

**XVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
OAXACA, MÉXICO, OCTUBRE, 1998**

**ANCHO DE BRECHA Y TIEMPO EQUIVALENTE PARA EL  
CÁLCULO DEL CAUDAL PICO DE ROTURA DE PRESA**

*Dr. Ing. Luis G. Castillo E.*

Departamento de Hidráulica

Técnica y Proyectos S.A. TYPESA

Plaza del Liceo 3. 28043 Madrid, España; Fax: (341) 388 1686; e-mail: madrid@typsa.es

**RESUMEN**

El Ministerio de Medio Ambiente de España ha redactado una Guía de Clasificación de Presas en Función del Riesgo Potencial, en la que se unifican criterios y se recomienda entre otros métodos, el uso del programa SMPDBK del National Weather Service de los Estados Unidos (DAMBRK simplificado) como herramienta de trabajo en esta fase de estudio, aplicándose el modelo completo únicamente a las Presas clasificadas con categoría A y B, con el objeto de redactar sus planes de emergencia.

Este programa, pese a sus limitaciones, es de gran ayuda y produce resultados con suficiente aproximación y en términos generales del lado de la seguridad. Sin embargo, para ciertas relaciones de altura de presa y volumen de embalse, la aplicación directa de dicho modelo conduce a resultados del lado de la inseguridad. En este artículo, por una parte, se deriva una expresión explícita para el cálculo del ancho de brecha que maximiza el caudal pico de rotura, discutiéndose su validez y generalidad de uso y, por otra parte, se propone una corrección a partir del cálculo de un tiempo equivalente de rotura, de tal forma que los resultados del caudal pico sean similares a los que se obtendrían con la aplicación del modelo completo DAMBRK.

**ABSTRACT**

The Ministry of Environment of Spain has edited a Guide of Dams Classification in Function of the Potential Risk, in which become unified criterion and are recommended, between other methods the use of the program of the simplified DAMBRK (SMPDBK) like a tool of work in this phase of study, it is applied the complete model only to the Dams classified with category A and B, for the purpose of editing their plans of emergency.

This program, despite its limitations is of great help in obtaining the dam classification as a function of dam break potential risk, with enough approximation and in general on the safe side. However, for certain ratios of dam height and reservoir volumen, the direct application of this model can produce results on the non conservative side.

In this paper, by one way, the explicit formulation for the breach wide that maximizes dam break peak flow is presented and their validity and generality of the use is discussed. By another way, a correction starting from calculation of a dam break equivalent time is proposed, so the results of the peak flow are similar to those that would be obtained with the complete DAMBRK model application.

**XVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
OAXACA, MÉXICO, OCTUBRE, 1998**

**ANCHO DE BRECHA Y TIEMPO EQUIVALENTE PARA EL  
CÁLCULO DEL CAUDAL PICO DE ROTURA DE PRESA**

*Dr. Ing. Luis G. Castillo E.*

Departamento de Hidráulica

Técnica y Proyectos S.A. TYPESA

Plaza del Liceo 3. 28043 Madrid, España; Fax: (341) 388 1686; e-mail: madrid@typsa.es

## **INTRODUCCIÓN**

De acuerdo a la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, se necesitan clasificar las presas de acuerdo al riesgo potencial, para lo cual el Ministerio de Medio Ambiente de España ha redactado una Guía de Clasificación (TYPESA-ECM 1996). En dicha guía se unifican criterios y se recomienda entre otros métodos, el uso del programa simplificado del modelo general DAMBRK (Wetmore y Fread 1981) como herramienta inicial de trabajo y como análisis suficiente de clasificación en determinadas condiciones. En cualquier caso, por su facilidad de manejo y dada la escasez de información disponible en las primeras fases del análisis, es siempre recomendable su uso como primera aproximación al problema dando resultados generalmente del lado de la seguridad.

A partir de la experiencia obtenida en su aplicación práctica, se ha detectado que para ciertas condiciones de altura de presa y volumen de embalse, el caudal punta de rotura analizado mediante el SMPDBK no siempre conducen a resultados seguros frente a un cálculo análogo efectuado mediante el DAMBRK. En este artículo se acotan estos casos y se propone una corrección que, permitiendo mantener el código del programa, se aseguren valores del caudal de rotura análogos a los que proporcionaría el uso del modelo completo DAMBRK.

Del análisis realizado se ha determinado un valor de tiempo equivalente de rotura  $t_e$ , que junto al ancho de brecha constituyen los datos de entrada al modelo SMPDBK, extendiendo de esta forma su campo de aplicabilidad y garantizando que en la clasificación de riesgo potencial no se infravalore la categoría.

Dada la gran cantidad de presas que caen dentro de esta casuística, se espera que la aportación presentada sea de utilidad en los trabajos de clasificación de presas.

## **MÉTODO DEL DAMBRK SIMPLIFICADO O MODELO SMPDBK**

Fread desarrolló una fórmula simplificada para el cálculo del caudal pico de rotura de presas, la misma que está implementada en el Modelo del National Weather Service (NWS) de los Estados Unidos SMPDBK (Wetmore y Fread 1984).

En esta fórmula se supone que la brecha de rotura es de forma rectangular, definiéndose el caudal instantáneo a través de la brecha a partir de la conocida ecuación para un aliviadero de pared gruesa:

$$Q = c \cdot b \cdot H^{1.5} \quad (1)$$

en donde  $b$  es el ancho de la brecha (m),  $H$  carga sobre la brecha (m),  $c$  el coeficiente de descarga y  $Q$  caudal a través de la brecha ( $m^3/s$ ). Ver figura 1.

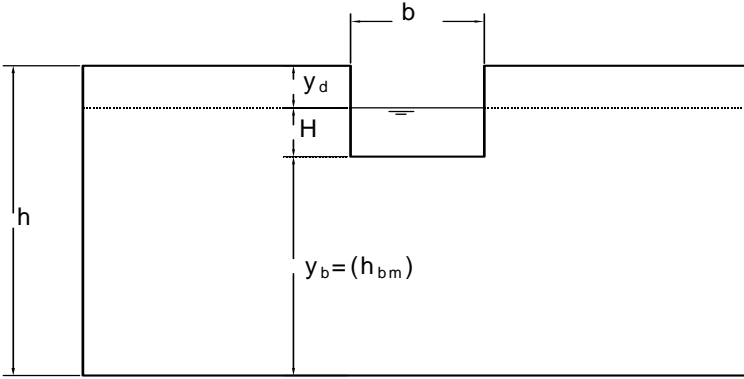


Figura 1. Geometría de la formación de brecha instantánea para cálculos simplificados del caudal pico

Si la brecha se forma en un tiempo finito  $\tau$ , y se supone que la superficie del embalse permanece constante durante este intervalo de tiempo, el volumen de agua que sale del embalse está dado por la integral del caudal instantáneo. Este volumen también debe ser igual al producto de la superficie del embalse  $A_s$  por la integral del descenso del nivel instantáneo  $y_d$  sobre el cambio total en el nivel del embalse  $y_f$ ; así:

$$c \cdot b \cdot \int_0^{\tau} H^{1.5} dt = A_s \cdot \int_0^{y_f} dy_d \quad (2)$$

La evaluación de la carga instantánea sobre la brecha se puede expresar en términos del descenso instantáneo del nivel  $H = (h - y_b) - y_d$ , en donde  $y_b$  es la altura instantánea del fondo de la brecha alcanzando el valor  $h_{bm}$  al final del proceso y  $h$  la altura de la presa. Del reemplazo directo de esta expresión en la ecuación anterior, se obtiene una expresión que no fue integrada en forma analítica. Wetmore y Fread 1981, propusieron que la carga instantánea sobre la brecha sea calculada por la siguiente relación:

$$H = \frac{I}{\Gamma} (h - y_d) \quad (3)$$

donde  $\Gamma$  es un coeficiente empírico adimensional que define la carga equivalente sobre la brecha y que produciría el caudal máximo de rotura. A partir de comparaciones entre los caudales calculados con dicha simplificación y los obtenidos con el DAMBRK, asumieron que  $\Gamma = 3$ .

Reemplazando la ecuación (3) en la ecuación (2), resolviendo y reordenando se obtiene la expresión para la carga máxima sobre la brecha:

$$H_{(max)} = h - y_f = \left\{ \frac{F}{\tau + \frac{F}{\sqrt{h}}} \right\}^2 \quad (4)$$

En donde  $F = 2\Gamma A_s / (cb)$ . Si en la ecuación del caudal máximo de salida de la brecha (1), se expresa el tiempo de fallo  $\tau$  en segundos,  $b$  y  $h$  en metros y  $A_s$  en metros cuadrados y se asume que el caudal máximo se alcanza en el momento en que se ha desarrollado por completo la brecha, entonces el coeficiente de descarga será  $c = 1.7$  (en el Sistema Internacional de unidades) y el caudal máximo sería:

$$Q_{(max)} = c \cdot b \cdot \left\{ \frac{F}{\tau + \frac{F}{\sqrt{h}}} \right\}^3 \quad (5)$$

## COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE SMPDBK Y DAMBRK

En los diferentes estudios de clasificación de presas (Castillo et. al 1998, Castillo & De Cos 1997a, 1997b), se observó que no siempre el caudal máximo de rotura obtenido con el modelo SMPDBK era mayor que el obtenido con el modelo completo DAMBRK, decidiéndose entonces analizar sus causas con el objeto de corregir y acotar estas incongruencias, pero en términos de su aplicación práctica; es decir, que se siga utilizando el programa SMPDBK, sin necesidad de modificar el código de programación.

De esta forma se abordó el estudio mediante estos programas, de un conjunto de casos cuyas superficies de embalse variaron entre 2.000 y 1.000.000 m<sup>2</sup> y alturas de presa entre 4 y 30 m, para anchura de brecha de 45 m y tiempo de rotura de 10 minutos, divididos en dos grupos; embalses de superficie constante con la altura (balsas) y embalses de superficie linealmente creciente con la altura (forma de embalse equiparable a las condiciones habituales).

Como resultado se determinaron las relaciones entre los caudales pico del SMPDBK y del DAMBRK (figuras 2 y 3). De la observación de estas figuras se deduce que el método del SMPDBK no es seguro respecto del DAMBRK para ciertas combinaciones de superficie de embalse y altura de presa (generalmente para presas pequeñas). En términos generales, para el campo y condiciones analizadas, el SMPDBK permite obtener caudales análogos por encima de los 500.000 m<sup>2</sup> para embalses de superficie constante y a partir de los 100.000 m<sup>2</sup> para embalses triangulares.

Por tanto, las hipótesis simplificadoras asumidas en el SMPDBK, sin bien dan buenos resultados en términos generales, son claramente inseguros para pequeñas presas y en algunos casos en grandes presas, circunstancia que podría conducir a una infravaloración de la categoría de presa.

Estas hipótesis son tres: ancho de brecha constante, superficie del embalse constante y tiempo al pico igual al tiempo de desarrollo de la brecha.

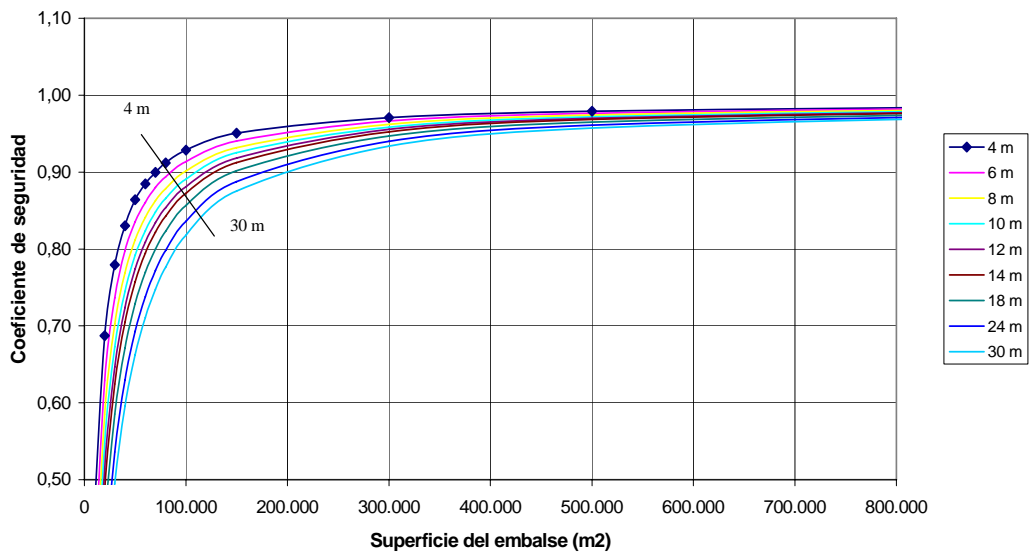


Figura 2. Relación caudales SMPDBK/DAMBRK para embalse constante

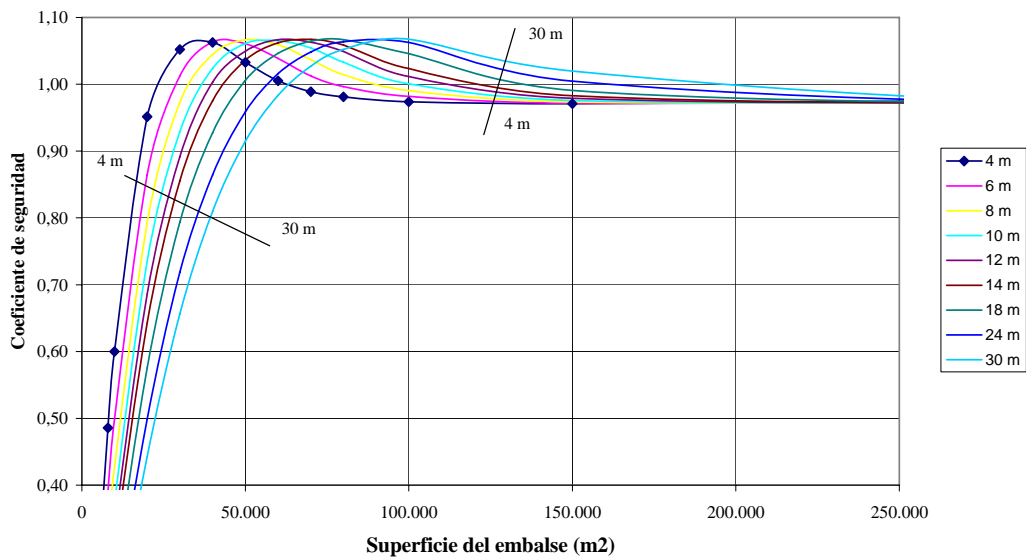


Figura 3. Relación caudales SMPDBK/DAMBRK para embalse triangular

Estas hipótesis se controlan y corrigen en el método original del SMPDBK mediante un único parámetro  $\Gamma$  (constante e independiente del tipo de embalse), mediante el cual, utilizando los parámetros estimados de tiempo de rotura, ancho de brecha y superficie de embalse, se obtienen buenos resultados para grandes presas y formas habituales de embalse.

En la figura 4 se indica el valor de  $\Gamma$  para embalses con variación triangular, en función de la superficie de embalse y la altura de presa. Se puede observar que para superficies inferiores a 60.000 m<sup>2</sup> los valores de  $\Gamma$  son superiores a tres en las presas de mayor altura, en tanto que en las presas más pequeñas los

valores de  $\Gamma$  son menores, llegando incluso a ser inferiores a dicho valor; sin embargo, la tendencia se invierte a partir de esta zona, tendiendo al valor de tres a medida que aumenta la altura de presa.

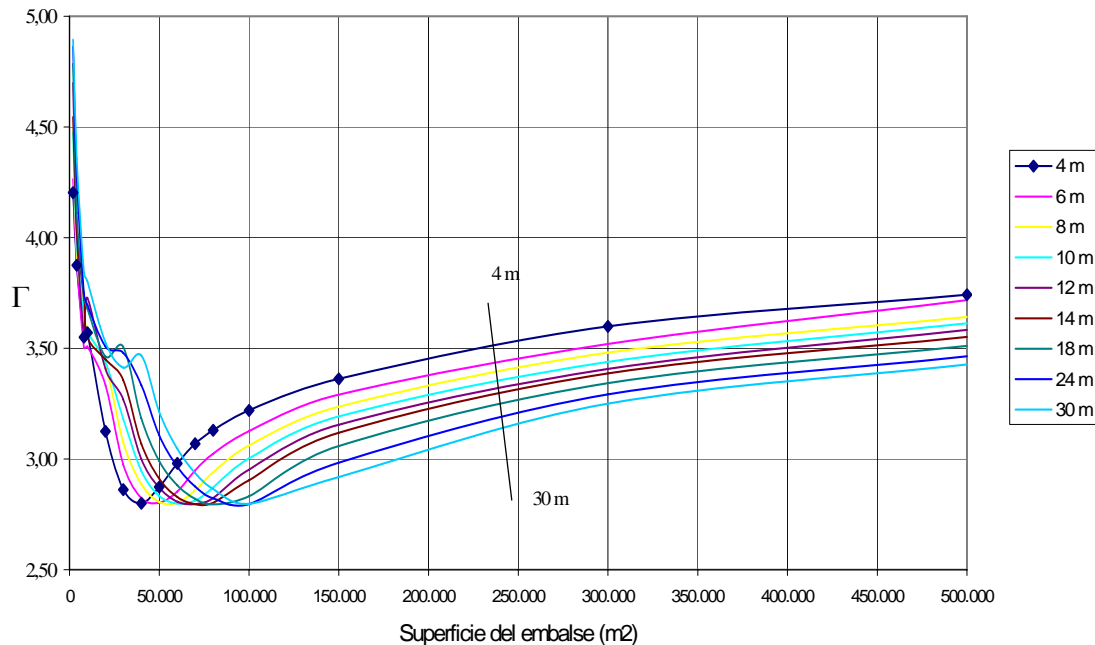


Figura 4. Valores de  $\Gamma$  para embalse triangular en función de la superficie y altura de embalse

## SOLUCIONES ANALIZADAS

Se plantearon varias posibles soluciones pero con la condición de mantener el código original del modelo SMPDBK, introduciendo las correcciones oportunas en los parámetros básicos tiempo de rotura y ancho de brecha (Castillo et al. 1998, Castillo & De Cos 1997a, 1997b). La primera vía consiste en obtener los valores del tiempo de rotura y ancho de brecha equivalentes como método indirecto para la modificación de la constante  $\Gamma$  que igualase en cada caso los valores del caudal pico del DAMBRK con los resultantes del SMPDBK. Sin embargo el método exige un doble juego de gráficas que dificulta su uso. La segunda vía consiste en determinar un ancho de brecha equivalente que maximiza el caudal pico de rotura, puesto que los caudales máximos de rotura no siempre corresponden a la relación de mayor ancho de brecha. Finalmente y puesto que se observó que el caudal pico no se alcanza en todos los casos en el mismo instante en que se desarrolla por completo la brecha, sino que en estos casos se produce antes (acusándose más en los casos en que el caudal del DAMBRK es muy superior al del SMPDBK), se optó por deducir un tiempo equivalente que sustituido por el parámetro “tiempo de desarrollo de la brecha” del SMPDBK, los resultados de caudales obtenidos fueran comparables a los del DAMBRK.

### Determinación del ancho de brecha equivalente que maximiza el caudal pico de rotura

Del estudio y análisis de algunos casos particulares, se observó que el ancho de brecha que maximizaba el caudal correspondía con la dimensión de brecha obtenida a partir de la maximización de la fórmula del caudal máximo de salida en la brecha (5), aunque dicha dimensión de brecha obtenido por esta vía,

resultaba inferior al propuesto por la Guía Técnica. En estos casos los caudales obtenidos con la ecuación (5), constituirían únicamente máximos relativos.

De esta forma, se obtuvo una expresión explícita del ancho de brecha equivalente que maximiza el caudal de desagüe, derivando la ecuación (5) con respecto al ancho  $b$ , considerando constantes la altura y la superficie del embalse, de tal forma que la solución correspondería al caso particular analizado. Así, el ancho de brecha equivalente que maximiza el caudal de desagüe es (Castillo & De Cos 1997b):

$$b = \frac{1,7497 A_s}{\tau \sqrt{h}} \quad (6)$$

En donde  $b$  y  $h$  están en (m),  $A_s$  en (m<sup>2</sup>) y  $\tau$  en (s). El tiempo de rotura  $\tau$  está en función del tipo de presa. La Guía Técnica (TYPESA-ECM 1996) propone para las **Presas Bóveda** un tiempo de formación de brecha entre 5 y 10 minutos, suponiendo que la brecha coincide con la forma de la cerrada. Para las **Presas de Gravedad y Contrafuertes** propone un tiempo de formación entre 10 y 15 minutos, siendo la brecha de forma rectangular y hasta el fondo del cauce, con un ancho del que resulte mayor entre el tercio de la longitud de coronación o de tres bloques consecutivos de construcción de la presa.

En las **Presas de Materiales Suelos** la Guía Técnica propone el cálculo del tiempo de rotura  $\tau$  y del ancho medio de brecha  $b$  (ancho a una altura  $h/2$ ) a partir de una ecuación empírica obtenida por el ajuste de datos de fallos de presas y, que está en función del volumen  $V$  del embalse y de la altura de presa  $h$ ; así:  $\tau = 4,8V^{0,5} / h$ ;  $b = 20(Vh)^{0,25}$ ; en donde  $\tau$  está en horas,  $V$  en hm<sup>3</sup>,  $b$  y  $h$  en metros. La profundidad de la brecha se considera hasta el contacto con el cauce y la forma se asume trapecial con taludes 1:1.

De esta forma, conocida la altura de embalse  $h$ , la superficie del embalse  $A_s$  correspondiente a esa altura y, asumido el tiempo de rotura  $\tau$  en función del tipo de presa, podemos calcular de forma inmediata el ancho de brecha equivalente  $b$ , que será introducido como dato en el programa SMPDBK siempre y cuando éste ancho resulte inferior al recomendado por la Guía Técnica. El caudal obtenido con este procedimiento se debe comparar con el caudal obtenido por la aplicación del ancho de brecha propuesto por la Guía Técnica. El caudal de análisis para el estudio de clasificación de la presa será el mayor de los dos, salvando de esta forma la posible subvaloración del caudal pico de rotura y, con ello, posiblemente una incorrecta clasificación de la presa.

En la figura 5 se presenta la evolución del caudal pico de rotura de la Presa de La Mortera (tipo gravedad, condiciones sin avenida:  $h=4$  m,  $A_s=8.424$  m<sup>2</sup>, condiciones con avenida:  $h=5,50$  m,  $A_s=11.543$  m<sup>2</sup>), en función de los diferentes anchos de brecha y los escenarios con y sin avenida.

Se puede observar que los caudales de rotura {58 m<sup>3</sup>/s (2.073 cfs) y 26,8 m<sup>3</sup>/s (957 cfs)} obtenidos con la aplicación directa del ancho de brecha {45 m (147,6 ft)} propuesto por la guía técnica, son inferiores a los caudales de rotura {92,6 m<sup>3</sup>/s (3.306 cfs) y 49,2 m<sup>3</sup>/s (1.756 cfs)} obtenidos por la aplicación de los anchos de brecha equivalente {14,4 m (47,1 ft) y 12,3 m (40,3 ft)}, obtenidos por la aplicación de la ecuación (6). De esta forma, aunque los anchos de brecha son menores, los caudales de rotura son superiores en un 59% y 83% respectivamente, constituyendo caudales máximos absolutos dentro de los límites de aplicación.

Sin embargo, si se calcula el caudal pico con el modelo completo DAMBRK (por ejemplo para el caso sin avenida), introduciendo las relaciones reales de variación cota/volumen, etc., el caudal obtenido con el ancho de la Guía Técnica ( $b=45$  m) es de 53 m<sup>3</sup>/s, siendo semejante aunque superior al caudal obtenido con el ancho de maximización de  $b=12,3$  m ( $Q=49,2$  m<sup>3</sup>/s). Al existir todavía estos casos, el método deja de ser general y, por esta razón, aunque el resultado mejora ostensiblemente aproximándose al caudal “real” de

desagüe que se obtendría con el modelo completo del DAMBRK, esta incertidumbre obligó a analizar otra vía de solución.

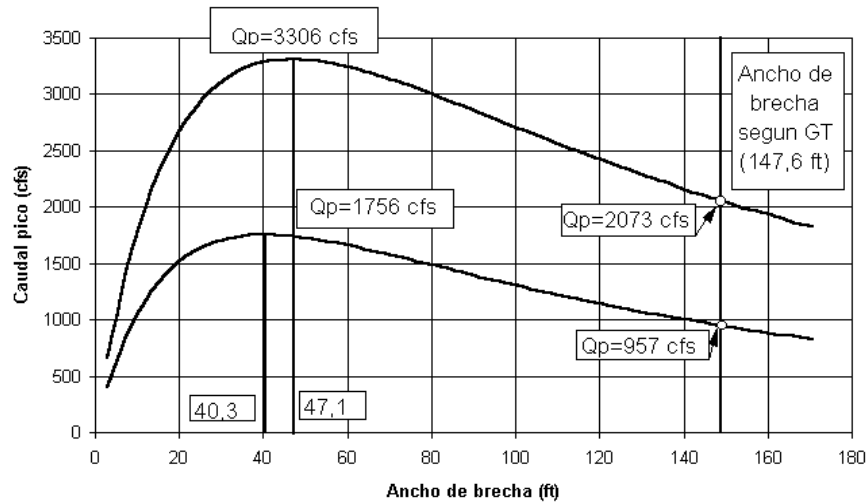


FIGURA 5. Caudales pico de rotura en función del ancho de brecha, para la Presa de La Mortera

### Formulación del tiempo equivalente de rotura de presa

Con el propósito de tener acotado el problema y de disponer de un método general, se desarrolló la tercera vía de solución a partir del tiempo de rotura de presa.

Despejando de la ecuación (5) el valor de  $\tau$  y denominándole como tiempo equivalente de rotura  $te$ , obtenemos:

$$te = \frac{\left\{ \left( \frac{c \cdot b \cdot h^{3/2}}{q} \right)^{1/3} - 1 \right\} \cdot F}{\sqrt{h}} \quad (7)$$

Si en la ecuación anterior se sustituye los valores de altura de embalse  $h$ , superficie del embalse  $A_s$ , coeficiente de desagüe  $c$ , ancho de brecha  $b$  (analizado para 45 m),  $\Gamma = 3$  y los caudales  $q$  del DAMBRK obtenidos para casos análogos, se obtienen los valores del tiempo de rotura que debemos considerar, para igualar los caudales con los obtenidos por el SMPDBK. Finalmente se obtuvieron las relación  $te/\tau$  cuyos resultados se indican en las figuras 6 y 7.

- Proceso operativo del método del tiempo equivalente de rotura

Para el cálculo del caudal pico de rotura mediante el SMPDBK y siempre que la presa se encuentre dentro del rango de aplicación ( $b=45$  m,  $\tau=10$  min,  $2.000 < A_s < 1.000.000$  m<sup>2</sup> y  $4 < h < 30$  m), se consultarán las figuras 6 o 7 según que el embalse se pueda asimilar a superficie constante o triangular, obteniéndose el factor  $te/\tau$  por el cual debe multiplicarse el tiempo de rotura establecido en la Guía Técnica y manteniéndose el resto de los parámetros según el método original. De forma práctica, para embalses de superficie constante no es preciso efectuar la corrección por encima de los 500.000 m<sup>2</sup> y para superficies mayores de 100.000 m<sup>2</sup> en embalses triangulares, lo que supondría desviaciones máximas del orden de un 5 %.



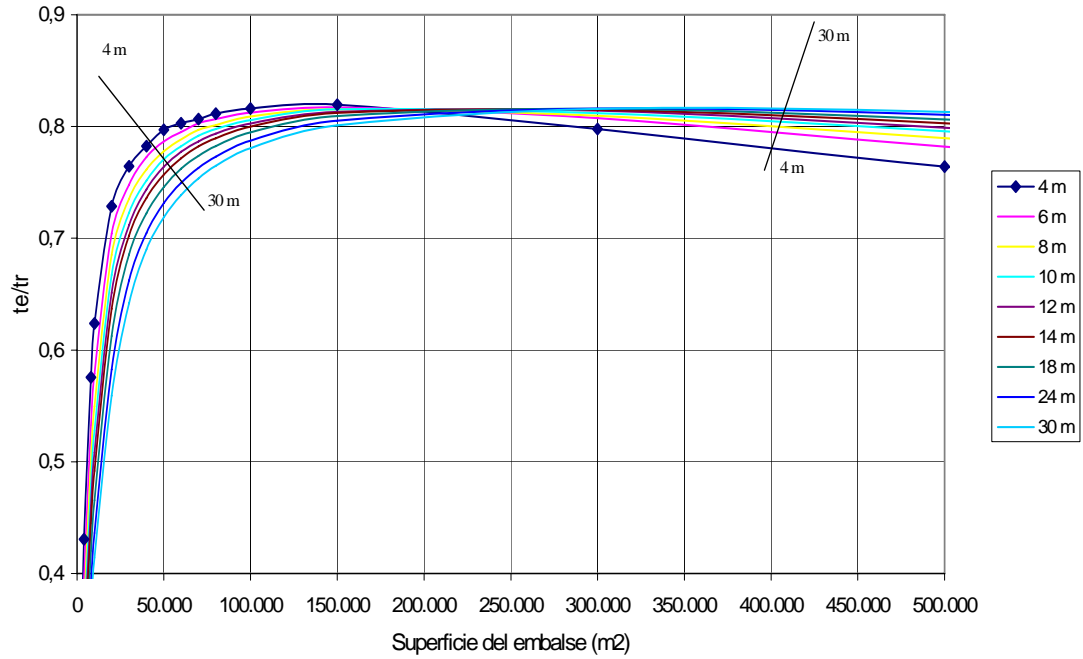


Figura 6. Relación tiempo equivalente / tiempo de rotura para embalse constante

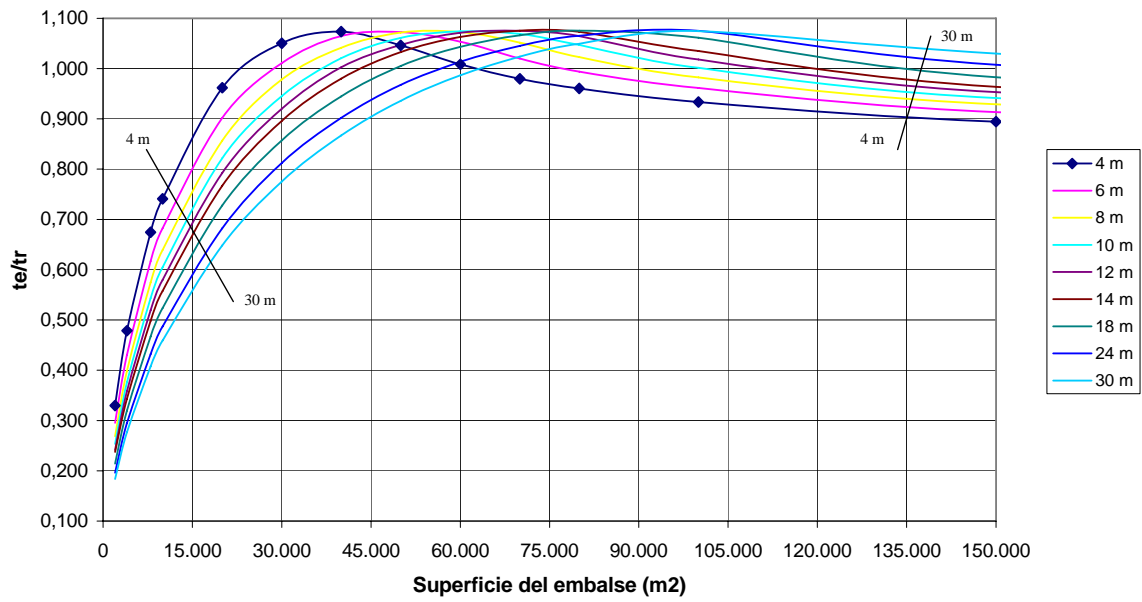


Figura 7. Relación tiempo equivalente / tiempo de rotura para embalse triangular

## EJEMPLOS DE APLICACIÓN

En el cuadro 1 se recogen las principales características y resultados obtenidos del caudal pico de rotura, para las Presas de La Mortera y La Lastra. Las alturas de estas presas se aproximan a los límites inferior y superior, respectivamente, para la aplicación de los métodos propuestos. El caudal pico obtenido con la aplicación directa del ancho de brecha de la Guía Técnica se denomina SMPDBK.

Los anchos de brecha equivalente son calculados con la ecuación (6) y el caudal pico correspondiente se denomina SMPDBK<sub>b</sub>; en tanto que el correspondiente al tiempo de rotura equivalente es SMPDBK<sub>T</sub>.

La relación Tiempo equivalente/Tiempo de rotura igual a 0,70 y 0,45 se obtienen de la figura 7 (variación del embalse con la altura en forma triangular), a partir de los datos de superficie y altura de embalse.

| Características de presa y embalse       | La Mortera | La Lastra |
|--|------------|-----------|
| Tipología                                | Gravedad   | Gravedad  |
| Longitud de coronación (m)               | 91         | 83        |
| Superficie del embalse (m <sup>2</sup> ) | 8.400      | 9.400     |
| Altura de presa hasta cimiento (m)       | 8,00       | 29,50     |
| Altura del embalse analizado (m)         | 4,00       | 24,60     |
| Características de la brecha             |            |           |
| Tiempo de rotura (min)                   | 10         | 10        |
| Ancho de brecha (G.Técnica) (m)          | 45         | 45        |
| Ancho de brecha equivalente (m)          | 12,25      | 5,53      |
| Tiempo equivalente/Tiempo de rotura      | 0,70       | 0,45      |
| Caudales pico                            |            |           |
| DAMBRK (m <sup>3</sup> /s)               | 53         | 355       |
| SMPDBK (m <sup>3</sup> /s)               | 27         | 72        |
| SMPDBK <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /s)  | 49         | 343       |
| SMPDBK <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> /s)  | 52         | 414       |

Cuadro 1. Cálculo del caudal pico de rotura con cuatro métodos: DAMBRK, SMPDBK, SMPDBK<sub>b</sub> y SMPDBK<sub>T</sub>

Se puede observar que en el caso de la Presa de La Mortera, el caudal pico de rotura obtenido con el DAMBRK (53 m<sup>3</sup>/s) es un 49,1 % superior al obtenido directamente con el SMPDBK (27 m<sup>3</sup>/s), un 7,5 % superior al SMPDBK<sub>b</sub> (49 m<sup>3</sup>/s) y, sólo un 1,9 % superior al SMPDBK<sub>T</sub> (52 m<sup>3</sup>/s).

Para el caso de la Presa de La Lastra, el caudal pico con el DAMBRK (355 m<sup>3</sup>/s) es un 79,7 % superior al obtenido directamente con el SMPDBK (72 m<sup>3</sup>/s), en tanto que es sólo superior en un 3,4 % con respecto al SMPDBK<sub>b</sub> (343 m<sup>3</sup>/s) y, resulta inferior en un 16,6 % con respecto al SMPDBK<sub>T</sub> (414 m<sup>3</sup>/s); recalándose que este último resultado se encuentra del lado de la seguridad.

## CONCLUSIONES

El cálculo del caudal pico de rotura constituye uno de los valores fundamentales que condiciona la clasificación de la presa en función del riesgo potencial. Aunque existen modelos de análisis muy completos para estos estudios (DAMBRK, FLDWAV, MIKE 11, etc.), el modelo simplificado del National Weather Service de los Estados Unidos SMPDBK, constituye una herramienta muy útil y de fácil uso, que requiriendo una mínima información, produce resultados del lado de la seguridad en la casuística general altura de presa-volumen de embalse de grandes presas. Su uso en las primeras fases de este tipo de estudios es fundamental puesto que nos permite decidir la clasificación de la presa y en los casos en que la categoría asignada sea A o

B, nos permite evaluar las necesidades de información cartográfica y de topografía de detalle (escalas, zonas de restitución, etc.), para poder efectuar los estudios de los planes de emergencia de dichas presas, con los modelos completos de análisis.

En este artículo se presenta la corrección que es necesario realizar a partir de un tiempo equivalente de rotura  $te$ , para que siempre se garantice que el caudal pico de rotura sea semejante al que se obtendría al aplicar el modelo completo. Los ejemplos de aplicación presentados para las Presas de La Mortera (pequeña presa) y La Lastra (gran presa), corroboran esta conclusión.

El método del tiempo de rotura equivalente es válido, siempre que la presa se encuentre dentro del rango de aplicación ( $b=45$  m,  $\tau=10$  min,  $2.000 < A_s < 1.000.000$  m<sup>2</sup> y  $4 < h < 30$  m). Para una generalización del método propuesto, sería conveniente encontrar las relaciones  $te/\tau$ , para otros valores de ancho de brecha y tiempo de fallo.

Se llama la atención de que la formulación explícita del ancho de brecha equivalente que maximiza el caudal pico de rotura de presa (Castillo & De Cos 1997b), en las relaciones extremas inferior y superior de altura y volumen, todavía pueden producir resultados del lado de la inseguridad, aunque dichos resultados mejoran ostensiblemente con respecto a la aplicación directa del ancho propuesto por la Guía Técnica. Al existir todavía este grado de incertidumbre, se aconseja utilizar el método únicamente en los casos en que el ancho de brecha y tiempo de fallo de la presa en estudio, no se encuentre dentro del rango contemplado en el método del tiempo de rotura equivalente.

Puesto que la casuística de las presas que requerirían esta corrección es muy amplia, sobre todo en pequeñas presas, como son balsas de regulación para regadíos, abastecimientos, balsas mineras, etc. y, coincidiendo que justamente en este rango se han producido el mayor número de fallos de presas, puesto que se dedican insuficientes recursos para su estudio, construcción y posterior mantenimiento (ICOLD 1995); se espera que la aportación presentada en este artículo, sea de utilidad en la labor de clasificación de dichas presas.

## REFERENCIAS

- Castillo-E. L.G.; De Cos, M. O.; Durán, T. & González, J. 1998. *Dam break equivalent time for the peak flow calculation with classification objective*. International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety. Spanish National Committee on Large Dams (SPANCOLD)-International Committee on Large Dams (ICOLD). Barcelona, Spain. June. A.A. Balkema Publishers, Netherlands.
- Castillo-E. L.G. & De Cos, M. O. 1996a. *Clasificación de las presas en función del riesgo potencial*. VII Congreso Ecuatoriano de Hidráulica. Quito-Ecuador.
- Castillo-E., L.G. & De Cos, M.O. 1996b. *Corrección de la fórmula del SMPDBK para el cálculo del caudal pico de rotura de presas*. VII Congreso Ecuatoriano de Hidráulica. Quito-Ecuador.
- Fread, D.L. 1988. *The NWS DAMBRK Model: Theoretical Background/User Documentation*. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Weather Service. Silver Spring. USA. October..
- ICOLD 1995. *Dam Failures. Statistical Analysis*. Boletín 99. Icold. Paris.
- TYPSA-ECM 1996. *Guía Técnica. Clasificación de presas en función del riesgo potencial*. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Noviembre. Madrid-España.
- Wetmore, J.N. & Fread, D.L. 1981. *The NWS Simplified Dam Break Flood Forecasting Model*. Proceedings of the Fifth Canadian Hydrotechnical Conference, Fredericton; New Brunswick, Canada, May.