

Caracterización de presiones en cuencos de disipación de aliviaderos de vertido libre

Characterization of pressures in plunge pools in free discharge spillways

(Recepción 31/01/2018; Aceptación 09/05/2018)

Marco F.¹; Castillo L.G.¹

¹Departamento de Ingeniería Civil
 Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)
 Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena, España
 Teléfono: 868071014
 Email: francisca.marco@upct.es

Resumen. El flujo en lámina libre constituye uno de los métodos de disipación de energía más utilizados en el sobrevuerto de presas. Este artículo presenta la caracterización de las acciones hidrodinámicas que se originan en presas de fábrica cuando se produce un vertido libre por coronación. Supone una actualización de los coeficientes de presión dinámica media, así como un análisis de la distribución de presiones alrededor del punto de estancamiento de las Tesis Doctorales de Castillo (1989), Puertas (1994) y Carrillo (2014), complementándose con 111 ensayos realizados en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

Palabras clave. Caracterización de presiones; cuenco de amortiguación; energía de disipación; sobrevuerto.

Abstract. Nappe flow constitutes one of the energy dissipation methods used in the overtopping of dams. This paper presents the characterization of the hydrodynamic actions that occur in concrete dams when it makes a free discharge by crest. It is an update of the coefficients of mean dynamic pressures, as well as an analysis of the distribution of pressures around the stagnation point from the doctoral thesis of Castillo (1989), Puertas (1994) and Carrillo (2014), which are complemented by 111 tests carried out in the Hydraulic Laboratory of the Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

Keywords. Energy dissipation; overtopping; plunge pool; pressure characterization.

1. Introducción

Los chorros rectangulares constituyen una de las formas de desbordamiento más habitual en presas de fábrica. Por esta razón es posible la presencia de problemas de erosión potencial y socavación a pie de presa.

La elección del tipo de cuenco amortiguador a menudo suele ser una decisión técnico-económica.

Un adecuado diseño de la profundidad del cuenco, se basa en la determinación de la magnitud y frecuencia de la presión dinámica en el fondo del mismo en función de las características del chorro incidente (Castillo *et al.*, 2014).

En la literatura técnica existen diferentes formulaciones empíricas que caracterizan las presiones en los cuencos de disipación (Ervine *et al.*, 1997, Bollaert and Schleiss, 2003, Castillo *et al.*, 2014). Todas ellas se basan en estudios de modelos a escala en laboratorio dada la complejidad de instalar instrumentación en prototipos.

2. Caracterización del fenómeno

La disipación de energía en el vertido por coronación de presas de fábrica se puede dividir en cuatro fases que son: disgregación del chorro en el vuelo

(aireación más atomización), arrastre de aire cuando el chorro entra en el cuenco, difusión en el cuenco y finalmente impacto con la base del cuenco de disipación (Castillo *et al.*, 2014).

De cara al diseño, se definen las condiciones iniciales e incidentes (Fig. 1).

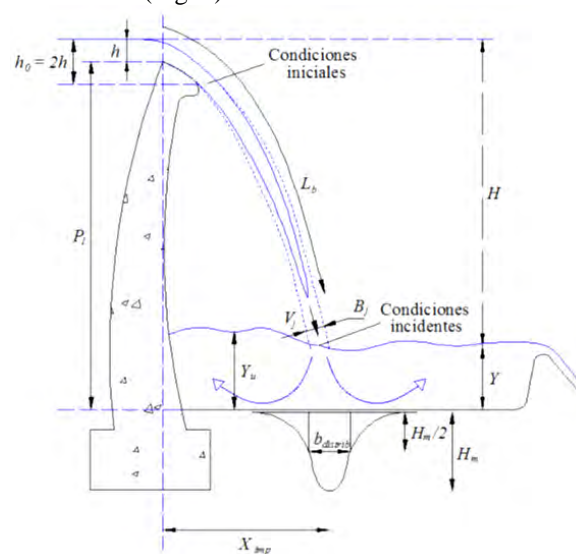


Figura 1. Esquema de aliviadero de vertido libre de presas bóveda (Carrillo, 2014, adaptado de Castillo, 1989).

Las condiciones iniciales se sitúan en la sección del chorro con altura $z = -h$, aguas abajo de la estructura de vertedero, siendo z la coordenada vertical con origen en la cresta de vertido y h la carga sobre vertedero. Dichas condiciones se definen mediante el valor de la velocidad media $V_i = \sqrt{2gh_0}$, siendo h_0 el doble de la altura de energía h .

Las condiciones incidentes se localizan en la sección del chorro justo antes del impacto con la superficie del agua en el cuenco de disipación, y vienen definidas por la velocidad media V_j y el ancho del chorro en el impacto $B_j = B_g + 2\xi$, siendo $B_g = \frac{q}{\sqrt{2gH}}$ el ancho por condiciones gravitatorias y $\xi = 4\varphi\sqrt{h}(\sqrt{2H} - 2\sqrt{h})$ la distancia lateral de difusión del chorro por efectos de aireación y turbulencia. Donde q es el caudal específico y $\varphi = K_\varphi T_u$, siendo T_u la intensidad de turbulencia (0.012 para presas arco y 0.013 para presas de gravedad) y K_φ un parámetro experimental de valor 1.24 para el caso de chorros bifásicos y tridimensionales (Castillo *et al.*, 2014).

La longitud de rotura del chorro, L_b , es la distancia a partir de la cual el chorro se encuentra totalmente disgregado y formado por grandes gotas de agua que se van descomponiendo en gotas más pequeñas debido al rozamiento con el aire. Castillo *et al.* (2015) propusieron la siguiente ecuación $L_b = 0.85 \cdot \frac{B_i \cdot F_i^2}{(K_\varphi \cdot T_u \cdot F_i^2)^{0.82}}$ donde B_i y F_i son el espesor del chorro y el número de Froude en condiciones iniciales, respectivamente.

3. Infraestructura de laboratorio

Se ha utilizado una infraestructura diseñada específicamente para el estudio de chorros turbulentos y su difusión en el cuenco de disipación de energía (Fig. 2).



Figura 2. Infraestructura del laboratorio para el estudio de chorros turbulentos y bifásicos.

Se obtienen registros de presiones instantáneas con una frecuencia de muestreo de 20 Hz, adquiriendo un total de 7200 datos por ensayo, siendo cada ensayo repetido tres veces. Se han ensayado 9 caudales entre 15.5 y 124.5 l/s para una altura fija de 2.19 m con colchones de agua que varían entre el impacto directo y 0.90 m, registrándose un total de 111 configuraciones.

4. Análisis y discusión de resultados

Los resultados obtenidos en laboratorio se han comparado con las mediciones realizadas por Castillo (1989), Puertas (1994) y Carrillo (2014).

El coeficiente de presión dinámica media (C_p) mide la presión media alrededor del punto de estancamiento, y se define en función de la relación colchón de agua/espesor del chorro incidente (Y/B_j) y la relación altura de caída/longitud de rotura (H/L_b).

La desintegración de la parte compacta del chorro rectangular (zona de establecimiento del flujo) ocurre para un colchón aproximadamente de 5 veces el espesor del chorro incidente. Este límite permite identificar dos comportamientos claramente diferenciados (Fig. 3 y Fig. 4).

- Caso de colchón no efectivo ($Y \leq 5B_j$):

Para este caso se pueden considerar dos situaciones:

Si $H/L_b < 0.85$:

$$C_p = 1 - 0.0037e^{5.2484\left(\frac{H}{L_b}\right)} \quad (1)$$

Si $H/L_b \geq 0.85$:

$$C_p = 0.456\left(\frac{H}{L_b}\right)^{-2.393} \quad (2)$$

La energía disipada ED (Fig. 3) es debida al proceso de aireación que sufre el chorro durante su caída, y al efecto del calado de agua que se genera aguas arriba del punto de incidencia del chorro. La curva de energía disipada se obtiene como la diferencia entre la unidad y el valor correspondiente de C_p .

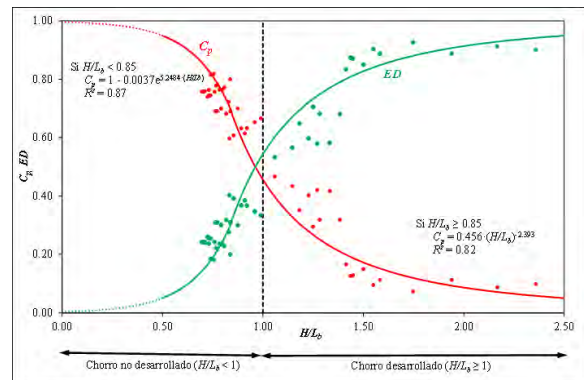


Figura 3. Coeficientes de presión dinámica media en la solera del cuenco de disipación para el caso del colchón no efectivo $Y \leq 5B_j$.

- Caso de colchón efectivo ($Y > 5B_j$):

Se han considerado ocho familias de curvas agrupadas en función de sus relaciones H/L_b y que cumple la siguiente relación:

$$C_p = \frac{H_m - Y}{\frac{V_j^2}{2 \cdot g}} = ae^{-b\left(\frac{Y}{B_j}\right)} \quad (3)$$

Donde H_m es el valor medio del registro de presión. Los parámetros a y b y sus respectivos coeficientes

de correlación R^2 se obtienen de las siguientes leyes exponenciales (Fig. 4).

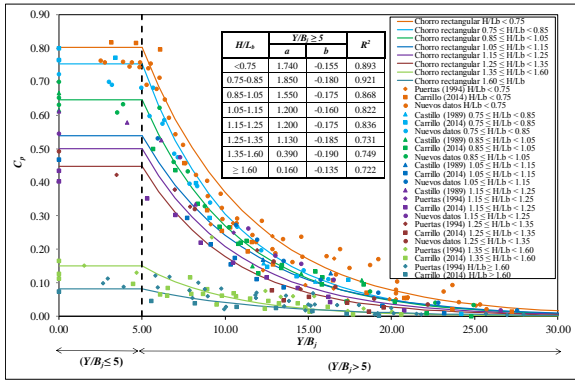


Figura 4. Coeficientes de presión dinámica media para todos los rangos establecidos.

La mayor parte de los datos medidos en esta campaña se encuentran en el entorno $H/L_b < 0.75$, por lo que se tiene una gran cantidad de datos que no alcanzan la longitud de desintegración.

Para el estudio de la distribución de presiones en el entorno del punto de estancamiento, Ervine *et al.* (1997) consideraron que la variación del coeficiente de presión dinámica media en la dirección longitudinal $C_p(x)$ puede ser obtenida con la siguiente expresión general:

$$\frac{C_p(x)}{C_p} = e^{-K_2 \left(\frac{x}{Y}\right)^2} \quad (4)$$

donde x es la distancia horizontal al punto de estancamiento, Y el colchón de agua en el cuenco y K_2 un parámetro de ajuste que varía entre 30 para calados poco profundos ($Y/B_j \leq 4$) y 50 para grandes colchones, según Ervine *et al.* (1997).

Al realizar dicha distribución (Fig. 5) se observa que la distribución de Ervine *et al.* (1997) (válida para chorros circulares y para $H/L_b \leq 0.5$) concuerda con los resultados obtenidos en laboratorio con chorros rectangulares poco aireados.

5. Conclusiones

Este trabajo es una actualización de estudios previos sobre las medidas de presiones en cuencos de disipación situados aguas abajo de un aliviadero de vertido libre. Los datos de las Tesis Doctorales de Castillo (1989), Puertas (1994) y Carrillo (2014) se complementaron con nuevos ensayos de laboratorio.

Las 475 configuraciones totales abarcan un rango de $0.42 \leq H/L_b \leq 3.06$ para el estudio de presión en el punto de estancamiento, permitiendo obtener 8 familias que describen el comportamiento de C_p . Para la distribución de presiones en el entorno del punto de estancamiento se han obtenido resultados que concuerdan con los datos bien documentados de chorros circulares poco aireados ($H/L_b \leq 0.50$).

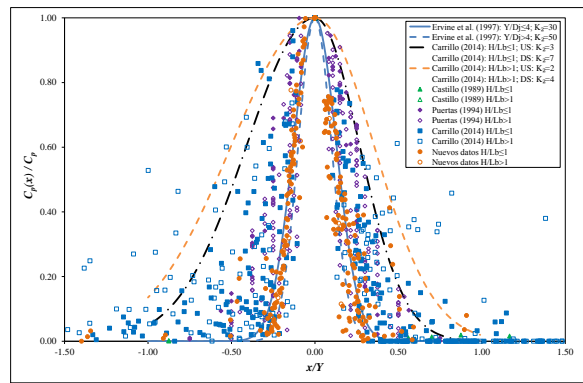


Figura 5. Distribución de presiones dinámicas medias alrededor del punto de estancamiento.

Para mejorar el diseño de estructuras de disipación de energía en presas de fábrica es necesario avanzar en el conocimiento y caracterización de las acciones hidrodinámicas. Será preciso incluir medidas de velocidades y de aireación en el chorro y en el cuenco de disipación.

Finalmente recordar la existencia de efectos de escala. Sin embargo, estos efectos están del lado de la seguridad y no son relevantes hasta una escala de Froude de 1:10.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte por la ayuda financiera recibida de la beca de Formación de Profesorado Universitario (FPU), número de referencia FPU16/05658.

Referencias

Bollaert, E. F., & Schleiss, A. (2003). "Scour of rock due to the impact of plunging high velocity jets. Part 1: A state-of-the-art review". *Journal of Hydraulic Research*, 41(5), 451-464.

Carrillo, J.M. (2014). "Metodología numérica y experimental para el diseño de los cuencos de disipación en el sobrevertido de presas de fábrica." *PhD Thesis*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, España.

Castillo, L. G. (1989). "Metodología experimental y numérica para la caracterización del campo de presiones en los disipadores de energía hidráulica. Aplicación al vertido libre en presas bóveda". *PhD Thesis*. Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Castillo, L. G., Carrillo, J. M., & Blázquez, A. (2014). "Plunge pool mean dynamic pressures: a temporal analysis in nappe flow case". *Journal of Hydraulic Research*, 53(1), 101-118.

Ervine, D.A., Falvey, H.T. and Withers, W.A. (1997). "Pressure fluctuations on plunge pool floors". *Journal of Hydraulic Research*. 35(2), 257-279.

Puertas, J. (1994). "Criterios hidráulicos para el diseño de cuencos de disipación de energía en presas bóveda con vertido libre por coronación". *PhD Thesis*. Universidad Politécnica de Cataluña, España.