

# CÁLCULO DE LA ALTURA DEL VERTEDERO DE UN DIQUE DE CORRECCIÓN TORRENCIAL, EN CASO DE ESTRECHAMIENTO SÚBITO DEL PERFIL TRANSVERSAL

**Ignacio Pérez-Soba del Corral**

Doctor Ingeniero de Montes. Servicio Provincial de Medio Ambiente de Zaragoza del Gobierno de Aragón. Edificio Pignatelli. Paseo de María Agustín 36. 50071-ZARAGOZA (España)

## Resumen

En la bibliografía clásica sobre cálculo de diques de corrección de ramblas y torrentes, para el cálculo de las dimensiones del vertedero se adoptan dos hipótesis: 1º) que el régimen de las aguas que discurren por él sigue un régimen lento, lo cual implica que el calado será el crítico; y 2º) que existe una continuidad entre el cauce y el vertedero que hace asimilable el vertedero a un canal con un escalón sumergido. Ambas hipótesis permiten el uso de la conocida fórmula  $h = Y_{cr} = (q_o^2 / g)^{1/3}$ . Esta comunicación discute la bondad de estas hipótesis, y concluye que, si bien la primera puede aceptarse con carácter general, la segunda no es aceptable en casos en los que el vertedero no ocupe más que una parte muy reducida de la anchura del aterramiento aguas arriba del dique, y en los que exista una diferencia muy marcada entre el caudal generador del lecho y el de cálculo del vertedero. En esos casos es previsible que se produzca un incremento del calado tanto aguas arriba como en el umbral del vertedero que cause que el dimensionamiento mediante las fórmulas habituales resulte insuficiente. La comunicación propone un método de cálculo de la altura del vertedero para estos casos.

Palabras clave: *Diques, Torrentes, Hidráulica, Métodos de cálculo, Desagüe, Hidrología forestal*

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En el diseño de diques transversales de corrección de cauces torrenciales, es frecuente el caso de que haya una marcada diferencia entre los caudales ordinarios y los extraordinarios. En este supuesto, dimensionar los vertederos sólo para los caudales extraordinarios conllevaría a menudo permitir el desagüe de las aguas sobre las laderas en las que se empotra el dique, lo que puede causar divagaciones del cauce aguas abajo, así como socavaciones laterales del dique.

Por ello, con frecuencia se adopta la decisión de que el vertedero o cubeta centre las aguas de

vertido sobre el cauce, para lo cual necesariamente debe ocupar sólo una parte muy reducida de la anchura del aterramiento aguas arriba. Se acude entonces al diseño de un vertedero de dos o más anchuras, de las cuales la menor es la que centraría los caudales ordinarios exclusivamente sobre el cauce. La Figura 1 presenta un ejemplo de este tipo de vertederos (PÉREZ-SOBA BARÓ, 1968).

En estos casos, para calcular la altura de desagüe debe tenerse en cuenta que es previsible una importante reducción en la sección de circulación de las aguas al pasar por el desagüe de la cubeta. El objetivo de esta comunicación es proponer una formulación para dimensionar los vertederos de

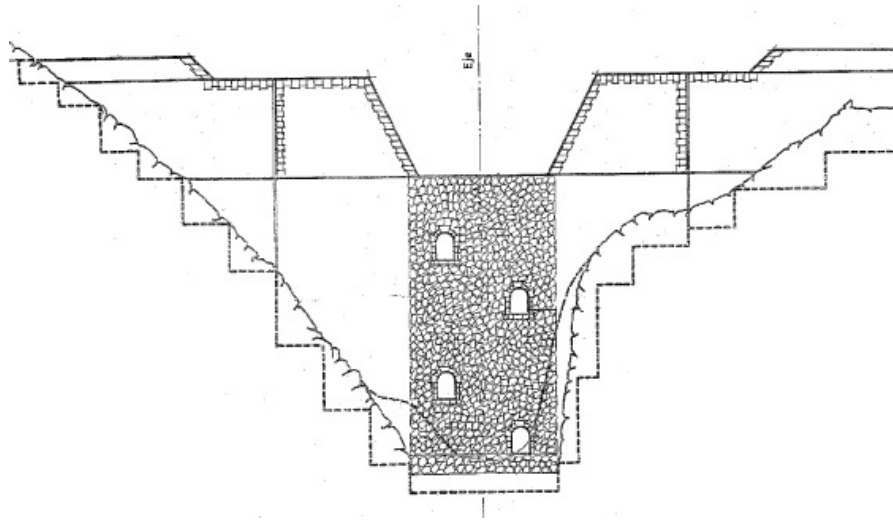


Figura 1. Vertedero de una anchura

los diques en el caso de que supongan un estrechamiento notable del cauce, mediante la aplicación de la ecuación de continuidad de Bernoulli, que permite superar, como luego se discutirá, las limitaciones que presenta en este supuesto particular la formulación habitualmente aceptada.

**RESULTADOS**

En la Figura 2 se expresan gráficamente los calados e intumescencias que se producen en el

caso de estrechamiento súbito de la sección transversal a causa de la presencia del vertedero de un dique transversal.

El calado aguas arriba del dique ( $Y_1$ ) se puede calcular aplicando la ecuación de continuidad de Bernoulli a las secciones anterior y posterior al vertedero, con tal de que despreciemos tanto el rozamiento como la diferencia de altura entre secciones, lo cual resulta aceptable dada la escasa distancia previsible del intradós al trasdós del dique. Por tanto,  $Y_1$  se puede hallar a partir de la siguiente expresión:

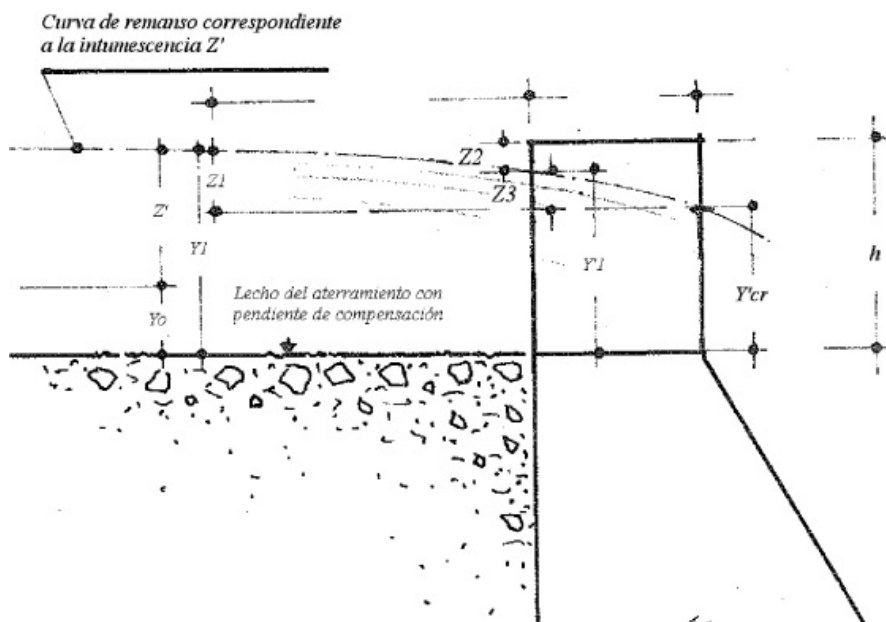


Figura 2. Efecto del estrechamiento súbito en un vertedero de un dique transversal

$$Y_1 + \alpha \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Y'_{cr} + \alpha \frac{V'_{cr}{}^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

En ella,  $Y_1$  es el calado buscado de las aguas en la sección de llegada,  $V_1$  la velocidad en esa sección para el caudal de cálculo  $Q$ ,  $Y'_{cr}$  el calado crítico del caudal  $Q$  en la sección de la cubeta,  $V'_{cr}$  la velocidad crítica correspondiente,  $g$  la aceleración de la gravedad y  $\alpha$  un coeficiente mayor que la unidad que expresa la pérdida de energía potencial que se produce por torbellinos creados a causa del cambio brusco de sección (un valor típico de  $\alpha$  es de 1,1; CHOW, 1982: 42-43). Si ahora designamos como  $b$  al ancho medio del cauce de llegada asimilado a una sección rectangular, entonces

$$Q = b \cdot Y_1 \cdot V_1 \Rightarrow V_1 = \frac{Q}{b \cdot Y_1} \quad (2)$$

Entrando con la equivalencia (2) en la expresión (1), se obtiene

$$Y_1 + \alpha \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b^2 \cdot Y_1^2} = Y'_{cr} + \alpha \frac{V'_{cr}{}^2}{2 \cdot g} \quad (3)$$

De la fórmula (3), por último, se deduce una ecuación de tercer grado, que nos permite ya el cálculo de  $Y_1$  en función de valores conocidos: caudal, ancho del cauce de llegada y calado y velocidad críticos en la cubeta:

$$Y_1^3 - (Y'_{cr} + \alpha \frac{V'_{cr}{}^2}{2 \cdot g}) Y_1^2 + \alpha \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b^2} = 0 \quad (4)$$

El cálculo del valor de  $Y_1$  nos permite saber de modo inmediato el valor de la intumescencia total  $Z_1$  (que es igual a la diferencia de los calados  $Y_1$  y  $Y'_{cr}$ ).

Ahora bien, según CHOW (1982: 348), las intumescencias causadas por un obstáculo se dividen en dos: una que avanza por el cauce y otra que retrocede sobre el obstáculo. En nuestro caso,  $Z_1$  es igual a la suma de la intumescencia sobre el cauce ( $Z_2$ ) y sobre el vertedero ( $Z_3$ ), según la Figura 2. Por tanto, el calado  $Y'_{cr}$ , que corresponde a la sección anterior del vertedero, se deducirá incrementando  $Y'_{cr}$  en la altura correspondiente a la intumescencia  $Z_3$  en valor absoluto (ya que  $Z_3$  tiene signo negativo puesto que retrocede), y será siempre menor que el valor de  $Y_1$  que acabamos de calcular. Por tanto, parece que podría proyectarse la cubeta con una

altura  $h = Y'_{cr}$ , la cual daría seguridad para la avenida de cálculo y además máxima economía constructiva. No es así, sin embargo, como luego se explicará, pero primero expondremos el cálculo de las dos intumescencias ( $Z_2$  y  $Z_3$ ), aun cuando sólo sea para describir correctamente el fenómeno hidráulico que se produce.

Para el cálculo de  $Z_2$  y  $Z_3$ , se parte de su proporcionalidad con los valores de los anchos medios respectivos de la cubeta ( $b'$ ) y el cauce de llegada ( $b$ ), del modo siguiente:

$$Z_2 = 2 \frac{b'}{b + b'} Z_1 \quad (5)$$

$$Z_3 = \frac{b' - b}{b + b'} Z_1 \quad (6)$$

Luego el valor de  $Y'_{cr}$  que buscamos será (cambiando ya el signo de  $Z_3$  para usar su valor absoluto):

$$Y'_{cr} = \frac{b - b'}{b + b'} (Y_1 - Y'_{cr}) + Y'_{cr} \quad (7)$$

En cuanto a la intumescencia  $Z_2$ , como refleja la Figura 2, continuará propagándose hacia aguas arriba en forma de resalto hasta que las aguas alcancen el calado  $Y_1$ . A partir de ese punto, la intumescencia  $Z' = Y_1 - Y_0$ , que es la que en definitiva produce la existencia de un aliviadero estrecho sobre el cauce del aterramiento, se prolonga hacia arriba en forma de remanso, en teoría indefinido.

## DISCUSIÓN

En la bibliografía de referencia para la construcción de diques de corrección de ramblas y torrentes (GARCÍA NÁJERA, RIPOLL Y JIMÉNEZ, 1959; GARCÍA NÁJERA, 1962; LÓPEZ CADENAS DE LLANO, 1965; MINTEGUI Y LÓPEZ UNZU, 1990; LÓPEZ CADENAS DE LLANO, 1998; JOVER Y VIDANIA, 2001) se admite de manera generalizada, para el cálculo de la altura de los vertederos en el caso de dique aterrado, dos convenciones: 1ª) El umbral del vertedero es asimilable a un escalón sobre el cual discurre un flujo que circula por un canal rectangular cuyas dimensiones son las de la sección rectangular equivalente a la de la cubeta. La única

diferencia que se establece para el cálculo es la forma de ese escalón, según sea recto o tenga perfil hidrodinámico.

2<sup>a</sup>) La corriente circula sobre el aterramiento con movimiento uniforme en régimen lento.

De acuerdo con la segunda de las hipótesis, las aguas circulan con el mínimo de energía, y el calado será el crítico correspondiente al caudal de cálculo de la sección rectangular a que se ha asimilado el vertedero. Como las aguas circulan en régimen lento por un cauce que se ha supuesto de la misma sección, el calado en régimen uniforme ( $Y_o$ ) será mayor que el crítico ( $Y_{cr}$ ), y por tanto el vertedero causará un descenso en el calado de la corriente. Por otra parte, como en régimen lento la celeridad de cualquier perturbación de la corriente es mayor que la velocidad de ésta, una intumescencia se propagará, cualquiera que sea su magnitud y por tanto la variación de calado que cause, hacia aguas arriba, de modo que en la cubeta el calado seguirá siendo el crítico, siendo las aguas de llegada las que regresivamente, en forma de resalto, disminuirán su calado. Por tanto, en la cubeta el calado se calculará, como indica la bibliografía de referencia, con la fórmula del calado crítico para un cauce rectangular, que, para un escalón recto y una cubeta rectangular (o trapezoidal de no mucha altura), adopta la consabida expresión  $Y_{cr} = (q_o^2 / g)^{1/3}$ .

Parece completamente justificada la adopción de la hipótesis del régimen lento del flujo sobre el aterramiento, puesto que es altamente improbable un régimen rápido. La pendiente de compensación que el caudal forma en el aterramiento es siempre menor que la pendiente crítica correspondiente, puesto que de otro modo no se daría el equilibrio dinámico que, precisamente, caracteriza a esta pendiente. Por tanto, no es de esperar, con carácter general, que se establezca un régimen rápido para la circulación de las aguas. Por otro lado, aun suponiendo que el régimen de la corriente fuera rápido, entonces sucede que  $Y_o < Y_{cr}$ , y por tanto el paso sobre el escalón debiera producir una elevación en el calado de la corriente, pero, a la vez, la intumescencia causada por la alteración que supone el dique ya no se transmite aguas arriba, sino que es arrastrada por la corriente. De este modo, la altura de la cubeta podría asimilarse al calado de la corriente en régimen rápido (que se establece-

ría por cualquiera de las fórmulas usuales) circulando por la sección rectangular equivalente a la del vertedero ( $h = Y_o$ ), y no al calado crítico. Pero incluso en este caso, usando  $h = Y_{cr}$ , como en el régimen lento, se quedaría dentro del lado de la seguridad, aunque fuera en detrimento de la pequeña economía que la obra admitiría.

Sin embargo, en el caso que nos ocupa, en el que el vertedero o cubeta supone un estrechamiento notable del cauce, sucede que aun con el encauzamiento ya conseguido en el aterramiento, el cauce de llegada de las aguas al dique no se asimilará a las dimensiones del vertedero más que para los caudales próximos al caudal generador del lecho. En cambio, para los caudales de avenida (que son los que evidentemente han de usarse para el dimensionamiento del vertedero), cuyo período de retorno es elevado, resulta difícil concebir que puedan tener una influencia tal sobre el lecho de los aterramientos que los perfiles transversales que se obtengan para éstos puedan asimilarse hidráulicamente a la cubeta de desagüe. En definitiva: no hay continuidad análoga a la de un canal de las secciones mojadas por el caudal de cálculo sobre el aterramiento en las proximidades del dique y en la cubeta de desagüe, y no puede considerarse válida, en consecuencia, la asimilación del fenómeno de desagüe por vertedero al de un canal sobre un escalón.

En efecto, en este caso, lo que pasa es que  $Y_o < Y_{cr}$ , y como al mismo tiempo se da un régimen lento de flujo, la intumescencia ya no se arrastra, como sucedería en el régimen rápido, sino que se propaga aguas arriba, incrementándose el calado en la sección de llegada (ya no en el vertedero), de modo que en ella se daría un calado  $Y_1 > Y_o$ , y por tanto en la sección aguas abajo (donde se produce el escalón) se dará un  $Y'_{cr}$  correspondiente al calado crítico del caudal de cálculo deducido para la sección real de la cubeta (véase la Figura 2).

Por otro lado, debemos discutir si nos resulta útil la distinción de CHOW (1982) acerca de la división de las intumescencias causadas por un obstáculo: es decir, si debe adoptarse como altura del vertedero ( $h$ ) la de  $Y_1$  o bien la de  $Y'_1$ . En nuestra opinión, no estaría segura la obra si se adopta la solución  $h = Y'_1$ , porque ese dimensionamiento partiría de la base de que la intumescencia  $Z_2$  se propaga íntegramente aguas arriba,

cuando parece obvio que ese incremento del calado necesariamente se propaga también lateralmente a lo largo del paramento aguas arriba del dique, de manera que la altura de cubeta  $h = Y'_1$  sería insuficiente para evitar el desbordamiento de las alas del vertedero, cuya altura máxima viene dada también por la de éste. Por tanto, la altura más conveniente para la cubeta en este caso sería  $h = Y_1$ , más conservadora, de cálculo más sencillo y que no conduce a un incremento excesivo del volumen de obra.

## CONCLUSIONES

Por tanto, se concluye que no resulta válida, en el caso de los vertederos de los diques que supongan un estrechamiento notable del cauce, la fórmula del calado crítico para un cauce rectangular propuesta habitualmente para el cálculo de la altura del vertedero. En cambio, resulta preferible usar el método propuesto en esta comunicación a partir de la ecuación de continuidad de Bernoulli, según el cual dicha altura sería  $h = Y_1$ , siendo  $Y_1$  la solución de la siguiente ecuación de tercer grado:

$$Y_1^3 - (Y'_{cr} + \alpha \frac{V'^2_{cr}}{2 \cdot g}) Y_1^2 + \alpha \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b^2} = 0$$

## BIBLIOGRAFÍA

CHOW, V.T.; 1982. *Hidráulica de los canales abiertos*. Editorial Diana. México.

GARCÍA NÁJERA, J.M.; 1962. *Principios de hidráulica torrencial. Su aplicación a la corrección de torrentes*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE). Madrid.

GARCÍA NÁJERA, J.M.; RIPOLL, D. Y JIMÉNEZ, A., 1959. Hidráulica torrencial. Cálculo de diques rectos de mampostería hidráulica. *Anales del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias* 4: 27-36.

JOVER FERNÁNDEZ DE BOBADILLA, F. Y VIDANIA MUÑOZ, V.; 2001. *Especificaciones técnicas básicas para proyectos de corrección hidrológico-forestal de cauces torrenciales mediante hidrotecnias*. Colegio de Ingenieros de Montes y TRAGSA. Madrid.

LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F.; 1965. *Diques para la corrección de cursos torrenciales y métodos de cálculo*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE), Madrid.

LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. (Dir.); 1998. *Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión*. Ministerio de Medio Ambiente, TRAGSA, TRAGASA-TEC y Mundi-Prensa. Madrid.

MINTEGUI AGUIRRE, J.A. Y LÓPEZ UNZU, F.; 1990. *La ordenación agrohidrológica en la planificación*. Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria.

PÉREZ-SOBA BARÓ, A.; 1968. *Proyecto de construcción del dique nº 1. Cabecera del Noguera Ribagorzana, TT.MM. de Vilaller (Lérida) y Bono (Huesca)*. Patrimonio Forestal del Estado. Inédito.