

Nota sobre la estabilidad de las presas de gravedad^(*)

Por LUIS TORRENT RODRIGUEZ

Doctor Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

Sobre un tema tan conocido y elemental como es la estabilidad de las presas de gravedad, se recuerda y se subraya en estas notas la repercusión que puede tener una leve variación de la densidad de la fábrica o un pequeño recorte de los taludes del cuerpo de presa, en el coeficiente de seguridad de la obra, ante sollicitaciones fortuitas.

INTRODUCCION

Las presas de gravedad, protagonistas de la política hidráulica española durante más de medio siglo, fueron perdiendo su papel estelar a lo largo de los últimos años, a causa de su creciente carestía frente a otros tipos de obras que permiten mayor mecanización del proceso constructivo o importantes economías en los volúmenes de material. Sin embargo, desde fechas recientes, parece que las presas de gravedad vuelven por sus fueros, al amparo de circunstancias varias coyunturales (energéticas, de aceptación, sociológicas) y llegan cabalgando sobre nuevas técnicas de fabricación, colocación y compactación de los hormigones.

Este es el motivo de redactar estas notas, en las que sólo se pretende recordar temas conocidos y muy elementales de estabilidad de los macizos de gravedad ante los empujes hidrostáticos y la subpresión, y subrayar la gran sensibilidad que, en determinadas hipótesis de carga, tiene la variación de la densidad de la fábrica en relación con los taludes que se adopten para la presa.

SUPUESTOS DE CALCULO

En todo lo que sigue, se va a considerar una presa de gravedad de perfil triangular, con la base horizontal de anchura a , con una altura h , sometida a una carga hidráulica también de magnitud h ; es decir, que la lámina de agua en el embalse coincide con el vértice superior de la sección. Se designa por t_1 el talud del para-

mento mojado de la presa (tangente del ángulo que forma con un plano vertical) y por t_2 el talud del paramento seco, siendo la suma de taludes $t = t_1 + t_2$ (Fig. 1).

La densidad de la fábrica δ , se supone que es uniforme en toda la sección, englobando un coeficiente de aligeramiento respecto a la densidad del hormigón, como consecuencia de los huecos existentes en el macizo (pozos, drenes, galerías, cámaras, etc.).

Tanto en el sólido que constituye el perfil de la presa como en la cimentación, se suponen deformaciones planas, proporcionales a las tensiones y se admite que en las zonas donde resultan esfuerzos de tracción, se produce un «despegue» de la estructura que no se extiende a las superficies comprimidas. La subpresión, que será total en el vértice inferior mojado de la presa (R), conserva su magnitud en toda la zona despegada disminuyendo linealmente, a partir del punto en que comienza la compresión, hasta anularse en el vértice de abajo (C). En los casos de subpresión drenada, se supone que el plano de drenaje está situado a una distancia del vértice B de $1/8$ de la anchura de la base y que, en dicho plano, la subpresión queda reducida a $1/3$ de la carga de agua, anulándose en el pie de aguas abajo.

La estabilidad al vuelco del macizo y el reparto de cargas sobre el plano de cimentación se obtendrá, en cada caso, equilibrando las fuerzas y los momentos, suponiendo nulas las tracciones. Para el deslizamiento, se admite un único valor del ángulo ψ de rozamiento. La densidad del agua se considera igual a la unidad y se omite en el cálculo de los empujes. Como las

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de mayo de 1988.

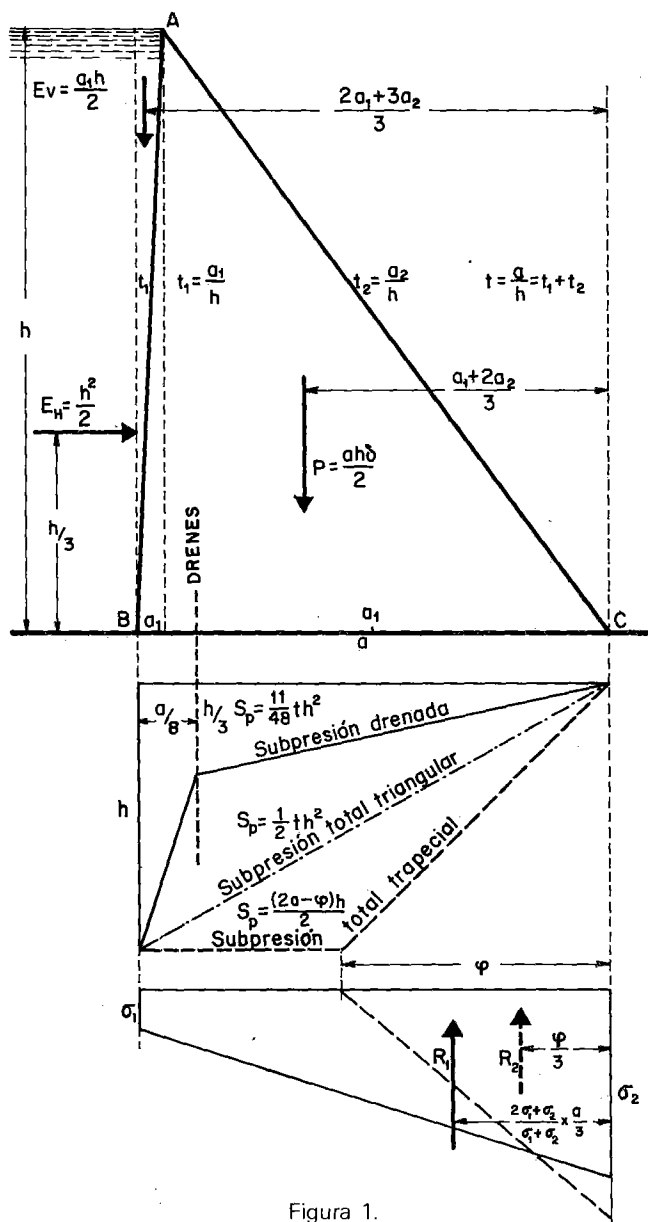


Figura 1.

longitudes se miden en metros, las fuerzas actuantes resultan en toneladas; pero las reacciones sobre el apoyo, σ , se dan en kg/cm². La presión σ_1 corresponde a B; la σ_2 , a C.

Se considerarán acciones sísmicas, en el supuesto de que la presa está situada en zona de sismicidad media y se tomarán las mayores aceleraciones que señala la vigente Instrucción de Grandes Presas, calculando el efecto hidrodinámico del agua embalsada por la fórmula simplificada de Westergaard. De la aplicación de esta fórmula, con 0,1 g de aceleración y carga de agua igual a la altura de presa, se obtiene:

Presión hidrodinámica en la base:

$$\frac{h}{12} \text{ (1/12 de la carga hidrostática)}$$

Empuje hidrodinámico total:

$$\frac{h^2}{18} \text{ (1/9 del empuje hidrostático)}$$

Momento hidrodinámico:

$$\frac{h^3}{45} \text{ (2/15 del momento hidrostático)}$$

Al comprobar la estabilidad al deslizamiento del sólido en los diversos casos de solicitación, se ha prescindido de la cohesión, que es función lineal de la altura (mientras que el rozamiento lo es de su cuadrado). Se deduce así un ángulo de rozamiento, variable con la densidad de la fábrica y los taludes de la presa, que por sí solo garantizaría la estabilidad. Como luego se verá, la garantía no se puede lograr en determinados casos sin contar con una cierta colaboración de la cohesión o resistencia cortante del cemento; en otros, esta resistencia será decisiva para conseguir la estabilidad que, incluso, puede necesitar de más colaboraciones. La Instrucción de Presas española prescribe factores de minoración de 4 ó 5 para la cohesión, dado el carácter, a veces, aleatorio de esta componente de la estabilidad; mientras que para el rozamiento, los coeficientes de seguridad que establece son de 1,2 y 1,5 respectivamente.

1. EMBALSE VACIO

El peso del macizo $p = \frac{ah\delta}{2}$ se reparte sobre la superficie de apoyo según una ley trapecial de presiones, cuyos valores extremos son:

$$\sigma_1 = \frac{h\delta}{10} \frac{t-t_1}{t}$$

$$\sigma_2 = \frac{h\delta}{10} \frac{t_1}{t}$$

Si $t_1 = 0$, la ley es triangular.

Con un efecto sísmico de $\pm 0,1$ g. horizon-

NOTA SOBRE LA ESTABILIDAD DE LAS PRESAS DE GRAVEDAD

tal (+ hacia aguas abajo), normal al eje transversal de la presa, las reacciones serán:

$$\sigma_1^1 = \frac{h\delta}{10} \frac{t - t_1 \mp 0,1}{t}$$

$$\sigma_2^1 = \frac{h\delta}{10} \frac{t_1 \pm 0,1}{t}$$

Si $t_1 < 0,1$, el efecto sísmico hacia aguas arriba da $\sigma_2^1 < 0$; habrá despegue en C, en una longitud de cimienta $\frac{x}{a} = \frac{0,1 - t_1}{t}$, de donde resulta una reacción en B

$$\sigma_1^{11} = \frac{h\delta}{10} \frac{t}{t + t_1 - 0,1}$$

Y si se añade la acción sísmica vertical, mitad de la horizontal, se llega a

$$\sigma_1^{111} = \frac{h\delta}{10} \frac{1,05t}{t + t_1 - 0,1}$$

2. EMBALSE LLENO, SIN PRESION

La resultante de pesos y empujes pasa por un punto del apoyo, situado a una distancia del pie de aguas abajo

$$\frac{x}{a} = \frac{2\delta t^2 + (3 - \delta)tt_1 - t_1^2 - 1}{3t(\delta t + t_1)}$$

Las reacciones, según la ley trapezoidal son, en Kg/cm²,

$$\sigma = \frac{h}{10} \times \frac{\delta t^2 + (2 - \delta)tt_1 - t_1^2 - 1}{t^2}$$

$$\sigma = \frac{h}{10} \times \frac{(\delta - 1)tt_1 + t_1^2 + 1}{t^2}$$

La condición para que no haya tracciones en B ($\sigma_1 \geq 0$, ó bien $x \geq a/3$) se cumple sí

$$\delta \geq \frac{1 + t_1^2 - 2tt_1}{t(t - t_1)}$$

Para que haya estabilidad al deslizamiento (sin cohesión) $\frac{E_H}{R} \leq \frac{tg\psi}{C}$, siendo C el coeficiente

de seguridad, de donde

$$tg\psi \geq \frac{C}{t\delta + t_1}$$

El efecto sísmico a considerar para embalse lleno, será una aceleración horizontal de 0,1 g., en el sentido del empuje del agua, que produ-

cirá un momento de vuelco de $\frac{0,1 a\delta h}{6}$ sobre el cuerpo de la presa y un incremento de $\frac{h3}{45}$ en el empuje hidrostático, con una aceleración vertical de 0,05 g. Se obtiene, respectivamente:

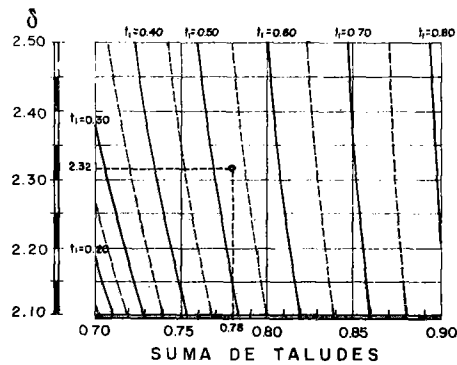
$$\sigma_1^1 = \frac{1,05 h [t^2\delta + (2 - \delta)tt_1 - t_1^2 - 0,095t\delta - 1,079]}{10t^2}$$

$$\sigma_2^1 = \frac{1,05 h [(\delta - 1)tt_1 + t_1^2 + 0,095t\delta + 1,079]}{10t^2}$$

$$\sigma_1^{11} = \frac{0,95 h [t^2\delta + (2 - \delta)tt_1 - t_1^2 - 0,105t\delta - 1,193]}{10t^2}$$

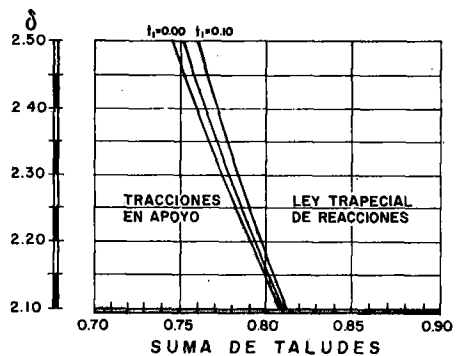
$$\sigma_2^{11} = \frac{0,95h [(\delta - 1)tt_1 + t_1^2 + 0,105t\delta + 1,193]}{10t^2}$$

SUBPRESION NULA



TALUD MAXIMO DEL PARAMENTO MOJADO QUE NO DA TRACCIONES EN EL APOYO.

EJEMPLO:
Suma de taludes 0.78
Densidad 2.32
El talud del paramento mojado puede ser hasta $t_1 = 0.53$ sin que se produzcan tracciones.



CON EFECTO SISMICO
 $h = 0.10g$
 $v = 0.05g$

Figura 2.

La condición para que no haya tracciones es

$$\delta \geq \frac{1,193 + t_1^2 - 2tt_1}{t(t - t_1 - 0,105)}$$

que se cumple para los taludes más habituales.

La estabilidad al deslizamiento (sin cohesión) exige:

$$\text{tg}\psi \geq \frac{1,4035 + 0,1263t\delta}{t\delta + t_1}$$

3. EMBALSE LLENO SUBPRESION TOTAL, SIN DRENAJE

La Instrucción de Presas, en su artículo 30° que trata de la presión intersticial señala:

«... se recurre, en general, a comprobar la estabilidad de la presa... estudiando el posible deslizamiento según un cierto número de superficies elegidas... tales como la superficie de cimentación... En todas estas comprobaciones se supondrá... que la presión intersticial actúa sobre la totalidad del área considerada...».

«... en la (de) fábrica, se considerará el efecto de la presión intersticial en planos horizontales o subhorizontales... tanto en el interior de la fábrica como en el terreno (que) recibe el nombre específico de "subpresión"»...

En el artículo 38.º Combinación de solicitaciones, se indica:

«... A₂. Embalse lleno... El empuje hidrostático y la presión intersticial serán los que correspondan al máximo nivel normal del embalse...B₂₁. Situación A₂, suponiendo ineficaces los drenes...».

La Instrucción no contempla la posibilidad de que la situación de drenaje ineficaz coincida con un movimiento sísmico; sin embargo, aunque ambas circunstancias sean fortuitas, la ineficacia del drenaje puede prolongarse durante un cierto tiempo, por lo que la probabilidad de concurrencia de las dos situaciones adversas será pequeña, pero no despreciable. Más difícil, si se explota correctamente el embalse, es que esta coincidencia se produzca con máximo nivel del espejo de agua.

3a) Subpresión triangular

La interpretación que se suele dar a los párrafos de la Instrucción transcritos, es la de considerar, en la situación B₂₁, una ley triangular de subpresiones, extendida a todo el apoyo, con valor *h* en el vértice mojado. Esta ley triangular de subpresión no es compatible con el perfil del sólido considerado en estas notas, salvo en casos de presas excepcionalmente robustas (por ejemplo, la presa Grado II, con *t* = 0,95 y *t*₁ = 0,3).

En efecto, las reacciones de apoyo en el plano de cimentación que se producen ante este supuesto de solicitaciones son:

$$\sigma_1 = \frac{h[(\delta - 1)t(t - t_1) + t_1(t - t_1) - 1]}{10t^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{h[(\delta - 1)tt_1 + t_1^2 + 1]}{10t^2}$$

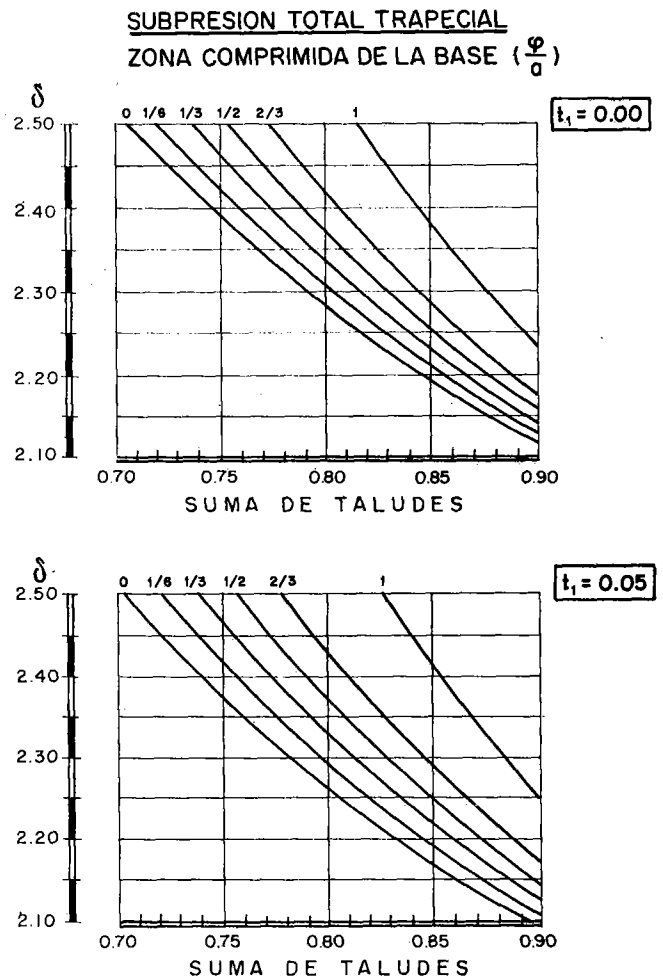


Figura 3.

Solamente para valores muy altos de la suma de taludes t , puede σ , ser nula o positiva. Con los taludes y densidad habituales en las presas de gravedad, resulta $\sigma_1 < 0$ y, por consiguiente, como se supone que la cimentación no soporta tracciones, se producirá un «despegue» y, se transmitirá la subpresión total a toda la zona traccionada. La ley de subpresiones no será, pues, triangular, sino trapezoidal.

3b) Subpresión trapezoidal

La subpresión máxima h se extenderá uniformemente a toda la zona de tracción, descendiendo linealmente, de h a cero, en la parte comprimida del cimiento. Al ser mayor el empuje total bajo el macizo que el que corresponde a la hipótesis triangular, progresa hacia aguas abajo el despegue del apoyo, hasta que se llega a una situación de equilibrio. En esa situación el cimiento está comprimido en una longitud

$$\frac{x}{a} = \frac{(2\delta - 3)t^2 + (3 - \delta)tt_1 - t_1^2 - 1}{(\delta - 2)t^2 + tt_1}$$

SUBPRESION TOTAL TRAPEZOIDAL
ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO
Ángulo de rozamiento mínimo estricto.

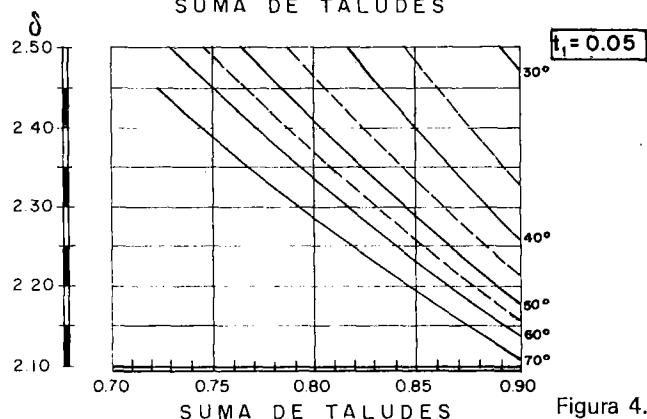
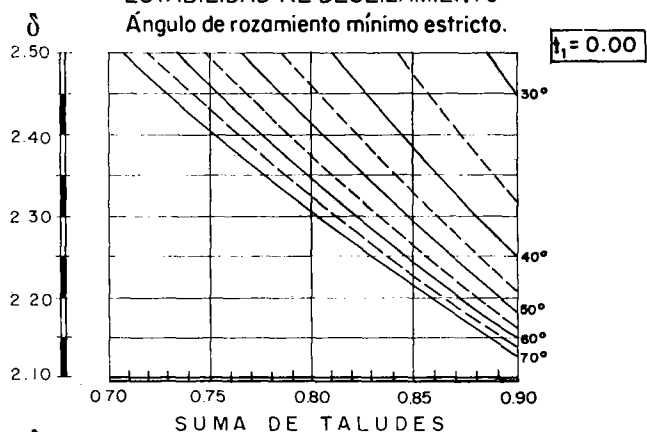


Figura 4.

SUBPRESION TOTAL TRAPEZOIDAL

TALUD MOJADO 0.05 $t_1=0.00$ $t_2=0.10$
TALUD SECO 0.75 $t_2=0.80$ $t_2=0.70$

VARIACION DE LA ZONA COMPRIMIDA ($\frac{\phi}{a}$) Y DE LA PRESION SOBRE EL CIMIENTO ($\frac{\sigma}{h}$) [Kg/cm²] EN FUNCION DE LA DENSIDAD DE LA FABRICA.

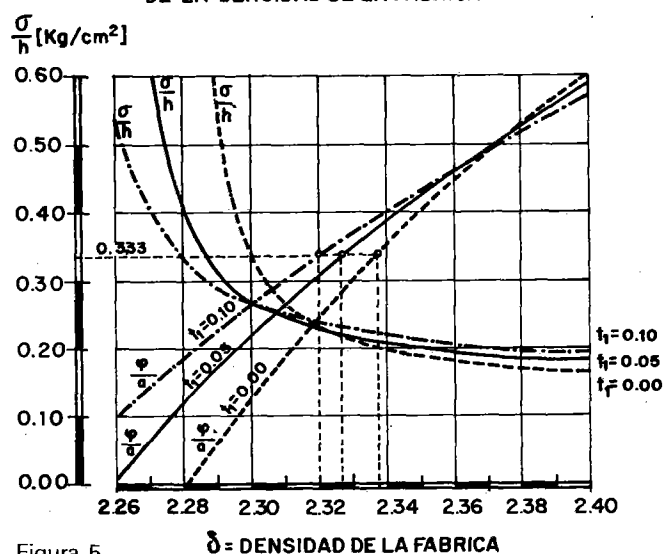


Figura 5.

con una compresión máxima de

$$\sigma_1 = \frac{h}{10} \times \frac{(\delta - 1)t^2 + (\delta - 1)tt_1 - 1}{(2\delta - 3)t^2 + (3 - \delta)tt_1 - t_1^2 - 1}$$

y con el condicionante de estabilidad al deslizamiento, sin cohesión.

$$\frac{E_H}{R} = \frac{(\delta - 2)t + t_1}{(\delta - 1)t^2 + (\delta - 1)tt_1 - 1} = \frac{tg\psi}{C}$$

($C = 1,2$ según estipula la Instrucción para este caso).

Se producirá el vuelco de la presa cuando la longitud de cimiento comprimido sea igual o menor que cero

$$(2\delta - 3)t^2 + (3 - \delta)tt_1 - t_1^2 - 1 \leq 0$$

lo cual se verifica, con densidades normales, a poco que se rebajen los taludes; o bien, con taludes habituales, si la densidad de la fábrica descende un pequeño porcentaje respecto al valor medio que se le suele atribuir.

Por ejemplo: con $\delta = 2,30$, hay vuelco si $t < 0,78$ y $t_1 \leq 0,05$ con $t = 0,8$ y $t_1 = 0,05$, hay vuelco si $\delta > 2,26$

Sin llegar a la situación de vuelco, pueden producirse presiones en el pie de presa por encima de lo admisible. Así, en el ejemplo anterior, si $\delta = 2,262$, la presión sobre el cimiento llegaría a ser $\sigma_2 = 2,93 h$ (km/cm², con h en metros).

Con una densidad de la fábrica de 2,3, que es adoptada con frecuencia, el perfil de presa considerado que es también muy habitual, lleva a un «despegue» de la cimentación de cerca del 80 por 100. Para que la zona sometida a presión no sea menor del 50 por 100 del plano de apoyo, la densidad tendría que estar en torno a 2,375.

La hipótesis de subpresión total trapezoidal es también muy exigente para la estabilidad al deslizamiento de las presas que, en general, no puede ser garantizada solamente por el rozamiento, sin contar con la cohesión o resistencia cortante del cimiento, como en otras hipótesis.

La coincidencia de subpresión no drenada y seísmo, improbable pero posible, como anteriormente se indica, puede llevar a situaciones límites del equilibrio del sólido triangular que se ha venido analizando en estas notas; no cabe, por lo tanto, establecer para este caso unas fórmulas de cálculo simplistas, como las obtenidas para otras solicitudes menos críticas, sino que hay que estudiar la estabilidad del perfil de presa real: un leve buzamiento del plano de cimiento hacia aguas arriba puede impedir la aparición de tracciones, con lo que la subpresión trapezoidal no se presentará; la obra de coronación también es un sumando que altera favorablemente el estado de tensiones en el cimiento, muy sensible a cualquier variación de las masas (en cambio, influye en sentido contrario en el efecto sísmico).

Si el plano de cimentación queda «empotrado» en el terreno, la superficie de deslizamiento se prolongará en toda la longitud del repié. Puede, en este caso, resultar más desfavorable la estabilidad de un plano por encima del de cimiento, que corte macizo y terreno, si no se

tiene en cuenta la resistencia a tracción del hormigón.

Algunos de estos condicionamientos parecen excesivamente rigurosos: por ejemplo, la incapacidad total del cimiento —y sobre todo, del hormigón— a soportar tracciones en todo un plano, con la consiguiente transmisión de la carga hidrostática total a una gran superficie, sin que existan líneas de drenaje preferentes, por anisotropía del terreno o de la fábrica, que mejoren la situación. El inconveniente está en que las circunstancias que podrían resultar favorables, son un tanto fortuitas y difícilmente cuantificables.

4. EMBALSE LLENO SUBPRESION DRENADA

El plano drenante, situado a $1/8$ de la base triangular, permite rebajar a $h/3$ la subpresión actuante, que seguirá una ley triangular hasta el pie de aguas abajo. ¿Cuál será el reparto de subpresiones en el tramo por delante del drenaje? Si todo el tramo resultase sometido a tracciones, la ley sería rectangular, de gradiente nulo. Si parte de la zona estuviera comprimida, el diagrama sería «trapezoidal», con una parte horizontal, de valor h y otra descendente hasta $h/3$. Por último, si toda el área estuviese comprimida, la ley sería linealmente descendente, desde h hasta $h/3$. Este tercer caso es el único que analizaremos, por ser el más frecuente, dentro de la gama habitual de los taludes de las presas de gravedad —de planta recta— y con las normales densidades de la fábrica.

La cimentación de la presa está toda ella sometida a compresión, según una ley trapezoidal, siendo las reacciones, máxima y mínima, las siguientes:

$$\sigma_1 = \frac{h}{1920} = \frac{192 t_2 (t\delta - t_2) + 91t^2 - 192}{t^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{h}{1920} = \frac{192 t_1 (t\delta - t_2) + 13t^2 - 192}{t^2}$$

(Para $t = 0$ $\sigma_2 = \frac{h}{10} (0,0677 + \frac{1}{t_2})$ que es independiente de la densidad de la fábrica).

NOTA SOBRE LA ESTABILIDAD DE LAS PRESAS DE GRAVEDAD

La estabilidad al deslizamiento, sin contar con la cohesión, requiere ($C = 1,5$)

$$\operatorname{tg} \psi \geq \frac{36}{(24\delta - 11)t + 24t_1}$$

Al aplicar el efecto sísmico (el máximo de la zona media, como anteriormente) se obtiene:

$$\sigma_1^1 = \frac{h}{1920} \times \frac{182,4t_2(t\delta - t_2) + 81,4t^2 - 217,6 - 19,2t\delta}{t^2}$$

$$\sigma_2^1 = \frac{h}{1920} \times \frac{182,4t_1(t\delta - t_2) + 22,6t^2 + 217,6 + 19,2t\delta}{t^2}$$

SUBPRESION DRENADA.

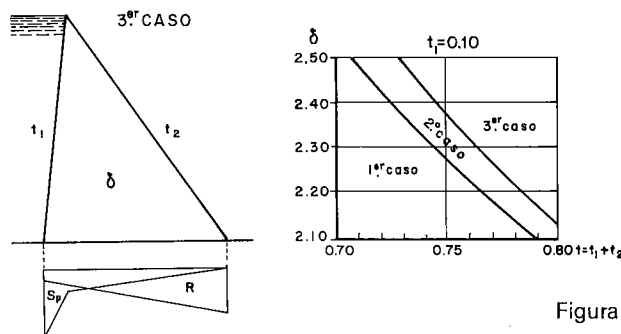
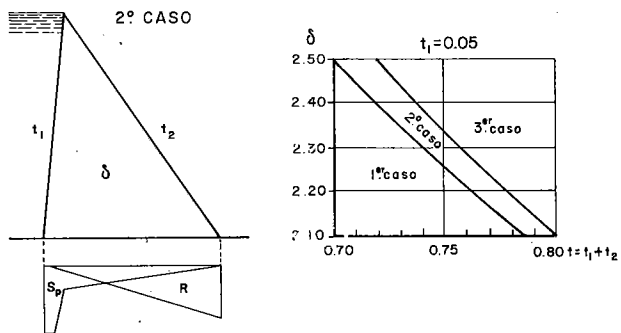
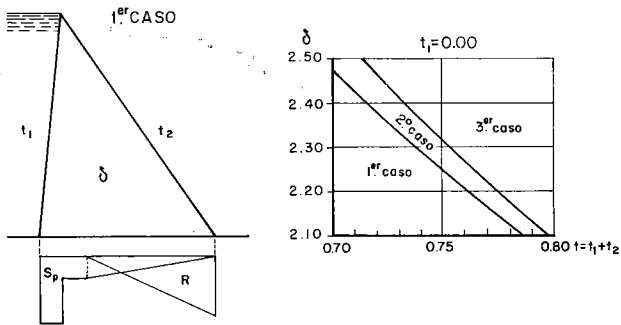


Figura 6.

o bien, si el efecto vertical es hacia abajo.

$$\sigma_1^{11} = \frac{h}{1920} \times \frac{201,6t_1(t\delta - t_2) + 100,6t^2 - 217,6 - 19,2t\delta}{t^2}$$

$$\sigma_2^{11} = \frac{h}{1920} \times \frac{201,6t_1(t\delta - t_2) + 3,4t^2 + 217,6 + 19,2t\delta}{t^2}$$

La reacción σ_1^1 e incluso la σ_1^{11} resultan negativas casi siempre; pero como se supone que el efecto sísmico no llega a actuar sobre la sub-presión, no cambia la sollicitación, sino

SUBPRESION DRENADA

$$h \rightarrow \frac{1}{3}h \rightarrow 0$$

ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO
 $t_1 = 0 \quad t_1 = 0.05$

φ necesario para cumplimiento de la Instrucción (Cohesión nula) (Coef. seg. 1.5)

$t_1 = 0.05$ mejora la estabilidad al deslizamiento φ en 1° de φ
También, aproximadamente $t_1 = 0.10$ mejora 2°

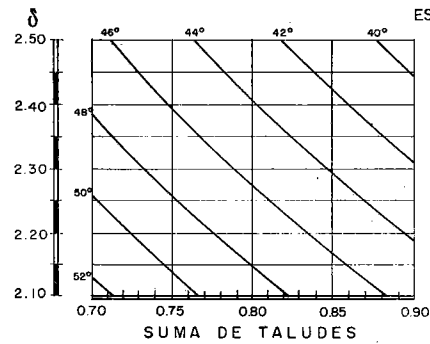


Figura 7.

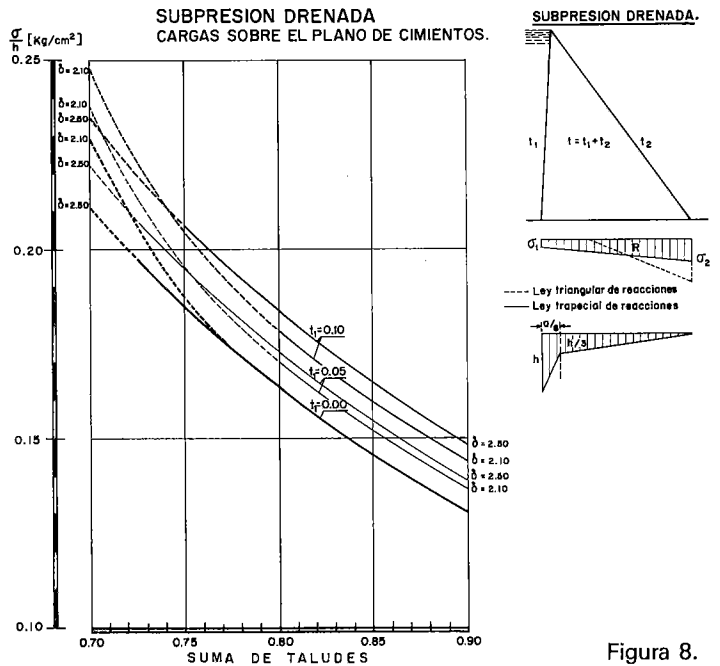


Figura 8.

que se producirán tracciones, que podrán o no ser soportadas.

Si son resistidas, la zona comprimida se extenderá hasta

$$\frac{x}{a} = \frac{\sigma_2}{\sigma_2 - \sigma_1}$$

Si las tracciones no son absorbidas, la compresión en C será:

$$\sigma_2^{111} = \frac{h}{10} \times$$

$$\times \frac{t[(t\delta + t_1)(1 \pm 0,05) - 11/24t]^2}{[t\delta(2t - t_1) + t_1(3t - t_1)](1 + 0,05) - \left(\frac{63}{64}t^2 + \frac{17}{15} + \frac{t\delta}{10}\right)}$$

El efecto sísmico será más desfavorable para el deslizamiento en el caso de aceleración vertical negativa. Sin tener en cuenta la cohesión, y como $C = 1,2$, resulta

$$\text{tg}\psi \geq \frac{32 + 2,88t\delta}{22,8(t\delta + t_1) - 11t}$$

CONCLUSIONES

El análisis de la estabilidad de presas de gravedad que se hace en estas notas es tan elemental en sus planteamientos y en sus cálculos, que puede parecer extravagante la publicación de semejantes «cuentas de la vieja», en estos tiempos en que todo se estudia a base de elementos finitos.

Pero, quizá, esa forma elemental de analizar el tema (por otra parte, tan trillado que resulta casi obvio), permite la observación de algunos aspectos que, cuando el análisis se aborda con complejos programas de ordenador, quedan difuminados entre la hojarasca de los resultados del cálculo.

La primera conclusión de este trabajo, que queda reflejada en los gráficos y se deduce de las fórmulas, es que la estabilidad de las presas, en situaciones circunstanciales de drenaje insuficiente es muy sensible ante pequeñas variaciones del peso específico de la fábrica; por consiguiente, es preciso introducir en los cálculos la densidad real de los hormigones que se van a utilizar y cuidar de que no se produzcan divergencias sensibles, en la fase de construcción. A este respecto queremos señalar que las nuevas técnicas de fabricación y colocación del

llamado «hormigón cilindrado» o «rollcrete», proporcionan, en general, mayores densidades de la fábrica que los métodos tradicionales.

La situación de drenaje insuficiente debe ser subsanada en el plazo más breve posible, sobre todo en obras situadas en zonas de media o alta sismicidad, pues aunque la vigente Instrucción de Presas no lo contempla, es evidente que puede producirse un sismo durante esta situación de deficiencia del drenaje. La norma de explotación debe obligar a rebajar el nivel del embalse hasta la cota adecuada, para que la coincidencia no sea peligrosa para la estabilidad de la presa, en tanto no se corrija la citada insuficiencia.

Hay una tendencia natural en los proyectistas de aquilatar los taludes de presas de gravedad, como consecuencia de cálculos muy sofisticados, basados en hipótesis muy amplias. Estos alarres técnicos, en nuestra opinión, repercuten más en la estabilidad que en el presupuesto de la obra, pues, como también se deduce de las fórmulas y gráficos de estas notas, leves recortes de los taludes pueden alterar notablemente el coeficiente de seguridad de la obra ante circunstancias fortuitas adversas.

Luis Torrent Rodríguez



Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, promoción 1950, es actualmente jefe del Área de Explotación de la Dirección General de Obras Hidráulicas.

Ha colaborado en numerosos proyectos hidroeléctricos del INI (chimenea de San Sebastián, presa de Pías, diques de Cubillos, embalse de Aumedrá, saltos del Cinca, central de Grado I, etc.

En el MOPU desde 1965, intervino en el proyecto de abastecimiento a Madrid por bombeo desde el Alberche (A.M.S.O.) y dirigió las obras de la elevación reversible de Altomira (Trasvase Tajo-Segura). Ha colaborado también en algunos proyectos para el extranjero (Valdesia, R. Dominicana; Acueducto de Santa Elena, Ecuador).

Asiduo colaborador de esta Revista, sus publicaciones versan sobre hidráulica de conducciones, chimeneas de equilibrio, instalaciones de bombeo, etc., con esporádicas incursiones de «divertimento» en otros campos.