

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

ANÁLISIS DEL INCIDENTE DE LA PRESA DE OROVILLE. LECCIONES APRENDIDAS

José Polimón López¹

Fernando Román Buj²

Eduardo Echeverría García³

René Gómez López de Munain⁴

RESUMEN: La presa de Oroville es una presa de materiales sueltos heterogénea situada en el río Feather al este de la ciudad de Oroville, California (EE.UU.). Tiene una altura sobre cimientos de 235 m, que la convierte en la presa más alta de los Estados Unidos. Su longitud de coronación es de 2.109 m y la capacidad de embalse de 4.363 hm³.

A principios de febrero de 2017 se registraron importantes aportaciones de agua al embalse las cuales, al ser evacuadas por el aliviadero, provocaron importantes daños, obligando a cerrar las compuertas del mismo y a entrar en funcionamiento el aliviadero de emergencia por primera vez en la historia de la presa. A causa de los vertidos este aliviadero sufrió una importante erosión en el pie que llegó a compromete-

¹ Doctor Ingeniero de Caminos. Vicepresidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Presidente Honorario de SPANCOLD y ex Vicepresidente de ICOLD.

jose_polimon@spancold.es

² Doctor Ingeniero de Caminos. Profesor Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid.

fernando.roman@upm.es

³ Ingeniero de Caminos y Director de Seguridad. Consultor en seguridad de presas e infraestructuras críticas.

eecheverria@ciccp.es

⁴ Ingeniero civil y geólogo. CHE/SPANCOLD.

rgomez@chebro.es

ter la seguridad del mismo y llevó a un desalojo, durante 48 horas, de unas 200.000 personas de la zona aguas debajo de la presa..

El objetivo del artículo es, una vez conocido el informe forense redactado por un equipo de expertos independientes, comentar las causas que rodearon al incidente y la gestión de la crisis realizada por el equipo de explotación de la presa y las autoridades, destacando las lecciones aprendidas tanto en gestión de la operación y seguridad del embalse como en gestión de la comunicación al público, así como incidir en la necesidad de mayores inversiones en la seguridad de las presas y embalses.

1. DESCRIPCIÓN DE LA PRESA

La presa de Oroville es una presa de materiales sueltos heterogénea. Situada en el río Feather al este de la ciudad de Oroville, California (EE.UU.), tiene una altura sobre cimientos de 770 pies (235 m), que la convierte en la presa más alta de los Estados Unidos. Su longitud de coronación es de 6.220 pies (2.109 m) y la capacidad de embalse es de 4.363 hm³. Es una capacidad de embalse muy notable, mayor por ejemplo que la del embalse de Alqueva, que con sus 4.150 Hm³ de capacidad es el mayor de Europa occidental.



Imagen 1: Vista aérea de la presa de Oroville. En la parte inferior de la imagen se aprecia el aliviadero de emergencia (en primer término) y el aliviadero principal.

Situado en la margen derecha, y separado de la presa principal, se encuentra el aliviadero principal, una estructura de hormigón con una capacidad de desagüe de 7.100 m³/s que dispone de compuertas. A la derecha de este aliviadero principal, mirando desde aguas arriba hacia aguas abajo, se encuentra el aliviadero de emergencia. Este aliviadero consiste en un dique de hormigón de altura aproximada de unos 9 m que llega a 20 m en la zona próxima al aliviadero principal, previsto para verter directamente sobre la ladera.

Los usos de la presa y embalse de Oroville son principalmente para el abastecimiento a poblaciones (23 millones de personas), regadío de 300.000 ha, generación hidroeléctrica (2,2 Millones de kWh/año) y laminación de avenidas.

Construida por el Departamento de Recursos Hídricos de California (DWR), las obras de la presa se iniciaron en 1961 y, a pesar de numerosas dificultades incluyendo múltiples inundaciones, fue inaugurada el 14 de noviembre de 1967.

2. DESARROLLO DEL INCIDENTE DE 2017

La secuencia temporal del incidente es, de forma esquemática, la siguiente:

- 07/02/2017 martes tarde: después de un periodo de lluvias y cuando se vertían 1.400 m³/s, se observa un socavón en el Aliviadero Principal. Se decide dejar de desaguar el resto del día mientras se inspeccionan los daños.
- 08/02/2017 miércoles: siguen entrando grandes caudales al embalse, por lo que es necesario seguir con el desembalse de agua. Durante el miércoles se reduce el caudal aliviado a 570 m³/s en un intento de evitar que los daños en el aliviadero principal vayan a más.
- 09/02/2017 jueves: El jueves por la tarde los daños en el aliviadero son ya muy grandes y se decide aumentar el caudal de vertido para contrarrestar las entradas al embalse y evitar que el nivel del embalse suba demasiado.
- 10/02/2017 viernes: se producen los siguientes acontecimientos:
 - Los daños en el aliviadero habían crecido hasta 90 m de anchura, 152 m de longitud y 15 m de profundidad.
 - La erosión produce alta turbidez en el río Feather afectando a la piscifactoría de aguas abajo. Los trabajadores estatales comenzaron a evacuar los peces y las huevas.
 - Los ingenieros se vieron obligados a reducir la descarga de 1.800 m³/s a 1.600 m³/s para evitar posibles daños en las líneas eléctricas.
 - Durante el jueves y viernes se realizan trabajos forestales eliminando arbustos y árboles en la zona del aliviadero de emergencia.
- 11/02/2017 sábado mañana:
 - El caudal desembalsado no es suficiente para evitar la subida del nivel del embalse, entrando en funcionamiento el aliviadero de emergencia (518 metros de longitud, y 9,2 m de altura) por primera vez desde que se construyó 48 años antes.
 - El aliviadero de emergencia comienza a verter hasta 340 m³/s directamente sobre la ladera, mientras que por el principal se evacúan 1.557 m³/s de los 7.100 m³/s máximos para los que fue diseñado.
 - No se contempla la evacuación porque no hay amenaza para la presa.
- 12/02/2017 domingo:
 - Se ordena la evacuación de las áreas bajas habitadas ubicadas a lo largo de la cuenca del río Feather en los condados de Butte, Yuba y Sutter (188.000 personas), debido a la probabilidad de fallo del Aliviadero de Emergencia).
 - La descarga del Aliviadero Principal se incrementó a 2.000 m³/s en un intento de frenar la erosión en el Aliviadero de Emergencia.
 - A las 8 de la tarde, el aumento del caudal evacuado había bajado el nivel del embalse, haciendo que el Aliviadero de Emergencia dejara de verter.

- o La orden de evacuación no fue retirada. Se esperó a la evaluación de daños de la mañana del día 13.



Imagen 2: Aliviadero principal (en primer término) y aliviadero de emergencia. La erosión en la ladera aguas abajo del aliviadero de emergencia es evidente.

- 13/02/2017 lunes: Permanece la evacuación de 188.000 personas.
- 14/02/2017 martes: El sheriff del condado de Butte levantó la orden de evacuación obligatoria, tras las garantías de los funcionarios estatales y federales de que la presa y el aliviadero se consideraban seguros.

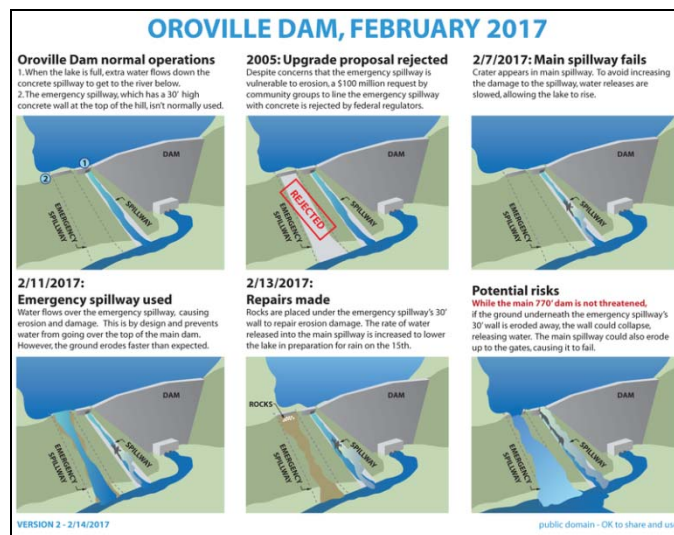


Imagen 3: 1. Operaciones normales en la presa de Oroville. 2. Propuesta de actualización rechazada en 2005. 3. Rotura del aliviadero principal a partir del 7 de febrero de 2017. 4. Comienza el uso del aliviadero de emergencia. 5. Avance de la erosión. 6. Riesgos

3. ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA GEOLOGÍA DE LA PRESA

La presa de Oroville se asienta sobre la formación “Smartville ophiolite” (ophis (serpiente) litos (piedra) = terrenos verdosos). Esta formación de ofiolitas correspon-

de a una serie de terrenos originalmente volcánicos, producidos probablemente por una alineación de volcanes existentes en el lado occidental de la placa norteamericana (en su borde convergente con la placa pacífica), que posteriormente han sufrido un proceso de metamorfismo de tipo dinámico. Algunos autores hablan de que las rocas podrían originalmente pertenecer a las rocas volcánicas que formaban la corteza oceánica que, en esa colisión de placas, han emergido y posteriormente se han metamorfizado.

Originalmente eran andesitas, basaltos, lavas almohadilladas, sin descartar algún menor episodio de tufas y cenizas. Tras el metamorfismo, las rocas volcánicas – ahora metavolcánicas – pasan a ser en, gran medida, series de rocas esquistosas con su foliación perpendicular a la dirección principal del esfuerzo tectónico, en este caso fuerzas de compresión Este-Oeste. Es decir, con orientación Norte-Sur de la esquistosidad

En el mapa geológico del área del Oroville Lake, de la DWR, se describen como: “rocas de color gris oscuro a gris verdoso, de fuerte buzamiento, fuertemente foliado, metamorfizadas, sedimentos volcanoclásticos de carácter basáltico o diabasas, lavas almohadilladas, brecha, diques y limos, gabros...”

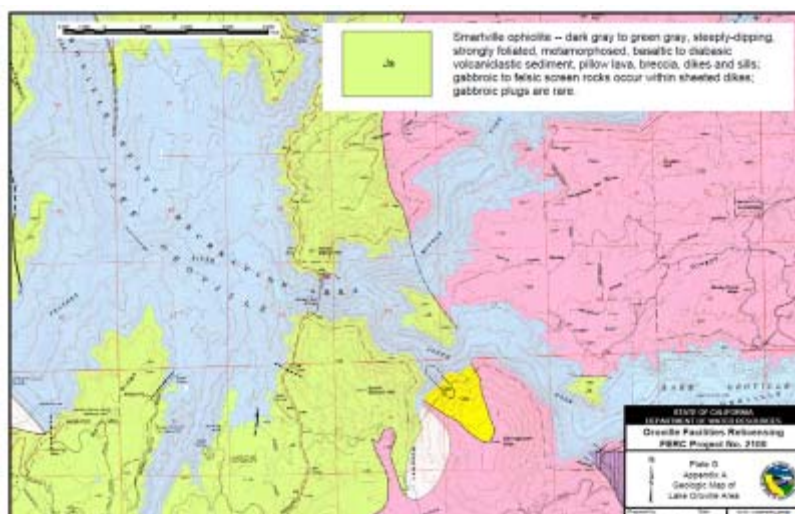


Imagen 4. Mapa geológico del emplazamiento del embalse

El emplazamiento de la presa se encuentra en una zona sísmica, relacionando el llenado con un proceso de sismicidad inducida. Desde el primer llenado, que tuvo lugar en 1967, se apreció un incremento de sismicidad en un radio de 30 km (donde existían sensores), si bien no parece apreciarse con claridad un patrón de comportamiento entre la variación de niveles de embalse y los episodios sísmicos. En 1975 se registró un sismo de magnitud 5,7 M_la a 11 km de distancia de la presa y 2 réplicas de 5 ML, parámetro b (pendiente de la relación entre el número de eventos y su magnitud)=0,6. La presa no sufrió daños y la aceleración pico registrada en el sismógrafo de coronación fue 0,13 g.

4. DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE EN EL ALIVIADERO PRINCIPAL

El primer desencadenante de los hechos que dan lugar a la evacuación posterior es la aparición de daños en el aliviadero principal en la tarde del 7 de febrero. En ese momento se estaba vertiendo un caudal aproximado de 1.400 m³/s y las aportaciones al embalse eran altas. Las imágenes tomadas del socavón inicial muestran

la losa de hormigón del aliviadero “aparentemente apoyada” en algunas zonas sobre suelo de gran potencia. No parecen existir anclajes de la losa.



Imagen 5: Vista del aliviadero principal de la presa con el incipiente socavón en su zona central.

5. DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE EN EL ALIVIADERO DE EMERGENCIA

El aliviadero de emergencia es una estructura de hormigón de altura variable aproximada entre 9 y 20 m, y longitud de 518 metros, situada en la margen derecha del aliviadero principal. Estaba dispuesto para verter sobre el terreno natural, no contando la ladera con ningún revestimiento adicional. Diseñado para situaciones excepcionales, hasta la fecha del incidente nunca había entrado en funcionamiento. De hecho, la situación que activa su funcionamiento no es que el aliviadero principal alcance su capacidad máxima de vertido y el nivel del embalse alcance la cota de vertido del aliviadero de emergencia. Lo que sucedió es que el socavón del aliviadero principal continuaba aumentando y, para evitar que se continuaran propagando los daños y poder realizar una primera evaluación de los mismos, el equipo de explotación decidió cerrar las compuertas del aliviadero principal. Las aportaciones al embalse continuaron siendo muy altas en las horas posteriores y el nivel siguió ascendiendo hasta llegar al umbral del aliviadero de emergencia e iniciar el vertido por la ladera. Este vertido por el terreno natural, con una lámina de sólo 30 cm sobre la cota del umbral y durante sólo seis horas, inicia un proceso de erosión muy importante aguas abajo del dique. En este momento, los ingenieros evalúan la posibilidad de que la erosión del terreno descalce la cimentación del aliviadero de emergencia y éste colapse produciendo un vertido incontrolado, por lo que deciden dar la alarma a las autoridades locales para la realización de una evacuación preventiva. Simultáneamente vuelven a verter por el aliviadero principal para descender el nivel por debajo de la cota del pie del aliviadero de emergencia. La orden de evacuación se emite el lunes 13 de febrero, afecta a unos 188.000 residentes en la zona aguas abajo de la presa y dura unas cuarenta y ocho horas. Durante ese tiempo el nivel de embalse desciende por debajo de la cota del aliviadero de emergencia, gracias a la mejora de la situación meteorológica y al desagüe por el alivia-

dero principal (aumentando los daños). En el momento en que deja de verter el aliviadero de emergencia comienzan los trabajos de estabilización de la ladera afectada.

Cuando el nivel del embalse descendió por debajo del umbral del aliviadero de emergencia, se iniciaron los trabajos de reparación. Estos trabajos incluyeron el vertido de hormigón y la colocación de escollera y sacos de tierra con objeto de estabilizar el pié del aliviadero de emergencia en particular y toda la zona afectada por el vertido en general. Los trabajos se hicieron con medios terrestres y aéreos (colocación de sacos de tierra mediante helicópteros).



Imagen 6: Trabajos de reparación en el aliviadero de emergencia.



Imagen 7: Estado final del aliviadero principal de la presa de Oroville tras el incidente (27/02/2017).

6. GESTIÓN DE LA EMERGENCIA POR LAS AUTORIDADES LOCALES Y EL TITULAR DE LA PRESA

La gestión de la emergencia por parte de las autoridades se ha caracterizado por la abundante información al público, suministrada en tiempo real y con total transparencia. Con frecuencia diaria las autoridades locales daban una rueda de prensa conjuntamente con representantes del titular de la presa. Las comparencias mos-

traron la coordinación entre ambos y se preocuparon de mostrar la información de forma transparente y objetiva.

Otro aspecto que resultó decisivo en el funcionamiento de la evacuación durante el incidente fue la existencia de un Plan de Emergencia implantado y operativo en la presa de Oroville, que además tiene actualizaciones y simulacros de emergencia anuales. Siguiendo las previsiones del Plan de Emergencia, los trabajos de evacuación se realizaron de forma ordenada y se ocuparon de todos los aspectos que podrían ser afectados aguas abajo de la presa. Sirva de ejemplo la piscifactoría del río Feather, situada aguas abajo de la presa, donde se gestionó el rescate de millones de peces y huevos de pescado.

7. INFORME FORENSE REDACTADO POR EXPERTOS INDEPENDIENTES

Después del incidente en el aliviadero de Oroville, la Comisión Federal Reguladora de la Energía (FERC) requirió al titular de la presa un informe forense⁵ redactado por un equipo de expertos independientes (IFT, Independent, Forensic Team). Tras unas consultas a las dos principales asociaciones de seguridad de presas estadounidenses, Association of State Dam Safety Officials (ASDSO) y la United States Society on Dams (USSD) se conformó un equipo de seis expertos dirigidos por el ingeniero geotécnico John W. France.

El informe redactado, publicado el 5 de enero de 2018, consta de 584 páginas. Está dividido en 8 secciones y trece apéndices. Describe meticulosamente los hechos acaecidos durante la emergencia. En concreto en la sección 4 afirma *“El IFT ha llegado a la conclusión de que el levantamiento inicial y la remoción de una sección de losa probablemente fueron causados la subpresión ejercida por agua debajo de una sección de la losa del canal, produciendo una fuerza de elevación que excedió la resistencia a la subpresión de esa sección particular de la losa.”* Respecto al incidente en el aliviadero de emergencia, el equipo de expertos afirma en su informe que existen numerosos precedentes de erosiones severas en canales de descarga de aliviaderos no revestidos como el de Oroville. En la sección séptima, “Lecciones aprendidas”, el panel de expertos independientes ofrece seis lecciones que se deben considerar. Estas lecciones se aplican generalmente a la práctica de seguridad de presas en los Estados Unidos y están relacionadas con:

- Inspecciones físicas.
- Revisiones completas de las instalaciones.
- Cumplimiento normativo.
- Análisis del modo de fallo potencial (PFMA).
- Consideración de las estructuras auxiliares de la presa, que fueron las que generaron la situación de potencial emergencia en este incidente.
- Programas de seguridad de presas de los titulares y fomento de una cultura de seguridad de presas entre los mismos.

La conclusión general del informe se muestra al inicio del documento y dice lo siguiente:

⁵Disponible en la dirección:
<https://damsafety.org/sites/default/files/files/Independent%20Forensic%20Team%20Report%20Final%2001-05-18.pdf>

“El incidente del vertedero de la presa de Oroville fue causado por un fallo sistemático del Departamento de Recursos Hídricos de California (DWR), fallo regulatorio, deficiencias de diseño y de construcción del aliviadero principal, lecho de roca de pobre calidad y condiciones deterioradas del canal de vertido. El incidente no puede ser únicamente atribuido a un individuo, grupo u organización.

Durante la operación del aliviadero principal el 7 de febrero de 2017, la penetración de agua a través de las grietas y las uniones en la losa del canal produjeron fuerzas de subpresión debajo de la losa que superaron su resistencia estructural en una sección situada en la zona de mayor pendiente del canal de descarga. La sección de losa levantada expuso la roca subyacente, de baja calidad en esa ubicación, a una erosión severa inesperada, lo que da como resultado la eliminación de secciones de losas adicionales y más erosión.

Responder al daño producido en el aliviadero principal requería asumir riesgos difíciles mientras que el nivel de embalse continuaba subiendo. Las decisiones resultantes, tomadas sin una comprensión completa de incertidumbres relativas y sus consecuencias, permitieron que el nivel del embalse se elevara por encima del vertedero de emergencia por primera vez en la historia del proyecto, produciéndose una severa y rápida erosión aguas abajo del vertedero y, finalmente, la orden de evacuación”.

8. LECCIONES APRENDIDAS Y CONCLUSIONES

Pasado más de un año desde el suceso, con los trabajos de reconstrucción del aliviadero muy avanzados, se pueden extraer, entre otras, las siguientes conclusiones del incidente:

- El suceso de la presa de Oroville ha sido un incidente serio, pero en ningún momento se vio comprometida la seguridad de la propia presa. A esto ha contribuido el proyecto de la presa, que contempló el aliviadero principal separado de la presa, y además el diseño de un aliviadero de emergencia que, en un momento dado, ha tenido que entrar en funcionamiento por primera vez en la historia de la presa.
- El informe forense redactado por expertos independientes achaca el origen del incidente en el aliviadero principal a los fenómenos de subpresión generados en las losas a causa de la penetración del agua por grietas y juntas existentes en las mismas, que estaban deficientemente mantenidas y a una baja calidad de la roca de cimentación del aliviadero. Respecto al aliviadero de emergencia, señala que existían precedentes documentados de problemas de grave erosión en aliviaderos no revestidos.
- Es muy importante gestionar la emergencia con transparencia y coordinación entre los organismos implicados. Se ha de suministrar la información al público en tiempo real, de forma objetiva (destacar en este caso por ejemplo cómo se insistió que, en todo momento, la presa principal no presentaba problemas) y de forma constante.
- El riesgo cero no existe, pero sí la posibilidad de reducirlo a un valor mínimo. Para ello es necesario un trabajo detallado previo a la presentación de la emergencia. Este trabajo incluye la implantación y actualización de los planes de emergencia de la presa, la realización de simulacros anuales, la información a la población, y una gestión de las infraestructuras basada en el control constante y en la excelencia de sus profesionales.



Imagen 8: Estado del aliviadero principal de la presa de Oroville en febrero de 2018. Pese a que su estado parece “casi” normal, aún queda mucho trabajo por hacer.

Como conclusión general se puede afirmar que el incidente de Oroville pone de manifiesto, una vez más, la necesidad de mentalizar a los titulares de presas en lo que el panel de expertos independientes denomina la **cultura de la seguridad**, concepto que se traduce en llevar a cabo un adecuado programa de inspecciones de seguridad, un control de los elementos que pudieran fallar, un análisis de las amenazas tanto naturales (*safety*) como antrópicas (*security*) y, por último, aunque no menos importante, disponer de una adecuada estrategia de comunicación a la población durante las crisis, lo que requiere mantener una comunicación ágil y entrenada previas a las crisis.

4. REFERENCIAS

- Independent Forensic Team Report Oroville Dam Spillway Incident.
- USGS. United States Geological Services.
- DWR. California Department of Water Resources.
- Rocdoctravel.com Web creada por un PhD in Geology, anónimo.
- Hart, E.W. (1975). California Geology Rev. California Division of Mines and Geology.
- Topozada, T.R. y Morrison, P.W. (1975). California Geology Rev. California Division of Mines and Geology.
- Menzies, M., Blanchard, D. y Xenophontos, C. (1980). American Journal of Science.
- The Sacramento Bee. Periódico de Sacramento, California.