



Revista de Arquitectura e Ingeniería
ISSN: 1990-8830
Olga-Toledo@empai.co.cu
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería
de Matanzas
Cuba

Un nuevo enfoque para la estimación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de instalaciones educativas.

Candebat-Sánchez, Dr. C. Ing. Dario; Leyva-Chang., MSc. Ing. Kenia Mercedes; Centray-Sánchez, Ing. Jorge Luis

Un nuevo enfoque para la estimación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de instalaciones educativas.

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 14, núm. 1, 2020

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193962633001>

Un nuevo enfoque para la estimación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de instalaciones educativas.

A new approach for preliminary seismic vulnerability assessment of educational facilities.

Dr. C. Ing. Dario Candebat-Sánchez dario@cenais.cu
Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba, Cuba
MSc. Ing. Kenia Mercedes Leyva-Chang. kenia@cenais.cu
Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba., Cuba
Ing. Jorge Luis Centray-Sánchez
Unidad Básica Provincial de Proyecto (EPROMAC). Cuba, Cuba

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 14, núm. 1, 2020

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Recepción: 31 Octubre 2019
Aprobación: 18 Febrero 2020

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193962633001>

Resumen: Se presenta un nuevo enfoque para la evaluación integral, de manera preliminar, de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones destinadas al servicio de educación. Se analizan metodologías existentes a nivel internacional y se identifican los parámetros comúnmente utilizados por la comunidad científica para la estimación de la vulnerabilidad sísmica. Igualmente se proponen aspectos no estructurales, organizativos y funcionales que no han sido considerados en dichas metodologías pero que, dadas las características de las instalaciones educativas, deben ser evaluados para garantizar su seguridad y la supervivencia de los estudiantes y trabajadores. Se elabora una propuesta metodológica, que cuantifica los parámetros seleccionados para el análisis integral de la vulnerabilidad sísmica según su nivel de prioridad y se somete al criterio de expertos para su validación, utilizando el método Delphi.

Keywords: seismic vulnerability, organizational and functional parameters, education facilities

Un nuevo enfoque para la estimación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de instalaciones educativas.

A new approach for preliminary seismic vulnerability assessment of educational facilities.

Dr. C. Ing. Dario Candebat-Sánchez.

Investigador Titular.

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba.

Email: dario@cenais.cu

MSc. Ing. Kenia Mercedes Leyva-Chang.

Investigador Auxiliar.

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba.

Email: kenia@cenais.cu

Ing. Jorge Luis Centray-Sánchez.

Especialista de Proyecto.

Unidad Básica Provincial de Proyecto (EPROMAC). Cuba.

Recibido: 31-10-19

Aceptado: 18-2-20

RESUMEN

Se presenta un nuevo enfoque para la evaluación integral, de manera preliminar, de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones destinadas al servicio de educación. Se analizan metodologías existentes a nivel internacional y se identifican los parámetros comúnmente utilizados por la comunidad científica para la estimación de la vulnerabilidad sísmica. Igualmente se proponen aspectos no estructurales, organizativos y funcionales que no han sido considerados en dichas metodologías pero que, dadas las características de las instalaciones educativas, deben ser evaluados para garantizar su seguridad y la supervivencia de los estudiantes y trabajadores. Se elabora una propuesta metodológica, que cuantifica los parámetros seleccionados para el análisis integral de la vulnerabilidad sísmica según su nivel de prioridad y se somete al criterio de expertos para su validación, utilizando el método Delphi.

Palabras claves: vulnerabilidad sísmica, aspectos organizativos y funcionales, instalaciones educativas

ABSTRACT

A new approach for the integral and preliminary seismic vulnerability evaluation in education facilities is presented. Some existing methodologies, proposed by the international scientific community, are analyzed and the parameters commonly used for the estimation of seismic vulnerability are identified. Likewise, taking into account the characteristics of the educational facilities, non-structural, organizational and functional aspects, not considered in these methodologies are proposed, necessary to guarantee their safety and the survival of the students and workers. Finally, a methodological proposal is prepared, which quantifies the parameters included according to their level of priority and is submitted to the expert criteria for validation, using the Delphi method.

Key words: seismic vulnerability, organizational and functional parameters, education facilities

INTRODUCCIÓN

Muchas edificaciones han sido afectadas debido a las acciones generadas por eventos sísmicos fuertes. Terremotos significativos como los ocurridos en Estados Unidos, San Fernando (1994); Japón, Kobe (1995) y Chile (2010) demostraron que las edificaciones mal diseñadas son altamente vulnerables ante este tipo de eventos. Dentro de las instalaciones afectadas se encuentran las escuelas, las cuales, debido a la función que realizan, deben ser salvaguardadas, ya que su colapso implica la pérdida de gran cantidad de vidas. En la norma cubana NC 46 (2017) estas edificaciones son clasificadas como obras importantes.

El 9 de julio de 1997, el terremoto de Cariaco (Estado Sucre, Venezuela), con magnitud $M_w = 6,9$, produjo el colapso de siete edificios de hormigón armado, entre ellos cuatro edificaciones escolares (López

et al., 2010). En la figura 1 se muestran imágenes de escuelas afectadas durante este evento sísmico.



Fig.1

Escuelas dañadas durante el terremoto de Cariaco. Venezuela. 1997.

http://www.funvisis.gob.ve/old/proyectoescuela/Proy_ante.html

Según López (2009), 23 personas, entre estudiantes y maestros, perdieron la vida. De un total de 592 escuelas inspeccionadas en el Estado Sucre después del terremoto, 35 (6%) sufrieron daños severos y tuvieron que ser sustituidas, 66 (11%) sufrieron daños estructurales moderados, 398 (67%) daño estructural ligero y 93 (16%) no sufrieron daños (FEDE, 1998 en López, 2009).

Además, López (2009) afirma que:

Varios terremotos ocurridos en Centro y Sur América han afectado también edificios escolares, especialmente el evento del Perú de 1970 que provocó la pérdida de varios miles de aulas y el evento de El Salvador del año 2001 en donde el 50% de las víctimas fueron niños en escuelas. (p.21)

Según este autor, el terremoto de Boumerdès (Argelia) de 2003 provocó también daños significativos en escuelas.

En abril del 2016, un terremoto con magnitud de 7.8 ocurre en Ecuador, afectando 875 escuelas y 11 universidades (Redacción Actualidad, 2017). Así mismo, el 7 y el 19 de septiembre de 2017, ocurrieron dos eventos sísmicos fuertes en México. Ambos eventos, con magnitudes de 8.1 y 7.1 respectivamente, causaron daños a más de 15 000 escuelas, requiriendo 276 de estas edificaciones su reconstrucción total (Instituto Belisario Domínguez, 2017).

Este análisis demuestra que las instalaciones educacionales son altamente vulnerables y que su colapso en horario escolar constituye un desastre en sí mismo, pues puede provocar la pérdida de innumerables vidas humanas. Requieren de consideraciones esenciales con el tema de la mitigación de riesgos por la función que desempeñan y debido a sus características de ocupación y su papel durante y después de un sismo.

Sin embargo, las metodologías utilizadas comúnmente en Cuba, para el análisis del comportamiento sísmico de estas edificaciones, han sido diseñadas para el estudio de todo tipo de estructuras y por tanto los autores consideran que no tienen en cuenta aspectos esenciales relacionados con la función inherente de las instalaciones de educación.

Candebat y Chuy (2012), conjuntamente con el Grupo de estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmicos de Santiago de Cuba, realizan

el análisis preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural del 100 % de las instalaciones de educación de la ciudad de Santiago de Cuba. Este resultado constituye una herramienta de trabajo para el sistema de educación municipal, no obstante carece del análisis de aspectos funcionales y organizativos de cada institución, para garantizar su evaluación integral del riesgo sísmico. Más recientemente, en Santiago de Cuba se han realizado otras evaluaciones de vulnerabilidad en edificaciones del sector de educación (Vega et al, 2014), que también excluyen el análisis de los aspectos funcionales y organizativos. Estas investigaciones han estado dirigidas a evaluar solamente el posible comportamiento estructural y no estructural de las edificaciones educacionales, sin embargo elementos como la existencia de laboratorios, amplitud de los locales que albergan gran cantidad de personas, necesidad de existencia de vías alternativas de escape, áreas de protección para gran cantidad de personas, entre otros no han sido suficientemente atendidos.

En comunicación personal, Morejón (2019) manifiesta que la evaluación actual de la vulnerabilidad sísmica de escuelas se realiza aplicando metodologías de reconocido prestigio internacional pero que carecen de integralidad, debido a la no consideración de elementos vitales para el funcionamiento de este tipo de instalaciones. Así mismo, debido a sus características, estas instalaciones deben poseer condiciones adecuadas para salvaguardar la vida de los estudiantes, aspecto que se acentúa por la cantidad de personas que utilizan sus servicios.

Este trabajo tiene como objetivo proponer un nuevo enfoque que incluya las variables que intervienen en la seguridad integral ante acciones sísmicas moderadas y fuertes de estas instalaciones y de estudiantes y profesores. Dichas variables se validan a través de un criterio de expertos seleccionados de un grupo de profesionales del territorio que trabajan el tema. Finalmente se elabora un procedimiento para la evaluación específica de la vulnerabilidad sísmica estructural, no estructural y funcional de edificaciones destinadas a la enseñanza.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de la revisión bibliográfica se definen conceptos fundamentales que permiten comprender temas relacionados con la determinación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras construidas. Asimismo, para cumplimentar el objetivo propuesto se analizan metodologías existentes para la estimación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones y para la determinación del Índice de Seguridad Escolar (ISE). Con este análisis se identifican los parámetros o variables más utilizados por la comunidad científica internacional, así como se evalúa el nivel de prioridad que cada autor consultado otorga a cada una de las variables por ellos utilizada.

Se constituye un equipo técnico formado por cinco profesionales del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba, lo cuales analizan las variables identificadas en las metodologías existentes. Posteriormente seleccionan aquellas que consideran necesarias a evaluar,

proponen nuevos parámetros no incluidos en los documentos analizados y establecen, a su juicio, el nivel de prioridad que debe ser considerado en el análisis. Igualmente, los miembros del equipo técnico, elaboran las encuestas que se presentan, posteriormente, a consulta de expertos.

Para realizar la validación de la propuesta metodológica se aplica el método Delphi, el cual, según López (2018):

...permite estructurar un proceso comunicativo de diversos expertos organizados en grupo-panel con vistas a aportar luz en torno a un problema de investigación. Su desarrollo tiene que garantizar el anonimato, establecer un proceso iterativo a través del feedback y se orienta hacia una medida estadística de la respuesta de grupo. La revisión llevada a cabo evidencia los parámetros metodológicos fundamentales a considerar... (p. 21)

El método Delphi pretende conseguir el mayor acuerdo posible entre un grupo de expertos, cuya opinión grupal es considerada mejor que la opinión individual de cada especialista. Para conocer la opinión del grupo, el método emplea un cuestionario que es iterado dos o más veces hasta llegar a un consenso. Este método consta de cuatro fases fundamentales:

Formulación del problema: es una etapa fundamental en la aplicación del método ya que incide directamente en la selección de los expertos.

Selección de los expertos: el experto será elegido por su capacidad y conocimientos sobre el tema consultado.

Elaboración y entrega de los cuestionarios: que sean claros para facilitar la respuesta de los encuestados.

análisis de resultados: deben realizarse las rondas necesarias para disminuir la dispersión y precisar la opinión media consensuada.

En relación a la vulnerabilidad, Undro (1979) en Galbán (2014) la define como "(...) el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total" (p. 9).

A nivel internacional se han establecido varios métodos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, los cuales generalmente se clasifican en relación a la información necesaria para su aplicación. Estas clasificaciones son diversas, teniendo en cuenta además el nivel de precisión que se obtiene en la evaluación final de este parámetro. En este trabajo se adopta la clasificación propuesta por Kappos (Dolce, 1994 en Safina, 2003). Este autor define tres tipos: empíricos, analíticos o teóricos y experimentales.

Por la naturaleza de la metodología propuesta en este trabajo, se hace énfasis en la definición de los métodos empíricos, los cuales al decir de Dolce (1994) en Safina (2003) son aquellos que:

Se caracterizan por un alto grado de subjetividad. Están basados en la experiencia sobre comportamiento de tipos de edificaciones durante sismos y la caracterización de deficiencias sísmicas potenciales. Se usa cuando se dispone de limitada información, cuando se admite un resultado menos ambicioso y/o para evaluaciones preliminares. Son enfoques menos exigentes y más económicos de implementar. Los

métodos empíricos, incluyen tanto los métodos de categorización como los métodos de inspección y puntaje (p. 47).

Teniendo en cuenta esta definición, se seleccionan y analizan un conjunto de metodologías de reconocido prestigio internacional, a decir: Beneditti – Petrini (1982), Iglesias (1989), Chang et al. (1995), Hirosawa (1992) y Scarlat (1996). Igualmente se estudia la Guía de implementación del Índice de Seguridad Escolar (UNICEF, 2012), la cual establece una evaluación integral ante cualquier fenómeno, natural o antrópico que pueda afectar a estas instituciones. De este documento se consideraron aquellos aspectos que inciden directamente en el funcionamiento durante y después de la ocurrencia de eventos sísmicos moderados y fuertes. En dicho análisis se identifican los parámetros que, en opinión de estos autores, son importantes en la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de edificaciones.

1. Zona de ubicación de la estructura.
2. Tipología estructural.
3. Fecha de diseño y construcción.
4. Configuración en planta y elevación: irregularidades en planta, proporción excesiva de la relación largo - ancho de la planta, presencia de grandes aberturas y en posición asimétrica, excentricidad en planta, irregularidad vertical, relación de la altura a la dimensión menor de la base (esbeltez de la estructura), la discontinuidad en geometría y resistencia en entrepisos consecutivos, doble altura de la planta baja, presencia de columnas cortas, pisos débiles así como la abundancia de muros divisorios en todos los pisos, irregularidades de la distribución de las masas y de la rigidez de entrepiso de los pisos en altura, existencia de entrantes y salientes.
5. Condiciones presentes de la estructura: Alteraciones de los elementos estructurales, daños debido a incendios, fisuras debido a asentamientos diferenciales. presencia de deterioros visibles en los elementos de hormigón debido a la corrosión de las barras de acero, desprendimiento del recubrimiento del hormigón producto de un medio agresivo, separación visible del hormigón, oxidación visible de los elementos de acero, baja calidad del mortero en los muros de mampostería.
6. Características del suelo de emplazamiento: posibilidad de ocurrencia de fenómenos inducidos (licuación, deslizamientos).
7. Altura. Edificaciones de más de tres niveles poseen mayor vulnerabilidad.
8. Posibilidad de ocurrencia de golpeteo o martilleo con edificaciones aledañas: Cuando los edificios estén separados por juntas que tienen insuficiente amplitud, puede producirse el efecto de martilleo, conduciendo a posibles daños y a determinados fallos estructurales.
9. Uso o destino de la edificación.
10. Importancia del edificio.
11. Condiciones de la cimentación de la estructura: existen tres tipos de mal comportamiento que inciden en la seguridad ante un sismo (el desplome, los asentamientos diferenciales y el hundimiento uniforme).

12. Resistencia estructural de la edificación.

Sin embargo, estas metodologías, al poseer un carácter fundamentalmente estructural, descuidan aspectos relacionados con el comportamiento de los elementos no estructurales y de aquellos que garantizan la organización y función de la instalación durante y después de la ocurrencia de un evento fuerte, entre ellos:

-Los falsos techos han resultado vulnerables en caso de sismo, estos pueden caer sobre corredores o escaleras interrumpiendo la circulación y las actividades del área donde caiga.

-Así mismo, se debe tener cuidado de que las lámparas, que forman parte de los falsos techos, cuenten con un soporte independiente, de manera que si se produce la caída masiva de los paneles el sistema de iluminación pueda seguir funcionando.

-La estantería y tuberías que albergan sustancias nocivas deben estar bien protegidas, pues en caso contrario pueden producirse derrames durante un sismo lo que puede ocasionar incendios, explosiones y derrames de sustancias químicas peligrosas para la vida.

-La caída de componentes arquitectónicos de fachada y paredes divisorias puede provocar daños de elementos o personas ubicados en la periferia de la edificación.

-Los inmuebles destinados a la educación deben estar dotados de equipos de emergencia tales como extintores de incendios, mangueras, camillas, botiquines de primeros auxilios y demás elementos necesarios para atender a las personas que puedan resultar lesionadas por la materialización de una amenaza.

-Las mesas, los pupitres y los marcos de las puertas deben permitir su uso como elementos de protección en caso de un terremoto o sea, que éstos resistan un cierto nivel de impacto.

-Los daños o interrupción en los servicios básicos (agua, electricidad, comunicaciones, etc.) pueden hacer que una moderna instalación se convierta en una instalación inútil porque su funcionamiento depende de ellos.

-Los pórticos anclados a la estructura o a los muros no estructurales, al ser sometidos a grandes deformaciones, se pueden torcer y sufrir pandeo; esto provocará, en el caso de las ventanas de cristal, que el vidrio se salga del marco y se quiebre.

-En los muros de mampostería, que sirven de división o relleno, las sollicitaciones de cortante pueden causar grietas diagonales usualmente en forma de X, que pueden causar la inutilidad de la edificación.

-En caso que este tipo de muros de mampostería estén distribuidos de forma asimétrica adicionalmente pueden excitar modos de vibración, causando un comportamiento muy desfavorable de la estructura.

Aplicación del método Delphi

Formulación del problema

En esta fase se definieron los objetivos a lograr con la aplicación del método Delphi, precisando los requisitos de conocimiento necesarios en los expertos a seleccionar.

Selección de los expertos

Se elaboró una encuesta inicial, la cual se sometió a la opinión de 7 expertos seleccionados por su experiencia en el campo de la evaluación del desempeño y el diseño de estructuras de hormigón armado en zonas sísmicas, pertenecientes a Empresas de Diseño e Ingeniería (Emproy No. 15), Universidad de Oriente y el Centro Nacional de investigaciones sismológicas (CENAIIS). En la tabla 1 se muestra su distribución según la institución y su especialidad.

Entidad	Especialidad	Cantidad
Universidad de Oriente. Cuba	Ingeniería Civil	4
CENAIIS	Ingeniería Civil	2
EMPROY 15	Ingeniería Civil	1
Total		7

Tabla 1

Distribución de evaluadores de la encuesta inicial.

Autores

A partir del análisis de las respuestas dadas por los especialistas consultados se determina la cantidad de expertos necesarios para la validación de la metodología propuesta, ascendiendo en este caso a la cantidad de nueve profesionales.

Elaboración y entrega de los cuestionarios

Se elabora un cuestionario que facilita las respuestas de los expertos a consultar y que incluye los parámetros y la evaluación propuestos. Las encuestas impresas son entregadas y recepcionadas personalmente en las oficinas de los expertos. Una vez recolectadas las encuestas se procede al procesamiento de la información. Para conservar el anonimato entre los miembros del panel ningún experto conoce la identidad de los otros encuestados. En el formato de respuesta no se incluyó la identidad del encuestado pero si su institución

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizada la consulta de expertos, se obtuvo una propuesta detallada que permite evaluar de manera integral la vulnerabilidad sísmica de las instalaciones objeto de estudio. Se definen los parámetros a evaluar, su nivel de prioridad y la puntuación en cada caso. Además de los parámetros propuestos por los autores se incluyen aquellos añadidos por los expertos y que no habían sido valorados en la primera ronda de consulta. En la tabla 2 se muestra la propuesta metodológica obtenida.

Los aspectos de mayor incidencia en cada grupo de análisis (estructurales, no estructurales, funcionales y organizativos) fueron priorizados y evaluados con una puntuación entre 0 y 5 puntos, siendo 5 la mayor prioridad y la mayor vulnerabilidad.

Se dividió la clasificación en alta, moderada y baja y los rangos para la clasificación fueron obtenidos a partir de iteraciones realizadas con casos reales de estudio.

Parámetros	Alta		Moderada		Baja	
	Criterios y evaluación		Criterios y evaluación		Criterios y evaluación	
Año de construcción	Antes de 1999	5.0	Entre 1999 - 2017	2.5	Después de 2017	0.0
Tipología estructural	Mampostería simple. Sistemas prefabricados sin diseño sismorresistente Pórticos de hormigón sin diseño sismorresistente Pórticos de acero sin diseño sismorresistente	5.0	Mampostería confinada. Mampostería reforzada. Pórticos de hormigón con moderado diseño sismorresistente. Sistemas prefabricados con moderado diseño sismorresistente.	2.5	Pórticos de madera. Pórticos de hormigón con diseño sismorresistente. Prefabricados con diseño sismorresistente. Pórticos de acero con diseño sismorresistente.	0.0
Estado técnico del sistema estructural	Malo	4.0	Regular	2.0	Bueno a óptimo	0.0
Suelos	Suelo D - E	4.0	Suelo C	2.0	Suelo A y B	0.0
Columnas cortas	Existen	4.0			No existen	0.0
Piso débil	Existe	4.0			No existe	0.0
Configuración en planta	Irregular según los requisitos de NC 46: 2017	3.0	Irregularidad moderada. Entrantes y salientes hasta el 20 % de la dimensión en planta.	1.5	Completamente Regular según los requisitos de NC 46: 2017. Sin entrantes y salientes	0.0
Configuración en elevación	Irregular según los requisitos de NC 46: 2017	3.0	Irregularidad moderada. Cambios de rigideces hasta el 30 % de la dimensión en planta.	1.5	Completamente Regular según los requisitos de NC 46: 2017. Sin cambios de rigidez y dimensiones de las plantas	0.0
Número de pisos	Más de 7	2.0	De 3 a 7	1.0	Hasta 3	0.0
Golpeteo	Entre estructuras diferentes alturas	2.0	Entre estructuras igual altura	1.0	No existen edificaciones colindantes sin juntas	0.0
Entorno (edificaciones aledañas vulnerables)	Existen de mayor o igual altura	1.0	Existen de menor altura	0.5	No existen	0.0
Aberturas en diafragmas horizontales	Aberturas superior al 20 % del área del diafragma	1.0	Aberturas hasta el 20 % del área del diafragma	0.5	Sin aberturas	0.0
Áreas de las aberturas y de los vanos en muros	Aberturas superior al 20 % del área del muro	1.0	Aberturas hasta el 20 % del área del muro	0.5	Sin aberturas	0.0
Cantidad de muros en las dos direcciones	Más del 70 % de los muros están en una sola dirección	1.0	Hasta el 60 % de los muros concentrados en una dirección	0.5	Misma cantidad de muros en ambas direcciones	0.0
Total		40.0		16.0		0.0

Tabla 2
Propuesta metodológica final
Autores

Los valores se normalizan dividiendo entre el valor total de cada clasificación

Parámetros	Alta		Moderada		Baja	
	Criterios y evaluación		Criterios y evaluación		Criterios y evaluación	
Capacidad de abasto de agua	Falta de abasto de más de 2.00 m3 de agua	0.0	Falta de abasto de más de 2.00 m3 de agua	2.5	No existe falta de abasto en la instalación por abastecido	0.0
Condiciones de abasto de agua en las instalaciones	Instalaciones nacionales separadas entre ellas.	0.0	Existen en sectores entre las zonas y las abastecidas adecuadas.	2.5	Existen, separadas, sin recibir agua.	0.0
Existencia de reservas eléctricas (sección de cables)	Más de 100 metros de cables por zona de 10 metros	4.0	Más de 100 metros de cables por zona de 10 metros	2.0	Más de 100 metros de cables por zona de 10 metros	0.0
Condiciones de abasto de agua en las instalaciones	No cumple con la capacidad de abasto de la zona	4.0	Cumple parcialmente con la capacidad de abasto de la zona	2.0	Cumple con la capacidad de abasto de la zona	0.0
Existencia de reservas de agua en las instalaciones	Existen y son suficientes	4.0	Existen y son suficientes	2.0	No existen reservas de agua.	0.0
Condiciones de abasto de agua en las instalaciones	Instalaciones separadas, sin recibir agua.	3.0	Instalaciones separadas, pero en las zonas.	1.0	Instalaciones separadas y separadas.	0.0
Abastecimiento de agua en las instalaciones	Asno, abastecido, entre ellas.	3.0			Existen reservas de agua (reserva de agua)	0.0
Abastecimiento de agua en las instalaciones	Existen reservas.	3.0			Existen reservas de agua.	0.0
Capacidad de abasto de agua en las instalaciones	No existen.	2.0			Existen parcialmente.	0.0
Condiciones de abasto de agua en las instalaciones	No cumple con la capacidad de abasto de la zona (2.00 m3)	1.0			No cumple con la capacidad de abasto de la zona (2.00 m3)	0.0
Capacidad de abasto de agua en las instalaciones	No cumple con la capacidad de abasto de la zona (2.00 m3)	1.0			Existen.	0.0
Abastecimiento de agua en las instalaciones	Existen y son suficientes	1.0	Existen y son suficientes	1.0	No existen.	0.0
Condiciones de abasto de agua en las instalaciones	No existe abasto.	1.0			Existen parcialmente.	0.0
Capacidad de abasto de agua en las instalaciones	No existe abasto.	1.0			Existen parcialmente.	0.0
Total		17.0		5.0		0.0

Tabla 3
Aspectos no estructurales
Autores

Parámetros	Alta		Moderada		Baja	
	Criterios y evaluación		Criterios y evaluación		Criterios y evaluación	
Capacidad del abasto de agua	Satisface menos de 2 días sin suministro externo	5.0	Satisface entre 2 y 5 días sin suministro externo	2.5	Satisface más de 5 días sin suministro externo	0.0
Capacidad del suministro eléctrico (existencia de grupos electrógenos)	Satisface menos de 2 días sin suministro externo	5.0	Satisface entre 2 y 5 días sin suministro externo	2.5	Satisface más de 5 días sin suministro externo	0.0
Capacidad del sistema de comunicación	No existe planta de comunicación para sustituir sistema nacional	4.0			Existe planta de comunicación para sustituir sistema nacional	0.0
Suministro médico para la atención primaria a damnificados	No existe botiquín para primeros auxilios	3.0			Existe botiquín para primeros auxilios	0.0
Total		17.0		5.0		0.0

Tabla 4
Aspectos funcionales
Autores

Parámetros	Alta		Moderada		Baja	
	Criterios y evaluación		Criterios y evaluación		Criterios y evaluación	
Señalización de áreas con peligro	No están señalizadas	3.0			Están señalizadas	0.0
Señalización de las salidas de emergencia	No están señalizadas	3.0			Están señalizadas	0.0
Señalización de zonas de evacuación	No están señalizadas	3.0			Están señalizadas	0.0
Garantía de acceso a las salidas de emergencia	Salidas de emergencia obstaculizadas	3.0			Salidas de emergencia sin obstáculos	0.0
Dimensiones y características de las salidas de emergencia. Las puertas abren hacia afuera	Pequeñas, que solo permiten el paso de dos personas a la vez. Las puertas abren hacia adentro.	3.0			Poseen las dimensiones adecuadas para garantizar la salida. Las puertas abren hacia afuera.	0.0
Nivel de capacitación de maestros y profesores	Los maestros y profesores no están preparados. No tienen percepción del riesgo sísmico.	2.0	Los maestros y profesores no están totalmente preparados. Poseen moderada percepción del riesgo sísmico.	1.0	Los maestros y profesores poseen alta percepción del riesgo sísmico y una elevada capacitación acerca de las normas de conducta.	0.0
Nivel de capacitación de estudiantes	Los estudiantes no están preparados. No tienen percepción del riesgo sísmico.	2.0	Los estudiantes no están totalmente preparados. Poseen moderada percepción del riesgo sísmico.	1.0	Los estudiantes poseen alta percepción del riesgo sísmico y una elevada capacitación acerca de las normas de conducta.	0.0
Existencia del plan de evacuación	No existe	1.5	Existe pero no incluye los elementos necesarios.	0.5	Existe y posee calidad adecuada.	0.0
Existencia del plan de reducción del riesgo de desastres	No existe	1.5	Existe pero no incluye los elementos necesarios.	0.5	Existe y posee calidad adecuada.	0.0
Existencia de puntos con medios para la desobstrucción y contra incendios	No existen	1.0			Existen	0.0
Total		23.0		3.0		0.0

Tabla 5
Aspectos organizativos
Autores

Se muestra el nivel de incidencia evaluado por los expertos para cada uno de los grupos analizados. Todos los expertos coinciden en que los aspectos estructurales poseen una influencia significativa debido a que involucran la seguridad de las edificaciones y por tanto la integridad de su contenido y de las personas. Igualmente definen que los aspectos funcionales tienen mayor influencia en el resultado final debido a que se refieren a la gestión de los recursos básicos necesarios para el funcionamiento de la instalación

Grupo de aspectos	Incidencia (%)
Aspectos estructurales	55
Aspectos no estructurales	20
Aspectos funcionales	15
Aspectos organizativos	10
Total	100

Tabla 6

Incidencia de grupo de aspectos en el resultado final.

Autores

El valor total de cada vulnerabilidad se normaliza para realizar el análisis tomando como valor máximo a 1. Por tanto, la mínima vulnerabilidad tendrá valor 0 y la máxima valor de 1.

$$V_s = 0.55(V_{SE}) + 0.20(V_{SNE}) + 0.15(V_{SF}) + 0.1$$

[Ecuación 1]

Para el cálculo integral de la vulnerabilidad sísmica.

$0.00 < V_s \leq 0.20$	Baja Vulnerabilidad
$0.21 < V_s \leq 0.45$	Moderada vulnerabilidad
$0.45 < V_s \leq 1.00$	Alta vulnerabilidad

Fig.1.1

Rangos para la clasificación:

Autores

Aplicación de la metodología propuesta

Para la aplicación de la propuesta metodológica elaborada y validada se selecciona una escuela secundaria básica ubicada en el Centro Histórico Urbano (CHU) de la Ciudad de Santiago de Cuba, zona de mayor peligrosidad sísmica de Cuba según NC 46 (2017).

La edificación fue construida antes de 1959, con el objetivo de albergar una escuela para señoritas y hasta la fecha no ha sido remodelada, aunque ha recibido mantenimiento rutinario. Presenta dos niveles estructurales y un patio interior en cuyo centro se ubica la escalera de tres ramas que da acceso al segundo nivel. El primer nivel o planta baja fue conformado estructuralmente por pórticos de hormigón armado y losa de entrepiso del mismo material. El segundo piso por su parte posee columnas de hormigón armado que soportan una cubierta ligera formada por apoyos de madera y tejas generalmente metálicas aunque en algunos casos se utilizaron tejas de asbesto cemento. Este nivel posee un pasillo que se une a las ramas de la escalera y que da acceso a las aulas que rodean el patio interior, dicho pasillo está techado por un alero que se apoya sobre columnas de madera. La escalera es también de hormigón armado.

Inspección técnica visual

Durante la inspección a la instalación se determina el estado técnico de cada uno de los elementos que componen la estructura. Se identifican lesiones y patologías, así como posibles evidencias de daños provocados por sismos moderados u otros fenómenos naturales o antrópicos ocurridos en el área o la región, así como otros aspectos que pudieran influir en el nivel de vulnerabilidad sísmica estructural. A continuación se describen los problemas detectados.

- Existencia de columnas cortas en los dos niveles debido a la restricción de las columnas en la dirección transversal con muros de mampostería hasta casi la mitad de su altura.

- Más del 50 % de los muros concentrados solamente en la dirección longitudinal (hasta el 60%).

- Planta irregular en forma de O.

- Aberturas superiores al 20 % del área de muros en ambas direcciones.

- Ausencia de vigas de hormigón armado en el segundo nivel de la edificación, lo que impide la formación de los pórticos y por tanto provoca el trabajo independiente de cada columna.

- Desconchado del recubrimiento de hormigón y aceros expuestos, muy oxidados y con pérdida de sección en losa de hormigón armado del entrepiso y en la escalera de acceso al segundo nivel (Figura 2 a). Esto debido a las filtraciones.

- Unión deficiente entre los muros divisorios y los elementos estructurales (columnas y vigas).

- Grietas pasantes en varios muros interiores y exteriores (Figura 2 b y c).



Fig.2

- a) Desconchado en losa de hormigón del entresuelo y en la escalera de acceso. b y c) Grietas pasantes en muros de mampostería.

Autores

Atendiendo a los problemas detectados se evalúa el estado técnico de la edificación de MALO.

Se identifican además los problemas no estructurales, funcionales y organizativos que inciden en la vulnerabilidad global de la institución.

Evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica

A partir del análisis de la información recogida en la visita, se aplica la propuesta metodológica.

Parámetros	Criterios y evaluación	
Año de construcción	Antes de 1999	5.0
Tipología estructural	Mampostería confinada sin diseño sismorresistente Pórticos de hormigón sin diseño sismorresistente.	5.0
Estado técnico constructivo	Malo	4.0
Suelos	Suelo C	2.0
Columnas cortas	Existen	4.0
Piso débil	No existe	0.0
Configuración en planta	Irregular. Forma de O.	3.0
Configuración en elevación	Completamente Regular.	0.0
Número de pisos	Hasta 3 niveles	0.0
Golpeteo	No existen edificaciones colindantes sin juntas	0.0
Edificaciones aldañas vulnerables	Existen de menor altura	0.5
Aberturas en diafragmas horizontales	Sin aberturas	0.0
Áreas de las aberturas en muros	Aberturas superior al 20 % del área del muro	1.0
Cantidad de muros en las dos direcciones	Hasta el 60 % de muros concentrados en una dirección	0.5
Total		25.0

Tabla.7

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la escuela ubicada en Santiago de Cuba. Aspectos estructurales.

Autores

$$\text{Normalización: } 25/56 = 0.45$$

Parámetros	Criterios y evaluación	
Grandes áreas con elementos de cristal	No existen paños de cristal en la edificación.	<u>0.0</u>
Condiciones de unión entre muros divisorios y la estructura	Inadecuadas mostrando separaciones entre estas.	<u>5.0</u>
Existencia de elementos divisorios pesados (muros)	Muros divisorios de mampostería con espesor entre 10 – 15 cm	<u>2.0</u>
Sujeción de falsos techos pesados	No existen falsos techos.	<u>0.0</u>
Materiales de conducción de gases a los laboratorios	No existen conductos de gases.	<u>0.0</u>
Condiciones técnicas de las instalaciones eléctricas	Instalaciones expuestas, sin recubrimiento adecuado.	<u>3.0</u>
Material tuberías instalaciones hidráulicas	Acero galvanizado. Juntas rígidas	<u>2.5</u>
Material tuberías instalaciones sanitarias	Hierro fundido. Barro	<u>2.5</u>
Características de tanques de almacenamiento de combustibles	No existen	<u>0.0</u>
Condiciones de sujeción de luminarias	La sujeción es inadecuada	<u>1.5</u>
Sujeción de estantes de gran altura en bibliotecas, departamentos y aulas	Sin anclaje	<u>1.5</u>
Ubicación de elementos pesados a gran altura	Existen entre 1.00 y 2.00 m de altura	<u>1.0</u>
Condiciones de sujeción de murales en las aulas y departamentos	No están anclados	<u>1.0</u>
Anclaje de los equipos de computo	No están anclados	<u>1.0</u>
Total		<u>21.0</u>

Tabla.8
Aspectos no estructurales
Autores

Normalización: $21/52 = 0.40$

Parámetros	Criterios y evaluación	
Capacidad del abasto de agua	Satisface menos de 2 días sin suministro externo	<u>5.0</u>
Capacidad del suministro eléctrico (existencia de grupos electrógenos)	No existe grupo electrógeno.	<u>5.0</u>
Capacidad del sistema de comunicación	No existe planta de comunicación para sustituir sistema nacional	<u>4.0</u>
Suministro médico para la atención primaria a damnificados	No existe botiquín para primeros auxilios	<u>3.0</u>
Total		<u>17.0</u>

Tabla.9
Aspectos funcionales
Autores

Normalización: $17/22 = 0.77$

Parámetros	Criterios y evaluación	
Señalización de áreas con peligro	No están señalizadas	<u>3.0</u>
Señalización de las salidas de emergencia	No están señalizadas	<u>3.0</u>
Señalización de zonas de evacuación	No están señalizadas	<u>3.0</u>
Garantía de acceso a las salidas de emergencia	Salidas de emergencia obstaculizadas	<u>3.0</u>
Dimensiones y características de las salidas de emergencia. Las puertas abren hacia afuera	Salidas de emergencia pequeñas, que solo permiten el paso de dos personas a la vez. Las puertas abren hacia adentro.	<u>3.0</u>
Nivel de capacitación de maestros y profesores	Los maestros y profesores no están totalmente preparados. Poseen moderada percepción del riesgo sísmico.	<u>1.0</u>
Nivel de capacitación de estudiantes	Los estudiantes no están totalmente preparados. Poseen moderada percepción del riesgo sísmico.	<u>1.0</u>
Existencia del plan de evacuación	Existe pero no incluye los elementos necesarios.	<u>0.6</u>
Existencia del plan de reducción de desastres	Existe pero no incluye los elementos necesarios.	<u>0.6</u>
Existencia de puntos con medios para la desobstrucción y contra incendios	No existen	<u>1.0</u>
Total		19.0

Tabla.10
Aspectos organizativos
Autores

Normalización: $19/26 = 0.73$

$$V_5 = 0.55(0.45) + 0.20(0.40) + 0.15(0.77) + 0.10(0.73) = 0.52$$

[Ecuación 2]

El nivel de vulnerabilidad que manifiesta la escuela es alto. Este resultado está definido por varios aspectos, entre los más importantes:

-La edad y la tipología constructiva de la edificación, construida hace más de 50 años y por tanto sin tener en cuenta los requisitos actuales para el diseño sismorresistente, que garantizan un adecuado comportamiento.

-El estado técnico de la edificación que se evalúa de malo, debido a la existencia de grietas y envejecimiento de los elementos que la componen.

-La existencia de problemas de configuración vertical (columnas cortas).

-Falta de sujeción de estantes, luminarias y medios de cómputo.

-Instalaciones hidráulicas y sanitarias construidas con materiales rígidos que pueden quebrarse.

-Ausencia de señalización de áreas de peligro, salidas de emergencia y zonas de evacuación.

En el resultado final juega un papel fundamental la incidencia de los elementos funcionales y organizativos, por lo que la propuesta metodológica presentada cumple el objetivo trazado: realizar un análisis integral de la vulnerabilidad sísmica que garantice la consideración de aspectos que más allá de lo estructural, definan la respuesta de la instalación como un sistema y no como una simple edificación.

CONCLUSIONES

1.-Los expertos consultados coinciden con las metodologías existentes en considerar a los aspectos estructurales como los de mayor incidencia en el nivel de vulnerabilidad sísmica, sin embargo están de acuerdo en incluir aspectos no estructurales, funcionales y organizativos.

2.-Los aspectos no estructurales, funcionales y organizativos constituyen elementos importantes al evaluar la vulnerabilidad sísmica de instalaciones educativas, debido a la gran cantidad de personas que permanecen en ellas y a la existencia de servicios diversos como: cocina – comedor, lavandería y laboratorios.

3.-Se obtuvo una metodología que permite evaluar integralmente la vulnerabilidad sísmica de instalaciones educativas, incluyendo aquellos aspectos que, aunque no están relacionados con el comportamiento estructural, intervienen en la funcionalidad y organización de la instalación para responder adecuadamente ante un sismo fuerte.

4.-La escuela evaluada posee un elevado nivel de vulnerabilidad sísmica, debido no solo a los problemas estructurales detectados, pues juegan un papel determinante en el resultado los parámetros funcionales y organizativos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Benedetti D., Petrini V. (1984), Sulla vulnerabilità sísmica di edifici in muratura: Proposte di un método di valutazione, *L'industria delle Costruzioni*, 149, 66-78, Roma, Italia.
2. Candebat, D y Chuy, T.J. (2012). *Estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmicos. Ciudades Santiago de Cuba y Palma Soriano* (Informe Final). Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas y del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente.
3. Chang, T. S., Pezeshk, S., Yiak, K. C. and Kung, H. T. (1995) Seismic Vulnerability Evaluation of Essential Facilities in Memphis and Shelby County, Tennessee. *Earthquake Spectra*, 11(4), 527-544.
4. Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2017). *Norma Cubana NC 46:2017: Construcciones Sismorresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción*. La Habana. autor
5. Redacción Actualidad (13 de julio, 2017). Cifras del terremoto de 2016 se analizan en un encuentro. El Telégrafo. Recuperado

- de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/1/cifras-del-terremoto-de-2016-se-analizan-en-un-encuentro>
6. Galbán, L. (2014). *Procedimiento para la gestión y reducción de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba* (Tesis de Doctorado). Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez. Moa, Holguín, Cuba.
 7. Hirose, M. (1992). *Retrofitting and Restoration of Buildings in Japan*, IISEE Lecture Note of Seminar Course. Tsukuba, Japan.
 8. Iglesias, J. (1989). Evaluación de edificios de concreto en la Ciudad de México. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 35, pp.33-54. Recuperado de <http://smis.mx/index.php/RIS/issue/view/89>
 9. Instituto Belisario Domínguez, Senado de la República (2017). Temas Estratégicos 50. *El sistema escolar ante los sismos de septiembre de 2017*. Ciudad de México, México. 19 pp. Recuperado de bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/reporte_50_221117_web (2)
 10. López, E. (2018). Método Delphi en la investigación actual en educación: una revisión teórica y metodológica. *Revista Educación*, XXI, 21(1), 17-40. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70653466002>
 11. López, O. (2009). Indicadores de riesgo sísmico en edificios escolares de Venezuela. *Boletín Técnico IMME*, 47(1), 30. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
 12. López, O., Marinilli, A., Bonilla, R., Fernández, N., Domínguez, J., Coronel, G.,... Vielma, R. (2010). Evaluación Sismorresistente de Edificios Escolares en Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 25(4), 81-94.
 13. Morejón, G. (18 de febrero, 2019). *Experiencias en el análisis de la vulnerabilidad sísmica de instalaciones educativas* (Comunicación personal).
 14. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (2010). *Proyecto Fonacit N° 2005000188. Reducción del riesgo sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela*. IMME (Universidad Central de Venezuela), FUNVISIS (MPPCTII), FEDE (MPPE). Recuperado de http://www.funvisis.gob.ve/old/proyectoescuela/Proy_ante.html
 15. Safina, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico* (Tesis doctoral). UPC, Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Barcelona, España. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/93538>
 16. Scarlat, A. (1996): *Approximated Methods in Structural Design*, E&FN Spon, London.
 17. UNICEF Proyecto DIPECHO VII Suramérica (2012). Índice de seguridad escolar/ Propuesta Regional. Guía de implementación. 76 pp. Colombia, Ecuador y Perú. Recuperado de <http://www.preventionweb.net/hfa/lgstat/filedownloads/download>
 18. Vega, I. (2014). *Proyecto internacional. Fortalecimiento de la capacidad para la gestión del riesgo sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba* (Informe Final). Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Santiago de Cuba, Cuba.