

EROSIÓN LOCAL AGUAS ABAJO DE UN DISIPADOR A RESALTO CON INSUFICIENTE NIVEL DE RESTITUCIÓN

Raúl A. LOPARDO, José M. CASADO y María Cecilia LOPARDO

Instituto Nacional del Agua
C.C. 46, (1802) Aeropuerto Ezeiza, ARGENTINA
E-mail: rlopardo@ina.gov.ar

INTRODUCCIÓN

En ciertas presas de embalse y azudes de derivación se produce un fenómeno de progresivo descenso del cauce aguas abajo. El efecto del endicamiento es responsable de un corte abrupto de la continuidad sedimentológica del curso fluvial generando un proceso típico de "erosión de cauce aguas abajo de presas" que se desarrolla en una longitud de varios kilómetros, en forma progresiva y permanente, hasta alcanzar en forma asintótica el nuevo perfil de equilibrio del cauce, al que en numerosos casos particulares aún puede no haberse llegado. Este descenso general del cauce modifica sensiblemente las condiciones del medio aguas abajo del aliviadero, configurando una situación no imaginada por los proyectistas y obviamente no simulada en los ensayos sobre modelo físico eventualmente efectuados.

Es posible demostrar que en casos como los planteados sobre el diente final se obtiene sistemáticamente una condición de $F_d = U_d / (g h_d)^{1/2} = 1$. lo que implica la presencia de flujo crítico, es decir que tras una pérdida por resalto incompleto en la platea se produce una nueva aceleración del flujo, con sección de control sobre el cuenco. La sección con tirante crítico independiza las condiciones de aguas arriba de la de aguas abajo, tiende a una fuerte inestabilidad y formación de ondas y genera un nuevo proceso de resalto sobre la zona erosionada del lecho a modo de "cuenco amortiguador natural" con el consiguiente riesgo de erosión por alta velocidad. Esta situación resulta por supuesto sumamente más severa en cuanto a las posibilidades de erosión local por efecto de la interacción entre flujo y estructura, que la considerada en el diseño.

CASO DE LONGITUD DE CUENCO NULA

Existen diversas variantes sobre el particular, recomendándose en general como fórmula de cálculo de la profundidad máxima de erosión aguas abajo de estructuras hidráulicas (plateas bajo vertederos sin cuenco a resalto) la propuesta por Kotoulas:

$$y = 1,9 g^{-0,35} \Delta H^{0,35} q^{0,7} d_{95}^{-0,4},$$

donde g es la aceleración de la gravedad y d_{95} el diámetro máximo del enrocado de protección,

Por otra parte, la experiencia china (Wang 1987) sobre el tema puede resumirse en una expresión válida para un chorro horizontal que egresa de una platea sobre un lecho no cohesivo protegido con material granular de diámetro representativo "d":

$$y = 1,25 (q^2/g)^{1/3} \Delta H^{0,26} d_{95}^{-0,22} h_r^{-0,04}.$$

CUENCOS CON PLATEA DE DISIPACIÓN

Con respecto a erosiones aguas abajo de disipadores a resalto con platea, que serían aplicables siempre que el resalto hidráulico esté contenido en su interior, para determinar la probable profundidad de erosión local aguas abajo de un cuenco amortiguador es posible utilizar expresiones empíricas. Entre ellas, se puede calcular con la propuesta por Schoklitsch (Bouvard, 1960):

$$y = 4.5 \alpha \beta (\Sigma b/B)^{1/4} z^{1/6} H^{1/2} q^{1/3} + 2.15 a,$$

donde y es la profundidad de erosión, Σb es la longitud total de vanos, B el ancho total del río en la sección de aguas abajo, z la duración en horas del escurrimiento de caudal específico q (por metro de ancho, supuesto repartido uniformemente), α es un coeficiente que depende de la forma del cuenco (por ejemplo $\alpha = 0.36$ para una platea horizontal plana y $0.17 < \alpha < 0.25$ para una platea con diente final de Rehbock), β es otro coeficiente que depende de la repartición del caudal, en particular de las asimetrías del escurrimiento y su valor es próximo a la unidad y "a" es la diferencia de nivel entre el diente final y el lecho del río.

También se cuenta con la expresión de cálculo de erosión aguas abajo de un cuenco amortiguador a resalto de longitud $L_c = 5 h_2$ dada por Catakli y otros (1973),

$$y = K q^{0,6} (\Delta H + h_r)^{0,2} d_{90}^{-0,1}$$

donde d_{90} está expresado en mm, K es un factor de forma que vale $K = 1.62$ cuando la platea carece de diente final y $K = 1.42$ cuando tiene un diente final continuo de altura entre 10% y 12% del tirante conjugado del resalto.

Breusers y Raudkivi (1991), hacen mención a una expresión propuesta por Dietz en 1969:

$$(y - h_r)/h_r = (U_{m\acute{a}x} - U_c)/U_c.$$

donde $U_{m\acute{a}x}$ es la velocidad media máxima del flujo aguas abajo de la obra y U_c es la velocidad crítica de arrastre de sedimentos, que es función del diámetro medio de los mismos. Sin embargo, ellos opinan que los valores que predice la expresión de Dietz parecen resultar demasiado elevados, generando proyectos exageradamente conservadores.

TABLA N° 1: PROFUNDIDAD MÁXIMA DE EROSIÓN LOCAL AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE RÍO HONDO										
		Estimación como aliviadero en salto de esquí			Estimación de la profundidad máxima de erosión aguas abajo de disipadores a resalto				Máxima profundidad de erosión sin cuenco amortiguador	
H embalse	H restitución	Q (m3/s)	yAutores	yINCYTH	yBlench	ySchoklitsch	yDietz	yCatakli	yKotoulas	yWang
(m)	(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
273.41	249.58	500	3.60	5.41	2.94	7.18	4.87	5.27	9.70	12.85
273.59	249.83	600	3.72	5.92	3.50	7.48	5.23	5.88	11.01	14.43
273.77	250.08	700	3.89	6.39	4.04	7.75	5.79	6.45	12.26	15.91
273.93	250.32	800	4.09	6.83	4.55	7.99	6.17	6.98	13.44	17.31
274.09	250.46	900	4.35	7.24	4.96	8.23	6.53	7.49	14.60	18.68
274.24	250.55	1000	4.65	7.64	5.30	8.45	6.99	7.99	15.73	20.02
274.53	250.70	1200	5.23	8.38	5.94	8.86	7.73	8.92	17.91	22.57
274.80	250.82	1400	5.80	9.06	6.51	9.24	8.49	9.79	19.99	25.00
275.00	250.89	1550	6.23	9.55	6.91	9.50	9.08	10.42	21.51	26.76
275.00	251.09	1800	6.83	10.27	7.64	9.84	9.95	11.38	23.82	29.41
275.00	251.24	2000	7.29	10.81	8.19	10.08	10.67	12.11	25.58	31.43
275.00	251.50	2248	7.75	11.43	8.94	10.35	11.38	12.97	27.66	33.77

También citan la expresión propuesta por Blench, en 1957, sobre la base de la "teoría del régimen":

$$y_{\text{máx}} = (0,75 \text{ a } 1,25) y_{2r} + h_r \quad [16]$$

donde y_{2r} es el denominado "tirante de régimen" en flujobidimensional.

RESULTADOS

Tomando como ejemplo el cuenco amortiguador de la presa de Río Hondo (Argentina), se adjunta la Tabla N° 1 que resume el cálculo de la máxima profundidad de socavación local para diferentes condiciones hidrodinámicas, utilizando fórmulas propuestas por diversos autores, basadas algunas en casos de aliviaderos en saltos de esquí y otras para la condición de existencia de cuenco amortiguador de energía.

Si bien es habitual encontrar gran dispersión entre los resultados de fórmulas de diferentes autores, desarrolladas para muy diversas condiciones hidrodinámicas y características de lechos fluviales se advierte en la Tabla N° 1 que las máximas profundidades de erosión calculadas por cualquier método o hipótesis son siempre superiores a los datos efectivamente registrados en el prototipo.

Considerando que ninguna de las fórmulas resulta así aplicable, los autores proponen una metodología no convencional de cálculo, basada en la idea siguiente: aunque se trate de una platea plana de disipación, el flujo crítico sobre el diente final genera una nueva condición hidrodinámica y la lámina actúa sobre el lecho como un chorro sumergido, con similar configuración a la de un salto de esquí pero con reducida carga hidráulica. La metodología de cálculo que se propone para estimar la máxima profundidad "y" de erosión se basa en aplicar la "fórmula del INCYTH" (Chividini et Al 1983),

$$y/\Delta H = 2.5 [q/(g \Delta H^3)^{0.5}]^{0.5}$$

en función del gasto específico "q" y considerando que el piso de lanzamiento del salto de esquí es el coronamiento

del diente final y el desnivel total ΔH debe calcularse como:

$$\Delta H = h_d + V_d^2/(2g)$$

Esta ecuación tiene en cuenta las pérdidas de energía friccionales del aliviadero y las pérdidas locales de energía en el interior del cuenco amortiguador. Con esta metodología se alcanza para el caso tratado como ejemplo un valor de cálculo razonablemente acorde con los valores medidos en la obra real.

CONCLUSIONES

La aplicación de este criterio es sólo recomendado para estimar la máxima profundidad de erosión local aguas abajo de piletas de aquietamiento con niveles de restitución por debajo del conjugado del resalto cuando se alcanza flujo crítico sobre el diente final. Esta situación anormal es frecuente en pequeñas presas en la región noroeste de la Argentina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chividini, M., et Al** (1983); "Evaluación de la socavación máxima aguas abajo de aliviaderos en saltos de esquí", Anales del XI Congreso Nacional del Agua, Córdoba, Argentina, Vol. 6, pp. 187-210.
- Wang, Shixia** (1987): "Scouring of riverbeds below sluices and dams", Design of Hydraulic Structures, edited by A. R. Kia y M. L. Albertson, Colorado State University, Fort Collins, USA, pp.295-3046.
- Bouvard, M** (1960): Barrages mobiles et prises de eau en rivières, Eyrolles, Paris, France.
- Catakli et Al.**(1973): "A study of scours at the end of stilling basin and use of horizontal blams as energy dissipators", XI Congrès des Grands Barrages, Madrid, pp. 25-37.
- Breusers, H.N.C. y Raudkivi, A.J.** (1991): "Scouring", Balkema, Rotterdam.