

## VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL Y ESTIMACIÓN DE DAÑOS EN DOS IGLESIAS DE LA CIUDAD SANTIAGO DE CUBA

Kenia Mercedes Leyva Chang<sup>1\*</sup>, Eduardo Rafael Diez Zaldívar<sup>1</sup> y Madelin Villalon Semanat<sup>1</sup>

1. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIS), Santiago de Cuba, Cuba.

\*Autora de correspondencia: kenia@cenaiss.cu

**DOI:**  
<https://doi.org/10.55467/reder.v9i1.188>

**RECIBIDO**  
13 de noviembre de 2023

**ACEPTADO**  
11 de enero de 2024

**PUBLICADO**  
1 de enero de 2025

**Formato cita Recomendada (APA):**  
Leyva Chang, K.M., Diez Zaldívar, E.R. & Villalon Semanat, M. (2025). Vulnerabilidad sísmica estructural y estimación de daños en dos iglesias de la ciudad Santiago de Cuba. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 9(1), 232-242. <https://doi.org/10.55467/reder.v9i1.188>



Todos los artículos publicados en REDER siguen una política de Acceso Abierto y se respaldan en una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

*Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)*

### RESUMEN

En este estudio se presenta la evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural y estimación de daños en dos edificaciones destinadas a usos religiosos en la ciudad Santiago de Cuba y que por demás forman parte del patrimonio a preservar, considerando su valor de uso, época constructiva y características del diseño. Se aplicó una metodología aproximada basada en la obtención del coeficiente  $K_i$ , denominado coeficiente sísmico reducido por ductilidad correspondiente a la falla del entrepiso y posteriormente se aplica una metodología de cálculo a partir de las funciones de vulnerabilidad teórica que permite estimar el porcentaje de daños en cada edificación según los niveles establecidos (daños ligeros, moderados, severos y completos), debido a la no existencia de documentación técnica en las edificaciones seleccionadas y con ello posibilitar la toma de decisiones para la restauración del patrimonio edificado, con el propósito de reducción del riesgo sísmico. Se realizan además mediciones instrumentales para la obtención del valor del periodo fundamental de la estructura que se comparan con el valor de la norma NC 46:2017.

### PALABRAS CLAVES

Vulnerabilidad sísmica; Patrimonio; Valor de uso; Coeficiente sísmico; Mediciones instrumentales; Santiago de Cuba

### STRUCTURAL SEISMIC VULNERABILITY AND DAMAGE ESTIMATION IN TWO CHURCHES IN THE CITY OF SANTIAGO DE CUBA

#### ABSTRACT

This study presents the evaluation of the structural seismic vulnerability and the estimation of damage in two buildings destined for religious uses in the city of Santiago de Cuba and which are also part of the heritage to be preserved, considering their use value, construction period and characteristics. We applied approximate methodology based on obtaining the  $K_i$  coefficient, called the seismic coefficient reduced by ductility corresponding to the failure of the mezzanine. Then, a calculation methodology was applied (theoretical vulnerability functions that allows estimating the percentage of damage in each building according to the established levels: light, moderate, severe and complete damage) due to the non-existence of technical documentation in the selected buildings. With this, we aim to enable decision-making for the restoration of the built heritage with the purpose of reducing seismic risk in the future. Instrumental measurements are also carried out to obtain the value of the fundamental period of the structure, which are compared with the value of the NC 46:2017 code.

#### KEYWORDS

Seismic vulnerability; Heritage; Use value; Seismic coefficient; Instrumental measurements; Santiago de Cuba

## INTRODUCCIÓN

La ocurrencia cada vez más frecuente de desastres de distintas magnitudes, ponen en cuestionamiento la sostenibilidad de las ciudades. Los fenómenos naturales, se presentan como respuesta a determinados procesos que tienen lugar en nuestro planeta. Estos se manifiestan de diferentes formas: como ciclones, huracanes, tsunamis, maremotos, terremotos o sismos. Estos últimos son considerados los fenómenos geológicos más devastadores que existen, ya que son impredecibles y los de gran intensidad provocan la destrucción de edificios y obras ingenieriles.

Las experiencias obtenidas en terremotos recientes han evidenciado el mal comportamiento de las edificaciones ante estos eventos y la necesidad de reforzar aquellas estructuras con poca o ninguna capacidad de respuesta sismorresistente (dentro de estas, las edificaciones de carácter religioso). En la figura 1 a, b, c y d, se muestran imágenes de algunas edificaciones, destinadas a usos religiosos, dañadas durante la ocurrencia de sismos fuertes ocurridos en el mundo y en Cuba.



**Figura 1.** Edificaciones destinadas a usos religiosos dañadas durante la ocurrencia de sismos fuertes ocurridos Italia, España, Perú y Cuba

Fuente: Autores, 2025, en base a diferentes fuentes.

Nota: a) Basilica de San Benito, Nursia, Umbria, Italia. Destruída casi completa en el terremoto ocurrido en agosto de 2016. Tomado de periódico "El Mundo" (2023), b) Iglesia de Santiago de Lorca, Murcia, España. Destruída en el terremoto ocurrido en mayo de 2011. c) Iglesia de Jalca Grande, Chachapoyas, Perú. Destruída en el terremoto ocurrido en noviembre de 2021. Tomado de periódico "La República" (2021), d) Ira Iglesia Bautista de Santiago de Cuba. Destruída en el terremoto ocurrido en febrero de 1932. Tomado de revista "Bohemia" (2023).

Cuba no está aislada del efecto de estos fenómenos porque, desde el punto de vista geográfico, pertenece a la región del Caribe y se localiza entre Norte y Sur América, una región compleja desde el punto de vista geológico y tectónico, concretamente en la microplaca de Gonave, una estructura semi-rectangular que colinda con la placa americana, tiene un área aproximada de 190 000 km<sup>2</sup> y se localiza a lo largo del margen nororiental de la placa Caribe (Heubeck & Mann, 1991).

La ciudad de Santiago de Cuba se encuentra localizada en el borde sur de esta microplaca, cercana al sistema de fallas Oriente que es el responsable de la mayor parte de los sismos fuertes ocurridos en esta zona, a partir de la energía acumulada por el movimiento relativo entre las placas tectónicas (Arango, 2009). En la región Suroriental de Cuba, se genera más del 90 % de los terremotos que afectan al país (Álvarez & Bune, 1977; Álvarez, Chuy & Cotilla, 1991; Moreno et al., 2002). Por tanto, la ciudad es zona sometida a una amenaza sísmica significativa, según Chuy (1999).

Santiago de Cuba es considerada la segunda ciudad más importante del país dado a las características de su economía y población. Atesora siglos de historia y tradiciones. Está habitada por más de 11 000 000 de habitantes y posee un número importante de edificaciones de épocas anteriores que enmarcan un significativo valor patrimonial. Fue una de las primeras villas fundadas en el país, hace más de 500 años, en 1515. Parte del patrimonio construido de la ciudad de Santiago de Cuba se encuentra en la zona más antigua, (Centro Histórico Urbano), declarado

como Monumento Nacional en 1879 debido a su antigüedad y valores: históricos, arquitectónicos, ambientales y paisajísticos.

Por otra parte, luego de la colonización de Cuba por España, el sistema religioso jugó un papel muy importante en la primera etapa del desarrollo de la isla, junto a los sistemas defensivo y habitacional, representado por una arquitectura muy propia, materializada en una gran cantidad de edificaciones pertenecientes, fundamentalmente al siglo XVIII de la etapa colonial y que en estos momentos presentan un alto grado de deterioro (Giraudy & Morcate, 2010). Los templos de la ciudad de Santiago de Cuba fueron erigidos, desde los inicios de la colonia, con pocos recursos monetarios y humanos, casi siempre con el apoyo de benefactores que donaron tierras, solares y pusieron su propia fortuna en ello. Muchos de estos primeros templos de la ciudad desaparecieron por el efecto de terremotos y otros fenómenos naturales, así como por el ataque de corsarios y piratas (Conferencia de Obispos Católicos de Cuba, 2015).

No obstante, la ocurrencia de estos desastres, en el Centro Histórico Urbano de la ciudad Santiago de Cuba actualmente aún se agrupan edificaciones de gran relevancia, entre las que se encuentran las iglesias, consideradas con valor patrimonial dado al estilo arquitectónico, época en que se construyeron, y usos en la actividad religiosa. Estas edificaciones son consideradas instituciones de jerarquía para el desarrollo del conocimiento humano y de ahí su importancia y la necesidad de conservarse como parte del patrimonio edificado que identifica y condiciona las características actuales de la ciudad como parte de su cultura e historia.

En análisis e investigaciones precedentes, realizados en la ciudad de Santiago de Cuba, se ha demostrado la alta vulnerabilidad que posee el patrimonio edificado ante la acción de un sismo de moderada o alta intensidad, estos criterios están basados fundamentalmente en la existencia de gran cantidad de construcciones realizadas en períodos donde existía poca o nula experiencia en el diseño sismorresistente, determinado por las características de las tipologías construidas en cada época y a problemas que evidencian muchas de estas edificaciones en la actualidad, caracterizadas por un estado técnico entre regular y malo. Específicamente, el sistema religioso, predominantemente del siglo XVIII, presentan un alto grado de deterioro.

De acuerdo a estos precedentes, es evidente la importancia de preservar el patrimonio edificado y dentro de este, las edificaciones consideradas relevantes por su valor histórico, cultural y arquitectónico entre las que se cuentan las iglesias, teniendo en cuenta, además, el tiempo de su explotación y la falta de mantenimiento, aspectos que incrementan el nivel de vulnerabilidad sísmica estructural y que propician el aumento de las incertidumbres que resultan del comportamiento estructural de estas edificaciones considerando la fecha de construcción y el periodo de vida útil ya agotado.

En este estudio se presentan los resultados obtenidos a partir de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural y estimación de daños en dos edificaciones destinadas a usos religiosos en la ciudad Santiago de Cuba.

La resistencia sísmica de este tipo de edificaciones en Santiago de Cuba, no ha sido probada para un sismo de gran magnitud, por lo que resulta imprescindible estimar su vulnerabilidad y riesgo a fin de tomar todas las medidas necesarias para evitar pérdidas de vidas humanas, considerando además que son edificaciones donde permanecen gran cantidad personas en distintos horarios.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la evaluación de la vulnerabilidad estructural teniendo en cuenta que las cargas más desfavorables son las cargas sísmicas, se aplicó la metodología aproximada de Iglesias (1989), este método se basa en la obtención del coeficiente  $K_r$ , denominado coeficiente sísmico reducido por ductilidad correspondiente a la falla del entrepiso y que se obtiene despejando la Ecuación (1).

### Ecuación 1.

$$\frac{VR_i S_i}{k_r A_i W} = 1$$

Por lo que  $K_i$  se calcula como se muestra en la Ecuación 2:

**Ecuación 2.**

$$K_i = \frac{VR_i S_i}{A_i W}$$

dónde:

$VR_i$ : Fuerza cortante resistente en el entrepiso.

$S_i$ : Factor correctivo por estructuración y deterioro.

$K_i$ : Coeficiente sísmico reducido por ductilidad correspondiente a la falla del entrepiso.

$A_i$ : Distribución de la fuerza cortante con la altura según el método estático.

$W$ : Peso total de la estructura.

Es necesario calcular  $K_i$  en cada entrepiso del edificio y cuando menos en dos direcciones. El menor valor del coeficiente de resistencia ( $K$ ) define el entrepiso y la dirección más crítica, y es adoptado como un índice de la capacidad sísmica de todo el edificio.

Para la determinación de la fuerza cortante resistente del entrepiso se consideran los aportes de los diferentes elementos que contribuyen a la respuesta estructural de la edificación:

- » Muros de mampostería en caso de edificaciones con esta tipología estructural.
- » Columnas cortas de hormigón armado.
- » Muros de hormigón armado.
- » Columnas de hormigón armado.

La resistencia de los elementos estructurales se obtiene de multiplicar las áreas netas de sus secciones por los esfuerzos resistentes correspondientes,

$$V_i = v_i A_i$$

siendo:

$V_i$ : Esfuerzo resistente al corte de los elementos tipo  $i$ .

$A_i$ : Área total de elementos tipo  $i$  en la dirección considerada.

Los valores propuestos para los esfuerzos resistentes se han obtenido del estudio de elementos estructurales típicos, pertenecientes a diversas estructuras existentes de la ciudad de México. Estos valores son mostrados en la Tabla 1.

Muros de mampostería	$v_m = 1,5 \text{ kg/cm}$
Columnas cortas $H/h \leq 2$	$v_{cc} = 15 \text{ kg/cm}$
Muros de concreto:	
Con columnas en los extremos	$v_M = 20 \text{ kg/cm}^2$
Con 1 columna de extremo	$v_M = 16 \text{ kg/cm}$
Sin columnas en los extremos	$v_M = 12 \text{ kg/cm}$
Columnas:	
$2 < H/h \leq 6$	$v_c = 10 \text{ kg/cm}^2$
$6 < H/h \leq 10$	$v_c = 7 \text{ kg/cm}$
$10 < H/h$	$v_c = 5 \text{ kg/cm}^2$
$H/h$ : Relación entre la altura no restringida de la columna y su peralte total.	

**Tabla 1. Valores de esfuerzos resistentes por tipos de elementos**

Fuente: Autores, 2025.

Posteriormente se calcula el factor de corrección ( $S_i$ ) que toma en cuenta los problemas derivados de la concepción estructural del edificio, del comportamiento de su cimentación y del deterioro que presenta. El valor  $S_i$  para un entrepiso determinado se calcula como el producto de los factores correspondientes a cinco índices:

$$S_i = q_1 q_2 q_3 q_4 q_5, \text{ siendo } q_i \text{ el factor de corrección del índice } i.$$

El factor de corrección de cada índice se define por la calificación asociada, que puede ser: alto (0,8), intermedio (0,9) o bajo (1,0). La existencia de más de un problema asociado a un mismo índice en ningún caso deberá conducir a valores de  $q_i$  inferiores a 0,8.

- »  $q_1$ : Estructuración en planta que tiene en cuenta asimetrías en la disposición y rigidez de los elementos estructurales, irregularidades de las plantas y aberturas que afecten la simetría. También analiza la presencia de efectos de torsión debido a excentricidades significativas que violen lo regulado en el código de construcciones sismo resistente vigente, la existencia de entrantes y salientes y la relación largo ancho de cada planta.
- »  $q_2$ : Estructuración en elevación que considera la relación de altura con la dimensión menor de la base de la edificación, la discontinuidad en la geometría, rigidez y resistencia, la presencia de columnas cortas y pisos blandos y de dobles puntales.
- »  $q_3$ : Incluye lo relacionado al comportamiento de la cimentación de la edificación, valorando la existencia de depresiones, asentamientos diferencias y desplomes.
- »  $q_4$ : La ubicación de la estructura en zonas de alta sismicidad y la colindancia con otros inmuebles, analizando la probabilidad de la ocurrencia del golpeo entre ellas.
- »  $q_5$ : Indicador del deterioro de la edificación detectando si presenta daños provocados por acciones de sismos previos al análisis, la edad de la edificación y el nivel de los mantenimientos y reparaciones recibidos por esta.

Luego del análisis el valor de  $K_1$  obtenido en cada nivel y en cada dirección de la edificación (longitudinal y transversal) se compara con los valores de nivel de intensidad  $K_s$ . La comparación de  $K$  con  $K_s$  permite clasificar el nivel de seguridad del inmueble conforme a dos categorías. La categoría 1 indica que  $K \geq K_s$ , mientras que la categoría 2 es válida para  $K < K_s$ .

Se considerará que el nivel de seguridad es adecuado en aquellas estructuras cuyo coeficiente de resistencia las ubique en la categoría 1. En los casos en que el nivel de seguridad se encuentre en la categoría 2, deberá efectuarse una evaluación detallada que defina si es o no necesario un proyecto de refuerzo.

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 a partir de la que se obtiene el nivel de daño se muestra en la Ecuación 3:

### **Ecuación 3.**

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

Dónde:  $I_{\max}$  es el nivel de daño máximo en los elementos estructurales, con valores entre 1 y 3,  $I$  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 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 la siguiente, Ecuación 4:



**Ecuación 4.**

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

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.

**Mediciones instrumentales de campo**

La determinación del periodo experimental de la estructura analizada en este estudio se realizó a partir de mediciones de ruido ambiental diurno. Para ello, se utilizó un canal formado por un sismómetro de fabricación rusa CME-4211ND (con tecnología iónico-molecular, también denominados instrumentos MET), junto con un sistema de adquisición de datos (SAD) de 24 bits de rango dinámico (Agafonov et al., 2014; Agafonov, et al., 2015).

La alta sensibilidad y el rango de período de este sensor permiten registrar señales en un amplio rango dinámico y dentro de la banda de período donde se encuentran las componentes de las vibraciones ambientales que deben ser analizadas. Específicamente un rango dinámico de 122 dB y una banda de frecuencia entre 0.033 Hz (30 segundos) - 50 Hz. La Figura 2 muestra el esquema en bloques del canal de medición construido al efecto.

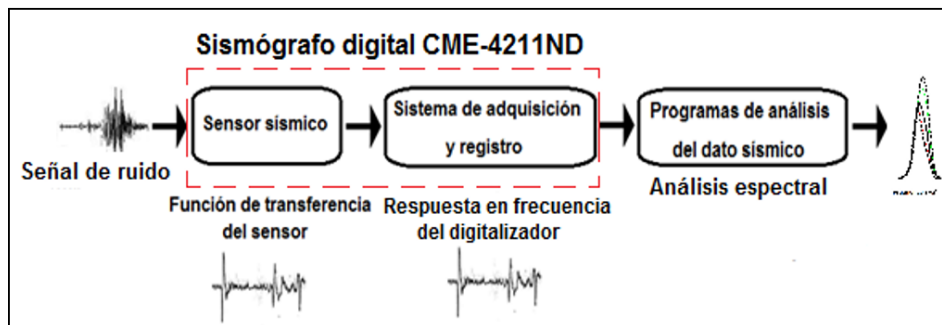


Figura 2. Esquema en bloques del canal de medición propuesto  
Fuente: Autores, 2025.

Además, el uso de la tecnología MET minimiza la dependencia de la sensibilidad a la posición del instrumento durante el ciclo de medición y los efectos de la inclinación del sensor (*tilt* en inglés) son reducidos de forma considerable. Esta característica es muy importante para asegurar la calidad del dato registrado en diferentes puntos de la edificación, donde no siempre es posible garantizar una nivelación 100% de la superficie, (Huang et al., 2013).

El SAD por su parte realiza el proceso de filtraje anti-alias preliminar, ajuste de ganancia, digitalización, sincronización de tiempo a través de sistemas de posicionamiento GPS/GLONASS. La conectividad del equipo se realiza a través de puerto USB 2.0 o mayoritariamente a través de la red WiFi por tanto, simplifica su uso al poder ser operado desde una tableta o un simple teléfono inteligente. La Figura 3 muestra una fotografía del instrumento.



Figura 3. Fotografía del instrumento CME-4211ND  
Fuente: Web de R-sensors (2023).

El análisis que se realiza con estas señales permite identificar el periodo natural de las estructuras de forma confiable, con una alta probabilidad de aproximación al valor real buscado y con bajas incertidumbres y errores (una linealidad del 99.5% y un valor del ruido propio de 2.8 nm/sec).

Lógicamente el procesamiento digital de estas señales requiere de varios pasos previos al análisis espectral, con el objetivo de mejorar la estimación de los valores finales, entre estos, de acuerdo a (Proakis & Manolakis, 2007):

- » Extracción, conversión y adecuación del dato registrado.
- » Acondicionamiento de las señales.
- » Análisis espectral.
- » Interpretación de los resultados.

#### **Extracción, conversión y adecuación del dato registrado**

Los datos registrados por el instrumento poseen un formato de salida binario con la extensión SIV (formato específico de R-sensors), lo cual es una práctica habitual usada por fabricantes de equipamiento sísmológico, pero que generalmente no es usado en los programas de análisis para la lectura directa de los datos. Por tanto, el primer paso la conversión de este formato a otro de uso estándar, en este caso el formato miniSEED (mseed).

El formato mseed (IRIS, 2023), es un subconjunto estándar de SEED que es usado para intercambio solamente de series de tiempo. Un fichero o trama miniSEED es una concatenación simple del registro de la serie temporal y por tanto más fácil de transmitir por las diferentes vías y protocolos existentes.

El formato fue desarrollado para la Federación Internacional de Redes Sísmográficas Digitales, (*International Federation of Digital Seismograph Networks*, o FDSN, en inglés), con el objetivo de crear un estándar para el intercambio de datos primario de formas de ondas y series temporales sin procesar.

El análisis de los datos, que incluye acondicionamiento de la señal y estimación espectral, se realiza con el programa Geopsy, (Wathelet, 2011). Este es un programa de computación de código abierto y en constante desarrollo nacido a partir del proyecto europeo SESAME desde 2005 y hasta la actualidad.

Los métodos de investigación que se utilizan son: Análisis y Síntesis, el Histórico-Lógico, Estadístico y el Hipotético – Deductivo. Como técnicas de investigación para el procesamiento de la información se utiliza la entrevista a expertos y la revisión y el análisis documental.

#### **Selección de la muestra**

Las edificaciones seleccionadas para el estudio se encuentran ubicadas en el centro histórico urbano de la ciudad Santiago de Cuba. Delimitado con un trazado que abarca 380 manzanas que ocupan un área 3,2 Km<sup>2</sup> en la cual se encuentran alrededor de 23 áreas monumentales y más de 2000 edificaciones categorizados como bienes patrimoniales. Sus límites actuales se corresponden con los que mantenía la ciudad a finales del siglo XIX. Al norte se ubica el Paseo de Martí, al sur la Avenida 24 de febrero (Calle Trocha), al este el Conjunto Monumental 26 de Julio y al oeste la bahía.

En este espacio territorial se concentran las edificaciones domésticas, civiles y religiosas del período colonial (1515-1898) y del período republicano (1898-1958), caracterizadas por sus valores históricos, artísticos, ambientales, sociales, formales y técnicos constructivos; todo lo cual le han permitido su categorización como Monumento Nacional.

Edificaciones objeto de estudio:

- » Primera Iglesia Bautista
- » Iglesia El Calvario

En las edificaciones evaluadas las tipologías constructivas se corresponden con:

- » Pórticos de hormigón armado.
- » Muros de hormigón.

En la Tabla 2 se muestra un resumen de las características estructurales de las edificaciones evaluadas.



1ra Iglesia Bautista	Características
	La primera iglesia bautista de Santiago de Cuba se encuentra ubicada en calle Carnicería entre Enramadas y Aguilera No. 503. Esta edificación fue construida en 1898 y fue una de las edificaciones que destruyó el terremoto ocurrido en Santiago de Cuba el 3 de febrero de 1932, luego de esto se reconstruyó temporalmente un templo de madera que fue remodelado en 1938, construyéndose la actual edificación de muros y pórticos de hormigón de tres niveles estructurales, con vigas principales y vigas secundarias. En la actualidad se encuentra en etapa de mantenimiento y reconstrucción. Se construye un mezanine que se inserta con losas de hormigón a la estructura existente en el primer nivel.
Iglesia El Calvario	Características
	La iglesia evangélica pentecostal "El Calvario" de Santiago de Cuba se encuentra ubicada en la calle Paseo Martí No.301 esquina Rizal. Reparto los Olmos de Santiago de Cuba. Esta edificación fue construida antes de 1950 para un teatro (el antiguo teatro Victoria, que más tarde se nombró teatro Martí), la edificación inicial se construyó con tipología mixta (mampostería simple y madera) y posteriormente en el año 1950 pasó a ser la iglesia evangélica pentecostal "El Calvario" hasta la actualidad. En el año 2004 comenzó la reconstrucción total de esta edificación y en 2010 culminó, construyéndose entonces una edificación de cinco niveles estructurales de pórticos de hormigón armado con vigas principales y vigas secundarias.

Tabla 2. Resumen de las características de la "1ra Iglesia Bautista" de Santiago de Cuba  
Fuente: Autores, 2025.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para aplicar la metodología seleccionada para la estimación de la vulnerabilidad, se calculó el peso de cada una de las edificaciones para lo cual fue necesario realizar levantamientos arquitectónicos, teniendo en cuenta los criterios vigentes para el cálculo de la fuerza sísmica que actúa en cada uno de los entresijos. Se tuvieron en cuenta el peso propio de cada elemento presente y los porcentajes de cargas accidentales que establece la NC 46:2017.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la aplicación del método aproximado de Iglesia, (Tabla 3). Los resultados en ambas direcciones de actuación de las acciones sísmicas (longitudinal: Norte – Sur y Transversal: Este – Oeste), son iguales teniendo en cuenta que solo se considera la contribución de las columnas en la absorción de las cargas horizontales, cuya fuerza resistente es idéntica en ambos sentidos.

Edificaciones	Seguridad Estructural				
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Iglesia Bautista	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	----	----
Iglesia El Calvario	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado

Tabla 3. Resultados de la aplicación de la metodología aproximada de Iglesias en las edificaciones seleccionadas  
Fuente: Autores, 2025.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la vulnerabilidad sísmica estructural donde se consideraron además del resultado de la seguridad estructural obtenida, la amenaza sísmica en el sitio de ubicación, el estado técnico de las edificaciones, sus tipologías y características constructivas, fecha de construcción y tipo de suelo.



Iglesia	Estado técnico			Vulnerabilidad			Daños
	Bueno	Regular	Malo	Baja	Media	Alta	
1ra Bautista	X				X		Ligeros
El Calvario	X				X		Ligeros

Tabla 4. Resultados del análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico de las iglesias  
Fuente: Autores, 2025.

#### Resultados de las mediciones instrumentales (1ra Iglesia Bautista): Ubicación de los puntos de medición. Iglesia Bautista

Se seleccionaron cinco puntos de medición teniendo en cuenta la configuración en planta de la edificación. Se realizaron las mediciones con un solo instrumento CME-4211ND. El norte magnético se hizo coincidir con el eje longitudinal de la estructura al realizar el posicionamiento del equipo y se realizó la medición con una duración de 10 minutos. Se realizaron 5 mediciones en puntos seleccionados.

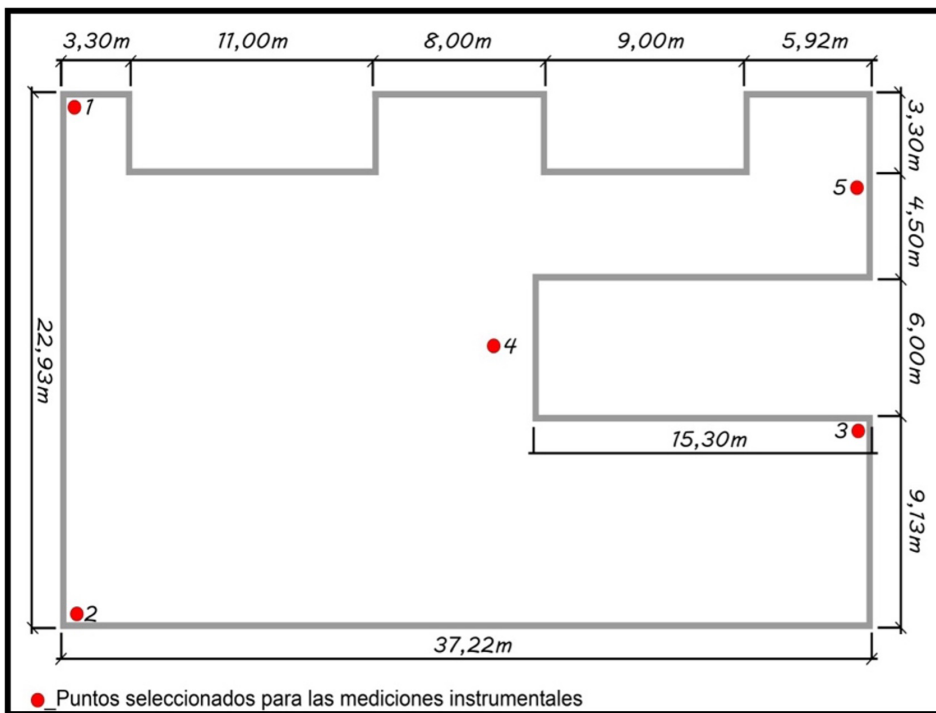


Figura 4. Ubicación de los puntos de medición. Iglesia Bautista  
Fuente: Autores, 2025.

En la Figura 5 se muestran algunas de las señales obtenidas y en la tabla 5 se relacionan los valores de períodos obtenidos.

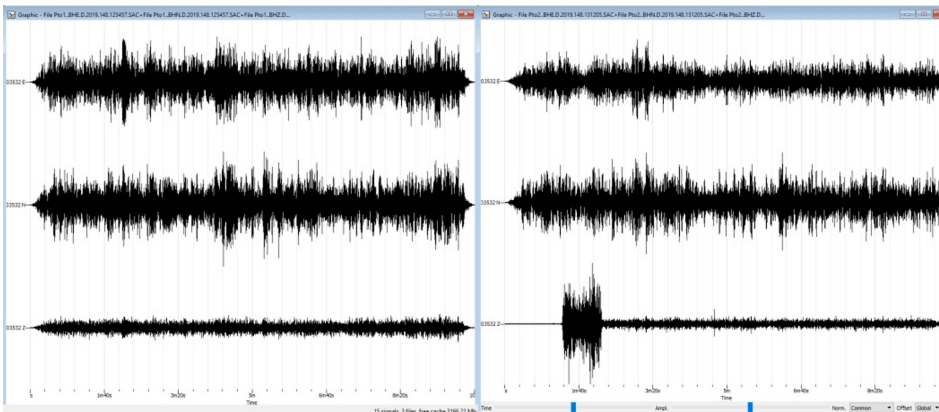


Figura 5. Muestra de señales obtenidas en las mediciones instrumentales realizadas  
Fuente: Autores, 2025.

Nota: Dirección norte – sur, dirección este – oeste y dirección vertical.

Ptos	N/S (Longitudinal)		E/W (Transversal)		Z (Vertical)		Promedio general	
	F (Hz)	T (s)	F (Hz)	T (s)	F (Hz)	T (s)	F (Hz)	T (s)
1	4.94± 0.37	0.202	4.65±0.14	0.2020	4.65± 0.07	0.2020	4.79± 0.02	0.2087
2	4.81± 0.09	0.2079	4.79± 0.25	0.2087	4.90± 0.07	0.2040	4.69± 0.01	0.2132
3	4.84± 0.07	0.2086	5.96± 0.71	0.1677	4.86± 0.20	0.2057	4.91± 0.01	0.2036
4	4.86± 0.07	0.2057	5.03± 0.26	0.1988	4.80± 0.35	0.2083	4.85± 0.01	0.2083
5	4.90± 0.07	0.2040	5.08± 0.13	0.1968	5.07± 0.22	0.1972	4.91± 0.02	0.2036

Tabla 5. Valores de periodos obtenidos de mediciones instrumentales  
Fuente: Autores, 2025.

Estos valores son comparados con los obtenidos de la ecuación que establece el código de diseño sismorresistente cubano para sistema estructural de pórticos de hormigón armado (NC 46:2017) (ver Ecuación 5).

#### **Ecuación 5.**

$$T_a = C_T (h_n)^x$$

dónde:

$C_T = 0.047$ ,  $X = 0.90$  y  $h_n$  (Altura total del edificio en metros, desde la base) = 14.90 m.

$T_a = 0.56$  segundos

Los resultados obtenidos en las mediciones instrumentales, en ambas direcciones, son inferiores a los valores empíricos propios de la tipología estructural, establecidos en la NC 46:2017, por lo que se puede suponer que la edificación no manifiesta cambios en su rigidez que pudieran afectar la seguridad estructural.

## **CONCLUSIONES**

La metodología de evaluación de la vulnerabilidad sísmica seleccionada permitió estimar el posible comportamiento de las edificaciones seleccionadas ante las acciones generadas por eventos naturales extremos que pueden ocurrir en la zona de emplazamiento, manifestándose como factores incidentes en el incremento de la vulnerabilidad los siguientes: las consideraciones de diseño que no clasifican en los códigos actuales, tipo de suelo del sitio y la tipología constructiva. Existe un porcentaje significativo en las zonas evaluadas con estimación de comportamiento inadecuado, como se puede observar en la tabla 3. Estos resultados deben ser considerados en la toma de decisiones con relación a medidas de reforzamiento estructural y las nuevas inversiones.

Por otro lado, se evaluaron 2 edificaciones consideradas de valor patrimonial en la ciudad de Santiago de Cuba, destinadas a usos religiosos ubicadas en el centro histórico urbano (1ra Iglesia Bautista e Iglesia El Calvario). La 1ra Iglesia Bautista, ubicada en el centro histórico urbano de la ciudad Santiago de Cuba, presenta estado técnico bueno y vulnerabilidad media con probabilidad de daños ligeros ante la ocurrencia de un evento sísmico, no obstante esta condición puede cambiar teniendo cuenta la configuración en planta que es irregular y la existencia de edificaciones aledañas con daños significativos que pueden afectar a la edificación en gran medida, además de la estructura nueva (mezanine), que se inserta en el primer nivel entrando a la izquierda por calle enramadas, cuyo comportamiento es diferente al de la estructura original. En esta iglesia se realizaron mediciones instrumentales con tecnología moderna (sismógrafo de fabricación rusa CME-4211ND) y los valores de periodos obtenidos fueron comparados con los que establece el código de diseño sismorresistente cubano (NC 46:2017). En este sentido los resultados obtenidos en ambas direcciones son inferiores a los valores empíricos propios de la tipología estructural, por lo que se puede suponer que la edificación no manifiesta cambios en su rigidez que pudieran afectar la seguridad estructural.

Así mismo, la iglesia El Calvario, ubicada en el paseo Martí de la ciudad Santiago de Cuba, presenta estado técnico bueno y vulnerabilidad media con probabilidad de daños ligeros ante la ocurrencia de un evento sísmico, no obstante, esta condición puede cambiar teniendo cuenta la

configuración en elevación y a la existencia de algunas características en su diseño que pudieran modificar su comportamiento, además de la probabilidad de golpeteo con edificaciones aledañas debido al adosamiento observado.

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

- Agafonov, V., Neeshpapa, A. & Shabalina, A. (2015). Electrochemical Seismometers of Linear and Angular Motion. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, 1–19. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5\\_403-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_403-1)
- Agafonov, V. Egorov, & Shabalina, A. (2014). Operating Principles and Technical Characteristics of a Small Sized Molecular–Electronic Seismic Sensor with Negative Feedback. *Seismic Instruments*, 50(1) 1–8.
- Álvarez, J.L., & Bune, V.I. (1977). Estimación de la peligrosidad sísmica de la región suroriental de Cuba. *Fizika Zemli*, 10, 54–67 (in Russian).
- Álvarez, L., T. Chuy, & Cotilla, M. (1991). Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional. *Revista Geofísica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, 35, 125–150.
- Arango, E.D.A. (2009). Análisis geodinámico y sismotectónico del extremo oriental de Cuba. *Acta GGM Debrecina* 4, 43–52.
- Cartapati, E. et. al. (1982). *Vulnerabilidad sísmica en zonas urbanas*. CUB.
- Conferencia de obispos católicos de Cuba. (2015). Iglesia Cubana. <https://iglesiacubana.org>
- Chuy, T.J. (1999). *Macrosísmica de Cuba y su utilización en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica*. Tesis Doctoral. MES & CENAIIS.
- El Mundo. (2023). Presos Italianos Restauran Iglesias. <https://alfayomega.es/presos-italianos-restauran-iglesias-danadas-en-el-terremoto/>
- Giraudy, N. & Morcate, F. (2010). Documentar la imagen urbana del casco histórico de Santiago de Cuba. UBC.
- Heubeck, C., & Mann, P. (1991). Geologic evaluation of plate kinematic models for the North American–Caribbean plate boundary zone. *Tectonophysics*, 191, 1–26.
- Huang, H., Carande, B., Tang, R., Oiler, J., Zaitsev, D., Agafonov, V. & Yu, H. (2013). Development of A Micro Seismometer Based on Molecular Electronic Transducer Technology for Planetary Exploration. In *Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2013)*, Taipei, Taiwan.
- Iglesias, J. (1989). *Evaluación de edificios de concreto en la ciudad de México, informe, Reporte interno*. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, Mexico 02200 DF.
- IRIS. (2023). miniSEED, Incorporated Research Institutions for Seismology. <https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/formats/miniseed/>
- La República. (2021). Terremoto en Amazonas. <https://larepublica.pe/sociedad/2021/11/28/terremoto-en-amazonas>
- Moreno, B., Grandison, M. & Atakan, K. (2002). Crustal velocity model along the southern Cuba margin. Implications for the tectonic regime at an active plate boundary. *Geophys. J. Int.* 151, 632–645.
- NC 46:2017. (2017). Oficina Nacional de Normalización. Construcciones Sismorresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción. La Habana, Cuba.
- Proakis, J. & Manolakis, D., (2007). *Digital Signal Processing* (4th edition). Prentice Hall.
- Revista Bohemia. (2023). Inicio. <https://bohemia.cu/>
- R-Sensors LLC. (2023). CME. <https://r-sensors.ru/en/products/seismometer/cme-431und-eng>
- Wathelet, M. (2011). Geopsy: Geophysical Signal Database for Noise Array Processing (Versión 2.9.0) [Programa computacional]. <http://www.geopsy.org>