CARACTERIZACIÓN DE TANQUES ELEVADOS Y SU REHABILITACIÓN SISMORRESISTENTE

CHARACTERIZATION OF ELEVATED TANKS AND THEIR SEISMIC-RESISTANT REHABILITATION

Joendris Manual Castellanos[1*]

[1] Grupo de Ingeniería Geológica, Agencia Estudios Medio Ambientales, Empresa GEOCUBA Oriente Sur. Cuba. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0239-4057. Correo: joendrismanualcastellano@gmail.com

Darío Candebat Sánchez[2]

[2] Departamento Ingeniería Civil, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Cuba. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0066-4937. Correo: dario@cenais.cu

Francisco Calderín Mestre[3]

[3] Departamento Ingeniería Civil, Universidad de Oriente, Cuba. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1198-7627. Correo: calderin@uo.edu.cu

*** Autor para correspondencia: joendrismanualcastellano@gmail**

Resumen

Uno de los retos para la sociedad actual es salvaguardar vidas humanas ante peligros naturales, entre los que destacan los terremotos. Resulta vital una mirada no solo a la construcción de obras nuevas, sino también a cómo rehabilitar las existentes para soportar sísmicos fuertes. El objetivo de la investigación fue describir las características de tanques elevados y su rehabilitación sismorresistente. Con un estudio cualitativo, diseño combinado de investigación sistemática narrativa y método crítico, se valoraron consideraciones de varios autores y se revisaron códigos sísmicos. Entre los principales resultados está la necesidad de considerar la cimentación parte esencial de los tanques elevados. Por otro lado en los códigos sísmicos no existen criterios específicos para su rehabilitación y las ecuaciones para el cálculo del período de vibración fundamental son inadecuadas. La investigación concluye que la rehabilitación estructural sismorresistente incrementa la seguridad de una construcción existente ante acciones sísmicas de un grado determinado, a partir del estudio integrador de las características del suelo, evaluación del estado técnico, verificación de su desempeño ante un sismo y acciones que lo mejoren, independientemente de haber sido dañadas o no por eventos sísmicos.

Palabras clave: péndulo invertido; rehabilitación sismorresistente; reservorios elevados

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Abstract

One of the challenges for today's society is to safeguard human lives in the face of natural hazards, including earthquakes. It is vital to look not only at the construction of new structures, but also at how to rehabilitate existing structures to withstand strong earthquakes. The objective of the research was to describe the characteristics of elevated tanks and their seismic-resistant rehabilitation. With a qualitative study, combined design of systematic narrative research and critical method, considerations of several authors were evaluated and seismic codes were reviewed. Among the main results, the need to consider the foundation as an essential part of the elevated tanks stands out. On the other hand, in the seismic codes there are no specific criteria for their rehabilitation and the equations for the calculation of the fundamental vibration period are inadequate. The research concludes that seismic-resistant structural rehabilitation increases the safety of an existing construction in the face of seismic actions of a given degree, based on the integrated study of the soil characteristics, evaluation of the technical condition, verification of its performance in the face of an earthquake and actions to improve it, regardless of whether or not it has been damaged by seismic events.

Keywords: *inverted pendulum; seismic-resistant rehabilitation; elevated reservoirs*

Fecha de recibido: 26/08/2025
Fecha de aceptado: 01/12/2025
Fecha de publicado: 08/12/2025

Introducción

Entre las obras que presentan riesgo sísmico se encuentran aquellas con comportamiento de péndulo invertido, debido a la distribución de su masa y a su reducida redundancia estructural. Aguiar (2012) planteó que las estructuras con forma de péndulo invertido son aquellas cuya masa se concentra en la parte superior (en algunos códigos, más del 50%). Además, la formación de una sola articulación plástica en una columna puede producir el colapso, y la influencia de las fuerzas gravitacionales es decisiva, ya que disminuyen la capacidad de la estructura frente a movimientos horizontales del suelo. De manera sencilla, puede indicarse que las estructuras formadas por una hilera de columnas, o por una sola columna que soporta una losa o cascarón, se modelan para efectos de análisis ante movimientos del suelo como estructuras de tipo péndulo invertido.

Por su parte, el Comité Técnico de Normalización (2017), al clasificar estos sistemas estructurales, expone que se trata de sistemas relativamente esbeltos en la dirección de la carga horizontal, capaces de soportar tanto la carga vertical como las fuerzas horizontales, actuando esencialmente como un voladizo vertical aislado. Además, más del 50 % de la masa del sistema se concentra en el extremo superior, y la estabilidad lateral depende de una restricción a momento.

Existen tanques elevados que clasifican con péndulo invertido, específicamente los apoyados sobre un solo elemento resistente y con el elemento contenedor del líquido en su parte superior. Según (Damatty et al., 1997; Jain et al., 2002 y Durgesh, 2003) se han presentado un gran número de fallas en tanques elevados

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).
Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

apoyados en un solo elemento resistente. La falla característica en este tipo de contenedor se debe más a un comportamiento de péndulo invertido ya que se presenta un excesivo momento de volteo en la base del elemento resistente y la consecuente formación de la articulación plástica, porque no se deben despreciar los efectos de cabeceo del contenedor en este tipo de estructuras.



Figura 1. Colapso en tanques tipo péndulo. Sismo de Bhuj, India.
Fuente: Tomado de (Barrios, 2018).

Varios autores han evaluado el comportamiento sísmico de reservorios elevados, entre los que podemos destacar a Franco y Reyes (2011), Huaringa (2015), Martínez (2019). En todos estos casos la evaluación es referente a la estructura, no se analiza el comportamiento del suelo y las cimentaciones. Lazo (2015) describe que últimamente se observan los daños provocados por los sismos en reservorios, principalmente elevados, y que actualmente el diseño de los elementos de reservorios, se hace de manera muy empírica, obviando muchas veces el análisis dinámico. Todo lo anterior refuerza el objetivo que persiguió la investigación, planteándose en describir las características de tanques elevados y su rehabilitación sismorresistente.

Materiales y métodos

La revisión bibliográfica estuvo relacionada con las características de reservorios elevados y su rehabilitación sismorresistente. Se llevó a cabo un estudio cualitativo, con diseño combinado de investigación sistemática y narrativa y método crítico. Se consultaron bases de datos como SciELO, Readaly, Latindex y Dialnet. Las palabras claves utilizadas fueron: Reservorios elevados, Rehabilitación sismorresistente, Fallas por sismo, Comportamiento sísmico. La selección de la documentación se basó en artículos, libros y tesis de doctorado y maestría. Como criterios de inclusión se establecieron los siguientes:

- Artículos relacionados con la temática investigada.
- Artículos en idioma español, inglés y portugués.
- Artículos en repositorios.
- Tesis de doctorado y maestría.
- Códigos sísmicos de diferentes países.
- Artículos entre los años 2000-2025.

Como criterios de exclusión se tuvieron los siguientes:

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).
Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

- Artículos encontrados de forma incompleta.
- Documentos como cartas al editor.

Resultados y discusión

Clasificación de reservorios

La (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2004) define a los reservorios como grandes tanques de almacenamiento de agua que tienen como finalidad asegurar que en todo momento exista una presión suficiente y constante de agua. Para este autor se diferencian de acuerdo con la forma en que captan el agua, existiendo dos tipos: elevados y de superficie.

La similitud de criterios se observa en lo planteado por (Agüero, 2004; Adauto & Chuey, 2018; Baque, 2019) los cuales coinciden en que los reservorios de agua pueden ser enterrados, apoyados y elevados. Estos últimos pueden ser de forma esférica, cilíndrica y de paralelepípedo, construidos sobre torres, columnas, pilotes, etc.

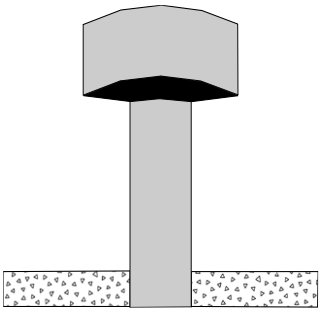


Figura 2. Tanque de almacenamiento elevado.
Fuente: Modificado de (Baque, 2019).

Según (Paredes, 2021) la clasificación de los tanques está ligada al material con el cual se encuentra construido, a su geometría y a la ubicación en la que se encuentra. Esta investigación trabaja el criterio que abordar los reservorios de agua teniendo en cuenta su posición en el terreno, pudiendo ser (enterrados, apoyados y elevados).

Materiales empleados para la construcción de reservorios de almacenamiento

Según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2004), un reservorio elevado está básicamente hecho de concreto armado. Para la Comisión Nacional del Agua (2007), los materiales que mayormente se utilizan para la construcción de reservorios de almacenamiento son mampostería, concreto armado, pre tensado y acero, además, la forma más común de los reservorios son los rectangulares y los circulares.

Estructuras que componen los reservorios elevados:

Según (Zeballos, 2014) los tanques elevados cuentan con una estructura vertical que permite ubicar el volumen de agua a una altura considerable respecto del terreno, principalmente con el objeto de tener un tirante hidráulico que permita la distribución del agua por gravedad.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).
Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Para (Rivera, 2018) los tanques elevados son estructuras esenciales para la distribución de la red de agua y también para el abastecimiento. Según la cantidad de masa de agua que se encuentre en la parte superior de la estructura podrá llegar a ser considerada una construcción de tipo péndulo invertido debido a las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura. Las columnas que sirven como sección de apoyo actúan soportando el peso de la estructura.

Hernández (2018) sostiene que los tanques elevados para almacenar líquidos están formados por el contenedor, que se ubica en su parte superior y la plataforma estructural que funciona como apoyo. Esta investigación concuerda solo en parte con el anterior planteamiento, considerando incompleta la descripción de las partes de los tanques elevados, ya que no declara entre ellas la cimentación, siendo esta de vital importancia en el análisis sísmico de las estructuras.

Por su parte, (Agüero, 2004) describe que las estructuras de concreto armado que componen los reservorios elevados son: la cimentación, la estructura de soporte que puede ser columnas arriostradas o un fuste cilíndrico y la cuba de almacenamiento. Por otro lado la presente investigación comparte el criterio de (Casados, 2007) quien define la cimentación como parte estructural del edificio, encargada de transmitir las cargas al terreno. Coincide además en incorporar claramente la cimentación como parte indiscutible e importante de la estructura, debido a que esta juega un papel decisivo en el comportamiento dinámico del reservorio, el no considerar este aspecto puede constituir una brecha en el análisis dinámico de la estructura.

Conceptos fundamentales sobre la rehabilitación estructural sismorresistente en estructuras péndulo invertido.

Según lo planteado por (Soto, 2008) la rehabilitación sísmica de estructuras existentes es uno de los métodos más eficaces para reducir el riesgo sísmico. Además, sostiene el criterio que la rehabilitación símica mejora en el funcionamiento sísmico de los elementos estructurales y no estructurales del edificio, corrigiendo las deficiencias identificadas en una evaluación sísmica.

La presente investigación considera este criterio válido, teniendo en cuenta que uno de los objetivos de la rehabilitación sismorresistente es precisamente mejorar el funcionamiento sísmico de los elementos estructurales de un edificio. Candebat (2017), establece que la rehabilitación estructural sismorresistente es un proceso integrador, dirigido a incrementar el tiempo de vida útil de la estructura, para un nivel controlado de daños en relación con un nivel definido de cargas actuantes. Proceso que exige además retroalimentación constante.

Este investigador define como una de las principales cuestiones a tener en cuenta en el análisis del comportamiento de estructuras ya existentes, las referidas a las condiciones ingeniero-geológicas del suelo de emplazamiento, los efectos de sitio, la respuesta del suelo ante la fuente de excitación y la interacción suelo–estructura. Con estos elementos concuerda plenamente la presente investigación.

Frente a la posición de dirigir la rehabilitación estructural sismorresistente a incrementar el tiempo de vida útil de la estructura, se encuentra el comentario realizado por (Sepúlveda, 2022) cuando expresa que no todos los casos de rehabilitación tienen como causa el término de la vida útil de la estructura rehabilitada. Agrega además que en algunos casos, el proceso de evaluación y verificación de gabinete puede ser suficiente para la rehabilitación sísmica formal, mientras que en otros casos puede ser requerida una intervención estructural,

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

este investigador se sustenta en lo descrito por el código modelo International Existing Building Code (ICC, 2018) se puede requerir de rehabilitación frente a alguna de las siguientes necesidades o intervenciones: reparaciones; adiciones; alteraciones: ya sea de cargas, de elementos, de uso, o de ubicación; actualización normativa u operacional, voluntaria o requerida y por último deterioro o ciclo de vida.

Según (Socarrás, Álvarez y González, 2020) la rehabilitación sismorresistente es un proceso que transcurre desde la evaluación de la estructura sin intervenir, hasta la evaluación de la estructura intervenida, sobre la base de los códigos actuales del diseño sismorresistente, para garantizar la seguridad de la estructura. Para estos investigadores este proceso involucra varias acciones (reparación, reforzamiento y/o reconstrucción), con la intención de eliminar o atenuar los factores causantes de vulnerabilidades o daños sísmicos potenciales.

De manera similar para la (Secretaría de educación pública, 2023) rehabilitación es el proceso de intervención estructural para restablecer las condiciones originales (reparación) o para mejorar el comportamiento de elementos y sistemas estructurales para que la edificación cumpla con los requisitos de seguridad contra colapso y de limitación de daños establecidos en el Reglamento; incluye a la recimentación, reforzamiento, reparación y rigidización.

A los efectos de esta investigación se asume como definición que la rehabilitación estructural sismorresistente es el proceso mediante el cual se incrementa la seguridad de una construcción existente ante acciones sísmicas de un grado determinado, a partir del estudio integrador de las características específicas del suelo de ubicación, evaluación del estado técnico de la estructura, verificación de su desempeño ante sismos de diseño y acciones que lo mejoren, independientemente de haber sido dañadas o no por eventos sísmicos.

Revisión de algunos códigos sísmicos

Todos los códigos sísmicos estudiados establecen fórmulas empíricas para la determinación del periodo fundamental de vibraciones en estructuras péndulo invertido. Sin embargo no tienen en cuenta la distribución de la masa, lo que puede ocasionar distorsiones en el análisis dinámico de los reservorios elevados.

- Norma Cubana (NC 46: 2017)

Expresa que el reforzamiento estructural es aumentar racionalmente la resistencia y/o rigidez de una estructura dañada o no por un sismo para mejorar su comportamiento ante futuros sismos. Aborda la revisión de la seguridad de estructuras existentes de manera general, sin especificaciones concretas para estructuras péndulo invertido o reservorios elevados.

Presenta un límite de hasta 12,00 m para estructuras péndulo invertido, por lo que se deduce no presenta especificaciones a estructuras con mayor altura como es el caso de los reservorios de agua péndulo invertido denominados güira. Por otro lado si refiere la necesidad de efectuar un estudio completo a la integridad de estructuras no dañadas como anticipación de una futura actividad sísmica.

- Norma Venezolana (COVENIN 1756-1: 2019)

Iguala el término rehabilitación al de adecuación, evaluándolo en caso de resultados insatisfactorios de la resistencia o desplazamientos de la estructura existente, indicando entre otros aspectos proceder al diseño de un sistema suplementario de refuerzo, aislamiento sísmico o disipación de energía; al análisis del conjunto entre la estructura suplementaria y la existente y su interacción; indica además verificar la resistencia de los

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

elementos existentes y suplementarios de las derivas de entrepiso de cada plano resistente, revisándose eventuales efectos P-Delta en las columnas y muros.

- Guía Boliviana de diseño sísmico (2020)

Aborda de una sola vez la reparación, la rehabilitación y el refuerzo. Evaluando estos temas después de la recopilación de la información incluyendo la investigación preliminar y la detallada, así como luego de la correspondiente evaluación (diagnóstico) de la estructura existente. Plantea que de ser necesario se dotará de ductilidad y/o se incrementará la rigidez, controlando los esfuerzos, desplazamientos, las deformaciones y la deriva.

- Estándar para la Rehabilitación de Edificios (ASCE/SEI 41-17)

Proporciona metodologías para evaluar la capacidad sísmica de estructuras existentes. Aplica el diseño basado en desempeño para rehabilitación por sismo en edificaciones existentes. Incluye criterios para reforzar soportes, conexiones y bases de tanques.

- Guía de rehabilitación sísmica (FEMA P-1550)

Proporciona pautas técnicamente válidas y aceptables para la rehabilitación sísmica de edificios de diferentes tipos de estructuras. Realiza énfasis en la caracterización del suelo y riesgos geotécnicos como parte de la rehabilitación sistemática, además proporciona criterios para la mitigación de riesgo de sitio sísmico tanto para edificaciones nuevas como para las existentes.

- Normas japonesas (JBDPA)

Establece criterios para evaluar estructuras existentes. Sugieren reforzar la zona de conexión entre el tanque y el soporte con placas de acero u hormigón armado.

Principales causas de fallas de reservorios elevados según las fuentes bibliográficas consultadas

Para la (Organización Panamericana de la Salud y la Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud 1998), los tanques elevados de hormigón, debido a sismo podrían verse afectados de la siguiente manera:

- Pérdidas superficiales de estuco, daños en cañerías de entrada o salida del estanque o de elementos sobrepuestos, tales como escaleras de acceso o similares, que en si no comprometen la estructura del estanque y pueden ser reparables con labores de simple a mediana dificultad.
- Grietas en la estructura de apoyo y/o en la cuba, las que pueden producirse, por ejemplo, en las zonas de traslape de excesivo número de armaduras de hierro; en las zonas en que las cañerías cruzan los muros de hormigón; en la unión de cuba y estructura soportante o en la base de esta última.
- Desaplome o inclinación de la estructura o fallas en las fundaciones, usualmente de significado muy grave.
- Derrumbe o colapso de la obra.

Según (Paredes, 2021) entre las patologías encontradas en el reservorio en cuestión destaca la eflorescencia en los anillos inferiores y en el fondo cónico y fondo esférico en un grado de afectación leve, evidenció que las cargas sísmicas aplicadas sobrepasan la capacidad de resistencia de las nervaduras. No obstante resalta que gran parte de estos reservorios fueron construidos hace muchos años atrás, y algunos ya presentan signos

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

de deterioro graves como presencia de filtraciones, eflorescencia, grietas, exposición del refuerzo, presencia de corrosión, todo lo anterior en sus elementos estructurales como cimientos, fuste, anillos, cúpula, techado.

Guadarrama (2022) expresa que con la experiencia adquirida en diversos sismos, se ha observado que el nivel de daños en gran medida se debe a la configuración arquitectónica, estructural y en elevación, así como los efectos de sitio donde se desplantan las construcciones.

Comportamiento de tanques durante sismos fuertes relevantes

A continuación se describe el comportamiento de algunos tanques durante sismos fuertes relevantes.

- Terremoto de Chile (1960, Mw 9.5): Colapso de tanques elevados de agua en Valdivia por pandeo de soportes de acero y fallas en cimentaciones.
- Terremoto de México (1985, Mw 8.0): Tanques en la Ciudad de México sufrieron agrietamiento en soportes de concreto debido a la amplificación sísmica en suelos blandos. Se observó resonancia por coincidencia entre el periodo del suelo (≈2 seg) y el periodo fundamental de los tanques.
- Terremoto de Chile (2010, Mw 8.8): Tanques de acero en Concepción mostraron daños por fracturas frágiles en soldaduras de la base, vinculadas a deficiencias en detalles sismorresistentes.
- Terremoto de Japón (2011, Mw 9.0): Tanques elevados en la región de Tōhoku resistieron bien el sismo principal gracias a diseños con aislamiento de base, pero algunos fallaron durante las réplicas por fatiga acumulada.

En general, en relación a la respuesta estructural (modos de vibración dominantes), se ha observado el siguiente comportamiento:

- Primer modo: flexión del soporte, dominante en la dirección del sismo.
- Modos superiores: pueden activarse en sismos de larga duración o con contenido frecuencial amplio.
- Desplazamientos máximos en la parte superior: la masa concentrada amplifica los desplazamientos, generando tensiones críticas en la base del soporte.

En la tabla 1 se evidencian cuatro terremotos documentados que causaron daños en reservorios elevados, en todos los casos superan 6,9 en la escala de Richter, con profundidades entre 10 y 39 kilómetros.

Tabla 1. Algunos terremotos y sus características con daños documentados en reservorios elevados.

No.	Terremoto	Año	Escala		Duración	Distancia epicentral Km	Profundidad Km
			Richter	Richter			
1	El Asnan, Argelia	1980	7,5	X	35 s	≈0	10,0
2	Bhuj, India	2001	6,9-7,9	X	1 min con 2 s	20,0	16,0
3	Pisco, Perú	2007	7,0	X	3 min con 30 s	40,0	39,0
4	Babahoyo, Ecuador	2016	7,8	VIII	1 min con 05 s	200,0	20,0

En relación al efecto del líquido almacenado, según el modelo de (Housner, 1963), divide la masa del líquido en dos componentes: masa impulsiva, que se mueve sincrónicamente con el tanque, masa convectiva, que genera oleaje superficial (efectos no lineales). En sismos intensos, el oleaje convectivo puede causar daños por impacto en el techo del tanque o derrames.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Referente a inestabilidades críticas, pueden manifestarse comportamientos indeseados como:

- Vuelco: Ocurre si el momento sísmico supera la capacidad resistente de la cimentación.
- Pandeo del soporte: En tanques de acero, la esbeltez puede provocar pandeo local o global bajo cargas cíclicas.
- Falla en conexiones: Juntas entre el tanque y el soporte son puntos críticos de tensión (ej.: fracturas en soldaduras).

Conclusiones

La investigación realizada mostró que la rehabilitación estructural sismorresistente incrementa la seguridad de una construcción existente ante acciones sísmicas de un grado determinado, a partir del estudio integrador de las características específicas del suelo de ubicación, evaluación del estado técnico de la estructura, verificación de su desempeño ante sismos de diseño y acciones que lo mejoren, independientemente de haber sido dañadas o no por eventos sísmicos.

Los materiales que más se utilizan para la construcción de reservorios elevados son mampostería, concreto armado, pre tensado y acero. Se evidencia la importancia de considerar la cimentación parte esencial de la estructura de reservorios elevados, con relevancia en el análisis de su desempeño ante acciones sísmicas.

Los códigos sísmicos estudiados no tienen en cuenta la distribución de la masa en las fórmulas empíricas del periodo fundamental de vibraciones, lo que puede ocasionar distorsiones en el análisis dinámico de los reservorios elevados. Además, en su mayoría no establecen especificaciones concretas para la rehabilitación sísmica de estas estructuras.

Agradecimientos

Agradecimientos a la Empresa GEOCUBA Oriente Sur por todo su apoyo, específicamente al colectivo del grupo de Ingeniería Geológica de la Agencia de Estudios Medioambientales en la propia empresa, por su colaboración incondicional: Juan I. Medina Hechavarría, Sandra Rosabal Domínguez, Luis Daniel García Molina, Luis Manuel Ruiz Calunga y Yanelquis Guerra Tamayo. Especial agradecimiento al Dr. C. Fernando Cardero Hodelín, por impulsar el interés en la realización de la presente investigación.

Referencias

Adauto Barsola, M. C. & Cheong Lizárrrraga, J. C. (2018). Estudio geotécnico para el diseño de la cimentación de un reservorio de cabecera de 20.000 m^3en el sector 330 Villa María del Triunfo-Lima. Tesis para optar el título profesional de ingeniería civil. Universidad de San Martín de Porres. Lima, Perú. https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/4812

Aguiar, F. (2012). Dinámica de estructuras con CEINCI-LAB, 2da edición. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército Quito. Ecuador.

Agüero Pittman, R. (2004). ¨Guía para el diseño y construcción de reservorios apoyados¨ Organización Panamericana de la Salud. Lima. Perú.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

https://www.academia.edu/31176668/GU%C3%8DA_PARA_EL_DISE%C3%910_Y_CONSTRUCCI%C3%93N_DE_RESERVORIOS_APOYADOS

Baque Baque, W. J. (2019). Estudio patológico del tanque reservorio de 800 m^3 ubicado en el barrio Cristo del Consuelo en el Cartón Jipijapa. Proyecto de titulación, previo a la obtención del título de ingeniero civil. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Ecuador.

Bolivia. Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda- MOPSV. (2020). Guía Boliviana de Diseño Sísmico.

Candebat Sánchez, D. (2017). ¨Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras¨ Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Tecnológica de La Habana.

Cuba. Comité Técnico de Normalización. Construcciones sismorresistentes. (2017). Requisitos básicos para el diseño y construcción. (NC 46: 2017).

Socarrás Cordoví, Y. C., Álvarez Deulofeo, E. R., & González Díaz, L. (2020). La rehabilitación sismorresistente de edificaciones de hormigón prefabricado. Ciencia en su PC, (1), 61-76.

Damatty, A. A., Kobol R. M. & Mirza, F. A. (1997). Stability of Elevated Liquid-Filled Conical Tanks under Seismic Loading, Part II-Applications, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, 1209-1229.

Hernández Barrios, H. (2018). Respuesta sísmica de tanques elevados tipo péndulo invertido. Revista de Ingeniería Sísmica No. 99, 1-22.

Huaringa Huamani, P. G. (2015). Evaluación de la respuesta sísmica no lineal de reservorios elevados tipo INTZE. Tesis para optar el Grado de Magíster. Pontificia Universidad Católica del Perú. https://hdl.handle.net/20.500.12404/6821.

Lazo Jurado, G. D. (2015). Diseño y análisis sísmico de reservorio circular de 250 m^3 para el abastecimiento de agua potable en el distrito de Paucara, provincia de Acobamba, región de Huancavelica. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero civil. Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.

Martínez Cahui, H. (2019). Evaluación del comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular y rectangular, aplicando la normativa norteamericana-TACNA 2019. Tesis para optar título profesional de ingeniero civil. Universidad Privada de TACNA, Perú.

México. Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño, construcción y operación de tanques de regulación para abastecimiento de agua potable. México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/13DisenoConstruccionyOperacionDeTanquesDeRegulacion.pdf.

Sepúlveda Solís, N. S. (2022). Rehabilitación sísmica de una estructura industrial existente en Chile, mediante la incorporación de diagonales con pandeo restringido. Tesis para optar el grado de magister en

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Ciencias de la Ingeniería. Mención ingeniería estructural, sísmica y geotécnica. Universidad de Chile.

Paredes Sánchez, L. A. (2021). Evaluación estructural del reservorio elevado de concreto armado R-3 "Sánchez Cerro" de la provincia de Sullana, Piura, 2021. Tesis para obtener el título profesional en ingeniería civil. Escuela académico profesional de ingeniería civil. Universidad César Vallejo. https://hdl.handle.net/20.500.12692/76281.

Perú. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2004). Análisis de la calidad del agua potable en las empresas prestadoras del Perú: 1995-2003. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. https://cdn.www.sunass.gob.pe/upads/document/file/1115226/Sunass_JICA_2003_._An%C3%A1lisis_de_la_calidad_del_agua_en_las_empresas_prestadoras_del_Per%C3%BA_1995_2003.pdf.

Venezuela. Comité Técnico de Normalización. Construcciones sismorresistentes. (2019). Construcciones sismorresistentes. Parte 1: Requisitos. (COVENIN 1756-1: 2019).

Washington. Organización Panamericana de la Salud. (1998). Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. http://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/35228/MitigCompleto.pdf

Zeballos Salinas, V. A. (2014). Criterios para el análisis de vulnerabilidad de tanques de almacenamiento de agua. Banco Mundial.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com