

SALTO HIDRÁULICO OBLICUO EN TANQUES AMORTIGUADORES DE SECCIÓN TRANSVERSAL TRAPEZIAL

• Jesús Gracia-Sánchez • Víctor Franco •
• Óscar A. Fuentes-Mariles •
Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

Se construyó un dispositivo para analizar el salto hidráulico oblicuo en tanques amortiguadores de sección transversal trapezoidal. De las observaciones realizadas se concluye que puede presentarse un flujo asimétrico que induce otro flujo en sentido inverso, lo cual provoca el ascenso del nivel del agua en uno de los lados, éste puede ser sustancialmente más alto que los que se presentan normalmente en el tanque amortiguador. En este trabajo se propone una aproximación teórica para explicar el fenómeno observado y un método de cálculo para determinar la altura máxima (tirante) del agua. Los valores de los tirantes máximos medidos y calculados concuerdan bien.

Palabras clave: salto hidráulico oblicuo, tanque amortiguador, sección transversal trapezoidal, flujo asimétrico.

Introducción

Cuando en un tanque amortiguador de sección transversal trapezoidal se tiene un tirante “pequeño” aguas abajo puede ocasionar la formación de un salto oblicuo y un flujo asimétrico en el tanque, que causa un ascenso en el nivel del agua en uno de los lados y llega a provocar el derrame del agua en alguno de ellos (figuras 1 y 2). No existen teorías que expliquen satisfactoriamente este fenómeno, por lo que es necesario realizar investigación al respecto, tal como se intenta en este trabajo.

En la literatura especializada sobre este tema se encontraron varias investigaciones que a continuación se describen: Diskin (1961) y Massey (1961) propusieron teorías para calcular el salto hidráulico en tanques amortiguadores con sección transversal trapezoidal para flujos asimétricos; más tarde, Sandover y Holmes (1962), y Mohed y Sharp (1971), al realizar pruebas en laboratorio, comprobaron la existencia de flujos asimétricos en este tipo de

estructuras, concluyendo que era necesario mejorar las teorías que explican este fenómeno; Ohtsu y Yasuda (1989) propusieron la clasificación de los saltos hidráulicos de acuerdo con el valor del número de Froude, asignado al régimen supercrítico, e indica cuando el salto se convierte en asimétrico; Wanoschek y Hager (1989) estudiaron las características del salto hidráulico en canales trapezoidales y observaron la presencia de remolinos de fondo, zonas de recirculación con flujos laterales y su relación con la longitud del salto.

Existen varias razones para escoger la sección trapezoidal en un tanque amortiguador, ya que por ser una sección hidráulica mayor, requiere de profundidades de excavación menores y recubrimientos laterales de menor espesor, que repercuten en el costo de la obra; además, dicha geometría se adapta a cualquier condición y tipo de terreno natural. Un canal de sección trapezoidal con el mismo ancho de plantilla “B” de uno rectangular es superior tanto en términos de la estabilidad natural de los taludes

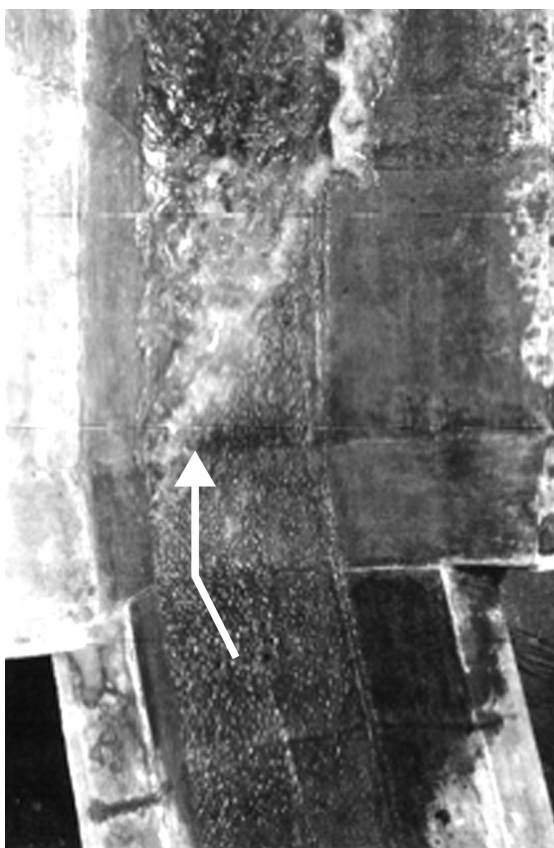


Figura 1. Flujo asimétrico en un tanque amortiguador de sección trapecial.

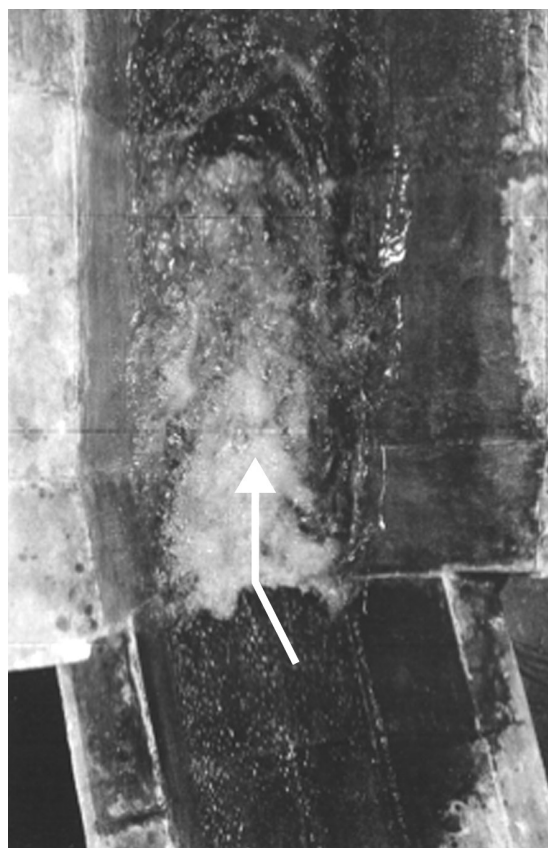


Figura 2. Flujo simétrico en un tanque amortiguador de sección trapecial.

como en eficiencia del salto. Sin embargo, las corrientes de retorno y la presencia de un salto oblicuo hacen poco estable el resultado hidráulico, por lo que muchas veces, en el caso de prototipos, se prefiere regresar al diseño y uso de los tanques de sección rectangular.

A pesar de lo claro con que se presenta el fenómeno del salto oblicuo en tanques trapeciales, llama la atención el hecho de que en muchos trabajos, incluso recientes (Afzal y Bushra, 2002; Jamil y Khan, 2008), no se atiende este problema, probablemente por ser aproximaciones solamente teóricas, donde no se detecta este fenómeno, sin embargo es clara su importancia en el diseño de los prototipos.

Las experiencias en México sobre el tema muestran dos casos importantes: la presa Miguel Hidalgo (El Mahone) y la presa Josefa

Ortiz de Domínguez (El Sabino) (Muciño, 1998). En particular, en esta última se ha observado durante su operación consistentemente el flujo asimétrico. Por ello, en este trabajo se presentan los resultados de un estudio que, empleando datos experimentales, propone una aproximación teórica para cuantificar la sobre-elevación máxima de los tirantes en un tanque amortiguador de sección transversal trapecial.

Como se muestra en el esquema de la figura 3, el frente del salto hidráulico en el flujo asimétrico no es perpendicular a la dirección del flujo. Desde el punto F (inicio del tanque amortiguador), el frente del salto se inclina respecto al eje del canal y el nivel del agua alcanza un tirante máximo en un lado del canal y más bajo en el lado opuesto. Aguas abajo de esa sección, el nivel del agua se vuelve

casi uniforme en la sección transversal. En el lado donde el tirante del agua es máximo, el agua viaja en la dirección hacia aguas abajo, mientras que en lado opuesto el flujo se invierte, es decir, viaja hacia aguas arriba formando una corriente de recirculación (figura 4).

La zona de recirculación se puede ubicar en cualquiera de los lados del tanque, pero una vez que se forma, el flujo asimétrico permanece

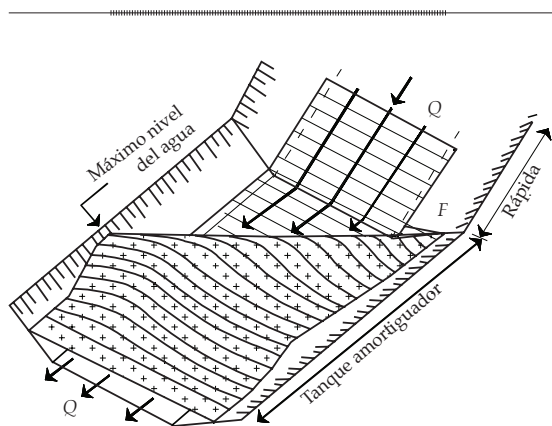


Figura 3. Salto hidráulico oblicuo en un tanque de sección transversal trapecial.

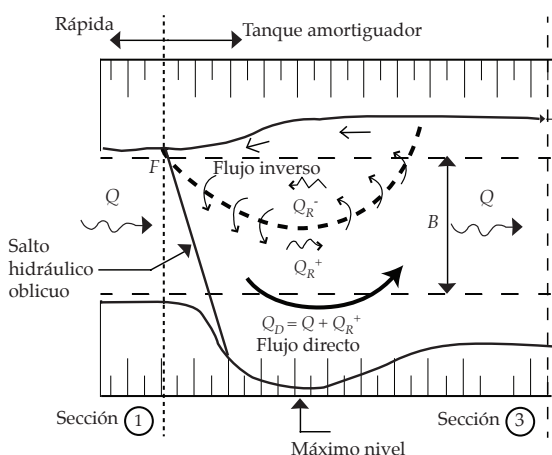


Figura 4. Esquema para ilustrar la estructura del flujo en un tanque amortiguador de sección trapecial (planta).

estable. La probabilidad de que ocurra el flujo asimétrico aumenta cuando los taludes son muy tendidos (mayor a 2:1) y se incrementa con números de Froude mayores de 7. El hecho de que se desconozca hasta el lado donde se ubicará la zona de recirculación en el tanque, muestra el desconocimiento del origen del fenómeno.

Ohtsu y Yasuda (1989) indican que el salto asimétrico ocurre para $Fr_1 > 4.4 \sim 6.2$. En el estudio aquí presentado el salto asimétrico ocurre para $Fr_1 > 7 \sim 9$.

Aproximación teórica

A continuación se presenta una aproximación teórica para el cálculo del tirante máximo en un tanque amortiguador de sección trapecial.

El momentum total en un canal trapecial está dado por (Hager y Wanoschek 1987):

$$M = \frac{BY^2}{2} + \frac{kY^3}{3} + \frac{Q^2}{g(BY + kY^2)} \quad (1)$$

donde Y es el tirante en la salida del tanque amortiguador (m); B , el ancho del fondo del canal (m); k , el talud; Q , el gasto (m^3/s), y g es la aceleración de la gravedad (m/s^2).

Cuando se conocen las condiciones del flujo, el momentum de entrada M_1 se puede calcular con la ecuación (1). Por consiguiente, el tirante subcrítico del flujo aguas abajo (Y_2) se puede calcular con la ecuación (1), al cumplirse con la igualdad del momentum aguas arriba y aguas abajo ($M_1 = M_2$), que es el caso de un salto convencional (sin escalón y sin compuerta aguas abajo).

En el flujo oblicuo (cuyo frente inicia en el punto F , ver figura 4), el tirante máximo se calcula con la ecuación (1), pero modificada. Suponiendo que el flujo se distribuye como se muestra en la figura 5, el flujo en la zona A corresponde al flujo directo hacia aguas abajo y la zona B es la de flujo inverso. El gasto aguas abajo Q_D es igual a la suma del gasto de entrada Q más el gasto inverso Q_R^+ ; se supone que el

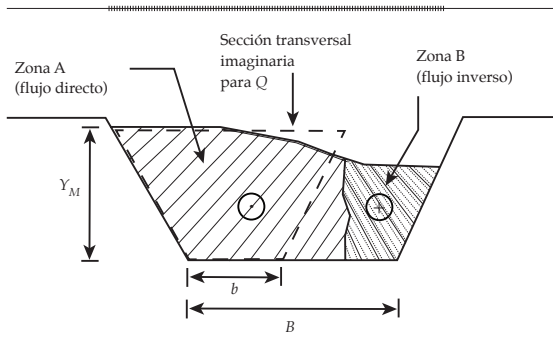


Figura 5. Sección transversal hipotética donde ocurre el tirante máximo.

gasto Q , en la sección con Y_M ocurre a través de una sección trapecial con ancho "efectivo" b . Con esta suposición, la ecuación (1) se reduce a:

$$M = \frac{bY^2}{2} + \frac{fbY^2}{3} \quad (2)$$

En esta aproximación, el último término de la ecuación (1) puede despreciarse, ya que el régimen es subcrítico en el sitio de la máxima sobre-elevación y su valor es pequeño en

comparación con los otros. En la ecuación (2) se supone que $kY = fb$, esto es, el producto kY es proporcional a b , a través de un factor f , obtenido como:

$$f = \frac{kY}{b} \quad (3)$$

esta propuesta y el despreciar el tercer término de la ecuación (1) se justifican con los resultados experimentales mostrados en las figuras 7, 8 y 9. Nótese que la dispersión de los resultados (figuras 7 y 9) obedece precisamente a estas suposiciones, que por otra parte se juzgan aceptables. Especialmente la ecuación (1) fue planteada para saltos normales ("no oblicuos"), por lo que su empleo en este trabajo es sólo una aproximación para establecer la sección trapecial hipotética con ancho "efectivo" b .

La derivada de M con respecto de b es:

$$\frac{dM}{db} = \frac{Y^2}{2} + \frac{f^*Y^2}{3} \quad (4)$$

Multiplicando la ecuación (4) por b y substituyendo en la ecuación (2), se obtiene:

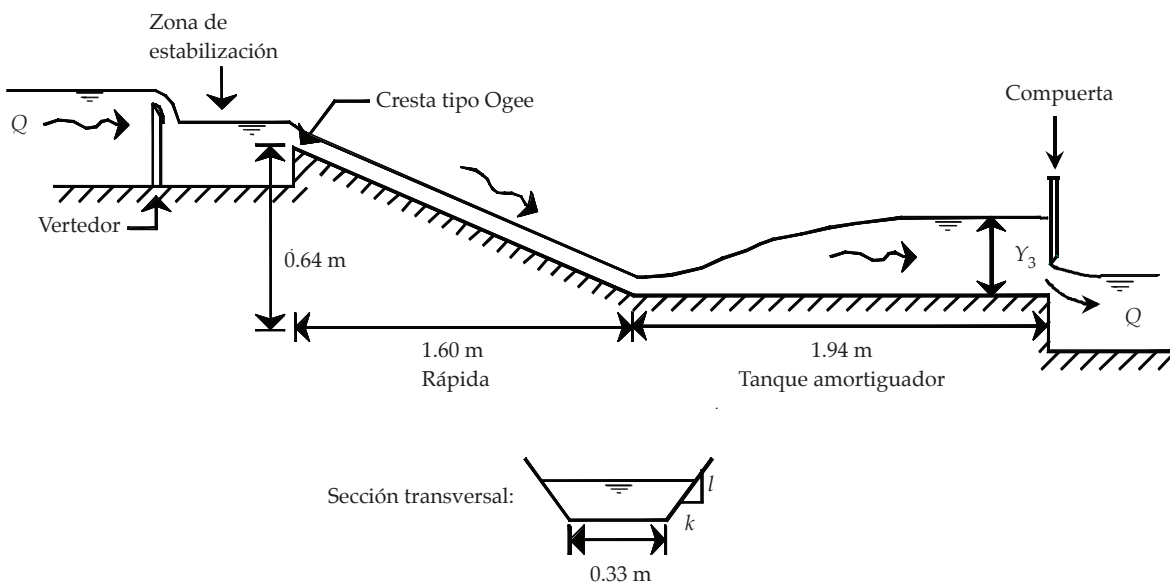


Figura 6. Características del dispositivo experimental.

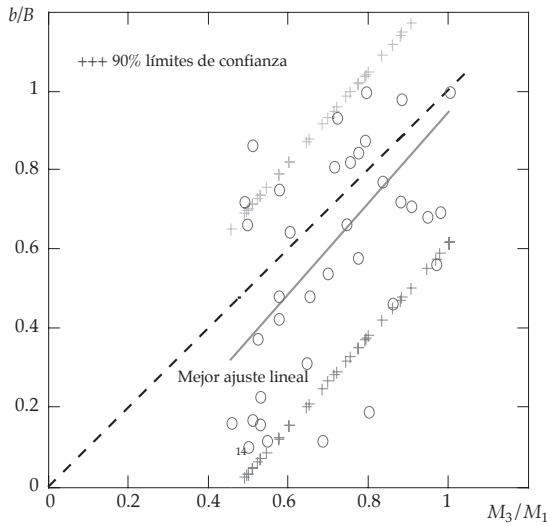


Figura 7. Relación entre b/B y M_3/M_1 .

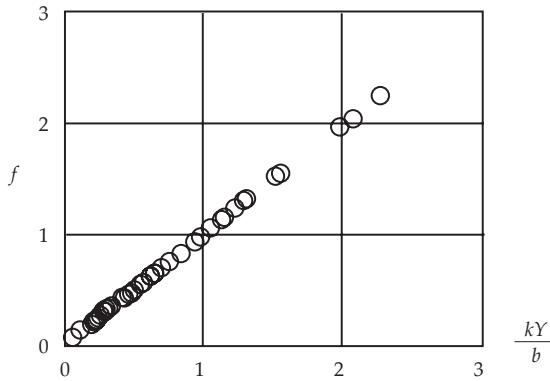


Figura 8. Relación entre f y (kY/b) .

$$\frac{dM}{db} = \frac{M}{b} \quad (5)$$

Integrando la ecuación (5), se obtiene que:

$$\ln(M) = \ln(b) + \text{const} \quad (6)$$

considerando que M_1 y B son valores de referencia; la constante se puede evaluar como:

$$\text{const} = \ln(M_1) - \ln(B) \quad (7)$$

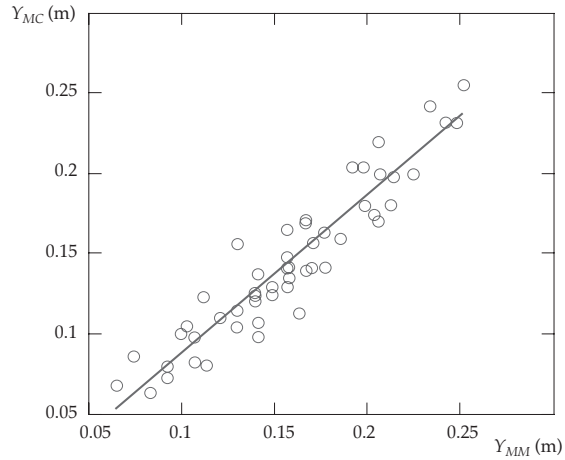


Figura 9. Comparación entre tirantes máximos medidos (Y_{MM}) y calculados (Y_{MC}).

reemplazando el valor de la constante (7) en la ecuación (6) se obtiene:

$$\ln\left(\frac{M}{M_1}\right) = \ln\left(\frac{b}{B}\right) \quad (8)$$

Simplificando y considerando que b depende de M_3 (el momentum para Y_3 que es el tirante en la salida), se puede establecer:

$$\frac{b}{B} = \frac{M_3}{M_1} \quad (9)$$

Para comprobar la validez de esta aproximación teórica, se empleó un conjunto de datos experimentales realizados en un dispositivo físico para comprobar la igualdad (9).

Investigación experimental

El dispositivo experimental consiste de un vertedor de cresta delgada que descarga en una rápida y luego a un tanque amortiguador de sección transversal trapecial hechos de concreto bien pulido. El tirante aguas abajo

se controla con una compuerta vertical (figura 6). Se realizaron 54 pruebas variando gasto, talud, ancho del fondo y tirante aguas abajo. En cada prueba se midieron el tirante máximo (Y_{MM}), el tirante aguas abajo (Y_3) y el gasto (Q). Los tirantes y gastos se midieron con una precisión de ± 5 mm y ± 0.1 l/s, respectivamente, usando limnómetros y un

vertedor triangular. El tirante a la salida se fijaba con la compuerta ubicada aguas abajo (ver figura 6) y con ello se podía formar (o no) el salto oblicuo. En las figuras 1 y 2 se muestran dos fotos de los ensayos típicos realizados. En el cuadro del apéndice se muestran los datos experimentales empleados en la comprobación de la ecuación (9).

Cuadro 1. Datos y resultados experimentales.

Ensayo	B (m)	k	Q (m ³ /s)	Y_1 (m)	Fr_1	Y_2 (m)	Fr_2	Y_3 (m)	Fr_3	Y_{MM} (m)	Y_{MC} (m)
1	0.330	1.0	0.0040	0.00614	7.972	0.063	0.2231	0.040	0.454	0.113	0.098
2	0.330	1.0	0.0040	0.00614	7.972	0.063	0.2231	0.037	0.513	0.106	0.102
3	0.330	1.0	0.0040	0.00614	7.972	0.063	0.2231	0.080	0.150	0.092	0.080
4	0.330	1.0	0.0070	0.00859	8.392	0.090	0.2153	0.080	0.263	0.141	0.106
5	0.330	1.0	0.0070	0.00859	8.392	0.090	0.2153	0.060	0.419	0.163	0.134
6	0.330	1.0	0.0070	0.00859	8.392	0.090	0.2153	0.125	0.125	0.148	0.125
7	0.330	1.0	0.0103	0.01084	8.685	0.116	0.2097	0.080	0.388	0.177	0.164
8	0.330	1.0	0.0103	0.01084	8.685	0.116	0.2097	0.080	0.388	0.169	0.164
9	0.330	1.0	0.0103	0.01084	8.685	0.116	0.2097	0.141	0.150	0.156	0.141
10	0.330	1.0	0.0200	0.01615	9.192	0.175	0.1996	0.130	0.335	0.191	0.229
11	0.330	1.0	0.0200	0.01615	9.192	0.175	0.1996	0.140	0.295	0.213	0.219
12	0.330	1.0	0.0200	0.01615	9.192	0.175	0.1996	0.180	0.191	0.198	0.180
13	0.330	1.0	0.0250	0.01847	9.362	0.201	0.1961	0.150	0.328	0.247	0.257
14	0.330	1.0	0.0250	0.01847	9.362	0.201	0.1961	0.150	0.328	0.241	0.257
15	0.330	1.0	0.0250	0.01847	9.362	0.201	0.1961	0.170	0.264	0.205	0.238
16	0.330	0.5	0.0040	0.00617	7.951	0.064	0.2246	0.040	0.469	0.074	0.075
17	0.330	0.5	0.0040	0.00617	7.951	0.064	0.2246	0.060	0.251	0.065	0.066
18	0.330	0.5	0.0040	0.00617	7.951	0.064	0.2246	0.135	0.070	0.157	0.135
19	0.330	0.5	0.0070	0.00865	8.358	0.094	0.2180	0.080	0.281	0.102	0.100
20	0.330	0.5	0.0070	0.00865	8.358	0.094	0.2180	0.060	0.440	0.111	0.108
21	0.330	0.5	0.0070	0.00865	8.358	0.094	0.2180	0.125	0.139	0.139	0.125
22	0.330	0.5	0.0103	0.01094	8.640	0.122	0.2133	0.080	0.413	0.129	0.139
23	0.330	0.5	0.0103	0.01094	8.640	0.122	0.2133	0.115	0.233	0.139	0.124
24	0.330	0.5	0.0103	0.01094	8.640	0.122	0.2133	0.130	0.192	0.148	0.130
25	0.330	0.5	0.0150	0.01374	8.914	0.156	0.2087	0.135	0.263	0.166	0.164
26	0.330	0.5	0.0150	0.01374	8.914	0.156	0.2087	0.145	0.234	0.176	0.160
27	0.330	0.5	0.0150	0.01374	8.914	0.156	0.2087	0.160	0.200	0.185	0.160
28	0.330	0.5	0.0200	0.01637	9.120	0.187	0.2052	0.200	0.184	0.224	0.200
29	0.330	0.5	0.0200	0.01637	9.120	0.187	0.2052	0.170	0.241	0.206	0.194
30	0.330	0.5	0.0200	0.01637	9.120	0.187	0.2052	0.165	0.253	0.197	0.196

Cuadro 1 (continuación). Datos y resultados experimentales.

Ensayo	B (m)	k	Q (m ³ /s)	Y_1 (m)	Fr_1	Y_2 (m)	Fr_2	Y_3 (m)	Fr_3	Y_{MM} (m)	Y_{MC} (m)
31	0.330	0.5	0.0250	0.01876	9.278	0.216	0.2024	0.180	0.274	0.233	0.230
32	0.330	0.5	0.0250	0.01876	9.278	0.216	0.2024	0.163	0.323	0.251	0.236
33	0.330	0.5	0.0250	0.01876	9.278	0.216	0.2024	0.163	0.323	0.251	0.236
34	0.165	1.0	0.0040	0.00932	8.351	0.091	0.2103	0.065	0.379	0.141	0.120
35	0.165	1.0	0.0040	0.00932	8.351	0.091	0.2103	0.080	0.265	0.106	0.105
36	0.165	1.0	0.0040	0.00932	8.351	0.091	0.2103	0.100	0.179	0.099	0.100
37	0.165	1.0	0.0070	0.01305	8.723	0.127	0.2012	0.090	0.378	0.156	0.162
38	0.165	1.0	0.0070	0.01305	8.723	0.127	0.2012	0.110	0.264	0.141	0.146
39	0.165	1.0	0.0070	0.01305	8.723	0.127	0.2012	0.130	0.194	0.156	0.130
40	0.165	1.0	0.0100	0.01616	8.954	0.157	0.1954	0.130	0.277	0.205	0.182
41	0.165	1.0	0.0100	0.01616	8.954	0.157	0.1954	0.140	0.241	0.156	0.174
42	0.165	1.0	0.0100	0.01616	8.954	0.157	0.1954	0.155	0.199	0.170	0.158
43	0.165	0.5	0.0020	0.00621	7.833	0.062	0.2255	0.115	0.083	0.129	0.115
44	0.165	0.5	0.0020	0.00621	7.833	0.062	0.2255	0.064	0.216	0.083	0.064
45	0.165	0.5	0.0020	0.00621	7.833	0.062	0.2255	0.048	0.341	0.092	0.068
46	0.165	0.5	0.0040	0.00947	8.274	0.098	0.2166	0.120	0.154	0.139	0.120
47	0.165	0.5	0.0040	0.00947	8.274	0.098	0.2166	0.105	0.192	0.129	0.105
48	0.165	0.5	0.0040	0.00947	8.274	0.098	0.2166	0.080	0.301	0.120	0.104
49	0.165	0.5	0.0070	0.01334	8.610	0.139	0.2093	0.170	0.148	0.166	0.170
50	0.165	0.5	0.0070	0.01334	8.610	0.139	0.2093	0.140	0.207	0.166	0.140
51	0.165	0.5	0.0070	0.01334	8.610	0.139	0.2093	0.135	0.220	0.157	0.140
52	0.165	0.5	0.0100	0.01661	8.807	0.173	0.2047	0.175	0.200	0.203	0.175
53	0.165	0.5	0.0100	0.01661	8.807	0.173	0.2047	0.170	0.211	0.203	0.174
54	0.165	0.5	0.0100	0.01661	8.807	0.173	0.2047	0.160	0.235	0.212	0.177

El ancho de la sección ficticia b se calculó de los resultados experimentales usando la ecuación (1) con $M = M_1$, $B = b$, $Y = Y_{MM}$ y los valores correspondientes de Q y k . Las relaciones entre b/B y M_3/M_1 se calcularon con la ecuación (9) y se presentan en la figura 7, donde se ha incluido la pendiente de la recta de la regresión lineal que es de 1.15, con un coeficiente de correlación de 0.743 y el intervalo de confianza del 90%. Si bien el coeficiente de correlación no es alto, se puede observar que solamente cuatro puntos, menos del 10%, están fuera de los límites de confianza. Tomando en cuenta que es difícil medir los tirantes dentro de un tanque amortiguador, debido a la gran

fluctuación del nivel del agua, se considera que los resultados obtenidos son satisfactorios y, en consecuencia, la ecuación (9) se considera aceptable.

Por supuesto, en la medida en que se disponga de mejores equipos para la medición de los fenómenos de turbulencia podrán mejorarse las suposiciones del ancho " b " y las condiciones de frontera de la sección transversal propuesta en la aproximación teórica. Esto, evidentemente, se reflejará en una mejor correspondencia entre los valores medidos y calculados. Por ahora se considera que con los métodos de medición empleados, la aproximación en los resultados obtenidos es satisfactoria.

Para comprobar la hipótesis propuesta para obtener la ecuación (3), se puede emplear la ecuación (9), despejando el valor de b y obtener la ecuación siguiente:

$$b = B \frac{M_3}{M_1} \quad (10)$$

Con los datos experimentales y empleando la ecuación anterior, se pueden calcular los valores de b y luego con la ecuación (3) se pueden calcular los valores de f . Con ello se obtiene la gráfica de la figura 8, donde se demuestra que es cierta la hipótesis planteada para proponer la ecuación (3).

Procedimiento para calcular el tirante máximo (Y_M)

1. Empleando la ecuación (1) se calcula el momentum (M_1) en la sección de entrada, aguas arriba del tanque, usando k , Y_1 y B .
2. Calcular el tirante subcrítico, resolviendo la ecuación (1) para Y_2 . Se cumple $M_2 = M_1$.
3. Calcular el momentum en la salida (M_3), usando k , Y_3 y B ; nótese que Y_3 es el tirante esperado en la salida del tanque (es un dato) y es fundamental para que se presente (o no) el salto oblicuo. En la práctica, este nivel puede ser el de un río, de tal manera que si éste es menor que el esperado (calculado), entonces se puede presentar el salto oblicuo.
4. Comparar M_3 con M_1 . Si $M_3 < M_1$, ocurrirá el salto hidráulico y entonces es necesario calcular el ancho "efectivo" del fondo b usando la ecuación (10); en caso contrario, si $M_3 \geq M_1$, el salto oblicuo no ocurre, es ahogado y entonces el tirante máximo es $Y_{MC} = Y_3$.
5. Resolviendo la ecuación (1), calcular el tirante máximo (Y_M) usando k , M_1 y b .

El procedimiento anterior fue empleado para calcular el tirante máximo (Y_M) para cada prueba. La comparación entre los valores

medidos y calculados se muestra en la figura 9. La línea de regresión para el conjunto de datos experimentales y calculados (Y_{MC} vs. Y_{MM}) tiene pendiente de 0.998, ordenada al origen igual a -0.011 y coeficiente de correlación de 0.943, este resultado se considera como una buena representación del fenómeno considerado.

Ejemplo numérico

Un tanque amortiguador de sección trapecial, con ancho de fondo de $B = 40$ m, $k = 1$ y gasto de $Q = 1\,000$ m³/s, está diseñado para un tirante a la salida de $Y_D = 9.5$ m. Si el tirante aguas abajo pudiera ser un 20% más pequeño (p.e., sería la variación esperada en el nivel del río), calcular el tirante máximo esperado (Y_{MC}) correspondiente a $Y_3 = 0.8$ (Y_D) = 7.6 m (nivel esperado en la salida (dato)). El tirante a la entrada del tanque para el flujo supercrítico es $Y_1 = 1.08$ m.

Siguiendo el procedimiento propuesto se obtiene:

Paso 1. Calcular el momentum de entrada:

$$M_1 = \frac{40 \cdot 1.08^2}{2} + \frac{1 \cdot 1.08^3}{3} + \frac{1\,000^2}{9.81 \cdot (40 \cdot 1.08 + 1 \cdot 1.08^2)}$$

$$M_1 = 2\,313 \text{ m}^3$$

Paso 2. Calcular el conjugado mayor resolviendo la siguiente ecuación para Y_2 :

$$M_1 = \frac{40 \cdot Y_2^2}{2} + \frac{1 \cdot Y_2^3}{3} + \frac{1\,000^2}{9.81 \cdot (40 \cdot Y_2 + 1 \cdot Y_2^2)}$$

$$Y_2 = 9.51 \text{ m}$$

En este caso, el tirante conjugado mayor es igual al tirante de diseño (Y_D).

Paso 3. Calcular el momentum a la salida del tanque (M_3):

$$M_3 = \frac{40 \cdot 7.6^2}{2} + \frac{1 \cdot 7.6^3}{3} + \frac{1\,000^2}{9.81 \cdot (40 \cdot 7.6 + 1 \cdot 7.6^2)}$$

$$M_3 = 1\,583 \text{ m}^3$$

Paso 4. Debido a que $M_3 < M_1$ ocurre el salto hidráulico oblicuo, entonces es necesario calcular el ancho “efectivo” con ancho b haciendo:

$$b = 40 \left[\frac{1\,583}{2\,313} \right] = 27.38 \text{ m}$$

Paso 5. Calcular el tirante máximo (Y_{MC}), resolviendo la siguiente ecuación:

$$M_1 = \frac{27.38 \cdot Y_{MC}^2}{2} + \frac{1 \cdot Y_{MC}^3}{3} + \frac{1\,000^2}{9.81 \cdot (27.38 \cdot Y_{MC} + 1 \cdot Y_{MC}^2)}$$

$$Y_{MC} = 10.93 \text{ m}$$

Se puede observar que el tirante máximo ($Y_{MC} = 10.93 \text{ m}$) es 15% más grande que el de diseño ($Y_D = 9.5 \text{ m}$). El agua podría rebasar el bordo libre dejado en la pared del canal y por tanto puede ser insuficiente.

Nota: la simplificación realizada al eliminar el tercer término de la ecuación (1) en la “aproximación teórica” sólo se realizó para establecer la sección trapecial “ficticia” con ancho “efectivo” b . Obsérvese que en todos los cálculos realizados se emplea completa la ecuación (1), es decir, con sus tres términos, por lo que no hay menoscabo de su aproximación.

Conclusiones

Los procedimientos tradicionales para calcular el salto hidráulico en canales trapeciales no permiten detectar el fenómeno del salto oblicuo. Aquí se presenta una aproximación a su explicación y cuantificación. Este fenómeno se presenta aun si no se espera una disminución importante del nivel del

agua a la salida. El flujo asimétrico dentro de un tanque amortiguador no sólo ofrecerá una sensación de inseguridad, sino también podría estar sujeto a derrames. Se desarrolló una aproximación teórica para explicar y calcular el tirante máximo que puede presentarse en uno de los lados de un tanque amortiguador de sección trapecial. Si bien los valores calculados concuerdan con los medidos en el dispositivo experimental, y por lo tanto es posible extrapolarlos a prototipos, es conveniente realizar mediciones con equipo de laboratorio más preciso, a fin de obtener una mejor explicación del fenómeno observado.

Simbología

- B = ancho de la sección trapecial (m).
- b = ancho efectivo del fondo para el cálculo del tirante máximo (Y_{MC}) (m).
- Fr_i = número de Froude para el tirante Y_i (adimensional).
- g = aceleración de la gravedad (m/s^2).
- k = talud de la sección trapecial (adimensional).
- M = momentum (m^3).
- M_i = momentum para el tirante Y_i (m^3).
- Q = gasto (m^3/s).
- Q_D = gasto directo (m^3/s).
- Q_R^- = gasto inverso (de aguas abajo hacia aguas arriba) (m^3/s).
- Q_R^+ = gasto inverso (de aguas arriba hacia aguas abajo) (m^3/s).
- Y = tirante en el tanque amortiguador (m).
- Y_{MC} = tirante máximo calculado en el tanque amortiguador (m).
- Y_{MM} = tirante máximo medido en el tanque amortiguador (m).
- Y_i = tirante del flujo (m).
- Si $i = 1$ = tirante conjugado menor que corresponde al flujo supercrítico; $i = 2$, tirante conjugado mayor que corresponde al flujo subcrítico; $i = 3$, tirante a la salida.

Recibido: 05/03/09

Aprobado: 06/10/10

Referencias

- AFZAL, N. and BUSHRA, A. Structure of the turbulent hydraulic jump in a trapezoidal channel. *Journal of Hydraulic Research. IAHR*, Vol. 40, No. 2, 2002, pp. 205-214.
- DISKIN, M. H. Hydraulic jump in trapezoidal channels. *Water Power*. Vol. 13, No. 1, 1961, pp. 12-17.
- HAGER, W.H. and WANOSCHEK, R. Hydraulic jump in triangular channel. *Journal of Hydraulic Research*. Vol. 25, No. 5, 1987, pp. 549-564.
- JAMIL, M. and KHAN, S.A. Theoretical Study of Hydraulic Jump in Trapezoidal Channel Section. *IE (I) Journal-CV*. Vol. 89, 2008, pp. 28-32.
- MASSEY, B.S. Hydraulic jump in trapezoidal channel an improved method. *Water Power*. Vol. 13, No. 6, 1961, pp. 232-33 y 37.
- MOHED, H.M. and SHARP, J.J. The hydraulic jump in trapezoidal channels. *Water and Water Engineering*. Vol. 75, No. 899, 1971, pp. 8-11.
- MUCIÑO, P.J.J. *Flujo asimétrico en tanques amortiguadores de sección trapecial*. Tesis de maestría. México, D.F.: DEPFI, UNAM, 1998.
- OHTSU, I. and YASUDA, Y. Discussion to [Hager y Wanoschek, 1987]. *Journal of Hydraulic Research*. Vol. 27, No. 1, 1989, pp. 178-188.
- SANDOVER, J.A. and HOLMES, P. The hydraulic jump in trapezoidal channels. *Water Power*. Vol. 14, No. 11, 1962, pp. 445-449.
- WANOSCHEK, R. and HAGER, W.H. Hydraulic jump in trapezoidal channel. *Journal of Hydraulic Research*. Vol. 27, No. 3, 1989, pp. 429-446.

Abstract

GRACIA-SÁNCHEZ, J., FRANCO, V. & FUENTES-MARILES, O.A. *Oblique hydraulic jump in stilling basins with a trapezoidal cross section*. Water Technology and Sciences, formerly Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. II, No. 2, April-June, 2011, pp. 39-49.

A hydraulic device was built to analyze the oblique hydraulic jump in stilling basins with a trapezoidal cross-section. From the experiments performed, it is concluded that if asymmetric flow occurs, then it induces a reversal flow which causes a maximum water depth in one of the sides, remarkably higher than those that usually occur in the stilling basin. This paper proposes a theoretical approach to explain the observed phenomenon and a calculation method to determine the maximum depth. The measured and computed maximum depths agree well.

Keywords: oblique hydraulic jumps, stilling basin, transversal trapezoidal cross section, asymmetric flow.

Dirección institucional de los autores

Dr. Jesús Gracia-Sánchez

Dr. Víctor Franco

Dr. Óscar A. Fuentes-Mariles

Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Ingeniería
Ciudad Universitaria
Apartado Postal 70-472
04510 Coyoacán, México, D.F., MÉXICO
Teléfono: +52 (55) 5623 3600, extensión 8630
jgs@pumas.iingen.unam.mx
vfr@pumas.iingen.unam.mx
ofm@pumas.iingen.unam.mx