



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

cpc@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión
Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Urquiza-López, Yanet M.; Galbán-Rodríguez, Liber; Nápoles-Fajardo, Nuria; Chuy-Rodríguez, Tomás J.

EL IMPACTO DE FENÓMENOS GEOAMBIENTALES EN CORTINAS DE PRESAS DE
TIERRA EN CUBA

Ciencia en su PC, núm. 1, enero-marzo, 2017, pp. 56-69

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181351125005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

EL IMPACTO DE FENÓMENOS GEOAMBIENTALES EN CORTINAS DE PRESAS DE TIERRA EN CUBA

THE IMPACT OF GEO ENVIRONMENTAL PHENOMENA IN CURTAINS OF EARTH DAMS OF CUBA

Autores:

Yanet M. Urquiza-López, yanet@as.hidro.cu. Empresa Aguas Santiago. Tel.: (5322) 628114. Santiago de Cuba, Cuba.

Liber Galbán-Rodríguez, liberg@uo.edu.cu¹

Nuria Nápoles-Fajardo, nuria@uo.edu.cu¹

Tomás J. Chuy-Rodríguez, chuy@cenais.cu. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Tel.: (5322) 659496. Santiago de Cuba, Cuba.

¹Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Los fenómenos geoambientales afectan las presas de tierra construidas por el hombre. En este trabajo se realiza una breve revisión bibliográfica acerca de la información disponible sobre el comportamiento de las cortinas en las presas de tierra (diques de cierre de material rocoso), su vulnerabilidad y principales causas de fallo, a partir de las experiencias en presas cubanas. Este conocimiento servirá de punto de partida para trabajos futuros de rehabilitación y mantenimiento y prevención de desastres.

Palabras clave: presa de tierra, vulnerabilidad, fallos, terremotos, inundaciones.

ABSTRACT

Earth dams can be affected by different geo-environmental phenomena. This paper presents a brief review of available information on the behavior of earth dam curtains (closing earth dike), its vulnerability and main causes of performed failure from experiences in Cuban dams, so that their knowledge serves as a starting point for future rehabilitation, maintenance and disaster prevention work.

Key words: Embankment dam, vulnerability, failure, earthquake, flooding.

INTRODUCCIÓN

Características geotécnicas y de diseño de las presas de tierra

Se define como presa o conjunto hidráulico al conjunto de obras que se construyen con el propósito de almacenar, evacuar y distribuir un cierto volumen de agua para satisfacer determinadas demandas de la zona donde se ubique (Pérez, 2001). Una presa puede estar compuesta de 5 partes fundamentales: embalse, aliviadero o vertedor, obra de toma, cortina o dique principal de la presa y diques laterales.

Las cortinas son los núcleos principales de las presas de tierra pues constituyen el cierre. Pueden clasificarse, atendiendo su estructura, en:

- Cortinas de secciones homogéneas
- Cortinas de secciones graduadas
- Cortinas de secciones mixtas

Las presas de secciones graduadas constan de varios materiales colocados en cierto orden y en cantidades similares. Pueden ser de pantalla y de núcleo, dependiendo de la colocación del material impermeable (arcilla) en la zona del talud aguas arriba o en el centro de la cortina o terraplén. Los materiales colocados entre la arcilla y la grava tienen espesores definidos por las disponibilidades de los mismos. Estos espesores son mucho mayores que las necesidades de filtro y drenaje. (Armas, Horta, 1987)

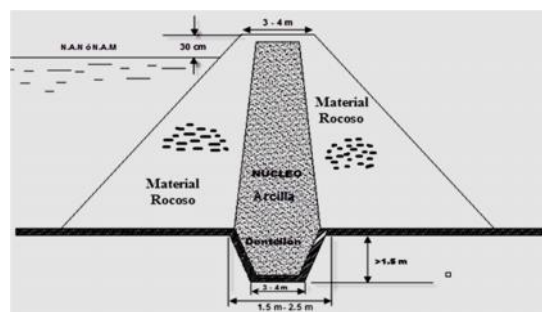


Figura: 1. Presa de sección mixta compuesta de dos materiales (arcilla y rocoso), con núcleo y dentellón.

Las presas de secciones mixtas son presas que constan de dos materiales; uno impermeable y el otro resistente, con capas de filtro entre uno y otro. Pueden ser

también de pantalla y núcleo, tierra y piedra, y enrocamiento (Armas, Horta, 1987) (Figuras 1).

Las cortinas de las presas de tierra, además, pueden tener otros materiales que de cierta manera contribuyen a su estabilidad, en este caso están las coberturas exteriores de los taludes aguas arriba y aguas abajo; entre estas se emplean:

1. Capa vegetal: revestimiento del talud aguas abajo. Su función es protegerlo contra la acción erosiva de las aguas de lluvia, el viento y proteger su estabilidad.
2. Enrocamiento: revestimiento del talud aguas abajo o arriba. Su función es protegerlo de la acción erosiva del oleaje, viento y lluvias; tiene como objeto transmitirle resistencia y estabilidad a la presa, que se construye con fragmentos rocosos; su espesor oscila entre 30-90 cm en función de la altura de la presa (González, Ferrer, Ortuño y Oteo; 2002).
3. Escolleras: revestimiento del talud aguas abajo o arriba. Su función es protegerlo de la acción erosiva del oleaje, viento y lluvias; tiene como objeto transmitirle resistencia y estabilidad a la presa, construida con rocas de granulometría uniforme de gran tamaño; los bloques pueden superar un metro cúbico. Estas rocas son vertidas o colocadas a mano, su espesor oscila entre 30-90 cm en función de la altura de la presa (González *et al.*).
4. Losas de hormigón armado: protegen el talud aguas arriba contra la acción de las aguas. Su función es protegerlo de la acción erosiva del oleaje, vientos y lluvias; tiene como objeto transmitirle resistencia y estabilidad a la presa, construida con losas de hormigón armado; su espesor oscila entre 30-90 cm en función de la altura de la presa (González *et al.*).
5. Hombros: definidos por los contactos de la cortina de la presa con la roca, en sus laterales. Muchas veces aparece un contacto continuo, otras se caracterizan por una cuña que entra en la roca del material terreo del cual está compuesta la cortina; en ocasiones también con vigas laterales de hormigón, que se funden, conectando las pantallas con la roca sólida (cuando además tienen recubrimientos de hormigón u hormigón armado).
6. Filtros: se utilizan para evitar el paso de las partículas finas de los materiales contiguos, lo cual permite el drenaje.

7. Cimentación: tiene como función reducir las filtraciones y evitar su erosión, pues pueden acarrear problemas de estabilidad de la presa. Para contrarrestarlas o reducirlas pueden usarse algunos de los sistemas siguientes o la combinación de ellos:
- a) Dentellón completo o dentellones de tierra del mismo material del núcleo impermeable de la presa.
 - b) Dentellón parcial o mediante un delantal, al cual se le proporcionan los elementos requeridos para el control del agua que se filtra.
 - c) Dentellones con tablestacas de acero: se usan ocasionalmente en combinación con un dentellón de tierra.
 - d) Dentellones de concreto in situ (diafragmas): se construyen mediante el bombeo o la inyección de lechadas de cemento, que al mezclarse con el material de cimentación forman un elemento de arenas gravas unidas con cemento.
 - e) Dentellones de hormigón armado in situ: son los más empleados en la actualidad, generalmente suelen conectarse a las pantallas del mismo material, construidas aguas arriba de las presas.
 - f) No tomar medidas para reducir la filtración, pero proporcionar elementos para su control.

En Cuba, antes del triunfo de la Revolución de 1959, solo se contaba con 13 presas, que no sobrepasaban los 50 millones de metros cúbicos de capacidad de embalse; la capacidad conjunta era menor a los 30 millones de metros cúbicos de agua. La construcción de obras hidráulicas fue estimulada por el paso del ciclón Flora (1963) por Cuba, huracán que se recuerda como uno de los más devastadores que han azotado la isla en los últimos 100 años. Fue entonces, por idea y proposición de Fidel Castro Ruz (Primer Ministro de la República de Cuba en ese entonces), que en 1963 se decidió convertir esta desgracia en una potencialidad para beneficiar la economía, la población y el desarrollo futuro del país a través del megaprograma Voluntad Hidráulica.

A partir de este momento se construyeron numerosos embalses. Entre los más importantes sobresalen las presas Zaza en la provincia Sancti Spíritus, Hanabanilla, Carlos Manuel de Céspedes y Protesta de Baraguá; las presas Cauto

el Paso en Granma, Nuevo Mundo en Moa y la Mayarí, recientemente terminada en 2014 en la provincia Holguín. Como detalle importante, todas las presas construidas después de 1959 fueron hechas de tierra (conocidas también como presas de materiales locales), con un considerable ahorro de recursos durante la proyección y ejecución. De ahí la necesidad de evaluar su vulnerabilidad ante los eventos geoambientales.

Causas de vulnerabilidad geotécnica de las cortinas de las presas de tierra

Las presas pueden ser afectadas por distintos fenómenos geoambientales con consecuencias muchas veces catastróficas; entre estos: las avenidas producidas en los ríos que las alimentan por las intensas lluvias, los sismos, los deslizamientos de tierra, la erosión y la presencia del carso; aunque muchas veces pueden manifestarse de forma combinada. Por otro lado, también pueden incidir fenómenos relacionados con el incremento de la temperatura en determinadas estaciones, los cuales influyen en la generación de agrietamientos, sobre todo en presas con pantallas de hormigón.

Los peligros geoambientales aceleran determinados procesos que internamente se desarrollan en las presas con más lentitud. Con el paso de los años estos incrementan su vulnerabilidad y se consideran causas de fallo de las mismas. Además, en ocasiones existen dificultades provocadas por un diseño o construcción defectuosos, falta de mantenimiento y mal funcionamiento u operación. Por tanto, es difícil ver un solo fenómeno como el único generador de la vulnerabilidad en una presa, pues existen otros factores, que unidos pueden hacer colapsar la presa de forma parcial o total (Galbán y López, 2016).

La mayoría de las presas de tierra que han sufrido daños por el impacto de los sismos son antiguas y se construyeron con detalles de diseño y métodos de construcción que se consideran inadecuados en estos momentos. Los sismos han causado pocas fallas por deslizamiento en presas de tierra. Los daños que más abundan son los que se generan en la cortina de la presa por la componente horizontal del movimiento sísmico en la dirección al eje de la cortina (Venegas, 2011).

Reséndiz, Romo y Moreno (1982) han demostrado que las sacudidas de los sismos someten a las presas a deformaciones permanentes, debido, generalmente, a la densificación de los materiales granulares y, en menor grado, a distorsiones generales del terraplén; asimismo, descartan el desarrollo de superficies de fallas bien definidas del tipo asumida por el enfoque de deslizamiento de bloques rígidos.

En el caso de las inundaciones, los fenómenos inducidos por las precipitaciones u otros fenómenos naturales o antrópicos pueden afectar una presa de diferentes formas:

- Desbordamiento de las aguas contenidas en el embalse.
- Ruptura de la cortina de la presa por la fuerza de empuje de las masas de agua.

Ante las inundaciones la vulnerabilidad de las cortinas generalmente se manifiesta cuando, aun conociendo los pronósticos meteorológicos, no se realiza una adecuada operación del embalse; por tanto, al desbordarse los materiales térreos aguas debajo de la cortina colapsan por la acción erosiva de las aguas.

La vulnerabilidad geotécnica de la presa de tierra ha sido abordada por distintos autores. Ulloa y Vargas (2007) plantean que para los terraplenes se evalúa la vulnerabilidad como vulnerabilidad geotécnica, análisis de estabilidad y sísmico pseudoestático; pero mayoritariamente se refieren a terraplenes para carreteras. Petrovich (2010) considera que en las presas de materiales sueltos se efectúan los cálculos de estabilidad de taludes, teniendo en cuenta las fuerzas de inercia estáticas equivalentes de la masa deslizante. Para las presas de materiales sueltos, los ensayos dinámicos sobre máquina centrífuga representan mejor las tensiones y el comportamiento no elástico de las presas de este tipo.

Para el caso de los terraplenes, diques o cortinas de las presas de tierra no existe un concepto que delimite su vulnerabilidad geotécnica. Teniendo en cuenta los elementos expuestos anteriormente, se define la vulnerabilidad geotécnica de las cortinas de presa de tierra como la capacidad que tienen sus materiales (de acuerdo con su disposición espacial, nivel de compactación y propiedades físico mecánicas) de resistir el impacto de determinados fenómenos externos; en esta también influirá la resistencia estructural de otros componentes insertados a la

cortina de la presa (obra de toma, aliviaderos y coberturas rígidas), los cuales en su conjunto responden a esos efectos externos que afectan la estabilidad de la cortina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utiliza el método histórico-lógico para evaluar los fenómenos geoambientales en las cortinas de presas de tierra en Cuba; de igual modo, la revisión bibliográfica y el método de análisis-síntesis para sistematizar y analizar los resultados de las diversas fuentes revisadas.

De esta forma, se puede considerar el diseño de la cortina de las presas de tierra atendiendo a distintos elementos geotécnicos: selección de los materiales, diseño geométrico, resistencia estructural, cálculo de la estabilidad de los taludes, cálculo de los asentamientos, cálculo de las filtraciones, altura deseada para cierre en el cauce del río. Es preciso significar que muchas cortinas de las presas de tierra tienen incluidas en su estructura otros componentes, que en ocasiones aparecen aislados; como por ejemplo: los aliviaderos y las obras de toma, elementos que complican las evaluaciones posteriores de su funcionamiento.

RESULTADOS

Los impactos geoambientales en las cortinas de presas de tierra de Cuba se evalúan a través de los fallos detectados en cortinas debido a vulnerabilidades geotécnicas, Galbán y López (2016) consideran:

- a. Falla por deslizamientos en taludes aguas arriba y/o aguas abajo de la cortina debido a procesos de licuefacción y sifonamiento mecánico.
- b. Falla por tubificación (erosión interna, conducto hidráulico) en la cortina.
- c. Falla por rotura o colapso parcial o total en la cortina de la presa por la fuerza de empuje horizontal y vertical de las olas generadas por los sismos en el embalse.
- d. Falla por pérdida de borde libre (debido a los asentamientos diferenciales en la cortina o inundación provocada por avenidas).

- e. Falla por colapso parcial o total en el aliviadero(s) (cuando está incorporado a la cortina).
- f. Falla por afectaciones a la obra de toma (derrumbes, colapso, roturas, etc.) (cuando está incorporado a la cortina).

Falla por deslizamientos en taludes aguas arriba y/o aguas abajo de la cortina debido a procesos de licuefacción y sifonamiento mecánico

En el caso de la cortina de la presa, el deslizamiento ocurre por efecto de sobresaturación de los materiales rocosos que la componen, puesto que se manifiestan en estos un proceso de licuefacción, fenómeno que se puede presentar en suelos de tipo granular fino, con baja densidad relativa y en estado saturado. El sifonamiento mecánico es conocido como el levantamiento del fondo de las excavaciones o del pie de las presas debido a la presencia de grietas en el terreno, con arrastres importantes, y el fenómeno conocido como “arenas movedizas” (presiones efectivas nulas); por tanto, aparece en la masa del suelo en lugares en que se concentra el flujo de agua y en los que la velocidad de filtración es mayor (gradiente hidráulico alto), existe en la cimentación un gradiente vertical ascendente fuerte (el gradiente supera a la densidad sumergida del suelo) (Armas y González, 2003).

El sifonamiento tiene dos posibilidades de ocurrencia: por el cimientado o por la cortina, debido a que el impacto de las ondas sísmicas causa movimientos en las partículas sólidas que componen el material de la cortina y/o el cimientado, con lo cual se acelera el proceso de sifonamiento mecánico. Cuando ocurre en la cimentación de la cortina tiende a licuar finalmente los materiales que la componen.

En Cuba estos fallos han ocurrido sobre todo en dos presas, la presa Lebrige en Sancti Spíritus en junio de 2002, lo cual forzó la evacuación de más de 35 000 personas; y la presa Las Cabrerías en Camagüey a finales de junio de 1993, que falló por un tramo del terraplén, lo que provocó el vaciado del embalse y daños aguas abajo (Figura 2).

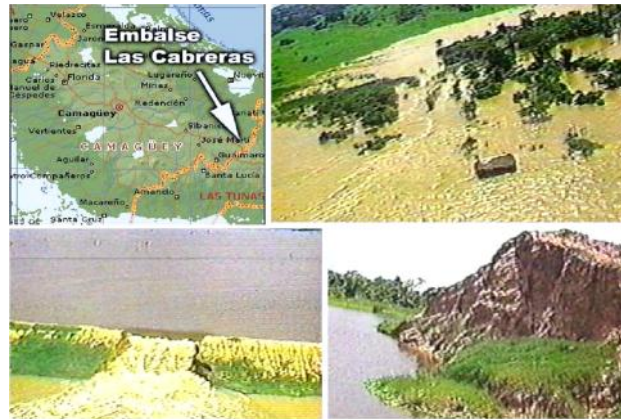


Figura 2. Rotura del dique (cortina) de la presa Las Cabrerías

Otras fallas registradas por este fenómeno, pero de menos envergadura, ocurrieron en presa Santa Rita, Santiago de Cuba; presa Zaza, Sancti Spíritus; presa Laguna Grande, Guanés, Pinar del Río; presa La Paila, San Cristóbal, Pinar del Río; presa Cauto el Paso, Bayamo, Granma; entre otras (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [INRH], 2014).

Falla por tubificación (erosión interna, conducto hidráulico) en la cortina

Según Galbán y López (2016), la tubificación consiste en una erosión interna por procesos de filtración erosiva en la cortina; se puede producir por:

- Cimientos con sales solubles (yesos, halitas, carbonatos) en los que se desencadena un proceso de disolución.
- Cimientos con erosión por “arrastre de finos” (areniscas y limolitas escasamente cementadas, arenas muy finas, limos no plásticos, arcillas dispersivas).
- Contactos defectuosos del elemento impermeable con los estribos y cimientos.
- Inadecuados filtros y drenes.
- Disminución de la compactación de los materiales y/o incremento de la porosidad.
- Por agrietamiento en la estructura rocosa que compone el terraplén, de la pantalla o en la obra de toma y el aliviadero

Estos fenómenos pueden manifestarse por efecto del impacto de ondas sísmicas sobre la estructura de la cortina, lo cual promueve el aumento de la fracturación, crea grietas en la corona, agita los materiales que componen la cortina; elementos

que disminuyen su compactación y, por consiguiente, también pueden incrementar la porosidad, la filtración del agua por debajo de la cortina y a través de ella; hasta llegar al colapso por tubificación (erosión interna). El caso más conocido internacionalmente es la presa de Teton en E.E.U.U en 1976.

Hasta la fecha en Cuba no se han reportado casos similares por impacto de sismos, aunque su probabilidad todavía está por demostrar debido a la cercanía de varios embalses de la región oriental del país a la zona sísmica activa Bartlet–Caimán del Mar Caribe, que provocó en esta área varios terremotos en el pasado (el último significativo fue en 1947). Las presas actuales fueron construidas en un 95 % después de esta fecha.

Falla por rotura o colapso parcial o total en la cortina de la presa por la fuerza de empuje horizontal y vertical de las olas generadas por el sismo en el embalse

Los sismos determinan incrementos instantáneos de la presión del agua, pues el movimiento vibrante u oscilatorio de la presa no está en completa concordancia con el del agua; originan con frecuencia grandes olas que hacen aumentar el empuje hidrostático y pueden provocar daños. En el caso del oleaje generado por los sismos y en dependencia de varios factores, los efectos principales son:

- Desbordamiento o rebase por encima de la cortina.
- Vuelco, teniendo como punto de pivote el pie del talud aguas abajo.
- Agrietamientos longitudinales y transversales en el cuerpo de la cortina, la corona, los hombros (anclaje izquierdo y derecho) y los revestimientos.
- Desintegración de la lámina de revestimiento del talud aguas arriba por acción repetitiva de la onda de choque.

Por otra parte, las oscilaciones sísmicas originan en la masa cortina de la presa fuerzas de inercia que pudieran provocar averías en dicha estructura, aunque el embalse esté vacío. Las fallas por agrietamientos en el cuerpo de la cortina, la corona, los hombros y los revestimientos pueden manifestarse debido al impacto generado por las fuerzas sísmicas, al crear oscilaciones en los materiales que la componen.

La experiencia cubana antes de 1977 en este tipo de falla era totalmente nula (Armas, y González, 2003) hasta después de la falla por agrietamiento de la presa Higuanojos en Sancti Spíritus y la falla por sifonamiento-agrietamiento de la presa Santa Rita en Santiago de Cuba (Figura 3).



Figura 3. Presa Higuanojos, Sancti Spíritus, con deslizamientos en el talud aguas abajo, provocado por los agrietamientos primarios en el cuerpo de la cortina. (INRH, 2014).

Una experiencia local se hace evidente en la presa Parada, ubicada en la provincia Santiago de Cuba, que está experimentando un corrimiento de la cortina por la fuerza hidráulica generada durante época de precipitaciones y llenado del embalse y por la sucesión de movimientos microsísmicos regionales frecuentes en el área (Geocuba, 2015).

Falla por pérdida del borde libre debido a los asentamientos diferenciales en la cortina

Según Galbán y López (2016), la pérdida de borde libre debido a los asentamientos diferenciales en la cortina se debe a los asentamientos del terraplén o de la fundación, que hacen que el coronamiento de la presa descienda; lo cual produce que el resguardo se reduzca y facilite el sobrepaso del agua, con la consiguiente erosión y colapso posterior del terraplén. Esta pérdida de resguardo puede ser también ocasionada por movimientos relativos entre el vaso y la presa, debido al desplazamiento de fallas geológicas o por cálculos inadecuados de los asentamientos previstos durante el diseño, correspondientes a la etapa de funcionamiento de la presa.

Ante un sismo pueden manifestarse asentamientos diferenciales en la cortina de la presa, debido a procesos de compactación y/o asentamiento de los materiales que

la componen o de los materiales rocosos que componen el cimiento ante las oscilaciones o vibraciones del sitio (también llamado efecto de sitio) en las inmediaciones de la presa; lo cual provoca casi simultáneamente en los taludes aguas arriba y aguas abajo de la presa un deslizamiento o desplazamiento hacia los laterales de sus flancos.

En Cuba hasta la fecha no se reportan daños a las presas por esta causa; no obstante, debido a que la mayoría de las presas construidas aún no han sido sacudidas por sismos fuertes todavía queda la incertidumbre de la posibilidad de ocurrencia, sobre todo en las que se encuentran en la región oriental del país. Los fallos reportados se deben, fundamentalmente, a errores en la operación del embalse durante las crecidas, de manera que en este caso existen varios ejemplos en todo el país.

Falla por afectaciones en la obra de toma (derrumbes, colapso, roturas, etc.)

En la mayoría de las presas de tierra la obra de toma se hace en forma de galerías que pasan por debajo de la cortina, aunque también se construyen en las laderas o en forma de canal incorporado a la cortina. Tanto en uno como en otro tipo de presas deben llevar siempre doble sistema de cierre. Las fallas ocurren debido al impacto de las ondas sísmicas en los canales, túneles y/o galerías; tuberías con sus accesorios (te, válvulas, codos entre otros), etc.; además de su ejecución deficiente en el proceso de construcción. Entre estas están:

- Desplomes totales o parciales en el techo y paredes de los túneles o galerías debido a los impactos de las ondas sísmicas.
- Agrietamientos o aberturas causados por las ondas y vibraciones que se transmiten por medios acuosos y terrestres en las galerías y/o túneles.
- Fallas por asentamiento del túnel y/o galería.
- Colapso estructural del conducto soterrado (galerías y/o túneles).
- Dislocación de las tuberías, lo que produce rupturas, colapsos y averías que dañan la estructura de obra.
- Agrietamiento de los canales, con incremento de la filtración y debilitamiento de taludes laterales y/o deslizamientos de la base.

Durante los eventos sísmicos estos dependerán de muchos factores, las características del suelo de cimentación, la rigidez o flexibilidad del conducto, características y condiciones del material de relleno; lo que puede incluso provocar el fallo de la presa.

Hasta la fecha en Cuba este fenómeno se ha detectado en fases primarias en distintas presas, como por ejemplo la presa Parada en Santiago de Cuba, donde la galería de la obra de toma permanece inundada la mayor parte del año. La manifestación en sus inicios constituye una alerta para los estudios futuros sobre cortinas de presas de tierra y la necesaria intervención para su corrección.

CONCLUSIONES

1. La vulnerabilidad geotécnica en las cortinas de presas de tierra se acrecienta cuando inciden en ella fenómenos geoambientales que pueden impactarlas paulatinamente.
2. El análisis realizado indica que las cortinas de la presas de tierra pueden fallar por cualquiera de sus componentes, lo que tiene relación tanto con el impacto de fenómenos geoambientales, como errores humanos en su diseño, construcción, mantenimiento y operación. Estos factores pueden actuar unidos y hacer colapsar la presa parcial o totalmente.
3. En Cuba los fallos por causas geotécnicas en presas de tierra aún no han significado grandes desastres; no obstante, es preciso continuar observando los factores de causas de fallo para su prevención.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armas Novoa, R. y Horta Mestas, E. (1987). *Presas de Tierra*. Habana, Cuba: Editorial ISPJAE.

Armas Novoa, R. y González Haramboure (noviembre, 2003). Desastres Originados por Fallos en Presas de Tierra ¿Cómo Evitarlos? En *Desastres 2003. II Seminario Internacional Gestión de Riesgos. VI Congreso Internacional sobre Desastres*. Cuba.

Galbán R. L. y López, S. P. (2016). Indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de presas de tierra [CD-ROM]. En *II Convención Internacional de Ingeniería*.

Conferencia Internacional de riesgos geológicos, ingeniería sísmica y de desastres (Sismos 2016). Santiago de Cuba, Cuba: Universidad de Oriente.

Geocuba (2015). *Informe técnico. Estudios geodésicos del embalse Parada Planimetría* [Archivos Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Santiago de Cuba]. Santiago de Cuba, Cuba.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall.

Pérez, J. (2001). *Filtración de agua en el suelo, Programa asignatura Mecánica de suelos, curso 2001/2002*. Granada, España: Universidad de Granada.

Pérez, J. (2001). *Introducción a la mecánica del suelo parcialmente saturado, Programa asignatura Mecánica de suelos, curso 2001/2002*. Granada, España: Universidad de Granada.

Petrovich Lyapichev Y. (2010). *Seguridad Sísmica de Presas; ICOLD, presas y geotécnica*. Rusia. PFUR.

Reséndiz, D., Romo, M. P., Moreno y E. J. (jan, 1982). El infiernillo and la villita dams: Seismic behavior. *Geotech Engng Div ASCE*, 108, NGT1.

Ulloa Calderón, Á. y Vargas Monge W. (2007). *Metodología simplificada para evaluación de vulnerabilidad geotécnica de terraplenes en carreteras de montaña. Artículo #18: Infraestructura vial de Costa Rica*. Costa Rica.

Venegas Conrados, J. (2011). *Respuesta sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto (Tesis de Maestría)*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Recibido: junio de 2016

Aprobado: diciembre de 2016