

# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*

*The paper was published in the proceedings of XVI Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVI PCSMGE) and was edited by Dr. Norma Patricia López Acosta, Eduardo Martínez Hernández and Alejandra L. Espinosa Santiago. The conference was held in Cancun, Mexico, on November 17-20, 2019.*

# Efectos de los sismos de septiembre 7 y 19 de 2017 en grandes presas en México

Víctor Hugo ALCOCER-YAMANAKA<sup>a,b</sup>, Víctor J. BOURGUETT-ORTIZ<sup>a</sup>  
y Rodrigo MURILLO-FERNÁNDEZ<sup>a,1</sup>

<sup>a</sup> *Comisión Nacional del Agua*

<sup>b</sup> *Universidad Nacional Autónoma de México*

**Resumen.** Se presentan los daños ocurridos en las grandes presas de México, por los sismos de M 8.2 y 7.1 de septiembre de 2017, cuando los embalses se encontraban llenos, así como los resultados de las revisiones físicas, la evaluación inicial de estabilidad y seguridad realizados, así como las propuestas de mitigación.

**Palabras Clave.** Grandes presas, sismos, agrietamiento.

## 1. Introducción

Los días 7 y 19 de septiembre de 2017, ocurrieron en México dos intensos sismos con sus consecuentes réplicas que expusieron a más de 750 presas a sus efectos.

El primer sismo tuvo su epicentro en las coordenadas 14.85° N, 94.85° W, en el Golfo de Tehuantepec, a una profundidad de 58 km con M 8.2 y correspondió a un sismo de subducción intraplacas entre la de Cocos y la de Norteamérica, que sometió a 25 presas en los estados de Oaxaca y Chiapas a aceleraciones entre 49 y 161.38 cm/s<sup>2</sup> [1] [2]. El segundo sismo ocurrió en 18.4° N, 98.72° W, en los límites entre Morelos y Puebla a 57 km de profundidad con M 7.1, correspondió a un evento intraplacas y sometió a intensas sollicitaciones sísmicas a cerca de 130 presas (51.13 a 225.16 cm/s<sup>2</sup>), ubicadas en una de las regiones más pobladas de país [3] [4], que afectó los estados de Morelos, Guerrero, Puebla, Ciudad de México, Estado de México, Tlaxcala e Hidalgo (Figura 1).

Durante ambos sismos, muchas de las presas se encontraban llenas, incluso algunas de ellas con descarga por sus vertedores debido a ser temporada de lluvias y haberse presentado dos ciclones durante esos días, Katia en el Golfo de México del 5 al 9 de septiembre y Max en el Océano Pacífico del 12 al 15 de septiembre, por lo cual las presas estuvieron sometidas a fuertes excitaciones sísmicas con altas cargas hidráulicas en sus cortinas, cuya simultaneidad se ha considerado tradicionalmente como poco probable.

---

<sup>1</sup> Corresponding Author, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Insurgentes Sur 2416, Ciudad de México CP 04540, México; E-mail: rodrigo.murillo@conagua.gob.mx.

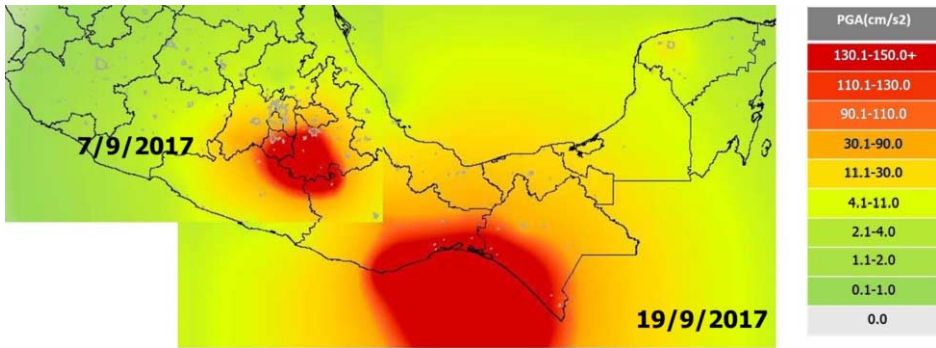


Figura 1. Aceleraciones estimadas en los sismos del 7 y 19 de septiembre de 2017.

Debido a los sismos, ocurrieron daños en algunas de las presas de las zonas cercanas a sus epicentros.

La Comisión Nacional del Agua (Conagua), es la responsable de vigilar que las presas y otras estructuras sobre los cauces de propiedad federal, no provoquen afectaciones por comportamiento hidrológico o hidráulico desfavorable y vigila su comportamiento a través del Programa de Seguridad de Presas. Dentro de los protocolos establecidos para operación y manejo de las presas, después de un fenómeno perturbador de importancia como sismos fuertes, ciclones, llenados imprevistos o cualquier anomalía en su comportamiento se realizan inspecciones de las estructuras para evaluar sus condiciones estructurales y funcionales.

En el caso de terremotos, de acuerdo a la magnitud y distancia del epifoco, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (I de I) reporta las grandes presas sometidas a aceleraciones mayores de  $50 \text{ cm/s}^2$ , e indica el nombre de la infraestructura, su ubicación y la aceleración del terreno considerado firme como PGA (peak ground acceleration) [2], [4]. Personal técnico acude a cada una de las presas para realizar una auscultación de urgencia. En la infraestructura que cuenta con personal en el sitio, se realiza una revisión de los daños y el reporte a las oficinas nacionales en la Ciudad de México, donde se coordina la revisión de las presas con especialistas entrenados en labores de seguridad de presas. De esta forma, al día siguiente de los sismos, acudieron brigadas de inspección conformadas por especialistas en geología, hidráulica, geotecnia, electromecánica y estructuras a determinar los daños a las instalaciones.

Fueron revisadas 25 obras después del sismo de Tehuantepec y más de 130 posteriormente al de Morelos-Puebla, principalmente por personal de la Conagua, así como por personal de la Comisión Federal de Electricidad en las de generación eléctrica en el sureste y en la zona poniente del Valle de México; para el segundo evento, se contó también con la colaboración de Instituto de Ingeniería de la UNAM [5].

Debido al sismo del día 7 (M 8.2), presentaron agrietamiento y otras manifestaciones de desplazamientos en la cortina cuatro presas en Chiapas y Oaxaca y por el evento del día 19 (M 7.1), otras siete obras en Morelos, Puebla y Guerrero, con alturas de cortina entre 12.5 y 147 m (Tabla 1).

Todas las presas que manifestaron alguna anomalía corresponden a presas de tierra y enrocamiento; las cortinas de concreto o mampostería, no presentaron daños visibles ni mal funcionamiento.

Tabla 1. Infraestructura con daños en cortinas.

Nombre	Edo.	Altura de cortina (m)	Cortina	Terreno de desplante	Capacidad al NAMO (hm <sup>3</sup> )	PGA (Gal) *	Distancia al epicentro (km)
R. Salazar	Chis.	32.0	Materiales Graduados	Granito	13.0	161.3	179.9
La Angostura	Chis.	147.0	Enrocamiento con	Roca	13169.0	97.65	223.3
Cayehuacán	Mor.	45.5	Materiales Graduados	Latita	13.0	225.1	20.4
Los Carros	Mor.	50.3	Materiales Graduados	Aglomera	10.0	225.1	22.8
Huachinantla	Pue.	36.2	Materiales Graduados	Roca	4.6	180.8	31.2
Chinameca	Mor.	27.0	Materiales Graduados	Roca	2.0	174.5	36.6
Agua Zarca	Gro.	15.1	Homogénea de tierra	Roca	0.1	180.8	42.0
Barreto	Mor.	21.0	Materiales Graduados	-	0.3	151.6	44.4
Huitzoco	Gro.	29.6	Materiales Graduados	Roca	1.2	129.7	59.9

Mayor información: [6]

## 2. Daños registrados

Las cortinas de comportamiento flexible que presentaron afectación tienen diversas edades; la mayoría ha sido construida conforme a las prácticas nacionales descritas por Tamez [7] en obras para irrigación o por el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad [8] para La Angostura.

A continuación se presentan casos típicos de las afectaciones registradas en algunas de las obras.

La Angostura, Chis. Consiste una cortina de enrocamiento con núcleo de arcilla de 147 m de altura y 324 m de longitud, taludes 2:1 y 1.8:1 aguas arriba y abajo respectivamente, cimentada en calizas limosas, su vaso tiene una capacidad de conservación de 13,169 hm<sup>3</sup> y posee dos vertedores controlados para un caudal máximo de 8,800 m<sup>3</sup>/s.

Tiene un amplio sistema de auscultación de su comportamiento, que registró en la base de la cortina aceleraciones en los sentidos vertical, longitudinal y transversal a la cortina de 119.07, 116 y 157.46 cm/s<sup>2</sup> respectivamente el 7 de septiembre; las aceleraciones en la corona no fueron registradas. La información obtenida resulta relevante por la respuesta registrada que manifiesta la energía concentrada entre 1 y 10 Hz en el sentido longitudinal y las amplificaciones entre base y parte media de la cortina son de 3 en el sentido transversal, por lo cual se ha inferido que podría ser similar en la corona, mientras que la amplificación vertical sería de 24, datos que es necesario difundir para un mayor conocimiento de las respuesta sísmica de grandes presas. Los asentamientos detectados fueron 9 cm al centro de la corona en la sección máxima, donde normalmente ha presentado históricamente las mayores deformaciones [9]. La inspección in situ reportó agrietamiento longitudinal de 44.1 m prácticamente sobre el eje de la cortina con abertura máxima de 2.0 cm que penetraba la carpeta asfáltica (Figura 2) y otras pequeñas cerca de los hombros; sin embargo, en los siguientes días amplió la abertura y evolucionó hacia aguas abajo, favorecido además por el tránsito de vehículos pesados sobre la corona. Al realizar pozos a cielo abierto se verificó que el agrietamiento penetró la pantalla impermeable construida sobre el núcleo de la cortina en tres tramos de los paneles sin que se considerara comprometida la seguridad de la estructura. Los agrietamientos fueron inyectados por gravedad con un material similar a la de los paneles y se prohibió el paso de vehículos pesados.

Un comportamiento similar ocurrió en la presa Barreto en Morelos (Figura 3), así como en Agua Zarca y Huitzucu en Guerrero (Figs. 4 y 5), en las cuales se presentaron agrietamiento en sus coronas cerca de los hombros prácticamente sin desplazamientos verticales, cerca del hombro aguas arriba y solo en Barreto ocurrió fisuramiento poco apreciable cerca del hombro aguas abajo. No se apreció desplazamiento vertical de los enrocamientos ni zonas de inestabilidad en los taludes. Estas presa no cuentan con seguimiento del monitoreo de su comportamiento.



**Figura 2.** Detalle del agrietamiento inicial La Angostura



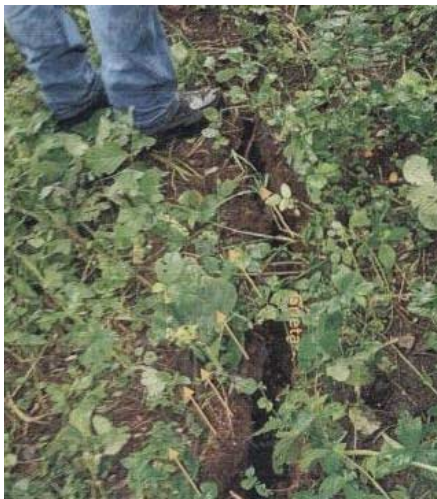
**Figura 3.** Grieta en Barreto, Mor.

La longitud de los agrietamientos longitudinales y las profundidades registradas mediante exploraciones se reporta en la tabla 2. En ninguna de estas presas el agrietamiento penetró el elemento impermeable; tampoco se presentaron agrietamientos transversales o daños en las obras de toma o vertedores.

**Tabla 2.** Dimensiones de los agrietamientos de los terraplenes.

Nombre	Edo.	Altura cortina (m)	Longitud de corona (m)	Máxima abertura (cm)	Longitud (m)	Profundidad (m)	Posición
R. Salazar	Chis.	32.0	225	0.4-4.0	109	0.6	Aguas arriba y abajo
La Angostura	Chis.	147	324	2	44.1	> 1.0	Centro y aguas arriba
Cayehuacán	Mor.	45.5	364	5	40	0.5*	Aguas arriba y abajo
Los Carros	Mor.	50.3	460	25	100	1.2*	Aguas arriba y abajo
Huachinantla	Pue.	36.2	270.4	40	200	2.1*	Aguas arriba y abajo
Chinameca	Mor.	27.0	240	10	175	1.25	Aguas arriba y abajo
Agua Zarca	Gro.	15.1	83.2	12	50	0.8	Aguas arriba
Barreto	Mor.	21.0	96	1	61	0.6	Aguas arriba y abajo
Huitzucu	Gro.	29.6	245	5	10	0.5	Aguas arriba

\*Corrimiento de enrocamiento y escarpe



**Figura 4.** Grieta en Agua Zarca, Gro.

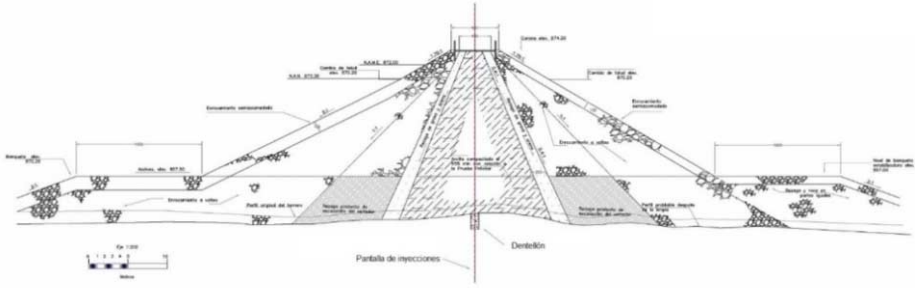


**Figura 5.** Agrietamiento en carpeta asfáltica de Huitzuco, Gro.

Presa Tierra y Libertad (Cayehuacán), Mor., sobre el río Grande. Fue terminada en 1991, aguas abajo de Los Carros, su cortina es de materiales graduados con longitud de 364 m, con trazo recto en planta en la zona del cauce y curvo hacia arriba en la margen izquierda, ancho de corona de 10 m, 45.5 m de altura y con volumen de almacenamiento al NAMO de 13 hm<sup>3</sup>. Presentó agrietamiento longitudinal en el hombro aguas arriba, con desplazamiento del enrocamiento en la zona de mayor altura debido a su corrimiento, inclinación de los postes de iluminación, así como grietas discontinuas cerca del hombro de aguas abajo. La caseta de vigilancia también resultó agrietada en el segundo nivel. Fue recomendado el abatimiento preventivo de niveles.

Presa Huachinantla, Pue. Fue terminada en 1977 sobre el río Mitepec; tiene una cortina de materiales graduados de trazo recto con longitud de 270 m, ancho de corona de 6 m y altura desde el desplante de 36.2 m sobre andesitas lajeadas y brechoides, basaltos y esquistos, fracturadas hasta una profundidad de 30.0 m. En los cuatro metros superiores de la cortina los taludes cambian de 2:1 a 1.75:1. Durante la construcción se detectó una caverna paralela al cauce del río que fue rellenada y se modificó la sección al agregar banquetas con ancho de 16 m a ambos lados (Figura 6). Tiene capacidad de almacenamiento para 4.6 hm<sup>3</sup>. Es conveniente señalar que esta presa había manifestado tres etapas de agrietamiento previo por corrimiento de los enrocamientos en 1980, 1994 y 2012 [6], así como deformaciones en su cimentación, con una inclinación del cimacio del vertedor hacia el lado derecho. La cortina fue reparada en esas ocasiones.

Se ubica a 31 km del epicentro y se reportó una aceleración de 180.6 cm/s<sup>2</sup>. Esta cortina fue la que resultó con mayores daños, con agrietamientos severos en la corona en trazos paralelos al eje de la cortina de hasta 2.1 m de profundidad como máximo en gran parte de su longitud cerca de los hombros; en su sección máxima, tuvo escarpe de 40 cm en su talud aguas arriba, en unos 70 m de longitud y escarpe de 20 cm en 30 m en el talud aguas abajo, con corrimientos del enrocamiento de protección en ambos taludes. Se realizaron zanjas de exploración para verificar la profundidad de los agrietamientos. En las figuras 7 y 8 se muestran los agrietamientos en Los Carros, Mor. y Huauchinantla, Pue.



**Figura 6.** Presa Huachinantla, sección transversal máxima.

Entre el 22 y 25 de septiembre, se recomendó abatir el nivel del vaso y se apreció que había mayor longitud y apertura de las grietas, sobre todo en el hombro aguas arriba por lo que se retiró la vegetación en la corona y se instalaron testigos de varilla hincada para seguir la evolución de las discontinuidades, con lo cual se pudo observar con más detalle las grietas longitudinales en la cortina y detectar otras que no se habían podido observar por la maleza. Se registró que las grietas del talud aguas arriba se incrementaron en prácticamente la totalidad de la longitud de la cortina, también se apreció una fisura longitudinal casi imperceptible en la parte central de la cortina, en la mayor parte de la longitud de ésta, no registrada con anterioridad que se atribuye al desconfinamiento del terraplén. Los apoyos de mampostería del puente de acceso a la torre de la obra de toma se fracturaron, se recomendó vigilar la evolución de los agrietamientos [10]. El gasto que descargaba la toma era cercano a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 7.** Presa Tierra y Libertad, Mor., desplazamiento del enrocamiento.



**Figura 8.** Presa Huauchinantla, Pue., agrietamiento y desplazamiento del enrocamiento.

### 3. Evaluación postsismos

Determinados los daños ocurridos, se revisó la estabilidad de las cortinas con daños, mediante análisis sísmico simplificado de equilibrio límite, con los sismos de evaluación de la seguridad (SEE) [11] y espectros de diseño [12], por medio de software comercial [13] y con propiedades dinámicas obtenidas de la literatura técnica. Las presas Los Carros, Cayehuacán y Barreto en Morelos y Huachinantla en Puebla, arrojaron Factores de Seguridad menores que 1.1 (0.96-1.03), por lo cual se analizaron alternativas de mitigación y se ha optado por modificar el talud aguas abajo de esas presas de 2:1 a 2.5:1, así como realizar sobreelevación de las coronas de las cortinas entre 0.75 y 1.03 m para cumplir con los requerimientos hidrológicos actuales, debido a que se considera que el revestimiento de las coronas es permeable [5].

### 4. Conclusiones

Los sismos de septiembre de 2017 con M 8.2 y 7.1, no esperadas, sometieron a muchas presas a intensas excitaciones con altos niveles de carga hidráulica, condición considerada como extrema en los análisis comunes de estabilidad, por lo cual fue necesario valorar con herramientas y criterios actuales su seguridad estructural.

Las revisiones realizadas inmediatamente después de los eventos demostraron que solo algunas presas tuvieron daños, principalmente el agrietamiento de la corona cerca de los hombros, producto del desconfinamiento por el desplazamiento de los enrocamientos. No se observaron fallas masivas de los taludes, agrietamiento transversal ni pérdida importante del Bordo Libre por asentamientos, por lo cual las presas tuvieron un buen comportamiento estructural.

La revisión de la estabilidad, ante los nuevos conocimientos de la tectónica regional, y los que resulten derivado de estos sismos, señalan que es conveniente mejorar condiciones de estabilidad de algunas cortinas mediante la modificación del talud aguas abajo de 2:1 a 2.5:1, así como asegurar el bordo libre hidrológico mediante la sobreelevación de los terraplenes.

### Referencias

- [1] Servicio Sismológico Nacional (SNN), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geología (IG) Reporte Especial Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 MW 8.2) (2017), [http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX\\_rep\\_esp\\_20170907\\_Tehuantepec\\_M82.pdf](http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170907_Tehuantepec_M82.pdf)
- [2] Instituto de Ingeniería UNAM, Actualización de reporte de infraestructura expuesta para evento 20170908044917A\_3, Septiembre 8, 2017, México.
- [3] Servicio Sismológico Nacional (SNN), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geología (IG) Reporte Especial Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1) (2017), [http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX\\_rep\\_esp\\_20170919\\_Puebla-Morelos\\_M71.pdf](http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf)
- [4] Instituto de Ingeniería UNAM (2017), Reporte de infraestructura expuesta para evento 20170919181438A\_1, Septiembre 19, México.
- [5] Conagua (2019), Reporte: Seguridad de presas después del Sismo del 19 de septiembre de 2017, Subdirección General Técnica, Gerencia del Consultivo Técnico, México.
- [6] Conagua, Sistema Informático de Seguridad de Presas (SISP) (2019), [www.gob.mx/conagua/articulos/sistema-de-seguridad-de-presas-186396?idiom=es](http://www.gob.mx/conagua/articulos/sistema-de-seguridad-de-presas-186396?idiom=es)



- [7] Tamez, G. E. (1965), *Principios del Diseño y Construcción de Presas de Tierra*, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.
- [8] Comisión Federal de Electricidad (CFE) (1969-1989), *Manual de Diseño de Obras Civiles*. México.
- [9] Comisión Federal de Electricidad (2017). Informe de comportamiento a diciembre de 2017 CH Belisario Domínguez. Presa La Angostura. Chis., México.
- [10] Bourguett O. Víctor J., Murillo F. Rodrigo (2018). Agrietamiento de la presa Huauchinantla, Puebla, antes y durante el sismo del 19/9/2017, *Revista Geotecnia*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A. C. Núm. 247 marzo-mayo, págs. 25-35. México.
- [11] International Commission on Large Dams (ICOLD) (2016), Bulletin 148, *Selecting Seismic Parameters for Large Dams*, Paris.
- [12] Comisión Federal de Electricidad (2015), *Manual de Diseño de Obras Civiles*, Sección C: Estructuras, Tema 1: Criterios Generales de Análisis y Diseño, Capítulo C.1.3 Diseño por Sismo, México.
- [13] Geoslope (2016). <https://www.geoslope.com/support/support-resources/tutorial-videos/geostudio-2016>