

AIREADORES EN ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS VERTEDORAS PARA PROTEGER DE DAÑOS POR CAVITACIÓN

Gabriel Echávez Aldape y Raúl Arrijo Juárez

Departamento de Hidráulica. División de Estudios de Posgrado,
Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México,
Ciudad Universitaria. Apdo. Postal 70-256. Coyoacan 04510. Ciudad de México, México.
E-mail: arrijo_juarez_raul@yahoo.com, echavez@unam.mx

Introducción

En el mundo son comunes los embalses y las estructuras hidráulicas de grandes dimensiones que, en general, reportan importantes beneficios en la región o País donde se encuentran. Su tamaño, implica nuevos problemas y situaciones que tienen que considerarse en su diseño, construcción y mantenimiento. Así, en los vertedores de las presas de alta caída, por ejemplo, las que exceden 80 m de altura, se presentan altas velocidades que generan problemas que no ocurren en presas de menor tamaño. Uno de estos problemas, de gran actualidad, son los daños debidos a la cavitación (Knapp, R.T., Daily, J.W. and Hammit, F.G., 1970) en estas estructuras hidráulicas (Arreguín, 2005), que se usan para descargar el exceso de agua que se presenta en las, cada vez más comunes, avenidas extraordinarias.

Para proteger a las obras de este tipo de posibles daños, se utilizan ranuras aireadoras colocadas en lugares adecuados del vertedor (Falvey, 1990), (Pinto, Nelson L. De S., 1991), (Volkart, P., Chervet, A., 1983), (Chen, W., Li, G., Xie, S., and Yang, K., 2007). Esta innovadora idea, propuesta inicialmente por los italianos en la década de los 60s y probada posteriormente en otros países, tales como Rusia, Venezuela, Brasil, Estados Unidos, Colombia y México, ha probado su efectividad y actualmente, es parte del diseño y del proceso constructivo usual en estas obras.

Objetivos

Examinar el estado del arte del diseño de los aireadores en estructuras vertedoras para prevenir el fenómeno de la cavitación (Arreguín, 2000), ya que la experiencia ha demostrado que la aireación es la alternativa más adecuada para prevenir la cavitación y debido a que ésta se presenta en la superficie del conducto, se considere al flujo en esa zona (o sea considerando la capa límite), para así mejorar la predicción usual de riesgo de este tipo de daños, para la que usualmente se utiliza el flujo medio. Se presenta el método de estudio y se hace referencia a la contingencia que se presentó en el vertedor de la presa Oroville en el estado de California (USA), que pudo haber tenido su origen en un problema de cavitación.

Metodología

Para hacer un análisis completo de riesgo por cavitación en una cierta obra es necesario ver, en forma separada, cuatro características de ella (Echávez, 2017).

1. La geometría general del vertedor: curvas verticales y horizontales -definidas por su localización, su radio de curvatura y si son convexas o cóncavas- y si la sección tiene un área constante o se reduce a lo largo de la obra.
2. Desalineamientos en la conducción, por ejemplo en las transiciones donde la sección cambia de rectangular a circular -lo que se presenta en vertedores en túnel- o por cimbras deslizantes mal alineadas.
3. Escalones y, en general, protuberancias, como: varillas, rebordes, pegotes de concreto, raspaduras, etc.
4. Rugosidad de la superficie, ¿tiene buenos acabados?

Como los tres primeros puntos o son de la geometría general de la obra o hay que evitarlos o eliminarlos una vez terminada ésta, solo se verá la cuarta característica:

El índice de cavitación, que permite estimar si ésta se presentará o no, está dado por el número de Cavitación o número de Thoma. A menor valor de este índice, mayor será la velocidad y menor la presión por lo que para las condiciones donde hay riesgo, éste es mayor. Para una obra en operación, se calcula este índice a lo largo de ella y se compara con el índice de cavitación incipiente, σ_1 , obtenido de experimentos en laboratorio, de referencias o de observaciones en prototipo: en los lugares donde este índice es menor que el de cavitación incipiente, habrá riesgo de daños por cavitación, que serán progresivos y pondrán en riesgo a la obra.

La rugosidad de la superficie: cuando los acabados son rugosos, lo que se representa con la k de Nikuradse o la n de Manning, el procedimiento de cálculo debe considerar no sólo la rugosidad de la superficie, sino también la velocidad del agua en la zona cercana a ella, o sea dentro de la capa límite, la cual crece a medida que avanza el fluido, y no la velocidad media como usualmente se hace. Así en un vertedor como el mostrado en la figura, el índice de cavitación se calcula con la fórmula al lado de la figura, (Echávez, 1969):

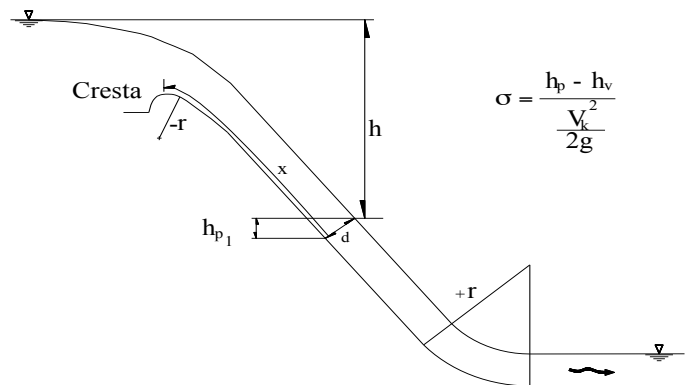


Figura 1.- Cálculo del índice de cavitación.

y la V_k es la envolvente superior de los puntos dados por la ecuación [1]:

$$\frac{V_k}{\sqrt{2gH}} = \frac{1.68}{0.33 + \log x/k} \quad [1]$$

donde

- H caída vertical, medida desde la superficie libre del vaso a la superficie del escurrimiento
- k rugosidad equivalente de Nikuradse de la superficie
- V_k velocidad a la altura k de la superficie
- x distancia de la cresta del vertedor al punto de análisis

Como ejemplo de aplicación, a continuación, se muestra el análisis para el vertedor de la operación de la presa Netzahualcóyotl (Malpaso) en el estado de Chiapas, (Echávez, 1979).

El índice de cavitación a lo largo de la plantilla para el vertedor de operación: obsérvese que en un tramo es inferior al índice de cavitación incipiente de 1.5, por lo que podrían esperarse daños por este efecto en el tramo comprendido entre las estaciones 160 y 200 m.

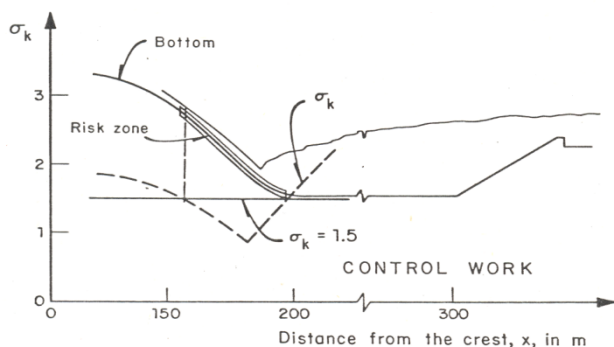


Figura 2.- Índice de cavitación para el vertedor de la presa Netzahualcóyotl (Malpaso).

Presa Oroville, California, E.U. Un ejemplo catastrófico reciente es el de la Presa Oroville en California (USA), donde por la época de su construcción e inexplicablemente después, no protegieron al vertedor con aireadores y posiblemente debido a esto, se presentaron enormes daños que pusieron en grave riesgo a la población, dañaron el medio ambiente y requerirán una reparación estimada en varios cientos de millones de dólares.

Conclusiones

El riesgo de daños inducidos por cavitación, es un concepto de suma importancia que debe contemplarse cuidadosamente en el diseño, construcción y operación de los vertedores de alta carga. En el presente trabajo se presentan los conceptos básicos tanto del fenómeno en sí como del cálculo para estimar su posible aparición y la forma de protegerla por medio de aireadores adecuadamente diseñados y colocados aguas arriba de las zonas en riesgo (Volkart P., Chevert, A., 1983).

Referencias bibliográficas

- Arreguin, F.** (2005). *Cavitación y aireación en obras de excedencia*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Asociación Mexicana de Hidráulica, México.
- Arreguin, F.** (2000). *Obras de excedencia*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Chen, W., Li, G., Xie, S., and Yang, K.** (2007). "Study on aerators of high head spillway tunnels". *XXXII IAHR Congress, Venice, Italy (Venecia, Italia)*. C2. b Hydraulic structures. 1 – 6 julio.
- Echávez G.** (1969). *Erosión en concreto causada por flujo de alta velocidad*. Tesis de doctorado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Echávez G.** (1979). *Cavitación en vertedores*. Instituto de Ingeniería, Reporte 415, CFE, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Echávez G.** (2001). "Aerator of the Trigomil Dam". México. *Water Power and Dam Construction*, Wilmington, United Kingdom, vol 53, May, pp 31-32.
- Echávez G.** (2017). "Daño por cavitación en obras hidráulicas". Eight International DAAD Alumni Seminar, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Falvey** (1990). *Cavitation in chutes and spillways*. Engineering Monograph 42, USBR, Denver, Colorado, Estados Unidos.
- Knapp, R.T., Daily, J.W. and Hammitt, F.G.** (1970). *Cavitation*. McGraw-Hill, New York, USA.

Pinto, Nelson L. De S. (1991) in Wood, Ian R. *Air Entrainment in Free-Surface Flows*, IAHR, 4 Hydraulic Structures Design Manual, Balkema Publications, Rotterdam, The Netherlands, 149 pages.

Volkart, P., Chevert, A. (1983). *Air Slots for Flow Aeration. Determination of shape, size and spacing of air slots for the San Roque Dam Spillway*. Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH), Zürich. Mitteilung Nr. 66. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. Zürich, Schweiz (VAW) (Zurich, Suiza). D. Vischer ed., 71 pages.