

EL SISMO EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

A. Jaramillo Morilla¹

Karina Rehbein

E. Mascort Albea

J. Ruiz Jaramillo

A. J. Martín

Universidad de Sevilla, España y Chile

INTRODUCCIÓN

El reciente terremoto de Chile del 27 de Febrero de 2010 ha demostrado dos cosas:

- La norma sísmica chilena para edificios nuevos, la NCh233 es adecuada, y se ha comprobado que los edificios diseñados, calculados y construidos según esta normativa han sufrido escasos daños.
- Cerca del 30 por ciento de los monumentos nacionales chilenos ubicados en la zona centro sur del país resultaron dañados tras el terremoto y posterior tsunami (declaraciones de D. Oscar Acuñas). De 241 monumentos examinados, 75 registraron daños mayores severos y dos fueron destruidos. El 58% de los monumentos de la VI Región así como el 59% de la VII Región sufrieron daño mayor.

En este sentido, las regiones más afectadas fueron las de Rancagua y Maule. En el análisis realizado por el Consejo, en la primera, de un total de 38 monumentos evaluados, 22 tienen daños mayores. Mientras que en la VII Región se vieron afectados 23 de los 39 monumentos analizados. Una historia similar se vive en la Región del Bío Bío, donde 9 construcciones patrimoniales presentan daños graves de un total de 25 edificios catalogados.

La entidad inspeccionó monumentos, bienes patrimoniales y zonas típicas de ciudades y pueblos en las regiones Metropolitana de Valparaíso, O'Higgins, Maule y Bío Bío, que registraron los mayores efectos por la catástrofe. Las regiones de O'Higgins y Maule son las que registraron los daños más grandes en el patrimonio con 22 y 23 monumentos nacionales, respectivamente, severamente dañados (O. Acuña).

Fueron afectadas zonas típicas y rurales como los pueblos de Lolol, Chanco, Zúñiga y Cobquecura. En Santiago resultaron afectados el barrio Yungay, en la zona poniente, y templos católicos como la iglesia de los Sacramentinos, la Basílica El Salvador y la Divina Providencia, en la zona centro y oriente de la capital. También sufrieron daños en Santiago el Museo de Arte Contemporáneo, el Teatro Municipal e incluso el Cerro Santa Lucía con el Castillo Hidalgo.

En España es probable que un terremoto similar ocasionase la pérdida del 80% de nuestros monumentos.

¹ Catedrático de Ingeniería del Terreno

Norma Sísmica Española Ncse-2002

Sólo plantea que los Bienes de Interés Cultural serán considerados de importancia especial. En cuanto a su estudio y propuesta, a lo único que obliga la norma es a verificar que su nivel de seguridad después de una reforma sea al menos igual que el que tenía previamente. Sin embargo observamos cómo en los proyectos sobre edificios existentes se amplía el número de plantas y se aumentan las cargas sin realizar ningún estudio específico.

Los encargados de hacer velar por el cumplimiento de esta normativa son:

- Los colegios profesionales, que se limitan a comprobar que exista el apartado de Acciones Sísmicas, pero nunca realizan ningún estudio específico.
- La administración, especialmente la local, encargada de dar la licencia de obra. Por nuestra experiencia, las denuncias y los informes relativos a seguridad sísmica son ignorados, aunque sean presentados de forma oficial. De hecho, los Ayuntamientos no cuentan con personal encargado de revisar el cumplimiento de la norma sísmica.

En el caso de un suceso sísmico, sólo se hacen referencias a que algunos edificios deben ser revisados, pero de una forma genérica.

Norma Sísmica Chilena Nch433

La norma NCH433 incluye un anejo específico para la reparación estructural, aunque notamos la falta de que los monumentos no están incluidos en la clasificación de edificios como tipo A.

Por otra parte, la inclusión de acelerómetros en los edificios debería de incorporarse también en los monumentos.

Esta normativa debe utilizarse en el diseño sísmico de edificios pero no especifica que debe de utilizarse además en las reformas o rehabilitaciones.

Debería modificarse esta norma así como la Ley de Monumentos para conseguir que estos presenten un mejor comportamiento sísmico, lo que obligaría a sus actuales propietarios a acometer las obras de refuerzo oportunas. Según la Comisión Nacional de Bienes Culturales de la Iglesia (CNBCI), en Chile tres de cada cuatro inmuebles patrimoniales pertenecen a la Iglesia Católica.

El Eurocódigo 8. Parte 3.

El proyecto de Eurocódigo 8, en su parte 3, define específicamente tres estados límite (EL) para una estructura tras soportar un terremoto:

- **Proximidad al derrumbamiento (NC).** La estructura está seriamente dañada, con una rigidez y una resistencia lateral residual bajas, aunque los elementos verticales sean todavía capaces de soportar cargas verticales. La mayoría de los elementos no estructurales se han derrumbado. Están presentes grandes derivas permanentes. La estructura está al borde del derrumbamiento y probablemente no sobreviviría a otro terremoto, ni siquiera a uno de intensidad moderada.
- **Daños significativos o Estado límite de daños significativos (SD).** La estructura está significativamente dañada, con algo de rigidez y resistencia lateral residual, y los elementos verticales son capaces de soportar cargas verticales. Los elementos no estructurales están dañados, aunque los tabiques y rellenos no han perdido la verticalidad. Están presentes derivas permanentes moderadas. La estructura puede

resistir réplicas de intensidad moderada. La reparación de la estructura puede resultar antieconómica.

- **Limitación del daño (DL).** La estructura sólo está ligeramente dañada, con elementos estructurales que no han sufrido una incursión inelástica significativa y que mantienen sus propiedades de resistencia y rigidez. Los elementos no estructurales, tales como particiones y rellenos, pueden presentar grietas distribuidas, pero el daño podría repararse económicamente. Las derivas permanentes son despreciables. La estructura no necesita ninguna medida de reparación.
- Los periodos de retorno asignados a los distintos estados límite para su comprobación en un país pueden encontrarse en su anexo nacional. Se considera que la protección normalmente considerada como apropiada para los edificios ordinarios nuevos puede conseguirse mediante la selección de los siguientes valores para los periodos de retorno:
 - Estado límite de proximidad al derrumbamiento (NC): 2475 años, que corresponde a una probabilidad del 2% de ser superado en 50 años.
 - Estado límite de daños significativos (SD): 475 años, que corresponde a una probabilidad del 10% de ser superada en 50 años.
 - Estado límite de limitación de daños (DL): 225 años, que corresponde a una probabilidad del 20% de ser superada en 50 años.

Recomendaciones Generales

1. Como primera medida sería conveniente una formación patrimonial en los seminarios tanto de Chile como de España. Al igual que ocurre en el país chileno, también en España la mayor parte del patrimonio pertenece a la Iglesia. Las obras de restauración son emprendidas y subvencionadas por la administración aunque los inmuebles no son de su propiedad.
2. Desde el punto de vista material, la mayoría del patrimonio suele estar construido en adobe. Según la Enciclopedia Mundial de Vivienda, una de cada tres casas en el mundo fue construida con este material y actualmente un tercio de la población mundial vive en construcciones de adobe, mientras que la mayoría de nuestros patrimonios son de este material.

Por tanto, en este punto es conveniente realizar unas especificaciones o reglas básicas para la construcción con este material:

- Techumbre ligera unida mediante una viga, realizando un zunchado superior.
- Aislamiento con respecto a la humedad, especialmente de capilaridad para que el material no pierda sus condiciones intrínsecas, cumpliendo de esta forma la máxima "buen sombrero para aislar de la lluvia y buenas botas para aislar del terreno y humedades de capilaridad".
- Evitar las ampliaciones que suelen debilitar las estructuras, especialmente si para ello se emplean sistemas diferentes a los originales.
- Reparar adobe con materiales compatibles como madera, mallas de plástico, etc. Evitar el uso de hormigón.

No debemos considerar a este material como de uso exclusivamente marginal en comunidades rurales. En Granada, la Alhambra está hecha, en su mayor parte de adobe y

tapial. En la costa peruana, Chan Chan, al norte de Lima, es una de las mejores expresiones de urbanismo del siglo X d.C. y también ha resistido importantes terremotos. Los beneficios del adobe son múltiples: es aislante térmico y acústico, proporcionando además un toque estilístico inigualable, creando el efecto de los muros como una prolongación del suelo. Además, la materia prima para la construcción se obtiene del mismo lugar y puede reutilizarse.

3. El análisis de las construcciones antiguas (monumentos y bienes de interés cultural) es un desafío debido a:
 - La complejidad de su geometría.
 - La variabilidad de las propiedades de los materiales tradicionales.
 - Las diferentes técnicas de construcción.
 - El desconocimiento del daño provocado por las acciones que afectaron a la construcción durante su vida útil.
 - La falta de normas aplicables.
 - Limitación de extracción de probetas en edificios de mayor valor cultural.
 - Elevados costes inherentes a la inspección y diagnóstico.
 - Actualmente se está tramitando el proyecto de la Parte 3 del Eurocódigo 8 relativo a la evaluación de estructuras que entendemos puede ser una buena herramienta para el estudio de los monumentos y bienes de interés cultural.

Recomendaciones para Rehabilitación Sísmica de Monumentos

Será necesario siempre un estudio y MEJORA SÍSMICA del edificio/monumento, cuantificando el nivel de seguridad:

- Cada vez que se produzca un terremoto importante.
- Cuando se produzca un cambio de uso.
- Cuando se aumente la carga permanente un 20%.
- Cuando se produzca una reforma o rehabilitación integral.
- Cuando se realice una reforma de la estructura.
- Cuando se amplie el número de plantas o se realicen sótanos.
- Cuando se altera el comportamiento global de la estructura.
- Cada 25 años máximo.

Aspectos relevantes para edificios de fábrica de ladrillo piedra o adobe:

- Falta de certeza relativa por el conocimiento relativo existente en la época de construcción.
- Defectos en el diseño y construcción.
- Daños debidos a sismos anteriores.

Siguiendo las directrices de la norma italiana proponemos que en los cálculos ante la acción sísmica de edificios, monumentos o bienes de interés cultural se considere que el coeficiente de seguridad puede variar entre 1 y 1,35 dependiendo del conocimiento que tengamos del edificio, de su estructura y materiales, geometría, detalles constructivos, propiedades, etc. Este coeficiente debe de aplicarse a los materiales para obtener los valores de cálculo. Son tres los niveles en que nos podemos encontrar:

- Nivel 1. Se han realizado ensayos en la obra limitados. Nivel mínimo de conocimiento. Debe de exigirse un coeficiente de seguridad mínimo de 1,35

- Nivel 2. Se realiza un levantamiento estructural y una verificación en obra amplia (ensayos con toma de muestras, in situ, etc). Debería de exigirse un coeficiente de seguridad mínimo de 1,2.
- Nivel 3. Ensayos en obra exhaustivos. Coeficiente de seguridad 1,00.

Requisitos mínimos recomendados para diferentes niveles de inspección y ensayos

	Inspección (de disposiciones constructivas)	Ensayos (de materiales)
	Para cada tipo de elemento principal (viga, pilar, muro)	
Nivel de inspección y ensayos	Porcentaje de elementos que se comprueban en cuanto a disposiciones constructivas	Muestras de materiales por planta
Limitado	20	1
Ampliado	50	2
Global	80	3

Para la adecuación, puede permitirse una mejora controlada, reduciendo la acción sísmica hasta un 65% del nivel previsto para las estructuras nuevas, tomando en consideración las tipologías constructivas locales.



Medidas dinámicas en la cubierta de la Iglesia del Salvador de Sevilla

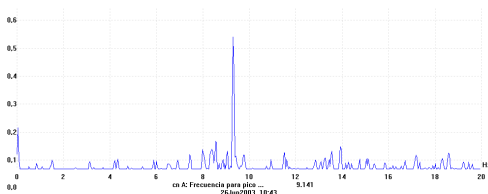
Medidas Dinámicas en Edificios

Como una medida de la pérdida de resistencia, de la rigidez actual y de la efectividad de las medidas de refuerzo, consideramos de enorme utilidad la medida dinámica de edificios. En Chile, hemos medido las características dinámicas de varios edificios, destacando la Catedral de Santiago y la casa natal de Violeta Parra en San Carlos.

La Catedral de Santiago ha tenido que ser levantada en varias ocasiones, y ha sido objeto de un estudio de vibraciones realizado por la Universidad Católica de Chile.

Uno de los sistemas más sencillos para estudiar los posibles daños en un edificio es medir el periodo fundamental con que este se mueve ante vibraciones ambientales. No es necesario someter al edificio a movimientos ni golpes. El tráfico y el viento son suficientes para medir el periodo fundamental con los actuales acelerógrafos conectados a ordenadores portátiles.

La casa de Violeta Parra, ubicada en la calle El Roble números 531 y 535, presenta, según el informe del CMN, ha sufrido caída de tejas, daño en maderas estructurales de la techumbre por falta de mantenimiento, además de desplazamiento de vanos de fachada y grietas en muros estructurales. Cuando la visitamos en 2006 su estado de conservación mantenimiento era pésimo debido a un escaso mantenimiento, destacando especialmente la ausencia de uno de los muros de medianería que había sido completamente demolido.



Ejemplo de determinación del periodo fundamental en el Salvador



Colocación de un acelerómetro en las torres de la Catedral de Santiago para la medida dinámica



Colocación de acelerómetros en la cubierta de la Catedral de Santiago, acompañados del Ingeniero Acuña



Fachada casa natal Violeta Parra en San Carlos



Lateral casa Violeta Parra sin muro de arriostramiento

Un edificio en el que la realización de medidas dinámicas previas y posteriores a su reparación han servido para verificar lo adecuado de los refuerzos estructurales ejecutados es la Iglesia del Salvador de Sevilla.

CONCLUSIONES

Después de un terremoto, no se pueden recuperar las vidas humanas ni el patrimonio arquitectónico ni los bienes culturales que alberga en su interior. Por tanto, la conservación de vidas y de los monumentos y su contenido para generaciones posteriores es un reto para nosotros.

Cuanto más tiempo pase sin que se registre un sismo de magnitud moderada o alta, más próximos nos encontramos a la ocurrencia del mismo. Por ello, es necesaria una normativa específica para monumentos o bienes de interés cultural que aporte recomendaciones sobre el nivel de exigencia de la normativa sísmica general a la vez que aporte soluciones concreta para la mejora sísmica de estos edificios.

La inclusión de acelerómetros para realizar medidas dinámicas en los monumentos es una medida esencial para conocer su comportamiento. Estas pruebas pueden realizarse actualmente a bajo coste y su complemento mediante modelos de elementos finitos puede aportar bastantes datos para la mejora estructural ante un evento sísmico.

BIBLIOGRAFÍA

Principles for the Conservation of Heritage Sites in China. English-language Text. Edited by Neville Agnew and Martha Demas. The Getty Conservation Institute
Proyecto de Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 3: Evaluación y rehabilitación de edificios
Norma Sísmica Española NCSE-02.
Norma Sísmica Chilena NCh433.