

CÁLCULO DE LOS GASTOS DE DESBORDAMIENTO DE RÍOS Y SU INCLUSIÓN EN UN MODELO MATEMÁTICO UNIDIMENSIONAL

Óscar A. Fuentes Mariles, Guillermo R. Vega Silva y Joana B. Luna Alonso

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
E-mail: ofuentesm@iingen.unam.mx, vega_silva_gr@hotmail.com, joanaalonso.civil@gmail.com

Introducción

La presente investigación se realizó para determinar el caudal que se desborda de un canal rectangular cuando se excede su capacidad de conducción, generalmente durante avenidas extraordinarias. Se describe el proceso para determinar el gasto lateral de desbordamiento de forma experimental en un dispositivo físico instalado en un laboratorio de Hidráulica.

Se efectuaron pruebas de laboratorio con el fin de determinar la variación del gasto de desbordamiento en canales a superficie libre con la distancia y su inclusión en un modelo matemático de simulación de flujo no permanente de ríos.

Flujo espacialmente variado

Para corroborar los caudales medidos en el dispositivo físico con los obtenidos con un modelo matemático de flujo espacialmente variado se hicieron varias hipótesis para estimar el gasto desbordado con un procedimiento numérico, la principal fue que el gasto del agua que sale puede calcularse con la ecuación de vertedor rectangular.

El dispositivo físico consta de un vertedor lateral de pared redondeada con cresta elíptica, donde se aforan los caudales.

La ecuación para calcular el gasto con el modelo matemático es la siguiente:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu b h^{2/3} \quad [1]$$

Teniendo en cuenta que el valor de coeficiente μ cambia al ser una cresta elíptica.

Para obtener el perfil hidráulico en el canal del laboratorio se consideró un gasto de ingreso constante y que el flujo es espacialmente variado (ecuación 2) y así determinar los tirantes en diferentes secciones del canal.

$$\frac{dd}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \frac{\alpha Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{\cos\theta - Fr^2} \quad [2]$$

Para resolver la ecuación diferencial de flujo espacialmente variado se utilizó el método numérico de Runge-Kutta de cuarto orden, partiendo del final del canal donde se puede conocer el tirante hacia aguas arriba pasando por el vertedor lateral avanzando así la solución del espacio x_m al $x_{m+1} = x_m + \Delta x$. Utilizando las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \bar{k}_1 &= \Delta x \bar{f}(x_m, \bar{d}_m) \\ \bar{k}_2 &= \Delta x \bar{f}(x_m + \Delta x/2, \bar{d}_m + \bar{k}_1/2) \\ \bar{k}_3 &= \Delta x \bar{f}(x_m + \Delta x/2, \bar{d}_m + \bar{k}_2/2) \\ \bar{k}_4 &= \Delta x \bar{f}(x_m + \Delta x, \bar{d}_m + \bar{k}_3) \\ \bar{d}_{m+1} &= \bar{d}_m + (\bar{k}_1 + 2\bar{k}_2 + 2\bar{k}_3 + \bar{k}_4)/6 \end{aligned}$$

Dispositivo físico

Para predecir la cantidad de agua desbordada de un canal en una tormenta se construyó un dispositivo físico. El canal se construyó con acrílico transparente de un cm de espesor, tiene

30 cm de ancho, 20 cm de alto y 4.87 m de longitud total; este tiene un vertedor inicial triangular de 90° de apertura con el que se afora el gasto de entrada. Al final del mismo se le colocó un tope de 6 cm de alto de manera que elevara el tirante de agua. El canal tiene una pendiente a lo largo de 0.0035 m/m.



Figura 1.- Vista general del canal experimental.

El agua se almacenaba en un tanque con capacidad de 0.5 m³ y un depósito metálico, el tanque se colocó al final del canal de manera que recibía el agua que pasaba del vertedor, mientras que el depósito metálico captaba las aguas que salían por el vertedor lateral, este se conectó con el primero de manera que el agua se pudiera recircular.

Para reusar el agua se utilizó una bomba de 1 caballo de fuerza que conectaba al vertedor inicial y al Rotoplas a través de una T que dividía el flujo y un par de válvulas de globo con las cuales se podía regular el gasto que le llegaba al vertedor inicial.

En seguida del vertedor inicial se colocó un tranquilizador de manera que las aguas corrieran tranquilas a lo largo del canal. Este se hizo con varias mallas de diferentes tamaños y gravilla de tezontle lavadas de manera que no se arrastrara polvo y tierra en el canal.



Figura 2.- Vertedor triangular y su tranquilizador.

A lo largo del canal se colocaron 7 cintas métricas para poder medir el tirante del agua en diferentes puntos, estas se concentraron cerca del vertedor lateral y al final del canal. El vertedor lateral se colocó a 1.1 metros del final del canal, este tiene 30 cm de largo con 6 cm de altura y se le colocaron 5 divisores de acrílico que separaran el agua conforme fuera

entrando al vertedor, esta caía en un depósito graduado a cada medio litro donde se podía medir el tiempo que se tardaba en llenarse y de esa manera conocer el gasto que circulaba por cada separación.

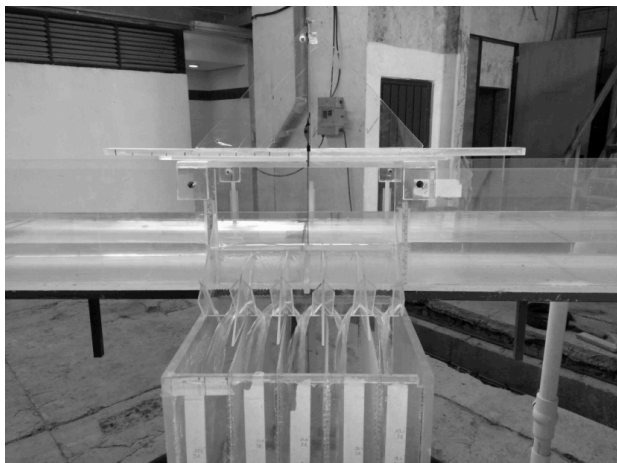


Figura 3.- Vertedor lateral del canal experimental.

Se implantó también un dispositivo que contaba con un Vernier y unas guías de acrílico con el cual se pudieran medir las cargas hidráulicas a lo largo del vertedor lateral y a la mitad del canal a las mismas distancias.

Cada prueba del canal consistía en tomar el registro de las 7 cintas métricas a lo largo del canal y la del vertedor inicial; se tomaba lectura del vernier en 7 posiciones distintas a lo largo del vertedor y al centro del canal; y por último se aforaban los gastos de cada depósito.

Resultados

Una vez obtenido el resultado de lo medido en el dispositivo físico y lo calculado con el modelo matemático, se hizo una gráfica que compara ambos y que se ve a continuación:

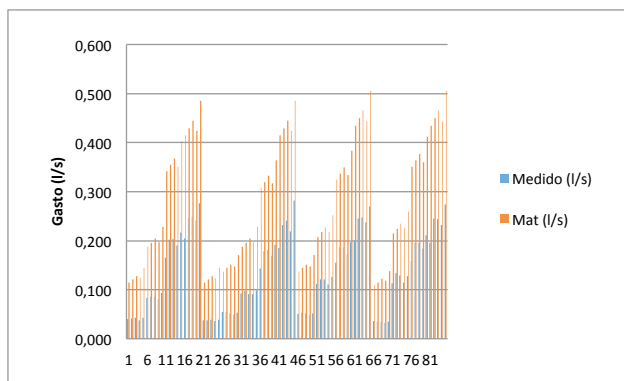


Figura 4.- Comparativa de los gastos medidos en laboratorio con los calculados con el modelo unidimensional.

En ella se aprecia que los gastos medidos son menores con respecto a los calculados con el modelo matemático, por lo que se buscó un factor con el cual se ajustara la cantidad de agua desbordada del canal en el modelo numérico; para ello se encontraron 3 factores y también se propuso una ecuación que cambiara el factor dependiendo del número de Froude.

El primer factor calculado se hizo tomando en cuenta todas las pruebas es igual a 0.511, su mínimo error cuadrado es de 0.0293 y su coeficiente de correlación es de 0.988.

El segundo factor calculado se hizo tomando en cuenta las pruebas donde el número de Froude fuera menor que 0.052, es

igual a 0.323, su mínimo error cuadrado es de 5.58×10^{-4} y su coeficiente de correlación es de 0.772.

El tercer factor calculado se hizo tomando en cuenta las pruebas donde el número de Froude fuera mayor que 0.052 es igual a 0.523, su mínimo error cuadrado fue de 0.0114, su coeficiente de correlación es de 0.976.

Por último para encontrar la ecuación que mejor se ajustara se calcularon factores para todas las pruebas de manera que al comparar lo obtenido con el modelo matemático se obtuviera el menor error cuadrático, también se calculó el número de Froude antes del vertedor lateral, y se graficaron junto a los factores, teniendo la siguiente forma:

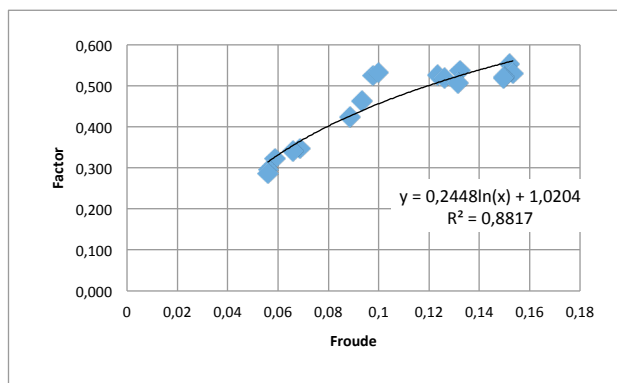


Figura 5.- Gráfica de los números de Froude para cada prueba y su Factor.

Con esta se obtuvo la línea de tendencia que tuviera el mejor coeficiente de correlación, siendo esta del tipo logarítmica y con un coeficiente de determinación $R^2=0.8817$, siendo la ecuación final la siguiente:

$$F = 0.2448 \ln(Fr) + 1.0204 \quad [3]$$

Conclusiones

Se encontró con el modelo matemático de flujo unidimensional que era necesario incluir algún factor correctivo para estimar el gasto que se desborda del canal de una manera más precisa, ya que se sobreestimaba el caudal en la mayoría de los casos.

La ecuación encontrada para el factor de desbordamiento tiene un buen comportamiento para números de Froude en el intervalo de clase 0.052 a 0.15,

Se considera necesario realizar un mayor número de pruebas con números de Froude que sean mayores a los obtenidos en este trabajo de manera que se pueda incrementar la confiabilidad de la ecuación obtenida en este estudio.

Referencias bibliográficas

- Berezowsky M. (1997), "Cámaras de oscilación análisis y diseño hidráulico", UNAM, Instituto de Ingeniería.
- Berezowsky M. (1994), "Análisis de flujos turbulentos a superficie libre (Modelos de turbulencia)", UNAM, Instituto de Ingeniería.
- Montero R. (1992), *Cálculo de flujo no permanente a superficie libre con saltos hidráulicos*, Tesis Maestría (Maestría en Ingeniería Hidráulica), UNAM, Facultad de Ingeniería.
- Ravelo A. (2005), *Métodos hidráulicos e hidrológicos para el tránsito de avenidas en cauces*, Tesis Maestría (Maestría en Ingeniería Hidráulica), UNAM; Facultad de Ingeniería.
- Sotelo G. (1997), *Hidráulica General Volumen 1 Fundamentos*, LIMUSA.
- Sotelo G. (1997), *Apuntes de Hidráulica II*, UNAM, Facultad de Ingeniería.