

PROYECTO DE GUÍA PARA LA REHABILITACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS E INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES EN ANDALUCÍA

Guía técnica para rehabilitación de edificios e infraestructuras en Andalucía

Antonio Jaramillo-Morilla¹
jarami@us.es

Emilio J. Mascort-Albea²
emascort@us.es

José M^a Sánchez-Langeber³
langbr@us.es

Cristina Soriano-Cuesta⁴
csoriano@us.es

Marta Mora-Santiesteban⁵
m.mora.s@hotmail.com

Jonathan Ruiz-Jaramillo⁶
jonaruijara@uma.es

Resumen

Los terremotos siguen provocando numerosas víctimas en España pese a contar con una normativa específica desde 1962. La aceleración sísmica del terremoto acaecido en Lorca en 2011 superó el doble de la prevista en la actual NCSE-02. Sin embargo, la principal causa de los daños no fue consecuencia del colapso estructural, sino de deficiencias constructivas. La actual crisis económica sugiere que el parque edificado va a tener una vida útil muy superior a la prevista. Por tanto, con objeto de evitar futuras pérdidas humanas y disminuir daños tras la acción de un terremoto, se está realizando un Protocolo de Actuación para edificios e infraestructuras existentes que contará con dos partes: “clasificación de daños e intervenciones inmediatas” y “procedimientos de cálculo y soluciones constructivas para mejorar el comportamiento sísmico”. La primera parte de este Protocolo irá implementada con una aplicación informática que realizará un Informe previo sobre el grado de afección del edificio, acompañado de fotografías, croquis y una descripción de daños. La segunda parte propondrá coeficientes de seguridad, sistemas de comprobación y detalles constructivos para verificar y aumentar la seguridad de los edificios frente a sismo.

Palabras-clave: Rehabilitación sísmica, Guía, Terremoto.

¹ Catedrático de Ingeniería del Terreno, Universidad de Sevilla.

² Profesor Sustituto Interino Ingeniería del Terreno, Universidad de Sevilla.

³ Profesor Titular de Ingeniería del Terreno, Universidad de Sevilla.

⁴ Profesora Contratada Ingeniería del Terreno, Universidad de Sevilla.

⁵ Arquitecto.

⁶ Profesor Ayudante Doctor. Universidad de Málaga.

1 Introducción y antecedentes

Durante la acción de un sismo de intensidad elevada, se generan grandes pérdidas humanas y daños materiales difíciles de reparar. El grado de destrucción de estos devastadores fenómenos naturales puede provocar la desaparición de ciudades actualmente existentes en tan solo unos minutos, llevándose consigo a miles de familias y edificios de importancia patrimonial e histórica, edificios residenciales, sanitarios, docentes... muchos de ellos esenciales para poder atender y ayudar a los afectados.

El reciente terremoto acaecido en Lorca (Murcia) en 2011, movimiento sísmico de mayor intensidad registrado en España en los últimos años, junto con la elevada actividad sísmica que presenta Granada, provincia de Andalucía con mayor riesgo sísmico del país (Ministerio de Fomento. 2002), nos permite afirmar que el Sur de España posee un grado de peligrosidad sísmica muy elevado, con intensidades superiores a VI (escala sismológica de Mercalli).

España cuenta con una normativa sísmica desde 1962, siendo la *Norma de Construcción Sísmorresistente* (NCSE-02) y la *Norma de Construcción Sísmorresistente: Parte de puentes* (NCSP-07) las que se encuentran actualmente en vigor. Este dato nos indica que gran parte del parque edificado existente de nuestro país ha sido construido sin considerar ningún tipo de aspecto sísmico. Además, el paso del tiempo altera el grado de seguridad sísmica de los edificios existentes, aunque se hayan ejecutado según los criterios de la normativa sísmica vigente en el momento de su construcción.

De este modo entendemos que, a día de hoy, es fundamental que los países como España, que presentan una actividad sísmica notable, dispongan de un Protocolo de Actuación que recoja los métodos de intervención sobre construcciones afectadas tras la acción de un terremoto, y las medidas de prevención capaces de mejorar el comportamiento sísmico de los edificios e infraestructuras existentes frente a la acción de un futuro terremoto.

Actualmente, el Proyecto de Investigación I+D+i: “Norma Sísmica. Análisis previo y rehabilitación ante daños de edificios e infraestructuras existentes”, en colaboración con la Junta de Andalucía, se encuentra desarrollando un Protocolo de Actuación para edificaciones existentes donde se recogen las pautas de control, intervención, rehabilitación y refuerzo más adecuadas para mejorar la respuesta sísmica de los edificios en caso de sismo.

2 Objetivos

La redacción de un Protocolo de Actuación para edificios e infraestructuras existentes tiene como objeto fundamental disminuir los daños que se puedan ocasionar tras una acción sísmica y evitar futuras pérdidas humanas.

Considerando que los principales daños, después de un terremoto, no se deben al colapso estructural, sino a deficiencias constructivas, es necesario estudiar el comportamiento de las construcciones actualmente existentes durante la acción de un futuro sismo, y proponer las medidas de prevención y rehabilitación más adecuadas para disminuir las consecuencias que estos devastadores agentes naturales provocan.

La existencia de un Protocolo de Actuación es esencial para la intervención sobre construcciones ubicadas en aquellas regiones con grado de peligrosidad sísmica elevado, o en edificaciones de importancia especial, construidas fuera de la aplicación de la normativa sismorresistente vigente.

3 Protocolo de Actuación

El Protocolo de Actuación es un documento donde se establecen las medidas de intervención (reparación/rehabilitación) y prevención más adecuadas, capaces de mejorar el comportamiento de las construcciones existentes frente a la acción de un sismo.

Este documento cuenta con dos apartados fundamentales: un Protocolo a Corto Plazo, que recoge la “clasificación de daños e intervenciones inmediatas” y un Protocolo a Largo Plazo, que establece “los procedimientos de cálculo y soluciones constructivas que mejoren el comportamiento sísmico de los edificios e infraestructuras existentes”.

3.1 Corto Plazo

El Protocolo de Actuación a Corto Plazo de construcciones arquitectónicas y civiles existentes recoge un plan de inspección inmediata donde se establecen las primeras pautas de control, inspección, análisis y evaluación del estado de las edificaciones afectadas por un sismo de categoría importante.

Este documento permite analizar la estabilidad de las construcciones, y determinar su grado de peligrosidad en función de los daños y lesiones que presentan, tanto en sus elementos estructurales como en el conjunto global del mismo, transcurrido un breve espacio de tiempo desde la acción de un sismo.

Para conocer el grado de seguridad de las construcciones tras el desastre, se desarrollarán unas fichas de inspección (Anagnostopoulos, S. 1999) que facilitarán la clasificación de daños, en función de las características de los mismos, y determinarán el nivel de peligrosidad que presentan las estructuras como medida de prevención para los usuarios.

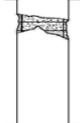
TIPO DE DAÑO	PILARES	DETALLE
NINGUNO	<ul style="list-style-type: none"> ·Grietas finas en el mortero ·Ligero desprendimiento del hormigón 	
LEVE	<ul style="list-style-type: none"> ·$d(\text{diagonal}) \leq 0,5 \text{ mm}$ ·$d(\text{horizontal}) \leq 2,0 \text{ mm}$ ·Desprendimiento del hormigón 	
MODERADO FUERTE	<ul style="list-style-type: none"> ·$d(\text{diagonal}) \leq 2,0 \text{ mm}$ ·$d(\text{horizontal}) \leq 5,0 \text{ mm}$ ·Disgregación parcial del hormigón 	
SEVERO	<ul style="list-style-type: none"> ·$d(\text{diagonal}) > 2,0 \text{ mm}$ ·$d(\text{horizontal}) > 5,0 \text{ mm}$ ·Extensa disgregación del hormigón ·Deformación de las armaduras longitudinales 	

Figura 1: Ejemplo ficha de clasificación daños.



Figura 2: Daño severo.

Los niveles de peligrosidad a establecer serán los siguientes (New Zealand Society for Earthquake Engineering. 2009): VERDE (el edificio presenta daños de escasa entidad, no existe restricción de acceso), AMARILLO (se detectan zonas afectadas, prohibido el paso salvo circunstancias extraordinarias) y ROJO (se detectan daños que pueden afectar la estabilidad del edificio, prohibido el paso).

Este Protocolo irá implementado de una aplicación informática que permitirá a los técnicos la realización de un informe previo in situ, acompañado de fotografías, croquis y una descripción de daños, que se registrará de forma telemática para facilitar la consulta inmediata de criterios de actuación.

3.2 Largo Plazo

El Protocolo de Actuación a Largo Plazo establece los sistemas de comprobación y verificación de las estructuras existentes necesarios para analizar el comportamiento de las edificaciones si, llegado el caso, tuviesen que enfrentarse a un sismo de intensidad elevada, del tipo de los que la Historia ha demostrado que pueden llegar a producirse en algunas zonas de España.

Este documento nos permitirá conocer el coeficiente de seguridad estructural actual (Ministerio de Vivienda. 2009) de las construcciones ante acciones dinámicas, evaluar su grado de conservación y proponer nuevos índices de seguridad, especialmente de aquellas edificaciones cuyas características tipológicas y constructivas sean representativas de la mayor parte del dominio edificatorio del país, o si se trata de construcciones de carácter patrimonial.

El Protocolo irá acompañado de una serie de recomendaciones técnicas, así como posibles actuaciones de reparación, rehabilitación y refuerzo, que mejoren la capacidad resistente de los edificios ante futuros terremotos, alterando lo menos posible la configuración previa de los mismos, y aumenten la seguridad en caso de sismo. (Nakano, Y. 2004).

4 Ensayos

Para conocer el coeficiente de seguridad estructural actual de los edificios e infraestructuras existentes ante acciones dinámicas, se procederá a realizar una campaña de ensayos no destructivos in situ, que permita analizar la rigidez estructural sin afectar o dañar el edificio.

Entre los ensayos a realizar destaca, por su aplicabilidad en este campo, el análisis dinámico o medida de la frecuencia natural de vibración de las estructuras existentes, tanto a nivel de sismos como a nivel de vibraciones transmitidas por otras fuentes, mediante la utilización de acelerómetros.

Medir el período fundamental de un edificio, permite conocer la resistencia actual de la edificación, la rigidez de la estructura y la efectividad de las medidas de reparación. Además, este proceso de evaluación no altera las características técnicas de las construcciones y es aplicable a la mayoría de las tipologías estructurales existentes.

A partir de los resultados obtenidos, se plantearán las recomendaciones constructivas y soluciones específicas de reparación y refuerzo, que en cada caso se consideren más apropiadas, en previsión de futuros daños.



Figura 3: Colocación de acelerómetro en una torre de la Catedral de Santiago de Chile.



Figura 4: Colocación de acelerómetro en la cubierta de la Catedral de Santiago de Chile.

Algunos de los edificios donde se ha procedido a medir el período fundamental, para verificar la rigidez estructural, han sido: la Catedral de Santiago de Chile, donde se tomaron medidas en las torres y en la cubierta; y la Iglesia del Salvador de Sevilla (Ruiz-Jaramillo, J. 2008) donde, gracias a la toma de datos antes y des-

pués de su rehabilitación en 2008, se pudo corroborar la eficacia de las medidas de refuerzo adoptadas.

5 Conclusiones

La existencia de un Protocolo de Actuación, en aquellos países con elevada actividad sísmica, supondrá una mejora de los medios de evaluación, control y actuación sobre las construcciones afectadas por un sismo, trascurrido un breve espacio de tiempo desde el ataque de un terremoto.

Además, el estudio del comportamiento estructural de las construcciones existentes, permitirá desarrollar nuevos modelos de diseño sobre edificaciones de nueva construcción, ajustando de esta forma la norma sísmica actualmente en vigor.

6 Agradecimientos

Los autores deseamos agradecer a FEDER de la Unión Europea la financiación para el proyecto "Norma sísmica. Análisis previo y rehabilitación de edificios e infraestructuras existentes" del "Programa Operativo FEDER de Andalucía 2007-2013". También agradecemos a la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía de la Consejería de Fomento y Vivienda y al personal investigador por su dedicación y profesionalidad. Por último, dar las gracias al VPPI de la Universidad de Sevilla, por su apoyo y ayuda para financiar la gestión de este documento.

7 Bibliografía

- [1] Ministerio de Fomento. Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02. Parte general y edificación. *BOE (Boletín Oficial del Estado)* 244, 11 octubre 2002: pp. 35.905.
- [2] Anagnostopoulos, S. A.; Moretti, M. *Post earthquake damage and usability assessment of buildings: further development and applications*. EUROPEAN COMMISSION, 1999.
- [3] New Zealand Society for Earthquake Engineering. *Building Safety Evaluation during a state of emergency. Guidelines for Territorial Authorities*. New Zealand: 2009.
- [4] Ministerio de Vivienda. CTE-DB-SE (Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural). 2009: pp. 33 (Anejo D).
- [5] Nakano, Y; Maeda, M. *Guideline for post-earthquake damage evaluation and rehabilitation of RC buildings in Japan*. 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004, pp. 124.
- [6] Ruiz-Jaramillo, J.; Jaramillo-Morilla, A. *Metodologías científicas y técnicas utilizadas en la restauración de la Iglesia del Salvador de Sevilla*. IX Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación, 2008.