

# Cuando los instrumentos fallan: dos represas y una plataforma

Dos represas y una plataforma sufrieron graves daños debido a la mala utilización de los instrumentos de medición, ya sea por no verificar su correcto funcionamiento o por colocarlos en lugares poco representativos del estado real de las instalaciones.

Luis Buresti

[lmb.tech.consultancy@gmail.com](mailto:lmb.tech.consultancy@gmail.com)

## Dique del Vajont en 1963

“Piezómetro” es la típica denominación que utilizan los profesionales de la ingeniería civil o de la geología para referirse a un simple manómetro o transmisor de presión que se utiliza para medir la presión que ejerce una napa freática y, de esa manera, estimar su altura.

Fueron, precisamente, una serie de piezómetros los que estaban instalados en la ladera norte del Monte Toc (Italia) con el propósito de monitorear cuidadosamente el nivel del agua subterránea. ¿Por qué eran tan importantes esas mediciones? Sucede que poco después de iniciada la construcción del dique del río Vajont, ubicado en las cercanías del monte, se detectó que la mencionada ladera estaba formada por dos capas: una profunda, de roca maciza, y otra más superficial, de piedras sedimentarias y tierra; esto generaba una situación de potencial inestabilidad ya que el agua de la napa freática funcionaba como lubricante, facilitando que la capa superior se deslizase sobre la inferior.

La realidad es que la preocupación acerca de tal deslizamiento era solo de carácter económico. En caso de producirse, iba a reducir el volumen de agua almacenado en el embalse y, en consecuencia, se reduciría significativamente la cantidad total anual de energía que podía producir esa central hidroeléctrica.

Investigadores del Istituto Sperimentale Modelli e Strutture (ISMES), de la Universidad de Bérgamo, habían desarrollado varios modelos matemáticos que estimaban la dinámica de un posible deslizamiento, e incluso ya lo habían simulado sobre un canal hidráulico en un modelo a escala 1:35. Los resultados eran tranquilizadores: se estimaba que, en caso de que una parte del Monte Toc cayese dentro del embalse, la ola resultante no tendría gran amplitud. De todas maneras, a modo de prevención, se había decidido mantener el nivel del embalse unos 20 m por debajo del coronamiento.

Pero había un “pequeño” detalle: la tecnología de los piezómetros era deficiente, no estaban correctamente instalados y, además, presentaban errores importantes de calibración. En consecuencia, las presiones medidas eran muy inferiores a la reales, lo cual a la vez implicaba una grosera subestimación de los niveles freáticos y un cálculo errado del volumen total de material sedimentario en riesgo.

*La tecnología de los piezómetros era deficiente, no estaban correctamente instalados y, además, presentaban errores importantes de calibración.*

Es interesante mencionar que todo este evento ocurrió en “cámara lenta”, ya que varios días antes de la catástrofe se habían producido pequeños deslizamientos de tierra, incluso con caída de árboles.

Cuando el desenlace ya era inevitable, se consideró que sería un espectáculo digno de ser visto. Así fue que al atardecer del 9 de octubre de 1963, el intendente en persona, junto a muchos

pobladores y alumnos de una escuela de la zona se encontraban en el coronamiento del dique para presenciar el evento. Fue en ese momento que el error de cálculo se manifestó con toda su fuerza.

Una vez producido el alud, la ola resultante no fue de unos pocos metros como se había estimado sino un gigantesco tsunami que superó por 160 m (algunos dicen 250) la altura del coronamiento del dique. El resultado fue desastroso: la gran masa de agua cayó unos 2 km aguas abajo del dique, intensificando su fuerza a medida que atravesaba la estrecha garganta del río Vajont. Cruzó perpendicularmente el río Piave y destruyó la ciudad de Longarone, situada en la margen oeste de ese curso de agua. No se sabe con certeza, pero se estima que entre personas muertas y desaparecidas sumaron de 2.000 a 3.200 individuos.

De todas maneras, el orgullo de la ingeniería civil italiana se mantuvo en pie. La pared de hormigón del dique (de 262 m de altura, una de las más grandes del mundo) había resistido el tsunami solo con daños menores.

Todo lo que siguió fue una serie larga de juicios y acusaciones cruzadas que se extendieron durante varios años y que terminaron prácticamente en la nada.

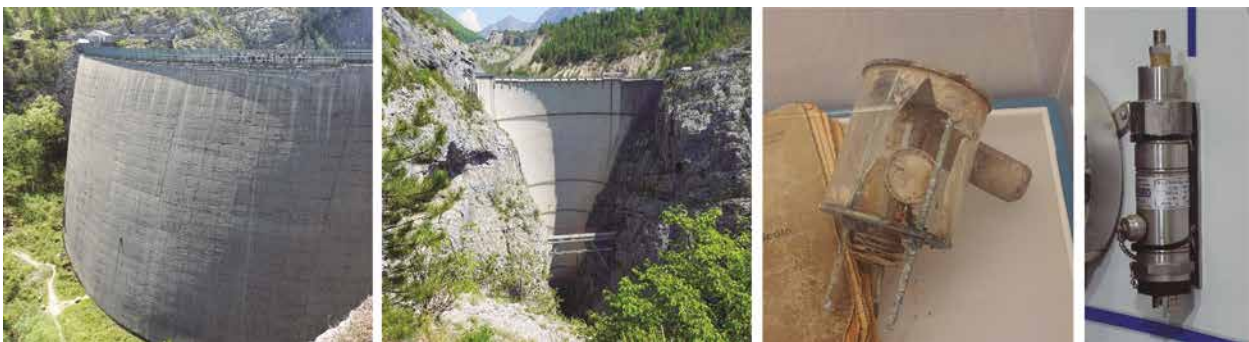


Figura 1. Dique del Vajont. De izquierda a derecha. 1 y 2) Vista actual de la pared del dique, la primera es aguas arriba y la segunda, aguas abajo. Se puede apreciar la enorme diferencia entre los niveles del suelo, lo que da una idea del volumen del deslizamiento. 3) Uno de los cuestionados piezómetros, hoy expuesto en el museo conmemorativo de Longarone. 4) A veces los piezómetros ayudan a salvar una represa. Aquí una imagen de un transmisor de presión empleado durante las obras de impermeabilización del núcleo arcilloso del dique El Chocón, tal como se expone en la vitrina de auscultaciones en el Museo Villa El Chocón. Según conocimiento del autor, este es el único instrumento con procesos de fabricación argentinos mostrado en un museo público del país.

**Crédito de imágenes: Luis Buresti**

## Plataforma DeepWater Horizon en 2010

En casi todas las industrias hay conflictos entre las distintas áreas profesionales. Tal vez uno de los más notorios es el que se genera en el sector del petróleo y gas durante la perforación de un pozo entre el representante del dueño del yacimiento (el famoso "Company Man") y los responsables técnicos de la perforación.

Es un conflicto muy barroso. Sucede que durante esta operación se emplean los llamados "lodos de perforación", los cuales tienen un triple propósito: 1) lubricar y enfriar el trépano; 2) elevar hasta la superficie los cortes de roca resultantes de la perforación, y 3) la más importante de todas, asegurar que el peso de la columna líquida sea mayor que la posible presión del reservorio a "pinchar" a los efectos de que el gas y petróleo no emerjan descontroladamente hasta la superficie. Llegado a este punto, se aplica una ecuación sencilla:  $\rho gh \gg P$ ; en donde "p" es la densidad del lodo, "h" es la profundidad de perforación y "P" es la presión supuesta del reservorio. (Escribo ">>" porque normalmente se desean minimizar los riesgos de un reventón y garantizar la máxima seguridad).

*A modo de reaseguramiento, se decidió utilizar un nuevo sensor de presión que confirmó las lecturas anteriores. Lo que no se sabía para nada es que ninguno de los dos instrumentos operaba correctamente*

El problema se origina porque a medida que aumenta la densidad del lodo, también aumenta su consistencia y esto puede provocar el tapo-namiento de los poros de la roca del reservorio, con la consiguiente merma en la productividad del pozo. Esta fue precisamente la situación que se planteó entre el representante de British Petroleum (el dueño del pozo) y los ingenieros de Transocean (responsables técnicos de la perforación) por la plataforma DeepWater Horizon en Estados Unidos en el año 2010.

Para entonces, la perforación ya alcanzaba unos 10.500 m por debajo del suelo marino, el cual estaba a su vez a unos 1.200 m por debajo de la superficie. Indudablemente se trataba de una perforación extremadamente costosa, y que por lo tanto debía rendir económicamente lo máximo



Figura 2. Plataforma DeepWater Horizon. A la izquierda, vista general de la enorme plataforma semisumergible con anclaje dinámico, y a la derecha, intento de extinción del incendio horas antes de que la plataforma se hundiera definitivamente.

Crédito de imágenes: Wikipedia

posible. Pero cuando llegaron al reservorio, se verificó que su presión era bastante menor que la esperada. A modo de reaseguramiento, se decidió utilizar un nuevo sensor de presión que confirmó las lecturas anteriores. Lo que no se sabía para nada es que ninguno de los dos instrumentos operaba correctamente, y por eso entregaban resultados muy inferiores al valor real de presión del reservorio.

Así fue que, en base a las erradas mediciones de presión, se decidió bombear agua de mar en el pozo con el objetivo de reducir la densidad del lodo y, en consecuencia, disminuir cualquier efecto adverso que este pudiera tener. Dicha operación se extendió durante varias horas. Lamentablemente, en un momento dado la ecuación anterior se revirtió de  $p_{gh} \gg P$  a  $p_{gh} < P$ , y el resto es historia.

Como consecuencia de este error de medición murieron once trabajadores, la plataforma se hundió unos días después de la primera explosión, British Petroleum tuvo que pagar más de 19 mil millones de dólares entre compensaciones y multas (aunque las pérdidas totales fueron estimadas en 145 mil millones) y Transocean prácticamente quedó en la quiebra.

En rigor, se trató de un accidente muy complejo, originado por una larga cadena de eventos que, aunque su detalle queda fuera del alcance de este texto, se pueden mencionar dos que están de alguna manera relacionados con temas de instrumentación y control: 1) el dispositivo conocido como "Blow-Off Preventer", que en realidad es una válvula de seguridad gigantesca instalada en el lecho marino, en el punto donde emergen las tuberías, y que tiene un precio de varios millones de dólares, nunca funcionó a pesar que había sido activado en repetidas oportunidades, y 2) la primera explosión se produjo poco después de que los sensores de gases inflamables detectaran una atmósfera potencialmente explosiva y, en consecuencia, se cortara el suministro eléctrico proveniente de los generadores y se habilitaran

los circuitos eléctricos de emergencia. Se especula entonces que pudo haber algún tipo de deficiencia en las protecciones antiexplosivas de este segundo circuito lo que en definitiva ocasionó la primera explosión.

### Planta hidroeléctrica de Taum Sauk en 2005

El reservorio superior de la planta hidroeléctrica de rebombeo Taum Sauk, de 450 MWe, sita en el estado de Missouri, en Estados Unidos, tenía un diseño extremadamente curioso: parecía una piscina gigantesca con forma de riñón, construida por encima del nivel del terreno natural. Estaba ubicado en una cota a aproximadamente 265 m por encima del dique principal y de la planta de generación.

En las horas del valle de consumo eléctrico, la energía generada se aprovechaba para bombear agua a este reservorio, que luego se turbinaba en las horas pico.

*A modo de reaseguramiento, se decidió utilizar un nuevo sensor de presión que confirmó las lecturas anteriores. Lo que no se sabía para nada es que ninguno de los dos instrumentos operaba correctamente*

El sistema en su conjunto era considerado tan "a prueba de fallas" que la pared del reservorio no contaba con un vertedero de emergencia, aunque teóricamente estaba diseñada para que pudiera desbordar por el perímetro superior sin causar situaciones graves.

Si nos enfocamos en los instrumentos, es difícil encontrar dispositivos más confiables que un simple interruptor de nivel. Algunos de ellos tienen una concepción tan elemental (por ejemplo, un flotante magnético que acciona un reed switch) que se convierten en casi infalibles. Pero claro, hay que tener algún cuidado acerca de la representatividad del lugar en donde se instalan.

Eran precisamente interruptores de nivel los que convertían esta planta en un idílico y teórico lugar “a prueba de fallas”, ya que una serie de ellos en configuración redundante era lo que aseguraba que todo funcionase adecuadamente. Estos dispositivos, básicamente, tenían dos puntos de intervención: el alto (Hi) generaba una señal de alarma en el panel de la sala de control del dique principal (aguas abajo), y el alto-alto (Hi-Hi) producía el corte automático de las gigantescas bombas que alimentaban el reservorio.

Una vez más, aquí hubo un “pequeño” detalle. Debido a fallas en las fundaciones de la sección de pared que estaba casi opuesta a la caseta donde estaban instalados los interruptores de nivel, se había producido una depresión del coronamiento en esa porción de la pared y se inició un desborde antes de que los interruptores de nivel llegaran al punto de intervención Hi-Hi. Se

estima que el desborde duró unos pocos minutos, pero fueron más que suficientes para producir el colapso de una gran sección de la represa y el vaciado casi instantáneo de todo el reservorio. Se calcula que en total se escaparon unos 5,3 millones de m<sup>3</sup> de agua con un caudal de fuga pico estimado en casi 5.000 m<sup>3</sup>/seg.

A diferencia de los dos casos anteriores, esta fue una “desgracia con suerte”: no hubo que lamentar vidas humanas puesto que toda la instalación estaba construida dentro de un parque nacional sin poblaciones cercanas. Sin embargo, sí hubo grandes daños en la vegetación y la fauna que se encontraban aguas abajo del reservorio.

La central de bombeo Taum Sauk fue posteriormente reconstruida y desde el año 2010 se encuentra nuevamente en operación; pero ahora, entre otras cosas, se han modificado los puntos de instalación de los interruptores de nivel. ■



Figura 3. Central hidroeléctrica de bombeo Taum Sauk. A la izquierda, vista general del reservorio superior luego de su reconstrucción. El punto minúsculo que se ve en la pared izquierda es la caseta donde originalmente estaban instalados los interruptores de nivel. A la derecha, la magnitud del desmoronamiento producido por el desborde.

Créditor de imágenes: AmusingPlanet.com y un informe de Ameren/Mactec.