ver ecuaciones [1] a [4]) para determinar las avenidas hasta el vaso de la presa. Además, es muy importante considerar que el Método de tránsito utilizado se fundamenta en la ecuación de continuidad y por los análisis realizados, esta hipótesis no es válida para los tramos analizados entre estaciones hidrométricas. Esto principalmente ya que los tramos son muy largos lo que origina en gran medida grandes aportaciones por cuenca propia entre cada una de estas estaciones.

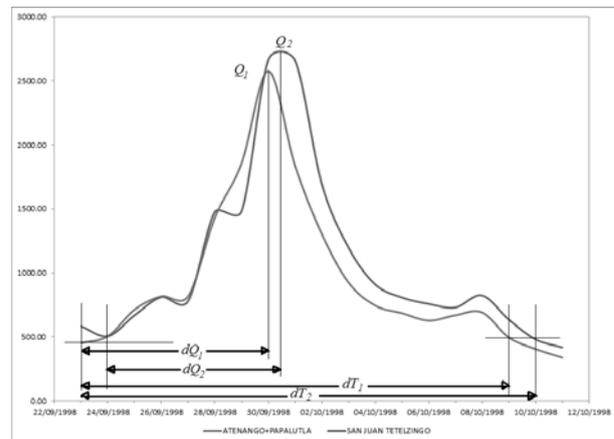


Figura 4.- Esquema de las variables consideradas en el desarrollo de los modelos polinómicos.

La continuación de este trabajo es aplicar modelos lluvia-escorrentamiento con el interés de desarrollar modelos que además utilicen los datos de lluvia para determinar con mayor exactitud el tiempo de entrada de las avenidas máximas a una presa.

Esto con el interés de conocer con antelación las características de los hidrogramas que se presentarían antes de que éstos se registren en tiempo real en las estaciones hidrométricas.

### Agradecimientos

En el desarrollo de este trabajo ha sido fundamental la disponibilidad de los datos. Agradecemos a la Comisión Federal de Electricidad (México) por los datos que nos proporcionaron, entre los que se destacan los registros de las estaciones hidrométricas que dicha Comisión gestiona. Agradecemos especialmente al Ing. Iván Rodríguez Rodríguez de la Gerencia de Ingeniería Civil de la Comisión Federal de Electricidad por su valioso e incondicional apoyo y por la información que nos proporcionaron.

### Referencias

- Aparicio, M.F.J. (1997). *Fundamentos de Hidrología Superficial*. Quinta reimpresión, México, Noriega Editores.
- Breña, P.A. y Jacobo, V.M. (1996). *Principios y Fundamentos de Hidrología Superficial*. Primera edición., México, Universidad Autónoma Metropolitana, 303pp.
- Pizarro, R., Hormazábal, M., León, L., Morales, C. (2014). "Determinación empírica de los parámetros que modelan el tránsito de avenidas, por el método de Muskingum, en zonas de clima mediterráneo de Chile central". Textinfo ed. 5.1, Chile, Universidad de Talca Chile. <http://eias.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones>
- Viessman, W., Lewis, G.L. and Knapp, J.W. (1989). *Introduction to hidrology*. Third edition, Harper & Row.