

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de madera liviana del patrimonio edificado del casco histórico de Riobamba

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de madera liviana del patrimonio edificado del casco histórico de Riobamba

- ¹ Luis Alejandro Velastegui Cáceres  <https://orcid.org/0000-0002-6116-2412>
Carrera de Arquitectura, Universidad Nacional del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
lavelastegui@unach.edu.ec
- ² Fausto Andrés Lara Orellana  <https://orcid.org/0009-0006-4409-8638>
Carrera de Arquitectura, Universidad Nacional del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
fausto.lara@unach.edu.ec
- ³ Marcelo Alejandro Becerra Martínez  <https://orcid.org/0000-0003-3163-5802>
Carrera de Arquitectura, Universidad Nacional del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
marcelo.becerra@unach.edu.ec
- ⁴ Julia Desiree Velastegui Cáceres  <https://orcid.org/0000-0002-6825-0853>
Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador
jdvelastegui@espe.edu.ec
- ⁵ Alex Xavier Frías Torres  <https://orcid.org/0000-0002-0760-7396>
Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador
ax.frias@uta.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 21/02/2024

Revisado: 19/03/2024

Aceptado: 06/04/2024

Publicado: 02/05/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.1.480>

Cítese:

Velastegui Cáceres, L. A. ., Lara Orellana, F. A. ., Becerra Martínez, M. A., Velastegui Cáceres, J. D., & Frías Torres, A. X. (2024). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de madera liviana del patrimonio edificado del casco histórico de Riobamba. AlfaPublicaciones, 6(2.1), 103–118. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.1.480>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras**claves:**

edificaciones de
madera liviana,
vulnerabilidad
sísmica,
patrimonio
edificado

Resumen

Introducción: la investigación se enfoca en evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de madera liviana en el casco histórico de Riobamba. Esta tarea es crucial dada la importancia patrimonial de estas estructuras y la necesidad de comprender su respuesta ante eventos sísmicos para implementar medidas de protección adecuadas. **Objetivos:** el objetivo principal es crear una base de datos integral para estimar la probabilidad de daño de estas edificaciones frente a fuerzas sísmicas. Esto servirá como base para implementar estrategias de protección y reforzamiento estructural a nivel urbano, preservando así las estructuras históricas y garantizando la seguridad de los habitantes ante futuros eventos sísmicos. Esta investigación también contribuirá al desarrollo de políticas públicas dirigidas a la gestión del riesgo sísmico en áreas urbanas históricas. **Metodología:** utilizando un enfoque metodológico integral, se clasifican las edificaciones según su sistema constructivo, basándose en el marco de *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), y en fichas patrimoniales del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC). Estos documentos proporcionan información crucial como año de construcción, estado de conservación y materialidad. A partir de esta clasificación, se asignan niveles de vulnerabilidad considerando factores como el año de construcción y el estado de conservación. Se elaboran curvas de capacidad y fragilidad específicas para cada tipología de edificación, lo que permite estimar la probabilidad de daño ante un sismo y prever los posibles estados de daño, desde leves hasta completos. **Resultados:** Las estructuras con tipología W1-PRE, a pesar de estar construidas en madera, la probabilidad de daño que se encontró es moderada, especialmente debido a su diseño como marcos livianos y su limitación a uno o dos pisos. Esta característica las hace más susceptibles a las fuerzas sísmicas y otros tipos de tensiones. **Conclusiones:** Mediante la revisión bibliográfica se llegó a comprender la importancia de salvaguardar las edificaciones patrimoniales por ser de vital importancia por la carga de cultura y memoria que llevan consigo. Se identificó que una de las formas de encaminar la protección de edificaciones patrimoniales pertenecientes al centro histórico de Riobamba es mediante la aplicación de métodos probabilísticos que ayuden a comprender el comportamiento de las estructuras ante una acción sísmica, y se

pueda estimar las probabilidades de daño que tendrían las edificaciones estudiadas. **Área de estudio general:** Ingeniería Sísmica. **Área de estudio específica:** Vulnerabilidad sísmica. **Tipo de estudio:** original, revisión bibliográfica.

Keywords:

Lightweight wooden structures, seismic vulnerability, built heritage

Abstract

Introduction: The research focuses on evaluating the seismic vulnerability of light wood buildings in the historic center of Riobamba. This task is crucial given the heritage importance of these structures and the need to understand their response to seismic events to implement appropriate protection measures. **Objectives:** The main goal is to create a comprehensive database to estimate the probability of damage to these buildings against seismic forces. This will serve as a basis for implementing protection and structural reinforcement strategies at the urban level, thus preserving historical structures, and ensuring the safety of inhabitants against future seismic events. This research will also contribute to the development of public policies aimed at managing seismic risk in historical urban areas. **Methodology:** Using a comprehensive methodological approach, buildings are classified according to their construction system, based on the framework of the Federal Emergency Management Agency (FEMA), and on heritage records from the National Institute of Cultural Heritage (INPC). These documents provide crucial information such as year of construction, conservation status, and materials used. Based on this classification, vulnerability levels are assigned considering factors such as year of construction and conservation status. Specific capacity and fragility curves are developed for each building typology, allowing for the estimation of the probability of damage from a seismic event and anticipating damage states, from mild to complete. **Results:** Structures with W1-PRE typology, despite being constructed in wood, were found to have moderate probability of damage, especially due to their design as lightweight frames and their limitation to one or two stories. This characteristic makes them more susceptible to seismic forces and other types of stresses. **Conclusions:** Through literature review, the importance of safeguarding heritage buildings was understood due to the cultural and historical significance they carry. It was identified that one way to protect heritage buildings in the historical center of Riobamba is through the application of probabilistic methods to understand the

behavior of structures during seismic events and to estimate the probabilities of damage to the studied buildings. **General Study Area:** Seismic Engineering. **Specific Study Area:** Seismic Vulnerability. **Study Type:** Original, Literature Review.

Introducción

El patrimonio cultural es la carta de presentación e identificación de los pueblos o naciones y la herencia o legado cultural del pasado preservada hasta la actualidad y transmitida entre generaciones, se ha convertido en el testigo de la relación entre la gente con la historia del lugar; el patrimonio cultural lleva consigo el desarrollo político, arquitectónico, social, y económico de un sitio para cada periodo de tiempo (Ortega et al., 2017).

Los centros históricos constituyen la parte más antigua y emblemática de las ciudades. Se considera como el núcleo del planeamiento urbano y el lugar en el cual se erigen las primeras edificaciones de su territorio, incluido los espacios para las actividades comerciales, administrativas, religiosas, entre otras (Espinosa, 2005). Guarda la esencia de la ciudad, ya que es el punto de partida de su trazado, parcelario y de la disposición de los equipamientos y todos sus espacios representan lo que en algún momento de la historia fue su máxima extensión.

La historia del Ecuador conserva una amplia herencia arquitectónica, ejemplo de esto son los centros históricos de Quito, Guayaquil, Cuenca y Riobamba, que conservan casonas, iglesias y edificios coloniales e históricos de una elevada carga simbólica y cultural que son dignos de conservar y preservar en el tiempo para la memoria y conocimiento colectivo (Jiménez et al., 2018).

Las edificaciones patrimoniales del Ecuador en su mayoría poseen un sistema estructural en base a muros de carga, los mismo que están conformados por un sistema constructivo vernáculo, esto quiere decir que pertenece al sistema tradicional de tierra cruda como materia prima para la elaboración de las edificaciones. De estos sistemas constructivos los más usados en Ecuador son: adobe, bahareque y tapial (Tituano et al., 2022).

El centro histórico de la ciudad de Riobamba, desde su reasentamiento en el año de 1799 nace en la primera ciudad planificada del Ecuador (Cunalata & Caiza, 2022). En su polígono urbano alberga edificaciones con diferentes estilos arquitectónicos entre los cuales resaltan el neogótico, neoclásico, ecléctico, barroco, republicano, entre otros. Cabe señalar que es considerado como un centro histórico relativamente joven y de dimensiones pequeñas.

El centro histórico de Riobamba comprende una extensión de 73 hectáreas, está conformada por tres categorías, Bienes Inmuebles: viviendas, hoteles, haciendas, colegios y escuelas; Equipamientos Urbanos: plazas y parques; y Conjuntos Urbanos: conjunto de bienes inmuebles. En base a la información oficial mencionada y la investigación de campo realizada por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC, 2007), se identificaron 372 registros de bienes inmuebles patrimoniales dentro del Centro Histórico distribuidos de la siguiente manera: 194 registros dentro de la zona denominada como: Área de Protección de Primer Orden; y 178 registros dentro de la zona denominada como: Área de Respeto. Los 372 registros dentro del Centro Histórico incluyen 359 Bienes Inmuebles, 4 Equipamientos Urbanos y 9 Conjuntos Urbanos.

La ciudad de Riobamba se encuentra ubicada en la cordillera de los Andes, cuenta con la presencia de varios volcanes peligrosamente activos y la falla geológica de Pallatanga generada por la subducción de las placas tectónicas y que está a aproximadamente 10 km de la ciudad. Por esta razón se genera una continua actividad sísmica en su entorno. La Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015), sitúa a Riobamba en una zona catalogada como de alto peligro sísmico; es decir, en la zona V, catalogada como zona de alta peligrosidad sísmica con un valor de aceleración máxima en roca $Z= 0.4 g$.

Históricamente, las construcciones hechas en tierra han sufrido la acción de diversos sismos, demostrando un mal comportamiento frente a este tipo de eventos naturales. Cuando este tipo de estructuras se ve sobrepasado por las fuerzas sísmicas, presentan un colapso súbito debido a la fragilidad del material (González, 2020).

Los principales factores que afectan la vulnerabilidad en las edificaciones de tipo vernácula son: falta de verticalidad en los muros, la humedad, escasa resistencia a flexión en los muros producto de la baja resistencia a tracción del material, la irregularidad en planta y altura, el bajo o nulo mantenimiento de estas construcciones, entre otros (Rivera, 2012). Las edificaciones estructuradas con este sistema en base a tierra trabajan de manera conjunta aportando al equilibrio del edificio, por tanto, si uno de los elementos llega a fallar puede comprometer la totalidad de la estructura y provocar un colapso (Barahona & Mora, 2003). Esto debido a que en tiempos pasados no se utilizaba ningún criterio de diseño sismorresistente para las edificaciones.

Cabe mencionar que, en lugares con característica de alto peligro sísmico, los estudios de vulnerabilidad sísmica son de mucha importancia para la definición de lineamientos y estrategias que aporten a la toma de decisiones en los planes de reducción o mitigación ante posibles desastres naturales (Cunalata & Caiza, 2022). Con ello es factible realizar la planeación adecuada de un sector específico, así como para la creación de herramientas o métodos para futuras intervenciones, rehabilitaciones o reforzamientos estructurales (Salazar-Silva et al., 2024). Así también, mediante los estudios de vulnerabilidad se identifica el comportamiento de las construcciones ante eventos sísmicos de diversas

proporciones y magnitudes y a la vez se estima el grado de daño que pudieran alcanzar. El análisis de la vulnerabilidad relaciona probabilísticamente una unidad de intensidad sísmica con una unidad de daño en la edificación o conjunto de edificaciones.

Por esta razón, se genera la necesidad de identificar y cuantificar la probabilidad de daño que se espera ante un evento sísmico, para de esta forma proponer planes de mitigación y contingencia ante posibles movimientos telúricos.

Metodología

La metodología que se utiliza en esta investigación es de tipo probabilística, mediante el sistema *Federal Emergency Management Agency* (FEMA, 2020), el mismo que corresponde a una metodología de estimación del riesgo basada en datos alfanuméricos con el apoyo de los sistemas de información geográfica, y es utilizada para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones. La metodología FEMA (2020) se sugiere para efectuar evaluaciones a escala global, puesto que la mayoría de los datos requeridos para el análisis estructural se pueden recopilar fácilmente a través de una visita de campo a los edificios a evaluarse.

Se procede a la recopilación de datos de las edificaciones con el propósito de establecer una base de datos que agrupe todos los parámetros necesarios para el desarrollo de la metodología. Esta recopilación comienza con la creación de un mapa que presenta la ubicación de las edificaciones.

Además de la información de la localización, se reúnen datos relacionados con las propiedades de las edificaciones que serán evaluadas, como el tipo de material utilizado en las paredes, el sistema estructural, el material de la cubierta, el año de construcción, el estado de conservación, y el número de pisos. Esta información se recopila con el propósito de clasificar las edificaciones en grupos adecuados que facilitarán la asignación de su respectiva tipología.

Identificación de las tipologías constructivas y asignación de la vulnerabilidad

La asignación de las tipologías constructivas se realiza en función del número de pisos y del sistema estructural, donde se asigna un código a cada edificación, tomando en cuenta los parámetros propuestos por FEMA. La tipología que se evalúa en esta investigación es la W1. En este tipo de tipología se considera típicamente viviendas unifamiliares o pequeñas viviendas multifamiliares con una superficie de piso que no supera los 465 metros cuadrados. La característica estructural esencial de estos edificios es un armazón repetitivo compuesto por vigas o soleras de madera en paredes de madera. Las cargas son ligeras y las luces son pequeñas. Estos edificios pueden tener chimeneas de mampostería relativamente pesadas y pueden estar parcial o completamente revestidos de mampostería. La mayoría de estos edificios, especialmente las viviendas unifamiliares,

no son diseñados por ingenieros, pero se construyen de acuerdo con las disposiciones de "construcción convencional" de los códigos de construcción (FEMA, 2020).

Clasificación considerando el nivel de diseño

El nivel de diseño de una edificación se determina en función del año en que fue construida. En este caso, se estableció una clasificación de niveles de diseño que presenta algunas diferencias con respecto a la metodología FEMA (2020). Estas diferencias se justifican considerando la aplicación de los códigos y normas de construcción locales vigentes en el país, asumiendo que las estructuras se diseñaron y construyeron siguiendo dichos requisitos. Proponemos cuatro categorías de nivel de diseño: PRE, LOW, MOD y HIGH.

De acuerdo con la información mencionada, se definen los siguientes niveles de diseño:

- PRE: Antes del código, para edificaciones construidas antes de 1951.
- LOW: Código bajo, para edificaciones construidas entre 1951 y 1976.
- MOD: Código moderado, para edificaciones construidas entre 1977 y 2001.
- HIGH: Código alto, para edificaciones construidas después de 2001.

Además de la clasificación otorgada según el nivel de diseño, se toma en cuenta el estado de conservación de la edificación. Para la evaluación, se aplica las siguientes sanciones que se especifica en la tabla 1.

Tabla 1

Penalización para el nivel de diseño

Código	Estado de conservación	Nivel de diseño	
		Por código	Penalización
Anterior a 1951	Muy bueno	Pre	
	Bueno	Pre	
	Regular	Pre	
	Malo	Pre	
1952-1976	Muy bueno	Low	
	Bueno	Low	
	Regular		Pre
	Malo		Pre
1977-2001	Muy bueno	Mod	
	Bueno	Mod	
	Regular		Low
	Malo		Low

Tabla 1

Penalización para el nivel de diseño (continuación)

Código	Estado de conservación	Nivel de diseño	
		Por código	Penalización
2002-2023	Muy bueno	High	
	Bueno	High	
	Regular		Mod
	Malo		Mod

Fuente: Tomado de FEMA (2020)

Posterior al análisis descrito se debe incorporar las codificaciones respectivas de la fase uno y dos; mediante este proceso se categoriza a cada una de las edificaciones según las tipologías descritas para la zona de estudio.

Curvas de capacidad

Las curvas de capacidad generadas mediante la implementación de la metodología Hazus para cada tipología se originan a partir de un análisis *pushover*. Este análisis se realiza mediante un enfoque estático no lineal que relaciona el cortante basal (V) con el desplazamiento experimentado en el último piso o cubierta del edificio. La capacidad de la estructura depende de la resistencia y la deformación máxima de sus elementos individuales. Esta curva se construye a través de una superposición de varios análisis elásticos en los que la estructura se somete a diferentes patrones de carga hasta que entra en el rango plástico. El resultado de este proceso se asemeja a un diagrama, y este resultado se traduce en la curva de capacidad de la estructura (Parra, 2016).

Curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad se definen como la representación gráfica y representan un estimado de la probabilidad de la función acumulativa de alcanzar o exceder un estado de daño producido por un movimiento sísmico o una falla del suelo.

Dentro de la metodología Hazus, se describe la fragilidad como la probabilidad condicional de superar un estado de daño específico (ds) cuando se conoce un desplazamiento espectral dado (Sd). De acuerdo con esta metodología, las curvas de fragilidad siguen una distribución acumulativa de probabilidad de tipo log-normal, lo que permite su definición en función de dos parámetros, representados por la desviación estándar y el valor medio del desplazamiento global (Chávez, 2016).

Estimación del grado de daño

Luego de realizar la caracterización de la zona de estudio acorde a la peligrosidad sísmica, la identificación y asignación de tipologías constructivas del conjunto de bienes inmobiliarios, la identificación de curvas de capacidad y el cálculo de las demandas de desplazamiento, se puede estimar el grado de daño de las edificaciones. Esto es posible mediante el uso de las curvas de fragilidad asignada a cada una de las tipologías existentes y puede desencadenar en uno de los posibles estados de daño propuestos por FEMA (2020), cuyas definiciones son las siguientes:

- Nulo: No se observa ningún tipo de daño en la edificación.
- Leve: El daño en la edificación es de intensidad mínima, siendo prácticamente insignificante.
- Moderado: Se presenta un daño estructural ligero, mientras que el daño no estructural es significativo.
- Extensivo: El daño estructural es moderado y el daño no estructural es notable.
- Completo: En este escenario, tanto el daño estructural como el no estructural es muy significativo.

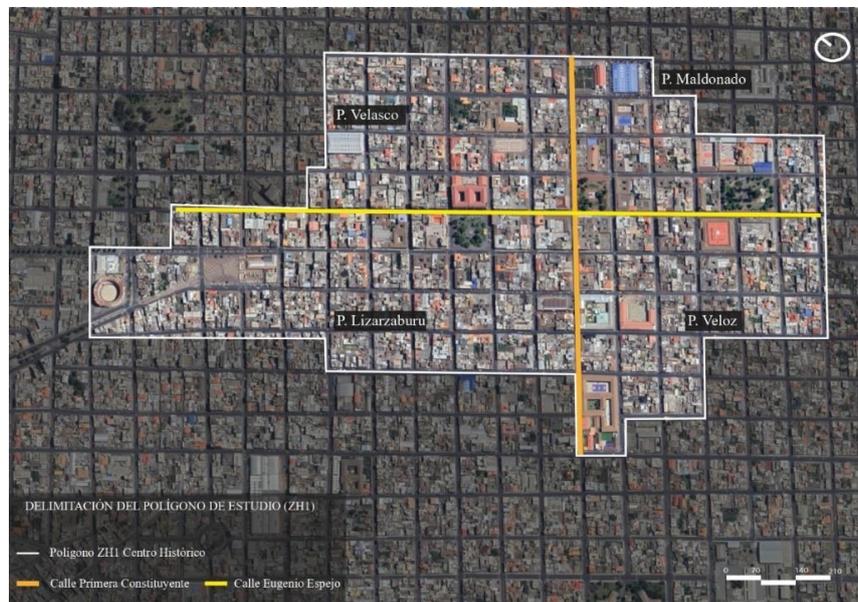
Resultados

El Consejo Municipal del Cantón Riobamba, en su ordenanza Nro. 016-2020, delimita las áreas e intervenciones de bienes inmuebles considerando como zona histórica al polígono ZH1 por poseer el mayor porcentaje de las edificaciones con carácter patrimonial de la ciudad, y por esta razón se trabaja en este polígono (Municipio de Riobamba, 2020).

El polígono ZH1 (Centro Histórico) es el área en donde se efectuará el estudio de vulnerabilidad sísmica para las edificaciones patrimoniales.

Figura 1

Delimitación del polígono de estudio (ZH1)



Fuente: Municipio de Riobamba (2020)

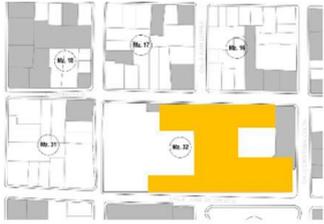
En base a la lectura de las fichas patrimoniales levantadas por el INPC y corroboradas en campo, se identifica que el centro histórico de Riobamba cuenta con un total de 144 manzanas y 387 bienes inmuebles registrados.

Para la recopilación de datos de las características de las edificaciones se partió de la lectura de las fichas elaboradas por el INPC, se optó por trabajar con las fichas del INPC. Estas fichas contienen información valiosa en cuanto a cada construcción como son: localización, uso, propietario, tipología constructiva, año de construcción, número de pisos, descripción de la fachada, descripción de la estructura, estado de conservación, tipos de intervención, grado de protección, descripción breve, observaciones generales, anexos fotográficos y cuadro de patologías.

A continuación, se ejemplifica el procedimiento realizado con una de las edificaciones para llegar a determinar su tipología, vulnerabilidad y nivel de diseño, todo esto importante a la hora de obtener las curvas de capacidad para las tipologías en estudio. En la tabla 2, se muestra la ficha del bien desarrollada por el equipo de trabajo.

Tabla 2

Ejemplo ficha de registro con información de cada patrimonio edificado

Clave catastral	060103001002013001	N* Manzana INPC	32
Ubicación	Argentinos, Colón	N* de registro INPC	052
			
Materialidad		Año de construcción	1889
Cimiento	Piedra	Número de pisos	3
Muros	Piedra y ladrillo mambrón	Estado de conservación	Bueno
Cubierta	Madera y teja	Tipo de construcción	Muros portantes de adobe y/o ladrillo
Tipología Hazus		Vulnerabilidad + Nivel de diseño	
Mampostería de muros de carga no reforzada		URMM_PRE	

Para esta muestra se toma como referencia el registro N° 52 del INPC, edificación situada en la manzana N° 32, calles Cristóbal Colon entre José Orozco y Argentinos. Las características de esta edificación se tomaron de las fichas y corroboradas en sitio, en base a la materialidad del sistema estructural que corresponde a: cimiento de piedra y muros portantes de ladrillo mambrón. Por lo que se determinó que su sistema constructivo es tradicional con presencia de muros de carga.

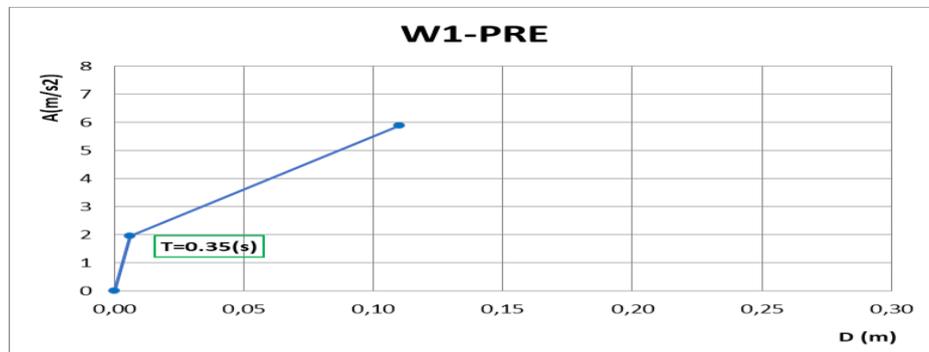
Esta categorización se la realizó a cada una de las 387 edificaciones a evaluar dentro del polígono de estudio, como resultado se encontró que la tipología predominante en el área de estudio es la W1 PRE con un total de 35 edificaciones.

Se procedió con el cálculo de las curvas de capacidad, para lo cual se toma los valores correspondientes a cada tipología de las tablas 5-9 y 5-10 del *Hazus Earthquake Model Technical Manual*; y a la vez se obtiene el valor del periodo natural (T).

A continuación, se muestran la curva de capacidad acorde a su vulnerabilidad y nivel de diseño:

Figura 2

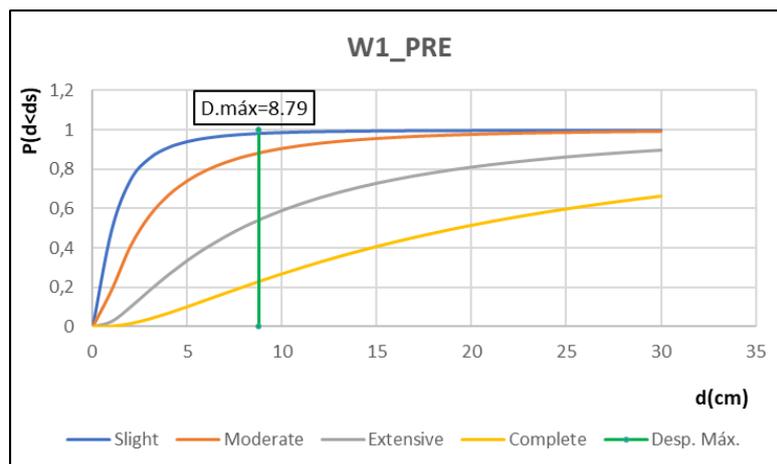
Curva de capacidad para estructuras tipo W1 (marcos de madera liviana) de uno y dos pisos y nivel de diseño



Para el cálculo del estado de daño esperado en cada uno de los grupos de vulnerabilidad, es necesario apoyarse de las curvas de fragilidad propuestas por FEMA (2020).

Figura 3

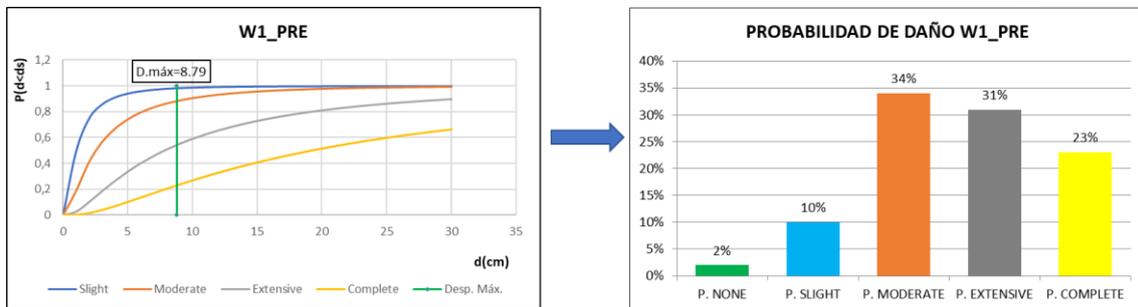
Curva de fragilidad de la tipología W1 PRE



Para estimar la probabilidad de daño, se obtuvo la relación entre el desplazamiento global (δ) determinado mediante el método de coeficiente de desplazamiento mejorado y la curva de fragilidad. La escala de estados de daño que se adopta para este estudio es propuesta por FEMA (2020), la misma que establece el siguiente rango: nulo, leve, moderado, extenso y completo. En la figura 4 se observa los resultados de la relación de vulnerabilidad.

Figura 4

Estimación de la probabilidad de daño de la tipología W1 de vulnerabilidad en el polígono de estudio



Las estructuras W1-PRE pese al ser estructuras de madera, por ser marcos livianos y poseer uno o dos pisos, presenta su mayor porcentaje de probabilidad de alcanzar el estado de daño moderado, juntamente con las estructuras de muros de carga no reforzados URMM de uno o dos pisos con clasificación PRE y LOW, ya que dichas estructuras requieren valores más elevados de aceleración para alcanzar el límite elástico.

Conclusiones

- Se analizó minuciosamente las edificaciones para determinar el sistema estructural de cada una de ellas, los parámetros evaluados fueron, materialidad del sistema estructural, tipo de construcción, número de pisos, año de construcción y estado de conservación.
- Las estructuras W1-PRE pese al ser estructuras de madera, por ser marcos livianos y poseer uno o dos pisos, presenta su mayor porcentaje de probabilidad de alcanzar el estado de daño moderado con un 34% a comparación de las otras probabilidades con un espectro de diseño de 475 años.
- La conservación de los bienes inmuebles patrimoniales debe ser permanente, ya que son parte significativa del patrimonio cultural y de la memoria colectiva de la ciudad de Riobamba, por tanto, se recomienda partir de los resultados del presente estudio para realizar planes y lineamientos que apunten al reforzamiento estructural de las edificaciones estudiadas.
- Los estudios de vulnerabilidad sísmica en los centros históricos y edificaciones patrimoniales con la aplicación de la metodología Hazus son escasos a nivel nacional. En este sentido, se sugiere considerar este estudio como el inicio para aplicar este método en los centros históricos más significativos del país que presenten una peligrosidad sísmica elevada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

Referencias Bibliográficas

- Barahona, D., & Mora, S. (2003). Espectros de diseño locales para la ciudad de Riobamba a partir de mediciones de vibración ambiental. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 18(1), 43-68.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/559>
- Chávez, B. (2016). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad de Quito - Ecuador y riesgo de pérdida [Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador],
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16537>
- Cunalata, F., & Caiza, P. (2022). Estado del arte de estudios de vulnerabilidad sísmica en Ecuador. *Revista Politécnica*, 50(1), 55-64.
<https://doi.org/10.33333/rp.vol50n1.06>
- Espinosa, S. (2005). Centros históricos ¿herencia del pasado o construcción del presente? Agentes detonadores de un nuevo esquema de ciudad. *Scripta Nova, Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 9(194), 1-13.
<https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/955>
- Federal Emergency Management Agency [FEMA]. (2020). Multi-hazard Loss Estimation Methodology Hazus®-MH 2.1. Washington, DC: U.S. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency.
https://www.fema.gov/sites/default/files/202010/fema_hazus_earthquake_technical_manual_4-2.pdf
- González, G. (2020). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del patrimonio cultural chileno: estudio de iglesias patrimoniales de Valparaíso [Tesis de Ingeniería, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/179444>
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural [INPC]. (2007). Subproceso inventario, registro y catalogación Inventario de Bienes Inmuebles ciudad de Riobamba.
<https://mail.inpc.gob.ec/pdfs/Publicaciones/Ciudades%20Patrimoniales/Expendiente-Inventario%20Riobamba.pdf>
- Jiménez, J., Cabrera, J., Sánchez, J., & Avilés, F. (2018). Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado del centro histórico de la ciudad de Cuenca: Lineamientos

generales y avances del proyecto. *Maskana*, 9(1), 59-78.
<https://doi.org/10.18537/mskn.09.01>

Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC]. (2015). Riesgo sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras (NEC-SE-RE).
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-RE-Riesgo-s%C3%ADsmico.pdf>

Municipio de Riobamba. (2020). Ordenanza Nro. 016-2020.
http://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=ordenanzas&download=2328

Ortega, J., Vasconcelos, G., Rodríguez, H., Correia, M., & Lourenço, P. (2017). Traditional earthquake resistant techniques for vernacular architecture and local seismic cultures: A literature review. *Journal of Cultural Heritage*, 27, 181-196.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.015>

Parra, H. (2016). Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39353>

Rivera, J. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 164-181.
<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8763/6974>

Salazar-Silva, I. Y., Gavidia-Mejía, J. R., Luna-Machado, S. G., & Buitrago-Ricaurte, D. H. (2024). Análisis histórico y determinación de los muros que conforman al patrimonio inmueble del centro histórico de Riobamba, Ecuador. *Revista Científica Ingeniar: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 7(13 Ed. esp.), 75-91.
<https://doi.org/10.46296/ig.v7i13edespmar.0174>

Tituano, J., Sacón, R., Giler, B., & Párraga, J. (2022). Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: una revisión. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(4), 53.
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3875>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.

