

Santiago Sáenz-Muñoz

Magíster en Intervención
del Patrimonio Arquitectónico
Universidad de Chile
Santiago, Chile
<https://orcid.org/0009-0009-9476-2703>
santiagosaenzm@gmail.com

Gabriela Muñoz- Sotomayor

Magíster en Restauración Arquitectónica,
Académica Departamento de Arquitectura,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad de Chile,
Santiago, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-4007-3277>
gamunoz@uchile.cl

REFUERZO CON HORMIGÓN ARMADO A PRINCIPIOS DEL SIGLO XX EN UN TEMPLO NEOGÓTICO DE ALBAÑILERÍA SIMPLE BAJO UN CONTEXTO SÍSMICO

REINFORCEMENT USING REINFORCED
CONCRETE AT THE BEGINNING OF THE 20TH
CENTURY IN A SIMPLE MASONRY NEO-GOTHIC
TEMPLE WITHIN A SEISMIC CONTEXT

REFORÇO COM CONCRETO ARMADO NO INÍCIO
DO SÉCULO XX EM UM TEMPLO NEOGÓTICO DE
ALVENARIA SIMPLES EM UM CONTEXTO SÍSMICO



Figura 0. Confinamiento en rosetón de fachada oriente de Iglesia de Santa Filomena. Fuente: Elaboración de los autores.

Trabajo realizado como resultado de la Tesis de Magíster en Intervención del Patrimonio Arquitectónico, Universidad de Chile

RESUMEN

El alto nivel de vulnerabilidad sísmica de las estructuras históricas de albañilería simple de ladrillo requiere de buscar las técnicas de intervención más adecuadas basadas en la teoría y en la experiencia empírica de su desempeño sísmico. Sin embargo, si una determinada técnica no cumple con algunos de los criterios de intervención presentados por ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) como la autenticidad, ¿Cómo podemos validar su uso? En la presente investigación se estudia el efecto de los refuerzos de hormigón armado incorporados producto del terremoto de Talca del año 1928 (Ms 8.3) en la Iglesia de Santa Filomena, la que es un ejemplo de los templos neogóticos de albañilería simple de ladrillo en Santiago de Chile, siendo una de las tipologías más vulnerables a sismos. A partir de su desempeño sísmico histórico y un análisis de los criterios de intervención en estructuras patrimoniales, se busca dar una respuesta a la validación del uso del hormigón armado como una técnica de intervención viable bajo un contexto altamente sísmico que ha sido utilizada desde hace al menos 100 años en Chile como refuerzo.

Palabras clave: neogótico, albañilería, hormigón, sismo, ingeniería civil.

ABSTRACT

The high seismic vulnerability of historic simple brick masonry structures requires searching for the most appropriate intervention techniques based on the theory behind and empirical experience of their seismic performance. However, if a given technique does not meet some of the intervention criteria presented by ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), such as authenticity, how can we validate its use? This research studies the effect of the reinforced concrete reinforcements incorporated after the 1928 Talca earthquake (MMI 8.3) in the Santa Filomena Church, which is an example of the simple brick masonry neo-gothic temples in Santiago de Chile, one of the most vulnerable typologies to earthquakes. Using its historical seismic performance and analysis of intervention criteria for heritage structures, this article seeks to provide an answer behind the validation of using reinforced concrete, which has been used for at least 100 years in Chile as reinforcement, as a viable intervention technique within a highly seismic context.

Keywords: neo-gothic, masonry, concrete, earthquake, civil engineering.

RESUMO

O alto nível de vulnerabilidade sísmica das estruturas históricas de alvenaria de tijolos simples exige a busca das técnicas de intervenção mais adequadas com base na teoria e na experiência empírica de seu desempenho sísmico. Entretanto, se uma determinada técnica não atende a alguns dos critérios de intervenção apresentados pelo ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), como a autenticidade, como podemos validar seu uso? Esta pesquisa estuda o efeito dos reforços de concreto armado incorporados após o terremoto de Talca de 1928 (Ms 8.3) na Igreja de Santa Filomena, que é um exemplo dos templos neogóticos de alvenaria de tijolos simples em Santiago do Chile, sendo uma das tipologias mais vulneráveis a terremotos. Com base em seu desempenho sísmico histórico e em uma análise dos critérios de intervenção em estruturas patrimoniais, procuramos responder à validação do uso do concreto armado como uma técnica de intervenção viável que tem sido usada há pelo menos 100 anos no Chile como reforço em um contexto altamente sísmico.

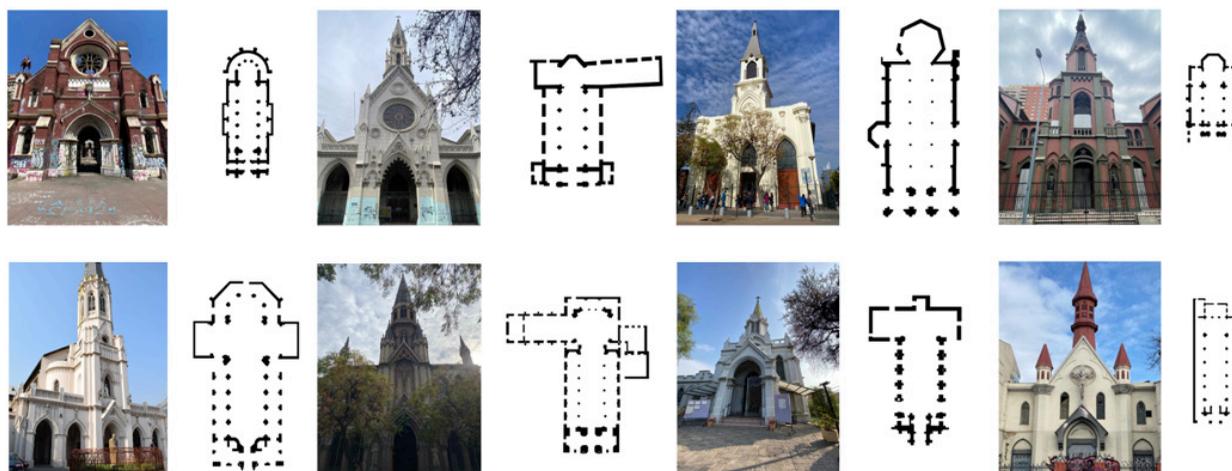
Palavras-chave: neogótico, alvenaria, concreto, terremoto, engenharia civil.

INTRODUCCIÓN

Al momento de proponer un refuerzo para una estructura histórica de albañilería de ladrillo hay que tener presente el concepto de no incorporar elementos de hormigón armado, principalmente debido al criterio de autenticidad, el que indica que la intervención debe respetar la integridad de los elementos y el comportamiento de una estructura como reflejo de una tecnología constructiva propia de su época. La diferencia entre el desarrollo temporal y funcional de una estructura histórica de albañilería de ladrillo y el refuerzo mediante hormigón armado, produce inicialmente un rechazo al utilizarlo como una opción válida de refuerzo desde un punto de vista patrimonial. Esta idea puede tener una justificación en base a la experiencia práctica, debido que los refuerzos con hormigón armado pueden producir problemas debido al aumento de masa y modificación de la rigidez, especialmente en construcciones con albañilería de mala calidad (Barrientos et al., 2024). Adicionalmente, es una técnica que no es costo-efectiva debido al tiempo que requiere para su implementación (Borri et al., 2008). Esto ha producido un rechazo al uso del hormigón armado como refuerzo en la intervención de estructuras históricas, lo que puede ser un problema al limitar las posibles opciones de intervención. Por lo tanto, se propone que el criterio de autenticidad debe ser ponderado con el criterio de seguridad estructural, el que entrega una medida de la efectividad de la solución en mejorar el desempeño de la estructura e incluso se discute reevaluar el significado de la autenticidad en base al contexto local.

En el caso de Chile, un buen desempeño sísmico de las estructuras históricas de albañilería es necesario para asegurar su conservación en el tiempo debido a que los terremotos han provocado la pérdida irrecuperable de muchas de ellas. El terremoto del Maule del año 2010 (Mw 8.8) dañó el 60% de las Iglesias de albañilería simple (Barrientos et al., 2024), y en particular, el 51% de las Iglesias de Rancagua presentaron un nivel de daño grave y el 12% colapsaron (Goic, 2010). Esta tarea de mejorar el comportamiento sísmico requiere de buscar las técnicas de intervención más adecuadas para cada tipología basadas en la teoría y en la experiencia empírica de su desempeño sísmico histórico. Es este el enfoque del presente estudio, analizar el efecto en el comportamiento sísmico de una estructura histórica de albañilería simple que fue reforzada con hormigón armado a principios del siglo XX cuando aún no se desarrollaban códigos de diseño estructural ni se contaba con métodos complejos de análisis estructural, en un punto intermedio entre el inicio del hormigón armado en Chile y su posicionamiento como el material predilecto para la construcción (Pérez Oyarzún et al., 2021).

El caso de estudio presentado es la Iglesia de Santa Filomena, un ejemplo característico de los templos neogóticos de albañilería simple de ladrillo en Santiago, y que, debido al terremoto de Talca del año 1928 (Ms 8.3) fue reforzada mediante elementos horizontales de confinamiento de hormigón armado. Desde la fecha del refuerzo la estructura ha debido enfrentar al menos 5 terremotos de magnitud sobre 8.0. La pregunta que busca responder este estudio es la siguiente; si no hubiese sido reforzada en 1928 ¿La estructura hubiese tenido un comportamiento distinto? El objetivo de este estudio es



evaluar si el uso de refuerzos de hormigón armado puede ser una opción viable para estructuras históricas de albañilería simple en un país bajo un contexto sísmico que respete los criterios de intervención en estructuras patrimoniales.

Figura 1. Templos neogóticos de albañilería simple en Santiago de Chile. Fuente: Elaboración de los autores.

Templos neogóticos de albañilería de ladrillo

El neogótico surgió en Inglaterra durante del siglo XVIII como una reinterpretación del lenguaje gótico, un movimiento que no sigue las mismas leyes estructurales, sólo la apariencia. Se escogieron los elementos arquitectónicos principales del gótico y se aplicaron según la realidad económica del momento y las nuevas técnicas constructivas. Los templos neogóticos en Santiago de Chile están comúnmente estructurados mediante tres naves dispuestas en planta basilical o cruz latina y en torno a la nave central se disponen dos arcadas de arcos formeros ojivales apoyados sobre pilares fasciculados que tributan el peso de la techumbre, a través del claristorio hasta las fundaciones. Las solicitaciones sísmicas y la ausencia de mano de obra calificada en Chile impidieron el desarrollo de bóvedas de crucería y estas fueron reemplazadas por bóvedas de carpintería mediante el método de bóvedas encamonadas, una solución ligera que no produce empujes laterales. Por lo tanto, no fue necesario el uso de arbotantes ni de construir con los mismos principios constructivos del gótico europeo.

Se utilizó como base para esta investigación la descripción histórica de los templos católicos neogóticos construidos entre los años 1850 y 1950 en Santiago de Chile realizada por Mirtha Pallarés (2015). En la Figura 1 se presentan los ocho templos neogóticos construidos originalmente en base a albañilería simple de ladrillo considerados en este estudio. Durante el terremoto del Maule del año 2010 (Mw 8.8), la iglesia neogótica de albañilería simple de ladrillo fue la tipología que presentó un mayor índice de daño en comparación con otras iglesias pertenecientes a diferentes estilos arquitectónicos con la misma materialidad, como el neoclásico o colonial, y presentaron un nivel de daño severo en un 66% de los casos debido a sus

METODOLOGÍA

Figura 2. Fachada principal de Iglesia de Santa Filomena.

Fuente: Elaboración de los autores.



particularidades constructivas (Palazzi Chiara, 2019). Esta alta vulnerabilidad sísmica de los templos neogóticos está controlada por mecanismos de falla asociados a la esbeltez de los elementos estructurales y la falta de conectores entre muros que permiten un efectivo comportamiento de caja “box behavior” (Palazzi Chiara et al., 2020).

Iglesia de Santa Filomena

La iglesia de Santa Filomena (Figura 2) se emplaza en la ciudad de Santiago de Chile al costado norte del río Mapocho en la comuna de Recoleta. Este sector fue conocido como “La Chimba” durante la colonia y hasta finales del siglo XIX el bajo valor de los terrenos atrajo a diversas órdenes religiosas a instalarse en un punto estratégico de la capital junto a una población de

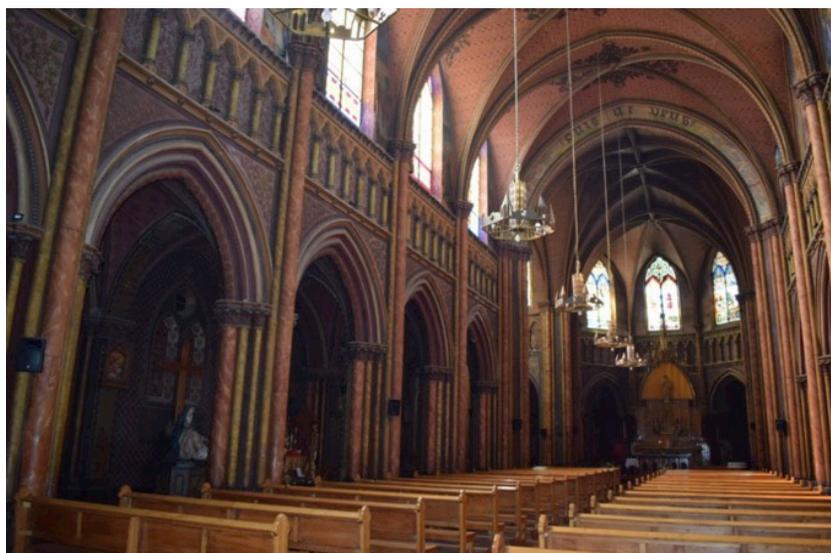
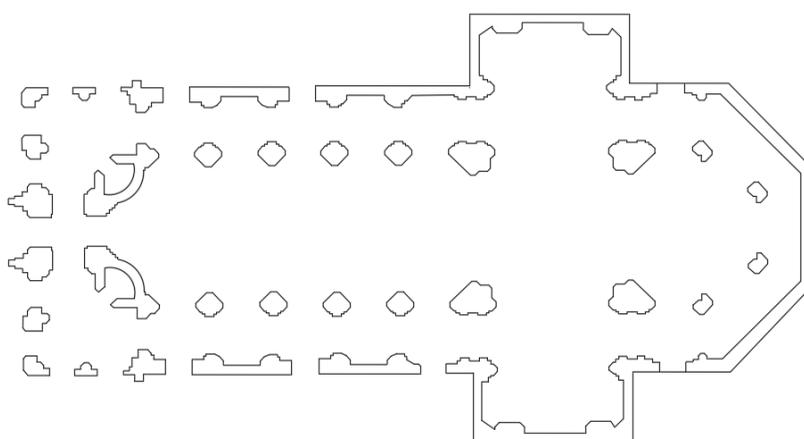


Figura 3. Nave central de Iglesia de Santa Filomena. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 4. Planta de Iglesia de Santa Filomena. Fuente: Elaboración de los autores basado en los planos de Fundación DUOC (1996).



menores recursos sobre la que podían continuar con su labor evangelizadora. La materialización de la iglesia fue llevada a cabo como una de las acciones de beneficencia promovidas por la encíclica *Rerum Novarum* del Papa León XIII y la labor del presbítero Marchant Pereira con el objetivo de satisfacer las necesidades sociales y educar en la fe católica (Hermosilla y Ortega, 1995). El franciscano Fray Andresito estuvo a cargo de la planificación del templo, el diseño y construcción fue encargada al arquitecto e ingeniero francés Eugenio Joannon Croizer en el año 1892 y fue finalizada en 1894.

De los 8 templos neogóticos presentados en la Figura 1, la Iglesia de Santa Filomena es la estructura de mayores dimensiones (49 m de largo y 21 m de ancho), con una alta esbeltez de muros (1:12) y la única con una densidad de muros en ambas direcciones bajo el promedio; 4% en el longitudinal y 2% en el sentido transversal, donde el promedio de la densidad de muros en los templos neogóticos de Santiago es 7% y 4%, respectivamente (Sáenz Muñoz, 2023). Adicionalmente, es Monumento Histórico desde el año 1995 (Ministerio de Educación [MINEDUC], 1995) y presenta sus refuerzos de hormigón armado a simple vista desde el exterior.

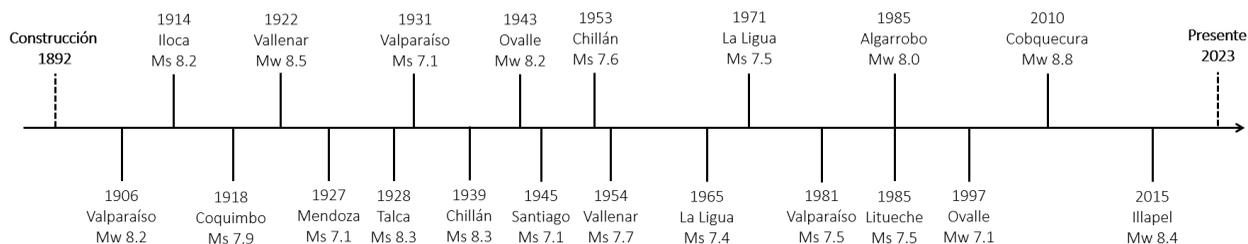


Figura 5. Línea de tiempo de terremotos relevantes en Santiago de magnitud sobre 7.0. Fuente: Elaboración de los autores.

El perímetro de la estructura en el primer nivel está compuesto por muros de albañilería simple de ladrillo con mortero de cal de 70 cm de espesor y 840 cm de altura. En el interior, los pilares polilobulados de 200 cm de diámetro de los arcos formeros de albañilería reciben el peso del claristorio (Figura 3). En el crucero, los 4 pilares conectan las naves longitudinales y el transepto. Los muros de las naves laterales y el transepto trabajan como muros de corte que rigidizan la estructura en ambas direcciones, en cambio, el claristorio y las arcadas actúan como un sistema de marcos que tributan el peso desde la techumbre hacia las fundaciones (Figura 4).

En el caso de la torre, está compuesta por albañilería simple de ladrillo en la base hasta los primeros 15 m de altura, a partir de este punto hasta la cumbre de la torre, a diferencia del resto de la estructura, su sistema constructivo es de albañilería de ladrillo y hormigón armado (Sáenz Muñoz, 2023). Si bien la construcción de la iglesia se terminó en el año 1894, esta no incluía la torre debido a una falta de recursos para completar el proyecto. Fue hasta el año 1913 donde se reunieron los fondos y se contrató nuevamente a Eugenio Joannon para que la complete. En su calidad de arquitecto e ingeniero decide continuar la construcción de la torre modificando el sistema constructivo, y a diferencia de la base de albañilería simple, propone que el resto de la torre sea de albañilería de ladrillo y hormigón armado. La influencia de la torre sobre la estructura principal no es abordada en esta investigación debido a que no constituye un refuerzo, sino más bien una actualización tecnológica con los sistemas constructivos vigentes en ese momento.

Refuerzos de hormigón armado

En la Figura 5 se presenta una línea de tiempo con todos los terremotos de magnitud sobre 7.0 que han impactado en la ciudad de Santiago. Desde el inicio de la construcción de la Iglesia de Santa Filomena en el año 1892 fue sometida cada 6 años a un terremoto de magnitud sobre 7.0 y cada 15 años a uno de magnitud sobre 8.0.

La iglesia fue construida unos 15 años antes del desarrollo del hormigón armado en Chile (Duarte, 2009), por lo que este tipo de estructuras eran construidas en base a albañilería simple de ladrillo con mortero de cal y sin refuerzos en cruces de muros. Según Hermsilla y Ortega (1995), el terremoto de Talca de 1928 (Ms 8.3) produjo fisuras en torno a los rosetones del transepto y, por lo tanto, la estructura fue reforzada mediante elementos de

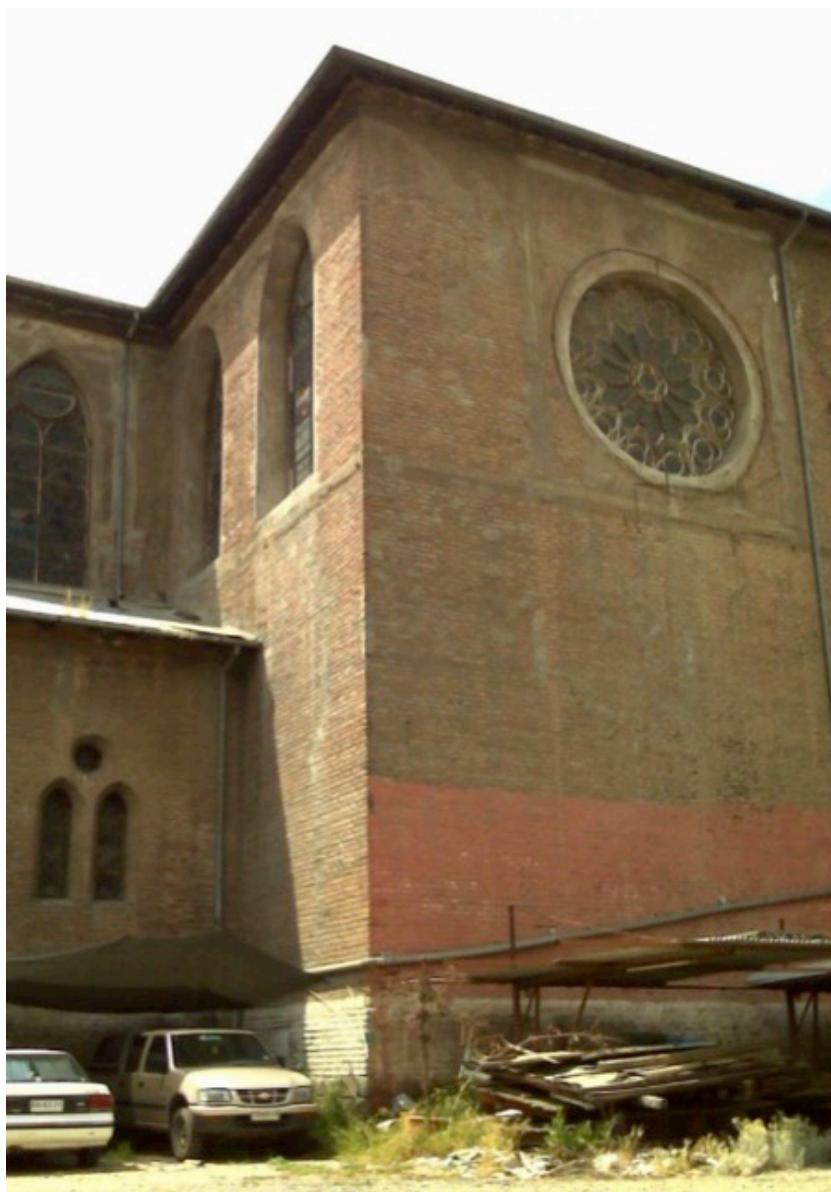
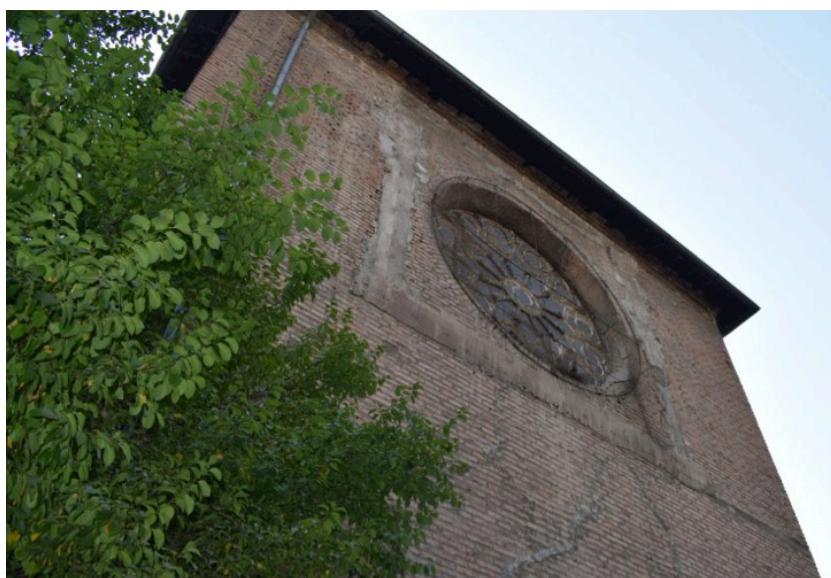


Figura 6. Refuerzos de hormigón armado en transepto poniente. Fuente: Consejo de Monumentos Nacionales [CMN] (2008).

hormigón armado. Este refuerzo consistió en confinar los rosetones mediante un marco de hormigón formado por dos cadenas y dos pilares (Figura 6 y Figura 8) se dispuso de una cadena de hormigón en todo el perímetro de los muros a mitad de altura y a nivel del coronamiento (Figura 6 y Figura 7). El espesor de los muros de albañilería es de 70 cm y aunque por el interior de la estructura no es posible observar la profundidad del confinamiento, lo razonable es que los elementos de hormigón atraviesen el muro en todo el espesor. El alto de los elementos de confinamiento es de aproximadamente 20 cm para las cadenas que recorren el perímetro (Figura 7) y 50 cm para los elementos de los rosetones (Figura 8). Estos refuerzos son simétricos respecto al eje longitudinal de la estructura. Desde la fecha del refuerzo en 1928, a la iglesia se le han añadido algunos espacios laterales contiguos y se realizaron algunas reparaciones menores posteriores al terremoto del año 1985, pero no ha sido reforzada.

Figura 7. Refuerzos de hormigón armado coronamiento de claristorio. Fuente: Elaboración de los autores.

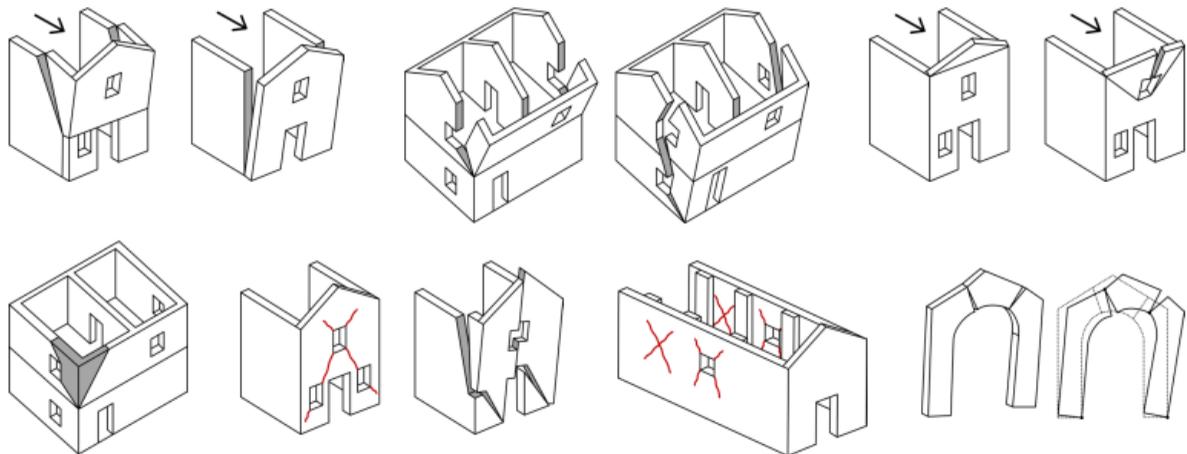
Figura 8. Refuerzos de hormigón armado en transepto oriente. Fuente: Elaboración de los autores.



RESULTADOS

Efecto del refuerzo en el comportamiento sísmico

Un sismo selecciona las porciones más vulnerables de una estructura, llamadas macroelementos, los que presentan un comportamiento relativamente independiente de la respuesta global de la estructura (Giuffré, 1991) controlado por el tipo de unión con los muros adyacentes y sus dimensiones (Lourenço et al., 2022). En las estructuras de tipología iglesia, los macroelementos comunes corresponden a la fachada, nártex, torre, muros laterales o transversales, transepto, ábside, entre otros (Doglioni, 2000). Debido a la presencia de macroelementos en una estructura, esta puede colapsar según los distintos modos de falla de cada macroelemento. Por lo tanto, una estructura es vulnerable sísmicamente, es decir, puede presentar un nivel determinado de daño debido a que cada uno de los macroelementos que la componen tiene una probabilidad de falla asociada a una intensidad



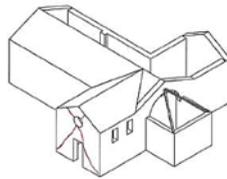
Volcamiento de la fachada

M1



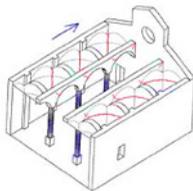
Falla en muro testero del transepto

M11



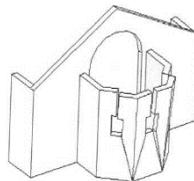
Desplazamiento de columnas

M7



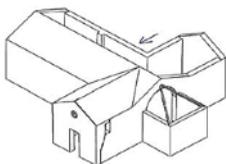
Volcamiento del ábside

M16



Volcamiento muro testero del transepto

M10



Falla de la torre

M27

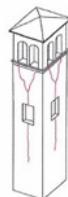


Figura 9. Ejemplos de mecanismos de colapso en estructuras de albañilería. Fuente: Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri [DPCM] (2011).

Figura 10. Mecanismos de colapso observados en la iglesia. Fuente: Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri [DPCM] (2011).

sísmica determinada. Cuando no se garantiza un comportamiento global de caja, debido a la falta de confinamiento y la baja resistencia de la albañilería, los muros se vuelven vulnerables a fallas fuera del plano (Figura 9). Esta es la causa principal de daño o colapso de las estructuras de albañilería existentes (Casapulla et al., 2017).

Según Hermosilla y Ortega (1995), el terremoto de 1985 (Mw 8.0) produjo grietas en los muros del ábside, derrumbes parciales, grietas en los

Figura 11. Estado del ábside previo al terremoto del Maule (Mw 8.8). Fuente: Consejo de Monumentos Nacionales [CMN] (2008).

Figura 12. Estado del ábside posterior al terremoto del Maule (Mw 8.8). Fuente: Elaboración de los autores.



muros testeros, daños en los arcos formeros y desprendimientos de ladrillos. A partir de un levantamiento de daños estructurales realizado en el año 2023 (Sáenz Muñoz, 2023), se determinó que los daños que presenta la estructura son moderados y corresponden a la activación de mecanismos por fallas dentro y fuera del plano de los muros, tales como; volcamiento de la fachada, desplazamiento de columnas, volcamiento del muro testero del transepto, falla en muro testero del transepto, volcamiento del ábside y falla de la torre (Figura 10). Por lo tanto, los daños que fueron reparados producto del terremoto de 1985, reaparecieron posiblemente debido al terremoto de 2010 (Mw 8.8) o el de 2015 de Illapel (Mw 8.4).

La tipología estructural de las iglesias neogóticas de albañilería simple de ladrillo presenta ciertas características constructivas que implican una mayor vulnerabilidad sísmica, como una alta esbeltez de muros, ausencia de elementos conectores, una amplia variedad de macroelementos, entre otros.

Pero en el caso de la Iglesia de Santa Filomena desde su último refuerzo en el año 1928 ha estado sometida a 5 terremotos de magnitud sobre 8.0, los daños que se han producido son menores y lo más importante es que no ha colapsado la estructura ¿Por qué no ha sufrido un colapso en todo este tiempo?

En la Figura 11 y Figura 12 se pueden comparar los daños en el ábside de la iglesia antes del terremoto del Maule del año 2010 respecto al estado actual. Se observa que han reaparecido daños en las claves de los arcos y fisuras verticales en el encuentro de muros, que coincide con zonas que se ven intervenidas previo al año 2010. De igual forma, si se comparan las fisuras verticales bajo los rosetones en los muros del transepto en las Figura 6 y Figura 8, estas fisuras se han mantenido estables incluso después de los terremotos.

¿Han funcionado adecuadamente los refuerzos de hormigón armado incorporados? Caracterizar el buen comportamiento sísmico de una estructura a partir de la función de un sólo elemento puede ser una simplificación del problema, pero las iglesias de albañilería simple que presentaron un nivel de daño grave después del terremoto del año 2010 (Mw 8.8) no contaban con elementos que permitieran un adecuado comportamiento de caja (Palazzi Chiara, 2019). En la Iglesia de Santa Filomena los refuerzos de hormigón armado que se incorporaron en 1928 cumplen dos funciones principales: conectar los muros para evitar fallas en las uniones y evitar fallas fuera del plano por volcamiento.

Validación del uso de refuerzos de hormigón armado

Previo a la creación de ICOMOS en 1965, UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural organization) realizó la Conferencia de Atenas en el año 1931 (UNESCO, 1931) donde en su resolución N°5 indica lo siguiente con respecto al uso de materiales modernos para la consolidación de edificios antiguos:

“Se aprueba el uso juicioso de todos los recursos de la técnica moderna y muy especialmente el del cemento armado (...) Estos medios de refuerzo deben disimularse para no alterar el aspecto y carácter del edificio”

Esta conferencia fue contemporánea con los refuerzos utilizados en la Iglesia de Santa Filomena y permite entender que la técnica del hormigón armado como refuerzo ya se aplicaba a nivel global para intervenir estructuras históricas. Adicionalmente, se indica que no se debe alterar el “aspecto” y “carácter” del edificio, lo que actualmente se entiende de forma más integral.

La salvaguarda de los valores “estéticos e históricos” de las estructuras patrimoniales se reconoce a partir de la Carta de Venecia de 1964

(International Council on Monuments and Sites [ICOMOS], 1965) y los principios del comité ISCARSAH en la Carta de Zimbabue de 2003 (ICOMOS, 2003). Ambas cartas presentadas por ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) definieron los criterios necesarios a considerar al momento de intervenir una estructura de valor histórico respetándose sus valores y atributos. Cuando se interviene una estructura de valor histórico, la seguridad estructural deseada va más allá de sólo evitar fallas estructurales y la pérdida de vidas. Es también necesaria “la salvaguarda de los valores intrínsecos del inmueble” (Peña Mondragón y Lourenço, 2012). Actualmente, la norma chilena para la intervención en construcciones patrimoniales NCh3389:2020 (INN, 2020) presenta distintos criterios de intervención separados entre criterios de diseño, estructurales y patrimoniales, e indica que el proyecto de intervención debe considerar los “valores y atributos patrimoniales” y que los requisitos deben “alcanzar tanto la seguridad estructural como la integridad del valor patrimonial”.

Los criterios de intervención de ICOMOS y la normativa chilena no están explicitados con un sólo concepto ni ordenados por jerarquía de importancia porque para cada estructura en su contexto particular el equipo de profesionales utilizará los criterios de intervención de forma diferente para lograr el objetivo final, que es el de restaurar el elemento construido en su conjunto.

La Carta de Zimbabue de 2003 (ICOMOS, 2003) en el acápite 3.3.7 indica lo siguiente respecto al uso de nuevas técnicas de intervención:

“La elección entre técnicas “tradicionales” e “innovadoras” debe sopesarse caso por caso, dando siempre preferencia a las que produzcan un efecto de invasión menor y resulten más compatibles con los valores del patrimonio cultural, sin olvidar nunca cumplir las exigencias impuestas por la seguridad y la perdurabilidad.”

De los distintos criterios actuales de intervención existentes, como la reversibilidad, compatibilidad, mínima intervención, entre otros, el análisis para justificar el uso de refuerzos de hormigón armado puede ser enfocado a partir de dos criterios principales (Sáenz Muñoz, 2023): la autenticidad y la seguridad estructural. Las definiciones de estos criterios a efectos de este estudio son las siguientes:

- Autenticidad: Refiere a la integridad de los elementos de una estructura como reflejo de una tecnología constructiva propia de su época. Por lo tanto, los principios fundamentales del comportamiento de la estructura y su materialidad original deben ser preservados.
- Seguridad estructural: En caso de que la estructura presente daños, la intervención debe tomar en cuenta los posibles daños artísticos y culturales en la estructura y priorizar la salvaguarda de los valores intrínsecos del inmueble.

Hubiese sido razonable realizar una reparación local de los daños producidos tras el terremoto de 1928 sin haber corregido algunos de los problemas de diseño sísmico que la estructura podría presentar al largo plazo y que se habían observado en múltiples iglesias de albañilería simple producto de terremotos anteriores. Sin embargo, el refuerzo estructural de la Iglesia de Santa Filomena es un ejemplo claro que ha logrado conservar la estructura hasta la actualidad sólo con daños moderados y sin alterar su comportamiento sismorresistente y sus valores o atributos arquitectónicos. Si se hubiese optado en el pasado por otra opción de refuerzo que le diera prioridad a la autenticidad, es posible que la estructura hubiese sufrido mayores daños e incluso el colapso. Por lo tanto, si bien el concepto de autenticidad en su concepción más purista y rigurosa no es respetado por este tipo de intervención con hormigón armado, se debe tener en consideración que Chile es un país altamente sísmico y este contexto local invita a considerar la autenticidad bajo una nueva mirada donde la seguridad estructural toma un protagonismo mayor con el objetivo de conservar el patrimonio en el tiempo. Estas nuevas consideraciones pueden permitir que en un futuro la reciente norma chilena para la intervención en construcciones patrimoniales NCh3389:2020 (Instituto Nacional de Normalización [INN], 2020) sea actualizada para adaptarse de mejor forma a los requerimientos de seguridad que nuestra sismicidad impone sobre el patrimonio.

¿Se justifica el uso de refuerzos de hormigón armado para intervenir estructuras históricas? La respuesta dependerá de cada estructura, ya que requiere de un análisis especial. Pero en el caso de estructuras de albañilería simple de ladrillo situadas en países con un contexto altamente sísmico, como Chile, se deben buscar las técnicas de intervención más adecuadas basadas en la teoría y en la experiencia empírica de su desempeño histórico que permitan mejorar su comportamiento sísmico.

El uso del hormigón armado en restauración ha generado polémica a través del tiempo. Desde sus inicios a mediados del siglo XX se pensó que era la solución para cualquier deterioro en las construcciones históricas y hasta finales del mismo siglo se observó que en algunos casos las intervenciones con hormigón armado manifestaron incompatibilidades con los elementos por las características internas de los materiales o por la puesta en obra (Esponda, 2004) los que pueden producir problemas en la estructura debido a cambios en su masa y rigidez. No obstante, si son ejecutados de forma correcta, logran evitar fallas típicas en estructuras de esta tipología que pueden desencadenar en un colapso. Como se indicó anteriormente, es posible argumentar que este tipo de refuerzos no cumplen con el criterio de autenticidad en su definición estricta para estructuras de albañilería de ladrillo, dada la diferencia entre ambos sistemas y técnicas constructivas. Sin embargo, cada uno de los criterios de intervención deben ser ponderados mediante un análisis costo-beneficio con el objetivo de asegurar la mejor conservación del

CONCLUSIÓN

patrimonio en el tiempo y en el contexto local, que en este caso de investigación es altamente sísmico, por lo tanto, la invitación es a considerar el criterio de autenticidad con una nueva mirada donde la seguridad estructural tome un mayor protagonismo.

¿Han funcionado adecuadamente los refuerzos de hormigón armado incorporados en la iglesia Santa Filomena? Éstos han cumplido dos funciones principales: conectar los muros para evitar fallas en las uniones y evitar fallas fuera del plano por volcamiento. Se debe tener en cuenta que la estructura ha estado sometida a al menos 5 terremotos de magnitud sobre 8.0 desde el último refuerzo de 1928 y no se ha producido un daño severo ni su colapso. Estos refuerzos fueron ejecutados cuando aún no había códigos de diseño ni métodos complejos de análisis estructural y han logrado conservar la estructura hasta la actualidad sólo con daños moderados y sin alterar ni el comportamiento sismorresistente ni sus valores o atributos arquitectónicos.

El ejemplo desarrollado en la siguiente investigación, corresponde a un caso específico de refuerzo de hormigón armado en una estructura histórica de albañilería de ladrillo que ha presentado un buen comportamiento sísmico. Debido a lo anterior, presenta la limitación que el resultado podría no aplicar a una estructura similar. Por lo tanto, en futuras investigaciones se debe comparar el desempeño sísmico de un mayor conjunto de casos de estructuras históricas que hayan sido intervenidas de esta forma con el objetivo de comprender en mayor detalle el efecto de incorporar refuerzos de hormigón armado que aporten a la seguridad estructural del edificio, que respeten los criterios de intervención patrimoniales. Adicionalmente, se propone a futuro investigar el desarrollo de un método que permita sistematizar la selección de técnicas de refuerzo estructural de menor impacto para una determinada tipología estructural.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES CRediT

Conceptualización, S.S.M.; Curación de datos, S.S.M.; Análisis formal, S.S.M.; Adquisición de financiación, S.S.M.; Investigación, S.S.M.; Metodología, S.S.M.; Administración de proyecto, S.S.M.; Recursos, S.S.M.; Software, S.S.M.; Supervisión, G.M.S.; Validación, G.M.S.; Visualización, S.S.M.; Escritura – borrador original, S.S.M.; Escritura – revisión y edición, G.M.S.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación surge a partir de la tesis de postgrado en el Magíster en Intervención del Patrimonio Arquitectónico de la Universidad de Chile, por lo que se agradece a los profesores del programa que permitieron entregar las herramientas necesarias en la formación integral del investigador y profesional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrientos, M., Palazzi Chiara, N., Alvarado, R., y Sandoval, C. (2024). Preliminary Assessment of a Historic Masonry Church Strengthened by Reinforced Concrete Elements During 1927–1930. The Case of Recoleta Dominica Basilica in Santiago, Chile in Endo, Y., y Hanazato, T. (eds.) *Structural Analysis of Historical Constructions*. SAHC 2023. RILEM Bookseries, vol 47. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39603-8_91
- Borri, A., Castori, G., y Grazini, A. (2008). Retrofitting of masonry building with reinforced masonry ring-beam. *Construction and Building Materials*, **23**(5), 1892-1901. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.012>
- Casapulla, C., Giresini, L., y Lourenço, P.B. (2017). Rocking and kinematic approaches for rigid block analysis of masonry walls: State of the art and recent developments. *Buildings*, **7**(3), 69. <https://doi.org/10.3390/buildings7030069>
- Consejo de Monumentos Nacionales [CMN]. (2008). Fotografías de la Iglesia de Santa Filomena durante inspección. Santiago.
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri [DPCM] (2011). Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008. Gazzetta Ufficiale Della Repubblica Italiana, Serie Generale n.47 del 26-02-2011 - Suppl. Ordinario n. 54. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2011/02/26/47/so/54/sg/pdf>
- Dogliani, F. (2000). Codice di pratica (Linee Guida) per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto umbro-marchigiano del 1997. Bollettino Ufficiale Regione Marche.
- Duarte, P. (2009). Innovación constructiva a principios del siglo XX: preámbulo a la modernidad arquitectónica y arquitectura subestimada. *Revista De Arquitectura*, **15**(20), 20-26. <https://doi.org/10.5354/0719-5427.2009.27961>
- Esponda, M. (2004). Evolución de los criterios de intervención con hormigón armado en la restauración de edificios históricos en España y en México [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio cooperativo TDX Tesis Doctorados en XarXa. <http://www.tdx.cat/TDX-0426104-104024>
- Fundación DUOC (1996). Planos de Iglesia Santa Filomena por los alumnos de Dibujo Técnicos del DUOC: Gutiérrez, Velásquez y Mendoza. Santiago, Chile.
- Giuffrè, A. (1991). Lettura sulla meccanica delle murature storiche. Editorial Kappa, Roma.
- Goic, A. (2010). Algunas reflexiones ante el terremoto del 27 de febrero de 2010. Carta a la Diócesis. <https://www.iglesia.cl/3965-algunas-reflexiones-ante-el-terremoto-del-27-de-febrero-de-2010.htm>
- Hermosilla, P. y Ortega, O. (1995). Parroquia Santa Filomena. Consejo de Monumentos Nacionales. Santiago, Chile. <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/iglesia-parroquial-santa-filomena>

International Council on Monuments and Sites [ICOMOS]. (1965). Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (Carta de Venecia de 1964). II Congreso internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos. Italia. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf

International Council on Monuments and Sites. [ICOMOS]. (2003). Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del Patrimonio Arquitectónico. Zimbabwe. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/structures_sp.pdf

Instituto Nacional de Normalización [INN]. (2020) NCh3389:2020. Estructuras - Intervención en Construcciones Patrimoniales y Edificaciones Existentes - Requisitos del Proyecto Estructural (Chile). <https://ecommerce.inn.cl/nch3389202075256>

Lourenço, P. B., Pereira, J. M., y Torrealva, D. (2022). Proyecto de estabilización sismorresistente. Cálculos simplificados para el análisis estructural de las construcciones históricas de tierra. Getty Conservation Institute. Los Ángeles.

Ministerio de Educación [MINEDUC]. (1995). Declaración de Monumento Histórico Iglesia Parroquial Santa Filomena. Decreto Exento de Educación N°694. Santiago, Chile.

Palazzi Chiara, N. (2019). Seismic fragility assessment of unreinforced masonry churches of Central Chile [Tesis Doctoral, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Repositorio Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ING/48356>

Palazzi Chiara, N., Favier, P., Rovero, L., Sandoval, C., y de La Llera, J.C. (2020). Seismic damage and fragility assessment of ancient masonry churches located in central Chile. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 18:3433-3457. doi: 10.1007/s10518-020-00831-1

Pallarés, M. (2015). La arquitectura religiosa en Santiago de Chile 1850-1950. Razones de las reminiscencias góticas [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM, Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39862>

Peña Mondragón, F., y Lourenço, P.B. (2012). Criterios para el refuerzo antisísmico de estructuras históricas. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (87), 47-66. <https://doi.org/10.18867/ris.87.45>

Pérez Oyarzún, F., Booth Pinochet, R., Vásquez Zaldivar, C., y Muñoz Lozano, Y. (2021). Cimentando el centenario: El hormigón armado en tres edificios del Santiago de Chile a comienzos del siglo XX. *Atenea* (523), 39-61. <https://doi.org/10.29393/AtAt523-409FPCC40409>

Sáenz Muñoz, S. (2023). Reducción de la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia de Santa Filomena. Un ejemplo del neogótico de albañilería simple en Santiago de Chile [Tesis de Magíster; Universidad de Chile]. Repositorio Academico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/197186>

UNESCO (1931). Carta de Atenas. Conferencia de Atenas. Atenas.