

Estimación de daños en edificaciones de valor patrimonial en la ciudad Santiago de Cuba

Kenia Mercedes Leyva-Chang, Dario Candebat-Sanchez, Grisel Morejón-Blanco, Madelin Villalón-Semanat y Zulima Rivera-Álvarez

*Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Santiago de Cuba, Cuba
kenia@cenais.cu, dario@cenais.cu, grisel@cenais.cu, madelin@cenais.cu, Zulima@cenais.cu*

Recibido: abril 2018

Aceptado: Diciembre 2018

Ciencias de la Tierra y el Espacio, enero-junio, 2019, Vol.20, No. 1 pp. 44-51, ISSN 1729-3790

Resumen

La evaluación de las edificaciones seleccionadas para este estudio parte de la adecuación de un procedimiento para asignar índices de priorización en función de la vulnerabilidad, que determinen el orden en la intervención para la rehabilitación de las edificaciones con valor patrimonial en la ciudad Santiago de Cuba, específicamente en el centro histórico urbano. Posteriormente, se aplica una metodología de cálculo (funciones de vulnerabilidad teórica propuestas por Cartapati et al, 1982) que permite estimar el porcentaje de daños en cada edificación según los niveles establecidos (daños ligeros, moderados, severos y completos) y con ello, la toma de decisiones para la restauración del patrimonio edificado con el propósito de reducción del riesgo sísmico.

Palabras claves: edificaciones de valor patrimonial, índice de priorización, estimación de daños.

Estimation of damage to buildings of heritage value in the city of Santiago de Cuba

Abstract

The evaluation of the buildings selected for this study is based on the adequacy of a procedure to assign prioritization indices based on vulnerability, which determine the order in the intervention for the rehabilitation of buildings with heritage value in the city of Santiago de Cuba, specifically in the urban historical center. Subsequently, a calculation methodology is applied that allows estimating the percentage of damages in each building according to the established levels (light, moderate, severe and complete damages) and with it, the decision making for the restoration of the built heritage for the purpose of seismic risk reduction.

Keywords: heritage value buildings, prioritization index, damage estimate.

1. Introducción

Los terremotos ocurridos en los últimos años en diversas regiones de nuestro planeta, han dejado en evidencia la directa relación entre el daño estructural y los niveles de vulnerabilidad y riesgo que presentan determinadas estructuras. La mitigación de los efectos producidos por los desastres, adoptando medidas preventivas, es una actividad altamente rentable en zonas donde existe la posibilidad de que ocurran eventos sísmicos severos; todos los recursos que se gasten adecuadamente en la reducción del riesgo sísmico a través de la reducción de las vulnerabilidades existentes, ahorrará enormes costos.

Cuba se encuentra ubicada en la placa tectónica de Norteamérica, que tiene un movimiento rumbo deslizante respecto a la placa tectónica del Caribe, tomado de (Fondos del Cenais), el contacto entre estas dos placas constituye la principal zona sismogeneradora de la región y donde se han reportado los mayores sismos que ha afectado nuestro territorio, la historia sísmica de Cuba reconoce 28 sismos con intensidades mayores que 7 (Chuy 1999). Santiago de Cuba, Granma y Guantánamo destacan por su nivel de peligro y riesgo sísmico.

Santiago de Cuba es una ciudad que tiene 1 016 600 habitantes (obtenido de base de datos de la Dirección Provincial de Planificación Física, en Santiago de Cuba) y posee una extensión territorial de 6156.4 km² que representa el 5.6% de la superficie del país. Está situada en los 20° 01' 29" latitud norte y 75° 49' 19" longitud oeste (tomado de base de datos ciudad, Planificación Física) Los trascendentales valores histórico-culturales y la proverbial hospitalidad de su pueblo, de temperamento alegre y bullicioso, constituyen dos de los rasgos que más distinguen a la suroriental provincia, considerada por su posición geográfica y orígenes étnicos como auténtica capital del Caribe. En la **Figura 1** se ilustra la localización de la ciudad. (Señalizado con flecha roja).



Fig. 1. Localización de la ciudad de Santiago de Cuba. El área del municipio Santiago de Cuba en rosado al sureste de la región oriental del país. Tomado de <https://www.viajejet.com/mapas-cuba/mapa-politico-de-Cuba>

La ciudad de Santiago de Cuba, desde su fundación ha sido afectada por varios terremotos, por tanto, ha experimentado varios ciclos de reconstrucción. El último terremoto que afectó severamente la ciudad fue el 3 de febrero de 1932 (Figura 2, tomado de Magazine las Noticias), según Chuy (1999) causó 14 muertos y 200 heridos (17 de los cuales gravemente), afectó el 80% del total de las edificaciones de la ciudad y causó pérdidas económicas de aproximadamente 15 millones de pesos cubanos (valor en 1932).



Fig. 2. Edificaciones en la ciudad de Santiago de Cuba afectadas por el terremoto del 3 de febrero de 1932. Tomado de Magazine Las Noticias (1932)

La ciudad de Santiago de Cuba, se caracteriza por una gran cantidad de tipologías constructivas y mezcla de estilos arquitectónicos, por tanto, presenta características estructurales y arquitectónicas, técnicas constructivas, materiales y edades diversas en dependencia del período en que fueron construidas.

El Centro Histórico Urbano abarca un área de 3,2 Km², con un trazado urbano que delimita 380 manzanas en las cuales se encuentran 23 áreas monumentales y más de 2000 edificios categorizados como bienes patrimoniales (datos obtenidos de la Oficina Provincial de Patrimonio. Santiago de Cuba). En él se agrupan edificaciones de gran relevancia, entre las que se encuentran viviendas consideradas con valor patrimonial dado al estilo arquitectónico y la época en que se construyeron, iglesias, logias y museos de valor histórico. Estas edificaciones son consideradas instituciones de jerarquía para el desarrollo del conocimiento humano ya que en ellas se atesoran patrimonios culturales e históricos y se clasifican atendiendo a criterios de titularidad, ámbito geográfico de cobertura y contenido temático de las colecciones. Sus tipos se establecen según el contenido temático de las selecciones en ocho categorías distintas, de aquí la gran necesidad de proteger estas obras para preservar parte de la cultura y la historia de la ciudad santiaguera.

2. Materiales y métodos

Se hace uso de un procedimiento basado en la obtención de “Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico”, realizada por López, et al (2008). El procedimiento que aquí se presenta se ha nutrido de experiencias nacionales e internacionales (López 2008; Marinilli et al. 2010; FEMA 2002; Meneses 2004; Jain et al. 2010). Primeramente se realiza la adecuación del procedimiento teniendo en cuenta las características de las edificaciones de Cuba y posteriormente su aplicación.

Para el cálculo del Índice de Priorización se consideran los siguientes aspectos:

- Amenaza sísmica en el sitio.
- Uso de la edificación.
- Importancia de la construcción.
- Número de personas expuestas.

- Antigüedad de la obra, su altura.
- Profundidad del depósito de suelo.
- Grado de deterioro.
- Topografía del sitio.
- Características de la estructura.

El Índice de priorización (I_p) se calcula a partir de: $I_p = I_A \cdot I_v \cdot I_I$, siendo:

- I_A : Índice de amenaza.
- I_v : Índice de vulnerabilidad.
- I_I : Índice de importancia.

El índice de vulnerabilidad se obtiene a partir de la evaluación de varios parámetros (fecha de construcción, tipología constructiva, irregularidad en planta y elevación, estado técnico constructivo y la topografía existente donde se ubican las edificaciones en cuestión). El índice de importancia se obtiene según el uso de la edificación, López et al, (2011).

Para la estimación de la vulnerabilidad en las diferentes edificaciones seleccionadas se utilizaron los siguientes valores de rangos de índice de vulnerabilidad (IV) obtenidos anteriormente después de analizar la metodología empleada:

- Vulnerabilidad BAJA: Edificaciones con un $IV \leq 30$.
- Vulnerabilidad MEDIA: Edificaciones con $45 > IV > 30$.
- Vulnerabilidad ALTA: Edificaciones con $IV \geq 45$.

Para la estimación de daños se usan las funciones de vulnerabilidad teórica propuestas por Cartapati et al, 1982, a través de curvas de regresión teórica las que se definen con base en las siguientes consideraciones:

- El daño D se define en una escala desde 0 hasta 1.
- Cuando la vulnerabilidad es nula, el daño esperado debe ser cero; es decir, las curvas deben pasar por el origen de coordenadas.
- Cuando la vulnerabilidad tiende a 0, el daño debe tender hacia la unidad.
- Cuando la vulnerabilidad se incrementa, el daño también debe incrementarse.
- Cuando la vulnerabilidad es pequeña el daño esperado debe ser casi inexistente; es decir, la curva debe ser tangente al eje de las abscisas en el origen.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, Cartapati et al, 1982 proponen una escala de daño que considera el deterioro sufrido por el edificio desde un punto de vista funcional, destacando sobre todo el aspecto estructural. De esta forma la expresión que da el nivel de daño es:

$$D = 0.1 I_{\max} + 0.9 \bar{I} H$$

Dónde: I_{\max} es el nivel de daño máximo en los elementos estructurales, con valores entre 1 y 3,

\bar{I} es el nivel de daño promedio en los elementos estructurales y H es el porcentaje de elementos afectados.

Si se establece un límite máximo de daño para la función de vulnerabilidad con la condición

$\bar{I} H = 1.5$ que corresponde a que un edificio se considera totalmente dañado si supera un nivel de daño promedio igual a 2, en el 75% de sus elementos resistentes, entonces la ecuación anterior se transforma en:

$$D = 0.06 I_{\max} + 0.54 \bar{I} H$$

Se definen los escenarios de daño, asumiendo diferentes intensidades del sismo. Se representan

cinco rangos del índice de daño D los cuales pueden interpretarse como:

- Daños ligeros $D \leq 20$, daños moderados $20 < D \leq 40$.
- Daños graves $40 < D \leq 60$, destrucción $60 < D \leq 80$.
- Colapso $D > 80$. Se observa claramente que la extensión del daño es más grande, cuanto mayor el grado de intensidad.

2.1. Selección de la muestra

A pesar de la inclemencia del tiempo y los importantes sismos registrados en la región oriental de Cuba, se conservan importantes muestras de la arquitectura colonial santiaguera. Especialmente en Santiago de Cuba se conservan grandes tesoros históricos entre los que se encuentran aun de pie viviendas y los primeros museos construidos. En el centro histórico urbano existen 150 edificaciones con uso destinado a viviendas, consideradas de valor patrimonial de grado de protección I y II (que fueron evaluadas todas) y un conjunto de museos, de los cuales se inspeccionó una muestra de cinco considerando sus características arquitectónicas y estructurales además del estado técnico constructivo y la época de construcción. En las edificaciones evaluadas las tipologías constructivas predominantes son:

- Pórticos de hormigón armado (PCAAP).
- Mampostería confinada (MMC).
- Mampostería no confinada (MMNC).

En las tablas I y II se muestra un resumen por tipologías de los datos recolectados en el trabajo de campo realizado, visitándose todas las edificaciones destinadas a viviendas con valor patrimonial en el centro histórico urbano de la ciudad Santiago De Cuba (150), consideradas en el estudio, haciendo un levantamiento de sus características técnicas y sismorresistentes actuales a partir de la planilla de inspección, especialmente diseñada para esta investigación.

Tabla I. Resumen de las características de las edificaciones de valor patrimonial destinadas a viviendas seleccionadas por tipologías constructivas

| Características | PCAAP | MMC | MMNC |
|--|-------|-----|------|
| Cantidad de edificaciones destinadas a viviendas | 2 | 136 | 12 |
| Reconstruidas en: | | | |
| Antes de 1985 | | 136 | 12 |
| Entre (1986y1999) | | | |
| Entre (2000 y 2013) | | | |
| Después de 2013 | 2 | | |
| Uso de la vivienda: | | | |
| Unifamiliar | 2 | 134 | 12 |
| Mutifamiliar | | 2 | |

Tabla II. Resumen de las características de los museos seleccionados por tipologías constructivas

| Instalación | Tipología constructiva |
|---|-------------------------------------|
| Museo Emilio Bacardí Moreau | Pórticos de hormigón armado (PCAAP) |
| Museo de Ciencias Naturales Tomás Romay | Pórticos de hormigón armado (PCAAP) |
| Museo Casa Natal Frank País García | Mampostería no confinada (MMNC) |
| Museo Casa Natal Antonio Maceo Grajales | Mampostería no confinada (MMNC) |
| Museo Casa Natal Vilma Espín | Mampostería no confinada (MMNC) |

3. Resultados y discusión

En el caso de las edificaciones de valor patrimonial en la ciudad de Santiago de Cuba destinadas a viviendas, se estudió una muestra de 150, que corresponde al total de ellas, de las cuales el 1,3% corresponde a viviendas construidas con el sistema de pórticos de hormigón armado, según la clasificación adoptada en esta investigación, las cuales han sido edificadas generalmente como reconstrucciones y/o remodelaciones de viviendas existentes, con el correspondiente autorizo de la oficina del conservador de la ciudad, en esta área del casco histórico urbano. Fueron consideradas en este grupo aquellas viviendas cuyas secciones de elementos estructurales se corresponden con las establecidas por las normativas actuales, aún y cuando exista la incertidumbre de que ha y han sido diseñadas o construidas con criterios sismorresistentes.

El 8 % de las viviendas son consideradas como tipología de mampostería confinada, al mismo tiempo el 90,7% de las viviendas fueron construidas de mampostería no confinada, siendo este un sistema poco resistente a los terremotos, tendiente a sufrir daños considerables. De este modo el 98.7 % de las viviendas estudiadas se corresponde con los sistemas de mampostería no confinada y confinada, y por tanto existe mucha incertidumbre sobre su adecuado comportamiento sísmico.

Con relación al estado técnico diagnosticamos que de las 150 viviendas analizadas, el 98,7% de estas tienen actualmente un estado entre regular y malo, y solamente un 1,3% se encuentra en buen estado, lo cual demuestra que existen un conjunto de aspectos que inciden en este índice relacionados con la falta de mantenimiento constructivo acumulado a lo largo de los años; el uso de materiales de la construcción de mala calidad en las acciones de construcción, reparación y mantenimiento; los efectos que han provocado en estas viviendas el impacto de fenómenos naturales frecuentes (ciclones tropicales, períodos de intensas lluvias, terremotos de intensa y moderada magnitud), así como condiciones climáticas severas como el intenso sol y calor característicos de esta región del país.

Todos estos aspectos, sumados a la identificación en el diagnóstico de aspectos estructurales inadecuados que impiden un buen comportamiento sismorresistente de muchas viviendas, condicionan que se haya obtenido un 98,7% de vulnerabilidad alta, siendo solamente el 1,3% de las viviendas estudiadas las que tienen una vulnerabilidad baja (ver tabla III).

Tabla III. Resultados del análisis de vulnerabilidad de las viviendas

| Tipología | Estado técnico | | | Vulnerabilidad | | |
|-----------|----------------|---------|------|----------------|-------|------|
| | Buena | Regular | Mala | Baja | Media | Alta |
| PCAAP | 2 | - | - | 2 | - | - |
| MMC | - | 9 | 3 | - | - | 12 |
| MMNC | 15 | 95 | 26 | - | - | 136 |

Se evaluaron cinco museos que corresponden al 41,67% del total existente en el centro histórico urbano de Santiago de Cuba. De ellos el 40% pertenece a tipologías con pórticos de hormigón armado y 60% de edificaciones de mampostería sin confinar. Todas las edificaciones evaluadas presentan vulnerabilidad alta. Además de la estimación de daños se concluye que solo el 20% presenta una probabilidad de daños moderada y el 80% se estiman daños graves e incluso colapso.

Tabla IV. Resultados del análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico de los museos

| Instalación | Estado técnico | Vulnerabilidad | Daños |
|---|----------------|----------------|----------|
| Museo Emilio Bacardí Moreau | Regular | Alta | Moderado |
| Museo de Ciencias Naturales Tomás Romay | Mala | Alta | Colapso |
| Museo Casa Natal Frank País García | Regular | Alta | Grave |
| Museo Casa Natal Antonio Maceo Grajales | Regular | Alta | Grave |
| Museo Casa Natal Vilma Espín | Regular | Alta | Grave |

Conclusiones

1. Se adecuó el procedimiento empleado para la obtención de los índices de priorización para las características de las edificaciones en Cuba, teniendo en cuenta sus tipologías constructivas.
2. El procedimiento empleado no cuantifica en forma absoluta los niveles de vulnerabilidad y riesgo de las edificaciones estudiadas, sino más bien suministra índices que permiten comparar una edificación con otra a fin de definir prioridades hacia estudios detallados posteriores que permitan la toma de decisiones y eventuales intervenciones de refuerzo estructural, bajo el marco de la prevención ante la futura ocurrencia de terremotos.
3. Se evaluaron 150 edificaciones consideradas de valor patrimonial en la ciudad de Santiago de Cuba, destinadas a viviendas en el centro histórico urbano, de las cuales el 98,7% de estas presentan un nivel de vulnerabilidad alto. Las edificaciones de mayor índice de vulnerabilidad responden a las construidas con tipologías que corresponden a mampostería sin confinar y mampostería confinada, las que presentan estado técnico entre regular y malo.
4. Se evaluaron cinco museos que corresponden al 41,67% del total existente en el centro histórico urbano de Santiago de Cuba. De ellos el 40% pertenece a tipologías con pórticos de hormigón armado y 60% de edificaciones de mampostería sin confinar. Se concluye que todas las edificaciones evaluadas presentan vulnerabilidad alta y solo el 20% presenta una probabilidad de daños moderada y el 80% se estiman daños graves e incluso colapso.
5. Para la estimación de daños se tuvo en consideración la ecuación planteada en la metodología de evaluación descrita (Cartapati et al, 1982), cuantificándose detalladamente el porcentaje de daños observados en cada elemento estructural.

Referencias

- Applied Technology Council [ATC]. 1978. Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings. Applied Technology Council, Rep. ATC-3-06. Redwood City. California. USA:
- American Concrete Institute [ACI] 318-14. 2014. Building code requirements for structural concrete. Farmington Hills, USA.
- Comisión de normas de estructuras para edificaciones [COVENIN]. 2001. Norma venezolana de edificaciones sismorresistentes COVENIN 1756-2001. Caracas: Fondo Norma. Venezuela.
- Chuy, T. J: Macrosísmica de Cuba y su utilización en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del MES y del CENAI, 1999.
- Federal Emergency Management Agency [FEMA-440] – National Institute of Building Sciences [NIBS]. 2005 Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Washington, D.C. USA.
- European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Vol. 15, 100pp.
- Oficina Nacional de Normalización NC. 1999. Norma Cubana NC 46:1999: Construcciones Sismorresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción. La Habana, Cuba.
- Oficina Nacional de Normalización NC. 2017. Norma Cubana NC 46:2017: Construcciones Sismorresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción. La Habana, Cuba.
- López, O. Coronel, G. Ascanio, W. Rojas, R. Páez, V. Olbrich, F. Rengel, J. González, J. 2011. Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico. Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología e Industrias Intermedias. FUNVISIS, Caracas 2011.
- Llanes, L. 198. Apuntes para una historia sobre los constructores cubanos. Editorial Letras Cubanas. Cuba.
- Magazine Las Noticias 1932. Daños causados por el terremoto de 1932 en Santiago de Cuba. Cuba
- Medina, L, Rodríguez R. 1986. Sistemas Constructivos utilizados en Cuba.
- Moreno, R. 2006 Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal: Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). España.
- <https://www.viajejet.com/mapas-cuba/mapa-politico-de-cuba>.

Acerca de los autores:

Kenia Mercedes Leyva-Chang: Ingeniera Civil, Máster en Carreteras y Puentes. Investigador Auxiliar del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba, miembro del grupo de ingeniería de la vicedirección científica. Experiencia en ejecución de obras ingenieriles, proyectos estructurales, inversión de carreteras y puentes y evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico. Participación en proyectos nacionales e internacionales relacionados con la estimación del riesgo sísmico. Profesor Auxiliar de la Universidad de Oriente en la Facultad de Construcciones. Miembro de la UNAIACC y presidenta de la sección de base de la UNAIACC del CENAIIS. Profesional de Alto Nivel.

Dario Candebat Sánchez: Ingeniero Civil, Máster en Dirección. Doctor en Ciencias Técnicas. Investigador Titular. Profesor auxiliar. Miembro de la UNAIACC, de la Sociedad Cubana de Geología y del Comité cubano de Hospitales. Presidente del Comité técnico de Ingeniería Civil y sismorresistencia. Revisor Revista Ciencia en su PC y Revisor en la Revista de Ingeniería Civil, Construcción y Medioambiente (Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering – JCCEE). Profesional de Alto Nivel. Premio colectivo anual de la ACC en 2014. Premio colectivo especial del CITMA 2014. Premio Provincial Anual de la Ciencia 2017. Nominado a Miembro titular de la Academia de Ciencias de Cuba, 2018.

Zulima Caridad Rivera Álvarez: Ing. Geóloga desde 1992 y Máster en Ciencias Geológicas desde 2001. Investigador Auxiliar del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, con categoría docente de profesor asistente. Experiencia laboral amplia en la participación y dirección de proyectos nacionales e internacionales, en algunos de ellos ha sido el responsable principal. Participa en eventos y congresos internacionales dentro y fuera del país. Profesional de Alto Nivel de la UNAIACC. A lo largo de su trayectoria ha recibido numerosos cursos de postgrado y diplomados. Algunos de los resultados investigativos se encuentran publicados en revistas.

Grisel Morejon-Blanco: Ingeniera Civil, Doctora en Ciencias Técnicas. Investigador Auxiliar. Profesor auxiliar de la Universidad de Oriente. Miembro de la UNAIACC, Miembro de la Junta Provincial de la UNAIACC Santiago de Cuba. Vicedirectora Científica del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba. Profesional de Alto Nivel. Miembro del Comité técnico de Ingeniería Civil y sismorresistencia. Revisor Revista Ciencia en su PC.

Madelin Villalón-Semanat: Graduada de Máster en Ciencias de la Geoinformación y Observación de la Tierra con especialidad en Peligros Geológicos en la Universidad de Twente, Holanda en 2007 e Investigadora Agregada del Grupo de Peligrosidad Sísmica con más de 20 años de experiencia en el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Ha dirigido y/o participado en proyectos de investigaciones nacionales e internacionales y servicios científico-técnicos relacionados con la evaluación de amenazas naturales, peligrosidad sísmica y peligros sísmicos inducidos. Ha participado en varios eventos nacionales e internacionales relacionados con las Geociencias y es miembro de la Sociedad Cubana de Geología y de la Unión de ingenieros de Cuba.