

ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE UN ÍNDICE PARA LA ARQUITECTURA DE LAS IGLESIAS DE LA RUTA FRANCISCANA EN JALISCO, MÉXICO.

ANALYSIS AND VALIDATION OF AN INDEX FOR THE ARCHITECTURE OF THE CHURCHES OF THE FRANCISCAN ROUTE IN JALISCO, MEXICO.

Fabiola Colmenero Fonseca^{1,2,3}; Javier Cárcel Carrasco ^{1,2}; Adolfo Preciado Quiroz⁵ ; Andrés Salas Montoya⁵; Ramiro Rodríguez Pérez^{1,2,4}
Instituto de Tecnología de Materiales¹; Universitat Politècnica de València²; Universidad La Salle³ ;
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzman⁴;Departamento de Ingeniería Civil Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Edificación⁵

INTRODUCCIÓN

Las iglesias de la Ruta Franciscana, construidas entre los siglos XVI y XVII, son un patrimonio cultural invaluable por su importancia histórica, artística y religiosa (Esponda P. et al., 2009). Sin embargo, su antigüedad, técnicas constructivas antiguas y falta de mantenimiento las hacen vulnerables a sismos, poniendo en riesgo tanto su integridad como la seguridad de sus usuarios (Preciado A. et al., 2007).Este estudio evalúa la vulnerabilidad arquitectónica y estructural de 15 iglesias clave de la Ruta Franciscana en Jalisco, México. seleccionadas como caso representativo debido a su antigüedad, métodos de construcción tradicionales y mantenimiento deficiente en un contexto de alta actividad sísmica. Los resultados facilitarán la conservación de estas iglesias, priorizando intervenciones de refuerzo y mitigación. La metodología también es aplicable a otros sitios históricos en zonas sísmicas, contribuyendo a la preservación global del patrimonio cultural. Los hallazgos confirman la eficacia del índice propuesto para priorizar intervenciones, enfatizando la necesidad de estrategias de conservación preventiva basadas en datos precisos, tecnologías avanzadas y metodologías replicables.

INTRODUCTION

The churches of the Franciscan Route, built between the sixteenth and seventeenth centuries, are an invaluable cultural heritage due to their historical, artistic and religious importance (Esponda P. et al., 2009). However, their age, old construction techniques, and lack of maintenance make them vulnerable to earthquakes, putting both their integrity and the safety of their users at risk (Preciado A. et al., 2007). This study assesses the architectural and structural vulnerability of 15 key churches on the Franciscan Route in Jalisco, Mexico. selected as a representative case due to their age, traditional construction methods and poor maintenance in a context of high seismic activity. The results will facilitate the conservation of these churches, prioritizing reinforcement and mitigation interventions. The methodology is also applicable to other historical sites in seismic zones, contributing to the overall preservation of cultural heritage. The findings confirm the effectiveness of the proposed index for prioritizing interventions, emphasizing the need for preventive conservation strategies based on accurate data, advanced technologies and replicable methodologies.

OBJETIVOS

El estudio analiza la vulnerabilidad sísmica de 15 iglesias de la Ruta Franciscana, construidas entre los siglos XVI y XVII, utilizando un índice calibrado para evaluar sus características estructurales y arquitectónicas. Destaca la urgencia de implementar tecnologías avanzadas como monitoreo en tiempo real, escaneo láser 3D y microchips para intervenciones precisas y no invasivas. Además, promueve el uso de datos abiertos para mejorar la colaboración entre expertos. Este enfoque metodológico ofrece un modelo replicable para proteger sitios históricos en regiones sísmicas, priorizando estrategias de refuerzo estructural y garantizando la preservación del patrimonio cultural.

Objetives

The study analyzes the seismic vulnerability of the 15 churches of the Franciscan Route, built between the sixteenth and seventeenth centuries, using a calibrated index to evaluate their structural and architectural characteristics. It highlights the urgency of implementing advanced technologies such as real-time monitoring, 3D laser scanning and microchips for precise and non-invasive interventions. In addition, it promotes the use of open data to improve collaboration between experts. This methodological approach offers a replicable model for protecting historic sites in seismic regions, prioritizing structural reinforcement strategies and ensuring the preservation of cultural heritage.

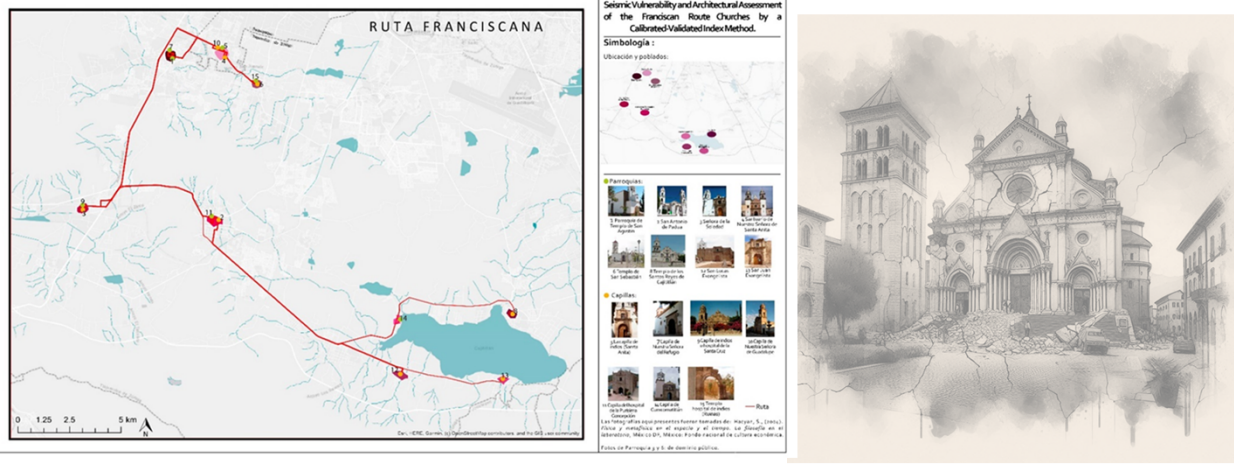


Imagen 1. Ruta Franciscana en Jalisco, México
Image 1. Franciscan Route in Jalisco, Mexico

METODOLOGIA / METHODOLOGY

El estudio evalúa la vulnerabilidad sísmica de las iglesias de la Ruta Franciscana mediante un índice diseñado específicamente para estructuras históricas. Este índice se basa en parámetros arquitectónicos y estructurales críticos para determinar el riesgo sísmico. El proceso incluye cinco etapas:

- Identificación de parámetros clave: Se consideran aspectos como calidad de materiales, tipo de mampostería, configuración de las paredes, refuerzos y estado de conservación (Ramírez Eudave & Ferreira, 2024).
- Desarrollo del índice: Se asignan puntuaciones a cada parámetro según su impacto en la estabilidad estructural, ajustando su peso relativo (Preciado A. et al., 2007).
- Calibración del índice: Utiliza datos históricos y casos reales para ajustar las ponderaciones y correlacionar con daños observados en sismos previos (Yamin L. et al., 2007).
- Validación del índice: Se compara con inspecciones y estudios estructurales detallados para garantizar precisión y realizar ajustes (Chica & Fuertes, 2018).
- Aplicación del índice: Se evalúan las iglesias asignándoles una puntuación que refleja su vulnerabilidad, facilitando la priorización de intervenciones de conservación (Feilden Sir B., 1987). Este enfoque permite identificar y priorizar medidas de protección y refuerzo estructural de manera efectiva.

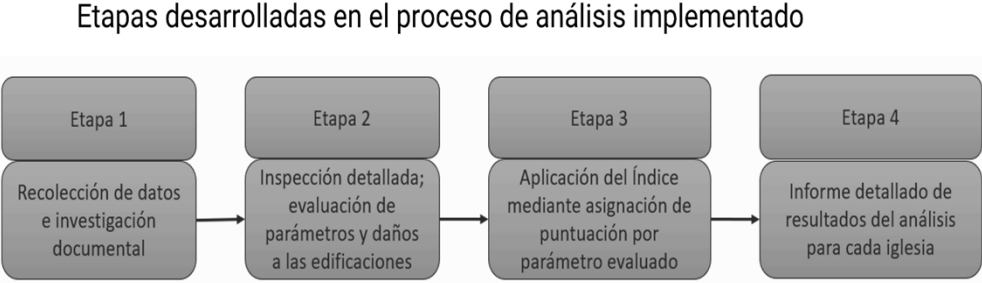


Imagen 5. Diagrama de Procedimiento de Analisis
Image 5. Analysis Procedure Diagramic

ANALYSIS PROCEDURE

The analysis procedure to assess the seismic vulnerability of the churches of the Franciscan Route is carried out in several systematic stages. First, data preparation and collection is carried out, which includes the review of relevant historical documentation about each church and a preliminary visual inspection to identify areas of deterioration and critical architectural elements (Chica & Fuertes, 2018; Feilden Sir B., 1987).

RESULTADOS

La evaluación de las iglesias de la Ruta Franciscana, utilizando un índice calibrado y validado, ha revelado una variabilidad considerable en los niveles de vulnerabilidad sísmica entre las diferentes estructuras. Los resultados del análisis han permitido clasificar las iglesias en tres niveles de riesgo según las puntuaciones obtenidas. Las iglesias de alto riesgo, como la Iglesia de San Francisco y la Iglesia de Santo Domingo, presentan puntuaciones elevadas, indicando un riesgo significativo de daño durante eventos sísmicos debido a problemas críticos como daños extensos en la mampostería y falta de refuerzos estructurales (Preciado A. et al., 2007).

RESULTS

The evaluation of the churches of the Franciscan Route, using a calibrated and validated index, has revealed considerable variability in the levels of seismic vulnerability between the different structures. The results of the analysis have made it possible to classify the churches into three risk levels according to the scores obtained. High-risk churches, such as the Church of San Francisco and the Church of Santo Domingo, present high scores, indicating a significant risk of damage during seismic events due to critical issues such as extensive masonry damage and lack of structural reinforcements (Preciado A. et al., 2007).

Iglesia	Patrón Arquitectónico	Materiales Principales	Características Sísmicas	Notas Adicionales
Parroquia de Templo de San Agustín	Diseño en planta de cruz latina con nave central y ábside.	Mampostería de piedra volcánica y ladrillo.	Paredes con fisuras significativas; bóvedas en riesgo.	Requiere refuerzo en bóvedas y revisión de fisuras en paredes.
Capilla de Nuestra Señora del Refugio	Planta rectangular simple con ábside semicircular.	Mampostería de adobe y mortero.	Daños moderados en mampostería; falta de refuerzos.	Necesita intervención para consolidar muros y refuerzos estructurales.
Santuario de Nuestra Señora de Santa Anita	Planta de cruz latina con transepto y ábside semicircular.	Mampostería de piedra y madera en techos.	Estado estructural general aceptable; algunas fisuras.	Recomendación de mantenimiento preventivo y refuerzo de techos.
Capilla de Indios Santa Anita	Diseño sencillo con nave única y ábside plano.	Mampostería de adobe y madera.	Severos daños en paredes de adobe; riesgo alto.	Urgente necesidad de restauración y refuerzo de paredes de adobe.
Templo de San Sebastián	Planta de cruz latina con bóvedas de cañón.	Mampostería de piedra y ladrillo.	Paredes con fisuras menores; bóvedas con daños.	Refuerzos necesarios para bóvedas y consolidación de paredes.
Templo Hospital de Indios (Ruinas)	Restos de planta rectangular con nave central.	Mampostería de piedra y adobe en estado deteriorado.	Alta vulnerabilidad; estructura muy dañada.	Proyecto de restauración urgente para preservar los restos.
Parroquia Señora de la Soledad	Planta de cruz latina con transepto y bóvedas de cañón.	Mampostería de piedra y ladrillo.	Estado general bueno con algunas fisuras.	Inspección continua recomendada y mantenimiento de fisuras.

Imagen 6. Tabla de algunos resultados
Image 6. Table of some results

PROCESO DE CALIBRACION Y VALIDACION

El proceso de calibración y validación del índice para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las iglesias de la Ruta Franciscana es esencial para garantizar la precisión y fiabilidad de las evaluaciones.

CALIBRATION AND VALIDATION PROCESS

The process of calibration and validation of the index to assess the seismic vulnerability of the churches of the Franciscan Route is essential to ensure the accuracy and reliability of the assessments.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Para realizar un análisis estructural y arquitectónico exhaustivo de las iglesias de la Ruta Franciscana, se han establecido criterios específicos que evalúan su vulnerabilidad sísmica, divididos en criterios estructurales y arquitectónicos. Los criterios estructurales incluyen la calidad de los materiales, donde se examinan la resistencia a la compresión y la cohesión del mortero, así como la presencia de signos de deterioro o degradación, factores críticos para la capacidad de las estructuras para resistir movimientos sísmicos (Preciado A. et al., 2007).

EVALUATION CRITERIA

In order to carry out an exhaustive structural and architectural analysis of the churches of the Franciscan Route, specific criteria have been established to evaluate their seismic vulnerability, divided into structural and architectural criteria. Structural criteria include the quality of the materials, where the compressive strength and cohesion of the mortar are examined, as well as the presence of signs of deterioration or degradation, critical factors for the ability of structures to resist seismic movements (Preciado A. et al., 2007).

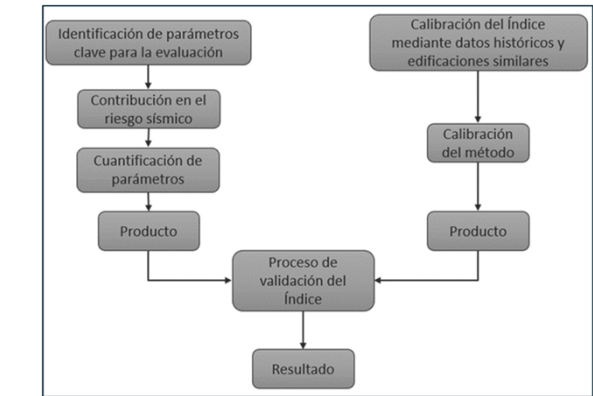


Imagen 2. Diagrama Metodológico
Image 2. Methodological Diagram

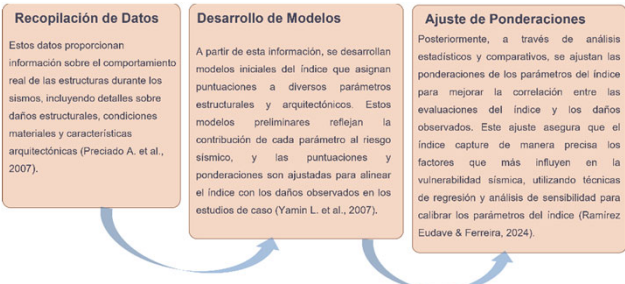


Imagen 3. Diagrama proceso de Calibración y validación
Image 3. Calibration and validation process diagram

Criterio	Descripción
Calidad de los Materiales	Se examinan la resistencia a la compresión y la cohesión del mortero, así como la presencia de signos de deterioro o degradación.
Configuración de las Paredes y Refuerzos	Se evalúa el grosor, altura y disposición de las paredes, así como la presencia y calidad de contrafuertes o tirantes.
Integridad Estructural	Se analiza la adherencia de las paredes, la presencia de grietas y el estado de las uniones entre componentes estructurales, además de la resistencia de bóvedas y techos.
Historia de Mantenimiento y Reparaciones	Se considera cómo las intervenciones pasadas pueden haber afectado la capacidad sísmica de la estructura.
Diseño y Configuración Arquitectónica	Se analiza la capacidad de las plantas, columnas y arcos de distribuir cargas sísmicas.
Estilo Constructivo y Detalles Decorativos	Se evalúan los elementos ornamentales y la presencia de elementos no estructurales como cornisas o pináculos.
Estado de Conservación General	Se revisa el desgaste, deterioro o daño de los elementos arquitectónicos.
Posibilidad de Adaptación	Se evalúa la viabilidad de aplicar técnicas de refuerzo sin comprometer el valor histórico y estético de la iglesia.

Imagen 4. Diagrama de criterios de evaluación
Image 4. Evaluation criteria diagram

CONCLUSIONES

El análisis detallado de las iglesias de la Ruta Franciscana en Guadalajara ha evidenciado una variada gama de vulnerabilidades sísmicas. La Parroquia de Templo de San Agustín presenta un alto grado de deterioro con daños significativos en bóvedas y fisuras extensas, por lo que se proponen estas acciones:

Refuerzos estructurales: Reparar daños graves en iglesias como San Agustín y Santa Anita con contrafuertes, acero y morteros especializados.

Mantenimiento regular: Inspeccionar y reparar fisuras menores en iglesias como el Santuario de Santa Anita y la Parroquia de la Soledad.

Tecnología moderna: Usar escaneo 3D, monitoreo en tiempo real y sistemas de drenaje para mejorar la conservación.

Documentación digital: Preservar información de las estructuras y restaurar sitios críticos como el Templo Hospital de Indios.

Estudios adicionales: Evaluar intervenciones y desarrollar técnicas adaptadas a las características de las iglesias en zonas sísmicas.

CONCLUSIONS

The detailed analysis of the churches of the Franciscan Route in Guadalajara has shown a wide range of seismic vulnerabilities. The Parish of Templo de San Agustín presents a high degree of deterioration with significant damage to vaults and extensive fissures, so these actions are proposed:

Structural reinforcements: Repair serious damage to churches such as St. Augustine and St. Anita with specialized buttresses, steel, and mortars.

Regular Maintenance: Inspect and repair minor fissures in churches such as the Shrine of St. Anita and the Parish of La Soledad.

Modern technology: Using 3D scanning, real-time monitoring, and drainage systems to improve conservation.

Digital documentation: Preserve information on structures and restore critical sites such as the Templo Hospital de Indios.

Additional studies: Evaluate interventions and develop techniques adapted to the characteristics of churches in seismic zones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CHICA, A., & FUERTES, A. (2018). Enfoque para el análisis estructural y protección sísmica de edificaciones patrimoniales, a partir de la caracterización de sus particularidades técnicas. Revista Ingeniería de Construcción, 33. <https://doi.org/10.1159/ijccs.33.2.12.ppt25-733>

EDELSTEIN J., GALLA L., LI-MADEO C., MARDEN J., RHONEMUS A., & WHYSEL N. (2013). Linked Open Data for Cultural Heritage: Evolution of an Information Technology. <https://www.researchgate.net/publication/257916810>

ELDEIB, A. H., ABDELASALAM, A. M., SHEHATA, A. M., ALI, H. S. K., & FOUD, S. (2023). Health monitoring of historic buildings using machine learning in real-time Internet of things. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 32(2), 725. <https://doi.org/10.1159/ijccs.33.2.12.ppt25-733>

ESPONDA P., BELGODERE F., & MONRAZ H. (2009). Ruta Franciscana de Iztapalapa (Esponda P. & Belgodere F., Eds.; 1 Edition). Gobierno de Jalisco.

FEILDEN SIR B. (1987). Entre Dos Terremotos: Los Bienes Culturales en Zonas Sísmicas (ICCROM and The Getty Conservation Institute, Ed.). PNUD/UNESCO, ICCROM and The Getty Conservation Institute.

LYNCH, J. P., FARRAR, C. R., & MICHAELS, J. E. (2016). Structural health monitoring: technological advances to practical implementations [scanning the issue]. Proceedings of the IEEE, 104(8), 1508-1512. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2558818>

NGILIO, O., & VALENCIA MINA, W. (2015). Reducción del riesgo sísmico para el patrimonio arquitectónico. Una comparación entre experiencias de Colombia y Japón. Apuntes. Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural, 27(1). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.APC27-1.rsp>

PRECIADO A., ARAIZA J., & ORDUÑA A. (2007). Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificios Históricos en el Estado de Colima por Métodos Empíricos. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.

RAMIREZ EUDAVE, R., & FERREIRA, T. M. (2024). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios históricos de mampostería usando modelos semánticos apoyados en evidencias empíricas: Aprendizajes en México. Revista de Estudios Latinoamericanos Sobre Reducción Del Riesgo de Desastres REDER, 8(1), 131. <https://doi.org/10.55467/reder.v8i1.142>

RAMOS C., & MALNIS S. (2012). Difusión y protección del Patrimonio Religioso en América Latina.

YAMIN L., PHILIPS C., REYES J., & RUIZ D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. Apuntes, 2, 286-303.