

COMENTARIOS al artículo «Seguridad de las presas de gravedad», de Angel Araoz, publicado en el nº 3.292, págs. 19 a 26.

Por ALFONSO ALVAREZ y MIGUEL ANGEL TOLEDO

Nos unimos a la afirmación de nuestro compañero Angel Araoz referente a que con frecuencia se consideran las presas de gravedad como las más seguras y que ello influye la creencia de que se saben calcular con exactitud.

Dejaremos ahora aspectos interesantes, tales como la importancia de realizar un cálculo tridimensional del conjunto de la presa en lugar de cálculo bidimensional de una rebanada vertical, y la repercusión que tiene el considerar los módulos de deformabilidad del hormigón y de la roca de cimentación así como el análisis de eventuales fisuras en el pie de agua arriba, o inicio de rotura. Una síntesis de estos aspectos puede ser objeto de otro artículo.

Teniendo en cuenta lo anterior puede afirmarse que el cálculo habitualmente aplicado a las presas de gravedad es sólo una aproximación y puede diferir bastante de la realidad.

Con independencia de ello es indiscutible que las presas de gravedad, precisamente por ser de hormigón, son más seguras en caso de verter por encima una crecida que llene el embalse. Normalmente las presas de materiales sueltos, por tener muy poca cohesión, quedan destruidas mientras las de hormigón no sufren daños.

Corroboramos también otra afirmación de Angel Araoz, la relativa a que la mayoría de las cerradas idóneas para presas de hormigón tienen ya presas construidas en ellas, mientras las cerradas todavía sin ocupar suelen presentar condiciones geológicas poco adecuadas para presas de gravedad del modelo habitual.

Esta circunstancia ha llevado a la adopción de presas de materiales sueltos, que por otra parte resultan más económicas que las de gravedad con hormigón convencional salvo que el aliviadero y otros elementos hidráulicos tengan gran importancia en relación con el cuerpo de presa.

No debe olvidarse que, disponiendo en ellas un resguardo suficientemente amplio para que una crecida, sensiblemente mayor que la máxima prevista, no pueda rebasar la coronación, las presas de materiales sueltos son tan seguras, o más que las de gravedad.

Hoy día, la técnica del hormigón compactado con rodillo vibrante permite en muchos casos cambiar la inclinación de la balanza que estaba a favor de las presas de materiales sueltos.

El coste del metro cúbico de hormigón compactado resulta menor que el coste del metro cúbico de hormigón convencional, entre un 20 y un 30 por 100.

Esta reducción de coste es la consecuencia de requerir menos conglomerante, de suprimir juntas verticales con sus correspondientes encofrados y de permitir mayor rapidez en la puesta en obra.

Comparemos ahora el perfil A, que tiene razón A. Araoz al afirmar es el más usado, y el perfil B que también cumple la definición de presa de gravedad.

Las diferencias son:

1. El perfil B tiene un volumen 25 por 100 mayor que el de A. Realizando el B con hormigón convencional sería más caro y por eso habitualmente no se adopta. En cambio, construido de hormigón compactado con rodillo podría ser de igual coste o incluso más barato que el A, hecho éste con hormigón convencional.

2. El B tiene mayor peso propio estabilizador, mientras el empuje horizontal del agua es el mismo. Además actúa, también con misión estabilizante, el peso de la cuña de agua sobre el paramento de arriba. La suma de las fuerzas verticales es apreciablemente mayor, sin variar el empuje horizontal; para un cimiento con discontinuidades horizontales de rozamiento bajo la presa, el perfil B puede conseguir adecuada seguridad al deslizamiento y no así el perfil A.

3. Por ser mayor la longitud de base, en la sección B las tensiones unitarias quedan con límites más reducidos que en la A. Variando convenientemente los taludes puede conseguirse tengan valores iguales agua arriba y agua abajo.

Para cuantificar estas afirmaciones se han calculado varias secciones triangulares de presa, con distintas alturas y taludes. El cálculo se ha realizado considerando régimen elástico, reparto li-

COMENTARIOS A ARTICULOS PUBLICADOS

neal de las tensiones, peso específico del hormigón igual a 2,4, nivel de embalse coincidiendo con el vértice de coronación de la presa, y subpresión nula en el pie de agua abajo, con valor H (altura de presa) en el pie de agua arriba y $H/3$ en la línea de drenes situada a distancia $0,05H + 1,0$ del paramento de agua arriba.

El cuadro que se adjunta recoge los valores de:

- Tensiones agua arriba y agua abajo.
- Suma de fuerzas verticales.
- Suma de fuerzas horizontales.

En este cuadro puede verse:

A) La altura de presa tiene influencia importante en el sentido de que con altura pequeña las tensiones son moderadas y la presa puede resultar idónea incluso para cimentación débil.

B) Aumentando la suma de taludes, aunque el peso también aumenta, las tensiones disminuyen porque las fuerzas se reparten en una mayor base.

C) Al inclinar el paramento de agua arriba conservando el volumen, lo que se consigue desplazando el vértice de coronación, se mejora la estabilidad al deslizamiento pero crece rápidamente la compresión en el pie de agua abajo y pueden aparecer tracciones en el de agua arriba.

D) Con taludes 0,10 y 0,90 se consigue igualar las tensiones de ambos pies.

Se ha preparado otro cuadro indicando el cociente entre la suma de fuerzas verticales F_v y de horizontales F_h para los distintos taludes analizados.

Este cociente es independiente de la altura de presa.

Se indica también el rozamiento mínimo que debería haber entre hormigón y roca, o entre las discontinuidades de la roca (supuestas estas horizontales), para conseguir un coeficiente de seguridad 1,5 al deslizamiento.

Tales valores se han deducido sin tener en cuenta la estabilidad correspondiente al encaje de la presa en el terreno, encaje que permite aceptar rozamientos menores de los indicados.

En conclusión puede decirse:

1. Presas de gravedad con perfiles distintos de los habituales, esto es, con paramento de agua arriba más inclinado y mayor suma de taludes, permiten conseguir la deseada seguridad aunque

ALTURA DE PRESA: 25 m.

Taludes		Tensiones (kg/cm ²)		Suma fuerzas (Tm)	
Arr.	Ab.	Arr.	Ab.	Vert.	Horiz.
0.00	0.75	1.7	3.1	464.6	312.5
0.10	0.65	1.6	3.5	494.1	312.5
0.20	0.55	1.6	3.8	523.2	312.5
0.00	0.85	2.1	2.7	533.8	312.5
0.10	0.75	2.1	3.0	563.5	312.5
0.20	0.65	2.1	3.3	593.0	312.5
0.00	1.00	2.6	2.2	635.2	312.5
0.10	0.90	2.6	2.5	665.2	312.5
0.20	0.80	2.6	2.8	694.9	312.5

ALTURA DE PRESA: 50 m.

Taludes		Tensiones (kg/cm ²)		Suma fuerzas (Tm)	
Arr.	Ab.	Arr.	Ab.	Vert.	Horiz.
0.00	0.75	3.3	6.5	1888.1	1250.0
0.10	0.65	3.3	7.2	2009.6	1250.0
0.20	0.55	3.2	8.0	2130.3	1250.0
0.00	0.85	4.3	5.6	2155.9	1250.0
0.10	0.75	4.3	6.2	2277.9	1250.0
0.20	0.65	4.2	6.8	2399.2	1250.0
0.00	1.00	5.2	4.7	2552.7	1250.0
0.10	0.90	5.2	5.2	2675.2	1250.0
0.20	0.80	5.2	5.8	2797.2	1250.0

ALTURA DE PRESA: 75 m.

Taludes		Tensiones (kg/cm ²)		Suma fuerzas (Tm)	
Arr.	Ab.	Arr.	Ab.	Vert.	Horiz.
0.00	0.75	4.9	9.9	4272.0	2812.5
0.10	0.65	4.9	10.9	4548.1	2812.5
0.20	0.55	4.8	12.1	4822.9	2812.5
0.00	0.85	6.4	8.5	4867.7	2812.5
0.10	0.75	6.4	9.4	5144.4	2812.5
0.20	0.65	6.3	10.4	5420.1	2812.5
0.00	1.00	7.9	7.2	5753.5	2812.5
0.10	0.90	7.9	7.9	6031.0	2812.5
0.20	0.80	7.8	8.7	6307.8	2812.5

ALTURA DE PRESA: 100 m.

Taludes		Tensiones (kg/cm ²)		Suma fuerzas (Tm)	
Arr.	Ab.	Arr.	Ab.	Vert.	Horiz.
0.00	0.75	6.6	13.3	7616.4	5000.0
0.10	0.65	6.6	14.6	8109.5	5000.0
0.20	0.55	6.4	16.2	8600.9	5000.0
0.00	0.85	8.5	11.4	8669.0	5000.0
0.10	0.75	8.5	12.6	9163.0	5000.0
0.20	0.65	8.4	13.9	9655.6	5000.0
0.00	1.00	10.5	9.6	10237.7	5000.0
0.10	0.90	10.5	10.6	10732.7	5000.0
0.20	0.80	10.4	11.7	11226.7	5000.0

el terreno tenga condiciones menos idóneas, admita tensiones menores y ofrezca menor rozamiento que garantice la estabilidad al deslizamiento.

2. El volumen de la presa aumenta, pero realizada con hormigón compactado con rodillo puede ser competitiva ante presas de materiales sueltos sobre todo cuando el aliviadero tiene importancia relativa grande.

3. Lo antedicho cobra mayor relieve para presas de altura moderada.

CONTESTACION DEL AUTOR

De acuerdo en las líneas generales, máxime cuando los comentaristas están a su vez, de acuerdo con las líneas generales de mi artículo.

En cuanto a los puntos de vista o nuevos criterios que se exponen en el comentario, el cálculo tridimensional de la presa de gravedad no creemos que sea interesante, pues su indiscutible finura es mayor que la necesaria y que la de las hipótesis y parámetros en juego, por ejemplo la resistencia al corte de los macizos rocosos:

De acuerdo en que las presas de hormigón, no las de gravedad sólo, son más seguras en caso de vertido, pero también estaríamos de acuerdo en que un mayor resguardo puede evitar el vertido.

Tampoco discuto la mayor economía de las presas de hormigón compactado, es más, mi artículo las englobaba como "de gravedad".

En cuanto a la comparación con las soluciones de talón reforzado agua arriba, el tema es más discutible, pues el peso que añadimos no es del agua más del hormigón, si no el del agua más el hormigón menos la subpresión (casi seguro el 100% en esa zona), es decir, tenemos como esta-

bilizador el peso sumergido del talón de hormigón.

La indiscutible ventaja de la solución de talón reforzado es su mayor ancho de base y menores cargas en el terreno, pero las cargas en el terreno (las normales) no suelen ser problema, pues lo que falla es la resistencia al corte.

Es en este punto donde tendría que centrarse la discusión, llevando los criterios de cálculo de seguridad no a términos generales de esfuerzos totales verticales V y horizontales H sino a cargas unitarias σ y τ en, máximo esfuerzo normal y cortante de la cimentación.

También estamos de acuerdo en que pueden aceptar taludes más variables y creemos que precisamente podría ser un estudio interesante, al alcance en medios y conocimientos de Alfonso Alvarez, realizar cálculos sistemáticos en términos de mecánica elástica bidimensional de una sección con dos parámetros variables.

1º Talud de agua arriba de vertical a 1/5 con agua arriba más agua abajo suma 0,80.

2º Rampa entre horizontal y 15 a 20º.

En estos cálculos de planteamiento análogo a los clásicos con cimiento horizontal se referiría la seguridad a la combinación más desfavorable σ/τ con relación a la curva de resistencia intrínseca o envolvente de los círculos de rotura de MÖHR y se plantearían en términos de mecánica elástica bidimensional clásica determinando σ y τ en cada punto de la sección y las líneas de esfuerzos cortante nulo y de igual esfuerzo normal, que creemos no diferirían demasiado de las clásicas, pues sólo modificaríamos las condiciones de entorno en cuanto a cimentación.

Otro camino interesante sería un cálculo por elementos finitos introduciendo una tercer variable que serían las condiciones tensodeformacionales de la cimentación.