

PRINCIPALES CAUSAS DE FALLAS EN LOS CONJUNTOS HIDRAULICOS

Carlos Orlando Hernández Suárez
Ingeniero Hidráulico, Doctor en
Ciencias, Investigador Auxiliar
del Centro de Investigaciones
Hidráulicas del ISPJAE.

Resumen :

En el trabajo se presentan de forma muy sucinta, las principales causas de fallas que pueden ocurrir en los Conjuntos Hidráulicos, explicándose las características fundamentales de estas fallas, así como algunas de las posibles medidas a tener en cuenta para evitar la ocurrencia de estos fenómenos. Además se presentan algunos datos relacionados con los mayores desastres ocurridos en el mundo.

1.- Introducción.

Las fallas que pueden presentarse en un Conjunto Hidráulico constituyen, sin lugar a dudas, una de las principales preocupaciones del inversionista, del proyectista, del constructor y de todas las personas que viven aguas abajo de la obra. Esta preocupación se debe no solo al fracaso económico que constituye la rotura de la misma, sino también a la latente amenaza que ello representa para la seguridad pública.

A pesar de los esfuerzos internacionales que se han realizado para publicar las causas de las fallas más importantes ocurridas, los mismos siempre se han visto frenados por la resistencia natural que tiene toda organización que proyecta o construye.

Las fallas en un Conjunto Hidráulico pueden clasificarse de dos maneras: Falla no catastrófica y Falla catastrófica. La primera de las fallas se puede definir como aquella que produce un colapso parcial de la obra y la acción del hombre sobre la misma, permite su rehabilitación y utilización posterior; la segunda a diferencia de la primera, es aquella falla o defecto en el comportamiento de la obra que puede

implicar la destrucción de esta, si en determinadas circunstancias se suman otros efectos que por si solos no serian capaces de destruirla.

En Cuba nunca se ha tenido una falla catastrófica en más de 120 grandes presas construidas, no siendo así en el caso de fallas no catastróficas donde se han presentado 6 fallas de distintos tipos.

2.- Desarrollo.

Las principales causas de fallas catastróficas en los Conjuntos Hidráulicos, las constituyen:

- 1.- Mal diseño del aliviadero o vertedor.
- 2.- Sifonamiento de la base o el terraplen.
- 3.- El deslizamiento del talud aguas abajo.
- 4.- El agrietamiento transversal.
- 5.- El efecto de los sismos.

1.- Mal diseño del aliviadero o vertedor

De la función que realiza el aliviadero o vertedor dentro de un Conjunto Hidráulico, se desprende de por si la importancia y el cuidado que se debe tener a la hora de concebir, ubicar, diseñar y construir este objeto de obra.

Numerosas pueden ser las causas que dan origen a la ocurrencia de estas fallas, pero a juicio del autor de este trabajo, se pueden considerar como principales: la insuficiencia del vertedor para evacuar la avenida, las deficiencias desde el punto de vista constructivo, la falta de mantenimiento y la mala operación de las compuertas en los aliviaderos regulados, la ineficiencia de la estructura terminal o disipadora y la no contemplación en el diseño de las condiciones que se tienen aguas abajo de la obra.

En relación con las causas antes mencionadas se quiere hacer especial énfasis en la última de las enumeradas, pues la misma resulta ser en extremo peligrosa no solo para el Conjunto Hidráulico, sino también para todas aquellas obras que se encuentren ubicadas aguas abajo del mismo.

Por solo mencionar un ejemplo, resulta muy frecuente en el diseño de un aliviadero, el hecho de que el proyectista centre toda su atención en la obtención de un vertedor capaz

de evacuar y resistir el paso de la avenida de diseño, sin embargo muchas veces ocurre que este proyectista no tiene en cuenta que ese gasto que es evacuado por el aliviadero, es descargado hacia un río, en el cual pueden presentarse obstáculos naturales o artificiales incapaces de permitir el paso de dicho gasto a través de ellos. Este aspecto puede traer consigo numerosas consecuencias entre las que se pueden mencionar:

a - La inundación parcial o total de la zona comprendida entre el aliviadero y el obstáculo en cuestión, lo cual puede convertirse en extremo peligrosa si en dicha zona se ubica un poblado o ciudad.

b - La destrucción parcial o total de estos obstáculos debido a las excesivas cargas que se pueden producir sobre el mismo. Esta situación puede ser muy importante, ya que en muchas ocasiones estos obstáculos resultan ser importantes puentes viales y ferroviarios que enlazan pueblos o ciudades.

c - La destrucción total o parcial del aliviadero como resultado del remanso que se produce aguas abajo del mismo, lo cual genera funcionamientos no previstos en el diseño de esta obra. En Cuba esta situación se produjo en el aliviadero de la micropresa Las Monjas, donde se afectó parcialmente dicho aliviadero.

Por último, no se quiere cerrar este punto sin antes comentar el hecho de que la bibliografía consultada sobre el tema apunta que un 35 % de los accidentes ocurridos en los Conjuntos Hidráulicos fueron debidos a la falla del aliviadero o vertedor.

2.- Sifonamiento de la base o el terraplén.

El sifonamiento es aquel fenómeno que se produce cuando una fuga de agua se concentra y erosiona al suelo progresivamente hasta formar un conducto. En el caso específico de una presa, el conducto que se forma es capaz de unir el embalse con el pie del talud aguas abajo.

La literatura consultada plantea que el sifonamiento constituye la causa más frecuente de falla catastrófica en las presas después del desbordamiento por mal diseño del aliviadero. El mayor número de fallos debidos a esta causa, se ha registrado en presas viejas y mal construidas, y debido a

que casi siempre el fallo es catastrófico, es difícil una vez ocurrido efectuar su restauración.

Muchos de los requerimientos que hoy día se exigen en las presas son medidas concebidas para disminuir la posibilidad de sifonamiento. Ejemplo de lo anterior son las especificaciones de humedad y densidad en los contactos de la presa con las estructuras de hormigón, las exigencias en cuanto a homogeneidad en un tipo de material compactado y otras, que han hecho que en la práctica moderna de construcción sea raro un caso de sifonamiento por el terraplén.

No obstante, los casos de sifonamiento por la base son los más difíciles de prever y controlar. En Cuba el sifonamiento en la base ha sido el que con mayor frecuencia se ha presentado, ejemplo de ello son los que se han producido en las presas Laguna Grande y La Paila, sin que en las mismas se produjese el fallo catastrófico.

Para la protección contra el sifonamiento, aparte de los ya mencionados requerimientos constructivos sobre homogeneidad del terraplén y grado de compactación, la práctica moderna de diseño y construcción de presas incluye las siguientes medidas:

- a.- Disminución del gradiente hidráulico.
- b.- Control de la salida del agua, de modo que no se produzcan arrastres de las partículas de suelo.

El disminuir el gradiente hidráulico bajo la presa, permite reducir la velocidad del agua y de hecho aminora la posibilidad de arrastre de las partículas. Las formas en que puede lograrse esto son variadas y en muchos proyectos se utilizan más de una. Ejemplos típicos son:

- La creación de un dentellón que corte total o parcialmente la capa permeable.
- La colocación de un delantal impermeable que alargue el recorrido del agua.
- La creación de una cortina de inyección cuando la capa permeable sea profunda.

3.- El deslizamiento del talud aguas abajo.

Los deslizamientos son una de las causas frecuentes de fallas en las presas de tierra. Constituyen un fenómeno

espectacular y peligroso, a la vez que son susceptibles de un tratamiento analítico detallado. Por este motivo han recibido una atención grande por parte de los ingenieros que proyectan presas.

Un deslizamiento se produce cuando a lo largo de una determinada superficie de falla se ejercen esfuerzos de cortante mayores que la resistencia que puede movilizar el suelo en esa misma superficie.

En la siguiente tabla se muestra una lista tomada de Middlebrooks, T.A. en la que se aprecia la ocurrencia de deslizamientos según el número de años desde la terminación de la obra.

Número de años desde la terminación	Porcentaje de deslizamientos ocurridos
0-1	29
1-5	24
5-10	12
10-20	12
20-30	12
30-40	11
40-50	0
50-100	0

Como se puede ver, casi la mitad de los deslizamientos se producen en los primeros cinco años.

En Cuba se han presentado deslizamientos importantes en dos presas; El Salto (Cienfuegos) y Zaza (Sancti Spiritus). Ambos ocurrieron en el talud aguas abajo, con el embalse lleno / dentro de los primeros cinco años después de terminada la presa.

De modo general, los deslizamientos pueden agruparse en tres categorías:

- Deslizamiento durante la construcción
- Deslizamiento del talud aguas abajo durante la operación.
- Deslizamiento del talud aguas arriba luego de un desembalse rápido.

4.- El agrietamiento transversal.

Las fallas por agrietamiento, causadas por asentamientos diferenciales de la cortina en las presas de materiales locales, son mucho más numerosas de lo que la literatura sobre el tema pudiera hacer pensar.

Se reportan como agrietamientos, aquellos que no pueden pasar inadvertidos, pero posiblemente muchas fallas de presas que se achacan a otras causas, principalmente sifonamientos, tienen su origen en la aparición de grietas o fisuras no muy grandes en la masa del suelo.

En Cuba solo se ha presentado agrietamiento en una de nuestras grandes presas (Higuanojo en 1977) y luego de reparada no se han presentado nuevos problemas en la misma.

El agrietamiento se produce cuando en el cuerpo de la cortina se producen esfuerzos de tracción. Estos esfuerzos tienen su origen en deformaciones diferenciales entre las distintas partes del terraplén, incluyendo su cimentación.

El agrietamiento puede ser transversal al eje de la presa y longitudinal cuando coincide con dicho eje. Las grietas pueden tener extensiones y anchos muy variables, las grietas anchas y grandes, aunque peligrosas, son fácilmente detectables, siendo las finas las más peligrosas por cuanto pueden pasar inadvertidas.

De los dos tipos de agrietamientos, los más peligrosos suelen ser los correspondientes a las grietas transversales, pues las mismas pueden atravesar la presa desde aguas arriba hasta aguas abajo, facilitando el flujo concentrado en una zona de la cortina.

En relación con la protección contra el agrietamiento, es previsible que una buena parte de la misma siempre provenga de la posibilidad que tenga el proyectista de evitar ese fenómeno. En los últimos años, el desarrollo de métodos de análisis, como el de los elementos finitos, permite en buena medida pronosticar las posibles zonas de tracción y agrietamiento.

La limitación fundamental sigue siendo la calidad de los datos con los que se pretenda describir el comportamiento de los materiales de la presa. Es por eso que aun con los métodos más modernos de análisis, será necesario recurrir al

buen juicio y a la experiencia del proyectista a la hora de evaluar la posibilidad de agrietamiento en una presa.

El elemento fundamental de protección contra el agrietamiento, una vez que se ha llegado a la geometría de presa menos peligrosa en este sentido, es la selección de la forma en que se comportarán los suelos arcillosos (humedad y densidad). Los suelos compactados del lado húmedo son definitivamente más flexibles que los compactados del lado seco.

5.- Efecto de los sismos.

Debido a lo relativamente jóvenes que resultan las presas cubanas, no es posible comentar sobre el efecto de los sismos en las mismas.

A continuación se presenta un sumario de efecto de los sismos sobre las presas según Middlebrooks, T.A.

- 1.- En la mayoría de las presas sacudidas por sismos severos se han presentado dos tipos de daños: grietas longitudinales en la corona y asentamientos de la misma. Los asentamientos de la corona no han sido lo suficientemente grandes como para que se produzca el fallo de la obra por rebosamiento de la cortina.
- 2.- Solo en el caso de la presa Sheffield (Estados Unidos) se produjo la destrucción de la presa bajo los efectos de un sismo y los estudios posteriores indicaron que se debió a la licuación de los suelos granulares en la parte inferior del terraplén.
- 3.- Los daños a la presa son causados por la componente horizontal del movimiento en la dirección transversal al eje de la cortina.
- 4.- Los sismos han causado pocas fallas por deslizamiento en presas de tierra.
- 5.- Hay grandes indicios para considerar que las presas con núcleos de hormigón son particularmente susceptibles a los sismos, ya que el hormigón y el terraplén no vibran con la misma frecuencia.

Por último, a continuación se presenta una tabla, donde se resumen las pérdidas humanas estimadas, resultantes de algunos de los mayores desastres ocurridos en el mundo, publicada por la ICOLD.

Presa	País	Año	
		desastre	Muertes
Mac hu II	India	1979	2 000
San Idelfonso	Bolivia	1626	*
Vacint	Italia	1963	2 600
South Fork	USA	1889	2 209
Panshet-Khadakwasla	India	1961	Desconoc.
Orós	Brasil	1960	**
Puentes	España	1802	608
Kuala Lumpur	Malasia	1961	600
Gleno	Italia	1923	600
St. Francis	USA	1928	450
Malpasset	Francia	1959	421
Hyokiri	Corea del Sur	1961	250
Quebrada La Chapa	Colombia	1963	250
Bradfield	Inglaterra	1864	238
El Habra	Argelia	1881	209
Sempor	Indonesia	1967	200
Nalnut Grove	USA	1890	150
Babii Yar	URSS	1961	145
Vega de Tera	España	1959	144
Mill River	USA	1874	143
Buffalo Creek	USA	1972	125
Valparaiso	Chile	1888	Más de 100
Allasella Zarbinc	Italia	1935	" " "
Bouzey	Francia	1895	" " "
Nanaksajan	India	1967	100

* Se estiman hasta 4 000, probablemente menos.

** Se estiman hasta 1 000, pero probablemente menos.

Según estudios realizados hasta el año 1977, se plantea que como promedio, 133 personas mueren al año como resultado de los desastres ocurridos en Conjuntos Hidráulicos.

3.- Conclusiones.

Como se puede apreciar a lo largo del trabajo, numerosas pueden ser las causas que ocasionan las fallas en los Conjuntos Hidráulicos, así como las soluciones a adoptar en cada caso, pero sin lugar a dudas, lo más importante resulta ser la toma de conciencia de los daños que pueden ocasionar estas fallas, pues toda vez que estas ocurren, numerosas son las vidas que cobran estos desastres. Es por eso que a través de esta modesta recopilación de información es objetivo del autor de este trabajo, hacer un llamado a todos los que de una forma u otra tienen que ver con el diseño, construcción y explotación de estas necesarias e imprescindibles obras, así como a aquellas entidades encargadas de dictar y adoptar las medidas necesarias para la prevención de estas catástrofes.

5.- Bibliografía.

- 1.- Horta, E.: Influencia del análisis deformacional en el diseño de presas en Cuba, Revista Ingeniería Civil, No 6, Ciudad de la Habana, Cuba, 1983.
- 2.- Jansen, R.B.: Dams and Public Safety, U.S.Dept. of the Interior, USA, 1980.
- 3.- Marsal, R.J. y D. Resendiz: Presas de tierra y enrocamiento, Editorial Limusa, México, 1975.
- 4.- Tamez Glez., E.: Principios del diseño y construcción de Presas de tierra, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, 1963.
- 5.- Horta, E. y Montaña, D.: Estudio del agrietamiento de la presa Higuanojo, Ingeniería Civil, No 6, Ciudad de la Habana, Cuba, 1980.
- 6.- Middlebrooks, T.A.: Earth Dam Practice in the United States, Transactions, American Society of Civil Engineers, Centennial Volume, USA, 1953.
- 7.- Sherard, J.L. ; R.J.Woodward ; S.F.Gisienski y W.A. Cleavenger: Earth and Earth rock Dams, John Wiley and sons, Inc., New York, 1963.
- 8.- Sherard, J.L. ; Dunningan ; R.S. Decker y E.F. Steele: Pinhole test for Identifying Dispersive Soils, Journal Geotechnical Division, Proceeding ASCE, Vol. 102, No GT.1, January, USA, 1976.

- 9.- Novoa, R. y Horta, E.: Presas de tierra, Editorial ISPJAE, Ciudad de la Habana, Cuba, 1987.
- 10.- Slieski, S.M. : Cálculos Hidráulicos de construcciones Hidráulicas con carga alta, Editorial Energía, Moscú, 1979.