

Dirección; debiendo también consignar que la mayoría de los múltiples y especiales aparatos y elementos que en ella se comprenden se han construido

en nuestros propios talleres, establecidos para la construcción y conservación de las obras y la explotación de los servicios comerciales en el puerto.

José AYXELÁ

Ingeniero director del puerto de Barcelona

Revista de Revistas

La rotura de la presa de San Francisquito.

En nuestro último número se dió cuenta de la catástrofe ocasionada por la rotura de esta presa, y se apuntaba la idea de que la causa pudiera haber sido la deficiencia de condiciones resistentes del terreno de cimentación. En el número de 5 de abril de la revista *Engineering News Record* se hace un extenso resumen del dictamen emitido por una Comisión nombrada por el gobernador del Estado de California, y de dicho resumen tomamos las siguientes notas.

Las conclusiones de la Comisión se resumen de este modo:

1.ª La rotura de la presa de San Francisquito se debe a cimentación defectuosa.

2.ª No existe ninguna circunstancia que dé lugar a pensar que las teorías actuales, que sirven de base para calcular presas de gravedad, sean erróneas; ni tampoco para sospechar que sean poco seguras las presas de hormigón en masa, calculadas con arreglo a estas teorías. Al contrario, el haber permanecido en pie la parte central en tan adversas circunstancias prueba de un modo evidente la estabilidad de estas estructuras cuando están construídas sobre terreno firme.

3.ª La rotura de esta presa indica que es de desear que todas estas estructuras se erijan y conserven bajo la inspección y vigilancia del Estado.

Este desastre pone de relieve el hecho de que, mientras los constructores obtienen grandes beneficios, la rotura de estas presas origina catástrofes en las que perecen los que no tienen intervención en los proyectos ni en la construcción y conservación de tales obras. La alta inspección del Estado debe, pues, extenderse a todas las presas que embalsen gran cantidad de agua.

Indagaciones de la Comisión.

La retención de aguas en la presa de San Francisquito empezó en marzo de 1926; pero sólo se retuvo en dicho año un volumen aproximado al tercio de la capacidad total.

En enero de 1927 el embalse se llenó hasta 0,90 m. bajo el nivel del vertedero, y se mantuvo así durante casi todo el año. El embalse estaba prácticamente lleno cuando ocurrió la rotura de la presa.

Las filtraciones en el cuerpo de la presa no fueron nunca grandes; pero las filtraciones a través del cimienton parece que llegaron a 27 litros por segundo en la tarde del día anterior a la rotura. La Comisión no ha podido comprobar los rumores que circulan de que las filtraciones en la cimentación eran muy turbias, casi fan-gosas.

La rotura se produjo de repente y dió paso a un volumen de agua que alcanzaba la altura de 37,50 m. en un punto cerca de la presa. Altura aún mayor se ha comprobado en la casa de máquinas núm. 2, a 2260 m. de la presa. La velocidad de la onda y los tiempos empleados por el pico para llegar a diferentes puntos del valle se dan en el siguiente cuadro:

LOCALIDADES	Hora de llegada	Tiempo empleado desde la localidad precedente Minutos	Distancia en metros desde la localidad precedente	Velocidad en metros por segundo desde la localidad precedente
Presa de Barel,.....	11 y 58 m	5	2 262	7,54
Casa de Máquinas Municipal n.º 2.	12 y 3 m			
Compañía Edison de California:				
Subestación cerca de Sangus.	12 y 38 m	35	11 310	5,38
Campamento de Kemp.....	1 y 20 m	42	11 310	4,49
Puente de Fillmore.....	2 y 25 m	65	19 152	5
Santa Paula.....	3 y 10 m	55	12 818	4,75
Puente de Saticoy.....	4 y 15 m	65	10 254	2,62
Puente de Montalvo.....	5 m	45	6 032	2,23

Parece probable que el pico excediese de 13 500 m³ por segundo, lo que, unido a la brusquedad de la rotura y a la obscuridad de la noche, dió lugar a que pocas personas en el valle pudieran escapar con vida, a pesar de que existían altas laderas para ponerse prontamente fuera del alcance de las aguas. En el campamento establecido por la Compañía Edison, de California, para construcción de sus obras, a 25 km. de la presa, perecieron más de 80 obreros, de los 140 que en él se hallaban.

Construcción de la presa.

La excavación para cimientos llegó hasta 2,40 m. bajo el nivel de la presa de derivación que se construyó en el lecho del río para poder cimentar en seco. En la orilla izquierda la excavación se hizo en la roca, sin escalones, y no se ejecutó muro de pantalla; en parte de la excavación de la margen derecha se hizo una pantalla de 0,90 m. de altura y 0,90 m. de ancho. Únicamente en el lecho se tomaron precauciones contra las subpresiones; diez taladros de profundidad variable entre 4,50 m. y 6 m. con tubos se dispusieron en esta parte, comunicando con una tarjea ordinaria. El drenaje que proporcionó este sistema parece haber sido pequeño. La mayor parte de este drenaje está bajo la porción de la presa que queda en pie, aunque probablemente sea sólo una coincidencia. No se hizo galería alguna de inspección en el cuerpo de la presa, ni inyecciones de ninguna clase en el terreno de cimentación.

Los áridos para el hormigón fueron arena y grava del lecho del río. Tomadas tres muestras representativas de la calidad del hormigón del dique roto, dieron resistencias bastante elevadas.

La presa estaba colocada a caballo sobre una falla.

Carácter de la roca de cimentación.—Del examen geológico del terreno, la Comisión deduce que la presa se construyó sobre una falla o contacto entre conglomerado rojo y micasquisto. El esquisto es una variedad ordinaria de roca metamórfica cristalina, constituida principalmente de cuarzo con mica y probablemente feldespato; tiene fisibilidad muy pronunciada y los agentes atmosféricos la desintegran en láminas delgadas. En muchos sitios el esquisto está netamente cortado, comúnmente en planos sensiblemente paralelos a los de esquistosidad o laminación. En estas zonas cortadas la roca es muy frágil y se excava fácilmente con pico. Desde el punto de vista estructural, el esquisto es un material muy flojo.

El conglomerado rojo de la margen derecha, cuando

se le deja secar durante algunos días, presenta superficie de fractura lisa, y algunos ejemplares suenan al golpearlos con martillo. Sin embargo, cuando se sumerge en agua aun durante pocas horas, se desmenuza. Muestras tomadas en el plano de separación entre conglomerados y esquisto se reblanecen rápidamente y se hacen untuosas al remojarlas.

El contacto entre el conglomerado y el esquisto en la orilla derecha muestra un movimiento antiguo de consideración. El paso del agua a través del contacto ha socavado la roca de fundación hasta una profundidad considerable. En la orilla izquierda el agua arrastró gran cantidad de esquisto, no solamente en las orillas del cañón, sino en el fondo. Probablemente debido al efecto combinado de imbibición de agua en la roca y socavación, existe un considerable corrimiento de la ladera próximamente en la línea del estribo izquierdo.

La falla existente entre el conglomerado y el esquisto se conocía desde muy antiguo con el nombre de falla de San Francisquito. Pasa bajo la parte noroeste de la presa y está representada como falla muerta en el mapa de la Sociedad Americana de Sismología; su dirección es aproximadamente paralela al cañón y su pendiente de 30 a 45°. La parte de esquisto inmediata a la falla está convertida en una masa arcillosa que en algunos sitios llega a tener 20 cm. de espesor; esta arcilla se hace plástica y untuosa al mojarla. Bajo la arcilla, el esquisto está aplastado y desmenuzado a veces en profundidad de 3 metros.

El conglomerado rojo que constituye la otra parte de la falla está convertido en una masa arcillosa rojiza de mayor espesor que la masa arcillosa correspondiente al esquisto, y, asimismo, se hace plástica al mojarla.

El conglomerado, por encima de la falla, presenta numerosas grietas, y se da el caso curioso de que muchos de los cantos rodados que le constituyen están cortados; sin embargo, esta roca, cuando está seca, presenta bastante resistencia y pueden prepararse fragmentos de considerable volumen por medio del martillo, para darles las formas y tamaños habituales de las muestras.

Estos pedazos de roca, al sumergirlos en agua, dan lugar a un fenómeno que choca a primera vista. Se embeben rápidamente, dando lugar a producción de burbujas de aire; casi inmediatamente se desprenden lascas de las caras laterales, y en menos de una hora, un pedazo del tamaño de una naranja se ha convertido en arena suelta y pequeños trozos de roca en el fondo de un agua fangosa. Cualesquiera que haya sido en su origen el elemento aglomerante del conglomerado, su eficiencia se ha destruido por el aplastamiento, ayudado posiblemente por la acción del agua, y en la actualidad la cohesión de la roca está mantenida solamente por láminas de arcilla. Es probable que aun en su origen el conglomerado contuviese arcilla que no llegó a petrificarse. Sin duda alguna, el conglomerado de la orilla derecha, al mojarse completamente, perdió por completo las características de roca resistente.

El micasquisto de la margen izquierda presenta planos de separación siguiendo la dirección de los estratos y son inminentes corrimientos, que pueden producirse por una o varias causas. Agua arriba de la presa pueden verse desprendimientos recientes. El examen cuidadoso de uno de éstos cerca de la presa, demuestra que no hay surcos de erosión ni acción del agua quieta o en movimiento en el embalse. Evidentemente el desprendimiento ocurrió con posterioridad a la salida del agua del depósito; mientras el embalse estuvo lleno, la roca estaba embebida en agua, lo que aumentó mucho su peso; mas la subpresión existente mantenía el equilibrio. Al desaparecer esta subpresión cuando se rompió la presa, se produjo el desprendimiento.

El corrimiento en la margen izquierda se debe a la desaparición del soporte a causa de la rotura del muro y a la socavación de la ladera por las aguas que escaparon por la brecha. Se puede afirmar que los recientes

desprendimientos agua arriba de la presa se produjeron como resultado de la rotura de ésta, y no son, por consiguiente, causa, sino efecto.

Recientemente se ha comprobado que la parte superior del trozo que queda en pie está 21 cm. desplazado de su posición original, pero no se sabe aún si el movimiento es debido a corrimiento horizontal, a vuelco, o a una combinación de ambas causas.

El hormigón de la presa se ha demostrado que era excelente, tanto por inspección de lo que permanece, como por ensayos de laboratorio. Puede decirse que una presa de tal naturaleza, construida sobre terreno sólido, hubiera permanecido estable, salvo en caso de terremotos de extremada violencia, y considerarse como una de las construcciones humanas más duraderas.

Desgraciadamente, el terreno de cimentación en toda la longitud del muro dejaba mucho que desear. El material bajo las partes del centro y de la izquierda es un micasquisto de láminas delgadas fácilmente separables. La parte derecha se cimentó sobre un conglomerado rojo, el cual, aun seco, es decididamente de resistencia escasa, y cuando se moja, pierde las características de las rocas.

Con tal cimiento, la rotura de la presa estaba descontada, a menos de que se hubiera podido impedir que el agua llegase a él. Las galerías de reconocimiento, las inyecciones, las pantallas, hubieran mejorado notablemente las condiciones del terreno de cimentación; pero es poco probable que hubiesen resultado completamente eficaces, y más bien su efecto hubiera sido retardar la rotura, casi inevitable.

Aunque no pueden precisarse con exactitud el modo y el orden cronológico en los que se produjeron las roturas en las diferentes secciones, la situación presente de los fragmentos en la parte derecha indica que allí se produjo la primera rotura, la que fué seguida rápidamente de la progresiva pero rápida rotura de la parte izquierda. Muchos datos indican que la inicial destrucción del cimiento se produjo cerca de la falla o contacto entre el conglomerado rojo y el esquisto y que fué debida al paso del agua, que reblaneció el conglomerado bajo la presa; un asiento del hormigón o un vacío inferior, o la combinación de ambos fenómenos, dió lugar a la caída de las secciones más anchas de la presa.

Es probable que el agua, que rápidamente escapó, originase una fuerte socavación en la margen izquierda, que, arrastrando el esquisto, descalzase el estribo. La socavación se extendió hasta 9 m. por bajo del cimiento.

El informe ha sido firmado unánimemente por los miembros de la Comisión, de la que han formado parte ingenieros civiles, geólogos y un ingeniero de Montes.

Nuestro lectores habrán comprobado, con asombro, cómo en un país tan adelantado como los Estados Unidos se pueden ejecutar obras tan delicadas sin intervención del Estado, y la razón de que se pida en el informe la intervención antedicha, en todos los casos en que la situación de la obra pueda dar lugar a peligros. No es éste el primer caso en que los ingenieros llaman la atención de los poderes públicos sobre tal extremo, pues es ya larga la lista de roturas de presas, aunque, afortunadamente, los daños no han alcanzado la importancia que en el caso presente.

La intervención del Estado está establecida casi generalmente en Europa, y aunque no por eso dejen de ocurrir casos lamentables, como lo prueba la catástrofe reciente de Argelia, en la que por tercera vez se ha roto una presa, existen, sin embargo, mayores garantías para el público cuando los proyectos han de aprobarse por la Administración pública.

Hay que hacer notar que el informe transcrito puede pecar de extremada dureza, pues la presa de San Francisquito se proyectó por el Ayuntamiento de Los Angeles y lo adjudicó a un constructor especializado que ha ejecutado muchas presas de este tipo. Sería muy interesante conocer las razones de descargo que indudablemente habrá aportado.