

ZUNCHO

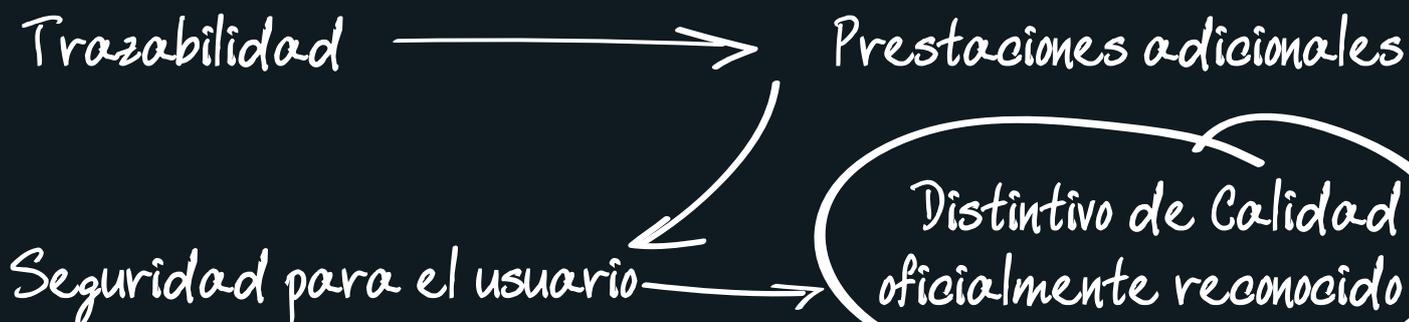
Nº 30 • DICIEMBRE 2011

Especial
SISMO



ARCER

Armaduras para Hormigón



Los aceros ARCER cuentan con la confianza y reconocimiento de sus usuarios, gracias a la labor continua de investigación e innovación tecnológica efectuada. Mayores prestaciones, seguridad y elevado nivel de calidad siguen siendo nuestra mejor carta de presentación.

Éstos aceros están en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido por la Administración, lo que les permite beneficiarse de las consideraciones especiales previstas a tal efecto por la reglamentación obligatoria en materia de hormigón estructural.



Sumario

Zuncho es una revista técnica especializada en la fabricación, investigación, transformación y uso del acero para estructuras de hormigón, que se edita cuatro veces al año.

A través de la dirección de correo electrónico zuncho@ferraplus.com puede enviar sus propuestas y comentarios a la redacción de la revista.

DIRECTOR DE LA PUBLICACIÓN:

Julio José Vaquero García

ASESORES:

Juan Jesús Álvarez Andrés
Emilio Caro de la Rosa
Ignacio Cortés Moreira
Antonio Garrido Hernández
Eduardo Gimeno Fungairiño
Fernando Rodríguez García
Valentín Trijueque y Gutiérrez de los Santos
Luis Vega Catalán

EDICIÓN:

CALIDAD SIDERÚRGICA, S.L.
C/ Orense 58, 1º C
28020 Madrid

DISEÑO, PRODUCCIÓN Y PUBLICIDAD:

Advertising Label 3, S.L. (ALCUBO)
Tel.: 91 553 72 20
Fax: 91 535 38 85

IMPRESIÓN:

MEDINACELI PRINTER, S.L.

Déposito legal: M-43355-2004
ISSN: 1885-6241

Las opiniones que se exponen en los artículos de esta publicación son de exclusiva responsabilidad de sus autores, no reflejando necesariamente la opinión que pueda tener el editor de esta revista. Queda terminantemente prohibido la reproducción total o parcial de cualquier artículo de esta revista sin indicar su autoría y procedencia.

Especial SISMO

2 EDITORIAL

5 REPORTAJES

- Lorca, el terremoto improbable.
- Ciencia y conciencia sísmica en España.
- La configuración sísmica de los sistemas.
- Comportamiento de los cerramientos y particiones durante el terremoto de Lorca.

44 NOTICIAS

- La conferencia de invierno de Euroconstruct revela un futuro incierto para la construcción en España.





EDITORIAL

Editorial

Dentro de las "fuerzas de la naturaleza" los terremotos son, probablemente, los sucesos naturales que mayor impacto pueden producir en las personas. A diferencia de otros (tifones, inundaciones, incendios, erupciones, etc.) los terremotos son fenómenos que no podemos controlar y que no podemos predecir, y cuyas consecuencias son, por lo general, dramáticas para las personas y los bienes, y ocurren en un brevísimo espacio de tiempo.

Nuestro país no es ajeno a los fenómenos sísmicos, cuyo nivel no es en absoluto despreciable y abarca amplias zonas de los Pirineos, la Costa Mediterránea y la Costa Atlántica, en coincidencia con los bordes de las placas Euroasiáticas y Africana, y la falla Azores-Gibraltar.

La norma de construcción sismorresistente incluye un total de 2.618 localidades situadas en zonas con riesgo sísmico; 724 de ellas tienen más de 5.000 habitantes y totalizan una población de más de 20 millones de personas, casi la mitad de la población española.

La Península Ibérica ha sido escenario en el pasado de fuertes seísmos, pero el largo periodo de tiempo transcurrido desde los más impactantes (Arenas del Rey, Granada, 1884) explica la inexistencia de una conciencia histórica de esta realidad y, por tanto, la ausencia de una cultura social al respecto, lo que conduce a la escasa relevancia que se le concede a estos sucesos hasta que irrumpen en nuestras vidas de una forma cercana y cruenta, como la sucedida en Lorca el pasado mes de mayo.

Cuando el sismo es actualidad surgen tertulias, opiniones y programas especiales, y los técnicos que trabajan a diario en estos temas se quedan sorprendidos y se preguntan ¿de dónde habrá surgido tanto experto?

El interés de los medios de comunicación pronto se dirige hacia otros asuntos y de nuevo se apodera de nosotros una terrible amnesia, que olvida rápidamente los sucesos y las lecciones aprendidas.

Antes de que esto ocurra hemos de intentar mantener despierto el interés por las cuestiones del sismo, para tratar que se le de la importancia que merece a todos los niveles, y que todos estemos mejor preparados para afrontar situaciones similares que pudieran producirse en el futuro.

En este número especial de la revista Zuncho se han recogido varios artículos preparados por verdaderos expertos en la materia, que vienen trabajando en estos temas desde hace muchos años y cuya opinión creemos que ha de tener la mayor difusión posible.



En ellos se describen las lecciones aprendidas en el terremoto de Lorca, cuya intensidad se encontraba dentro de lo esperable, y cuyas consecuencias no han sido tan terribles como cabría esperar, a la vista de la ausencia generalizada de criterios de diseño sísmico de los edificios existentes en esta localidad.

Si fueron las fábricas las causantes principales de las muertes acaecidas en Lorca —fallecieron 9 personas y más de un centenar resultaron heridas—, como consecuencia del desprendimiento de parapetos y fachadas, también fueron éstas en muchos casos las que evitaron el desplome de los edificios al aumentar la rigidez de los pórticos de unas soluciones estructurales especialmente sensibles a la acción de esfuerzos horizontales.

También se aportan propuestas para mejorar estas circunstancias. A diferencia de lo que algunos pudieran asegurar, la normativa sísmica española está en línea con el estado actual del conocimiento, y puede carecer de algún detalle constructivo concreto, pero que no justifica en absoluto las cuantiosas pérdidas materiales acaecidas, de las que una parte se hará cargo el Consorcio de Compensación de Seguros, que ha recibido 21.685 solicitudes de indemnización por unas pérdidas valoradas en, aproximadamente, 150 millones de euros —la memoria de daños elaborada por la Consejería de Economía y Hacienda del Gobierno de Murcia, y remitida a Bruselas, efectuaba una primera estimación de los daños causados por el sismo en 841 millones de euros y advertía que su evaluación final podía elevar esta cifra a más de 1.000 millones—.

La normativa no sólo debe existir, debe conocerse, debe respetarse y debe hacerse cumplir, como garante de la seguridad de los bienes y de las personas y evitar que éstas corran riesgos innecesarios.

Pero no sólo hay que acordarse de Santa Bárbara cuando truena. Muchas de las soluciones propuestas para mejorar el comportamiento de una estructura están

relacionadas con su capacidad de ductilidad; su capacidad de deformarse sin perder capacidad resistente.

La ductilidad estructural es una propiedad siempre deseable y es la que permite que los elementos que componen una estructura trabajen en equipo, distribuyendo cargas y absorbiendo las carencias que puedan producirse en alguno de ellos.

Sin temor a equivocarnos, es la ductilidad, junto con los coeficientes de seguridad que utilizamos, la responsable de que muchas cosas “no se caigan” a pesar de las malas prácticas constructivas que, con el tiempo, terminan por dar la cara.

El manejo adecuado de la ductilidad estructural permite, por ejemplo, la construcción de puentes y edificios integrales, en los que no son precisas juntas estructurales o éstas pueden disponerse a gran distancia, evitando así los problemas asociados a su mantenimiento, o mejor dicho, a su falta de mantenimiento.

En circunstancias normales, permite incrementar la seguridad de la estructura ante acciones imprevistas como las sobrecargas, o acciones accidentales como el fuego o las explosiones, y en todos los casos evita que se produzcan roturas frágiles sin previo aviso.

La industria siderúrgica no ha sido ajena a los temas relacionados con el sismo y la ductilidad sino que los ha considerado muy importantes desde hace más de una década, desarrollando al final de los años 90 los aceros SD, con características especiales de ductilidad, actualmente obligatorios para las estructuras de hormigón situadas en zona sísmica, y ha impulsado la redacción de monografías y publicaciones relacionadas con estos temas, entre las que se encuadra esta revista en la que se han publicado diversos artículos relativos a ductilidad, confinamiento, o vulnerabilidad sísmica de los edificios.

Esperamos que este número especial tenga una buena acogida entre la comunidad técnica nacional, ofreciendo las páginas de nuestra revista para el debate, el avance y la comunicación en esta y otras materias relacionadas con la seguridad, la calidad, la innovación y la sostenibilidad de las estructuras de hormigón. ■



Sostenibilidad Siderúrgica

La **Marca Sostenibilidad Siderúrgica** está destinada a destacar aquellas empresas que fabrican productos de acero bajo una estrategia de Responsabilidad Social Empresarial, buscando la excelencia y responsabilizándose con el entorno.

Para conceder la Marca, la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), verifica que las empresas disponen de los siguientes Sistemas de Gestión:

- **Sistemas de gestión de la sostenibilidad. Requisitos e Indicadores (SGSS:2010)**
- **Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos (UNE-EN ISO 9001:2008)**
- **Sistemas de gestión medioambiental. Requisitos (UNE-EN ISO 14001:2004)**

Y que a través de 56 indicadores y 149 parámetros han sido evaluados adecuadamente los siguientes 23 aspectos de la sostenibilidad:

SOCIALES:

- Empleo
- Salud y seguridad laboral
- Formación y educación
- Beneficios sociales
- Diversidad e igualdad de oportunidades
- Libertad de asociación y convenios colectivos
- Comunidad
- Buen gobierno
- Productos y servicios
- Privacidad del cliente

ECONÓMICOS:

- Desempeño económico
- Impactos económicos directos
- Impactos económicos indirectos
- Innovación y desarrollo tecnológico

AMBIENTALES:

- Materiales
- Energía
- Agua
- Biodiversidad
- Emisiones, vertidos y residuos
- Uso de sustancias peligrosas
- Uso y contaminación del suelo
- Gastos e inversiones medioambientales
- Aspectos ambientales indirectos

Empresas en posesión de la licencia de uso de la Marca Sostenibilidad Siderúrgica (orden alfabético):

ArcelorMittal Gipuzkoa, S.L.U. (fábricas de Bergara y Zumárraga)

Compañía Española de Laminación, S.L. (CELSA)

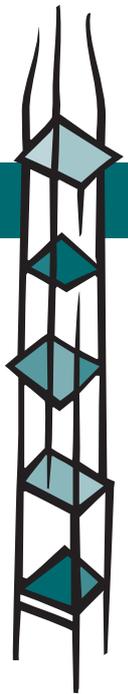
Global Steel Wire, S.A.

Megasa Siderúrgica, S.L.

Siderúrgica Sevillana, S.A.

SN Maia, Siderurgia Nacional, S.A.

SN Seixal, Siderurgia Nacional, S.A.



LORCA, EL TERREMOTO IMPROBABLE

Alex H. Barbat - Universidad Politécnica de Cataluña. Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Catedrático del Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras en la Ingeniería. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña. Presidente de la Asociación Española de Ingeniería Sísmica (AEIS).

El terremoto registrado en Lorca el pasado 11 de mayo tuvo una magnitud de 5,1 asignándosele una intensidad macrosísmica en la escala EMS de VII. Una magnitud de 5,1 es moderada y está de acuerdo con el mapa de peligrosidad sísmica de España para un período de retorno de 475 años. Sin embargo, el registro del movimiento sísmico del terreno obtenido por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) en Lorca muestra que se alcanzaron valores de aceleración máxima del terreno de 0,376g y desplazamientos máximos del terreno entre 3 y 4 centímetros, valores que superan la aceleración básica de proyecto prevista para esta localidad en la Norma Sismorresistente Española NCSE-02. Este hecho puede explicarse por la ruptura superficial de la falla de Alhama de Murcia y por la cercanía del epicentro. Aun así, los valores medios de la aceleración que se especifican en esta norma pueden tener una desviación estándar importante y, por esto, los valores registrados en Lorca se pueden considerar como esperables.

Entonces, ¿por qué he llamado al terremoto de Lorca improbable?

- Porque, aspecto poco habitual, hubo un terremoto premonitor suficientemente severo que alarmó a la población que abandonó sus viviendas salvándose, de esta manera, muchas vidas humanas.

- Porque sorprendió a muchos medios de comunicación y a las personas convencidas de que en España no pueden producirse pérdidas tan grandes por este tipo de fenómenos naturales.
- Porque la aceleración máxima registrada superó en mucho la de proyecto.
- Porque se ha visto que la falta de ductilidad de los edificios con forjados reticulares —clasificados como “edificios con ductilidad limitada” por el Eurocódigo 8— no ha conducido, en ningún caso, a menores pérdidas o a un menor daño estructural.
- Porque los daños no estructurales han superado ampliamente a los estructurales.

En la Figura 1 puede verse el espectro correspondiente a la componente N-S del terremoto de Lorca (en azul) en comparación con los espectros sísmicos de diseño de la Norma Sismorresistente Española, NCSE-02, para diferentes tipos de suelo.

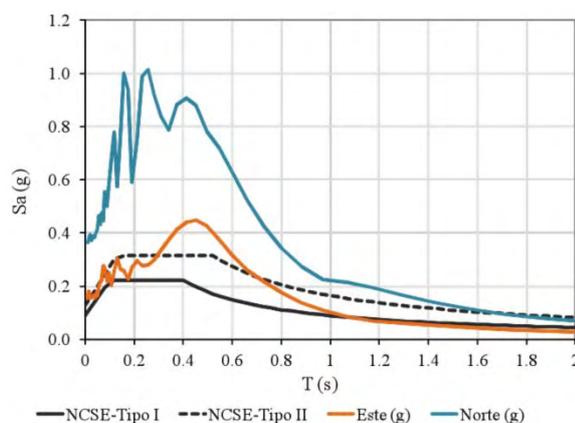


Figura 1.- Espectros de respuesta (5% de amortiguamiento) de las dos componentes horizontales del registro de aceleración de Lorca (Este y Norte), junto con los espectros de la Norma NCSE-02 para roca (tipo I) y suelo tipo II.



REPORTAJES

SOBRE EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO

En los años 20 y 30 del siglo pasado se desarrollaron en el mundo las primeras normas de diseño para edificios de hormigón armado situados en zonas sísmicas. En éstas se estipulaba comprobar si los edificios resistían la acción de fuerzas horizontales equivalentes a las sísmicas, las cuales se calculaban como un porcentaje del peso total de la estructura.

En los años 50 comenzó a nivel mundial, pero especialmente en California y en Japón, el estudio sistemático del comportamiento sísmico de los edificios de hormigón armado que se habían proyectado y construido en las épocas anteriores para resistir fuerzas laterales. Las inspecciones de los edificios afectados por terremotos permitieron identificar los errores cometidos y han sentado las bases de partida para nuevas investigaciones, para el desarrollo de nuevas técnicas de construcción y para nuevas normas. Pero los edificios construidos con estas nuevas normas no mostraron el comportamiento sísmico esperado: las estructuras eran excesivamente flexibles y tenían deficiencias de armado y de confinamiento de los pilares, de los nudos y de las zonas de potenciales rótulas plásticas en las vigas.

Por esta razón se propusieron nuevas normas de diseño sismorresistente que comenzaron a utilizar el concepto de diseño dúctil incluso en zonas de sismicidad moderada, lo que ha requerido el desarrollo de nuevos tipos de uniones entre pilares, vigas y forjados. Se introdujo, asimismo, el uso de pantallas a cortante para limitar los desplomes de los edificios bajo la acción sísmica y evitar, de esta manera, las excesivas pérdidas por daños no estructurales.

En el mismo período se identificaron algunos defectos de configuración estructural como los relacionados con las deficiencias en la transmisión vertical de las cargas, el uso de pilares cortos, de pilares débiles y vigas fuertes, así como las uniones débiles pilar-viga.

A partir de los años 60 se consolida el uso del hormigón armado, pero las normas sísmicas se aplican especialmente en zonas de gran actividad sísmica o en el caso de estructuras de especial importancia. En los años 70 y 80 las normas comenzaron a exigir un diseño dúctil que no se limitase exclusivamente a los elementos, sino que contemplase también el comportamiento global de los edificios. A pesar de que se tenía una clara conciencia de que la ductilidad estaba asociada a la magnitud de los daños estructurales, las normas admitían dichos daños y planteaban como principal objetivo de diseño el de evitar la pérdida de vidas humanas, impidiendo a toda costa el fallo frágil de los edificios. Para ello se generalizó el uso de armaduras transversales especialmente previstas para evitar en el caso sísmico fallos por cortante en los pilares y para conseguir, de esta manera, edificios proyectados bajo el criterio de viga débil-pilar fuerte¹.

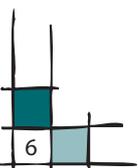
Después de 1990, terremotos como los ocurridos en Northridge (California 1994) y Kobe (Japón 1995) permitieron revisar la eficiencia de los proyectos de los edificios de hormigón armado diseñados para presentar un comportamiento dúctil². Las modificaciones introducidas en las normativas comenzaron a estar orientadas también hacia la limitación de las pérdidas materiales por sismo.

Sobre la tipología estructural

Muchos de los daños sísmicos en edificios se deben a tipologías estructurales inadecuadas que, por ciertas razones, se siguen utilizando en algunas zonas sísmicas. Por esto, el proyectista debe elegir, primeramente, un sistema estructural que pueda conducir a un comportamiento sísmico satisfactorio y que cumpla, al mismo tiempo, los otros requisitos de proyecto. Hoy en día, los especialistas están de acuerdo en que en el diseño sismorresistente de edificios

¹ El principio "viga débil-pilar fuerte" trata que la disipación de la energía a la que se ve sometida la estructura durante la ocurrencia de un sismo, se produzca en los elementos horizontales (vigas) mediante la formación de rótulas plásticas. En caso contrario, el fallo de los pilares dejaría las plantas de un edificio unas encima de las otras sin elementos verticales resistentes de unión, provocando su colapso.

² La ductilidad estructural es la capacidad que tienen los edificios de deformarse más allá del límite elástico sin pérdida de resistencia y de acumular energía durante los ciclos de carga (histéresis). Contraria a esta característica es la de fragilidad, que implica una pérdida súbita y completa de la resistencia de una estructura en el momento en el que se produce un incremento del desplazamiento. La capacidad dúctil de un edificio de hormigón armado depende de las características de sus componentes, acero y hormigón, así como de la disposición de la armadura en las secciones y en los elementos.



deben emplearse tipologías estructurales que aseguren una ductilidad adecuada. Para ello, es preciso cumplir con los requisitos que constituyen la base del diseño por capacidad de las estructuras:

- asegurar un comportamiento inelástico global de la estructura;
- predefinir las zonas donde se concentrarán las deformaciones inelásticas;
- incrementar la resistencia estructural en aquellas zonas de la estructura que deban permanecer en el rango elástico.

La mayoría de los edificios de hormigón armado de Lorca y de otras zonas sísmicas de España están formados por pilares sobre los que se apoyan forjados planos, en su versión de forjados reticulares. Dichos edificios son muy aceptados por los proyectistas debido a sus ventajas tecnológicas y, especialmente, por sus ventajas arquitectónicas, al no atravesarse espacios con vigas de canto.

Los forjados reticulares tienen nervios en dos direcciones ortogonales y se apoyan sobre los pilares mediante secciones macizas denominadas ábacos que, en algunos casos, están reforzados mediante elementos metálicos denominados crucetas. Sin embargo, la falta de vigas y de nudos imposibilita la realización de un diseño dúctil de la estructura debido a la ineficacia del confinamiento de las secciones de los forjados —que son elementos de menor canto— lo que no permite aplicar los criterios de diseño dúctil anteriormente mencionados. Por ejemplo, es imposible utilizar conceptos de diseño como el de pilar fuerte-viga débil, si el edificio no tiene vigas y nudos que se puedan confinar para controlar su nivel de daño.

Como consecuencia, el comportamiento sísmico de las estructuras depende, en este caso, de su mayor rigidez y resistencia y de la posibilidad de transferir las tensiones tangenciales entre los pilares y el forjado. Esta es la razón por la cual en Lorca se han observado varios casos de estructuras con los pilares dañados en sus extremi-

dades mientras que los forjados reticulares permanecían intactos. Podríamos afirmar que nos encontramos frente a un caso de “pilar débil-forjado reticular fuerte” al efecto del momento flector que no excluye la posibilidad de que se produzca un colapso de tipo frágil del edificio. A todo esto deben añadirse, dentro de esta tipología estructural, posibles errores de diseño conceptual, de proyecto y de construcción que, si se producen, agravan aún más la situación.

SOBRE LOS DAÑOS SÍSMICOS EN LOS EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO

Además del aspecto tipológico, el comportamiento sísmico de los edificios de hormigón armado depende, en gran medida, de las prácticas de diseño y construcción habituales en la zona. Es relativamente habitual identificar errores como:

- falta de confinamiento de los elementos estructurales,
- pilares cortos,
- plantas bajas blandas,
- cerramientos no confinados por la estructura,
- elementos no estructurales no anclados,
- juntas sísmicas de dimensión insuficiente entre edificios.

La utilización de una armadura transversal inadecuada en los pilares —por ejemplo, un diámetro insuficiente del redondo, una separación excesiva de los cercos o una conexión inadecuada de éstos— impide el confinamiento de dichos elementos en las extremidades de los pilares (véase la Figura 2).



➔ **Figura 2.-** Pilar dañado en un edificio con forjados reticulares de Lorca. Se observa la falta de confinamiento.



REPORTAJES

La presencia de pilares cortos en los edificios, que pueden sufrir daños importantes debido al excesivo esfuerzo cortante al que están sometidos, puede ser la causa de grandes daños en las estructuras e, incluso, del colapso de las mismas (Figura 3).



➤ **Figura 3.-** Edificio de Lorca con pilares cortos perimetrales. También es visible la falta de confinamiento en los pilares. Puede observarse "el código de Lorca": el círculo negro en la fachada que significa demolición.

Algunas normas no fijan límites de deformación lateral de los edificios que permitan minimizar los daños no estructurales. Por este motivo, en muchos edificios de hormigón armado cuya estructura no ha sufrido daños o ha sufrido daños menores durante sismos, los cerramientos o tabiques pueden sufrir grandes daños. La falta de conexión entre los paneles de mampostería y la estructura hace que dichos elementos se dañen tanto por movimientos fuera de plano como por movimientos en el plano. Las pérdidas totales por esta causa pueden ser cuantiosas al nivel de una ciudad entera (Figura 4).



➤ **Figura 4.-** Edificio de Lorca con daños estructurales moderados en los pilares cortos, pero con grandes daños no estructurales por el colapso de los cerramientos de la planta baja.

Una situación que añade dificultades al problema de reducir los daños no estructurales es la presencia de una *planta baja débil*, que es bastante común en muchos de los edificios que se encuentran en zonas sísmicas; habitualmente está originada por una mayor altura de la planta baja. En la mayoría de los casos, su presencia no conduce al colapso de la estructura sino a grandes desplazamientos horizontales seguidos de graves daños en los cerramientos (Figura 5).

Un aspecto importante que puede conducir a daños sísmicos importante es el dimensionamiento inadecuado de las juntas sísmicas que se deben dejar entre edificios colindantes. Este hecho puede producir el fenómeno de golpeteo entre edificios, que puede tener graves consecuencias: grandes daños (Figura 6) e, incluso, el colapso.



➤ **Figura 5.-** Edificio de Lorca con la planta baja débil y los cerramientos colapsados o con daños severos.



Figura 6.- Golpeteo sufrido por dos edificios de Lorca con el consiguiente daño.

Finalmente, los elementos no estructurales que tengan el borde superior libre, como cornisas, antepechos, parapetos y chimeneas, deben enlazarse a la estructura para garantizar su estabilidad, posiblemente mediante un encadenado de coronación y elementos verticales.

SOBRE LOS DAÑOS SÍSMICOS EN LOS EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

La gran mayoría de los edificios de mampostería no reforzada de ladrillo o de piedra del centro de Lorca son antiguos y, obviamente, anteriores a las normas de diseño sismorresistente.

Las iglesias han sufrido daños de diferente grado. El muro sur de la Iglesia Paso Azul ha sufrido un vuelco hacia fuera, dejando la cúpula parcialmente apoyada sobre el muro (Figura 7). En otras iglesias se han observado grietas en el plano de los muros de las fachadas y de los otros muros, grietas en las bóvedas y en los arcos, así como numerosos daños no estructurales.



Figura 7.- Movimiento hacia fuera de la pared y pérdida de apoyo de la cúpula de la iglesia Paso Azul, Lorca.

La Iglesia de Santiago ha sufrido el colapso total de la cúpula y del transepto y un colapso parcial de las bóvedas de las naves. En dicha iglesia se había llevado a cabo una intervención, probablemente en los años 60 del siglo pasado, mediante elementos de hormigón armado, para reforzar el transepto y la base de la cúpula. La intención era la de limitar los movimientos fuera de plano de los muros pero no ha tenido éxito (Figura 8).

SOBRE LAS EVALUACIONES

Es esencial que después de un sismo se realice una evaluación de daños que proporcione información homogénea para toda la zona afectada y que facilite la preparación del plan de reconstrucción así como la estimación de los recursos necesarios para tal fin. Sin embargo, las evaluaciones post-sísmicas de daños realizadas en el pasado en todo el mundo han permitido identificar algunas de las dificultades más habituales de dicho proceso.

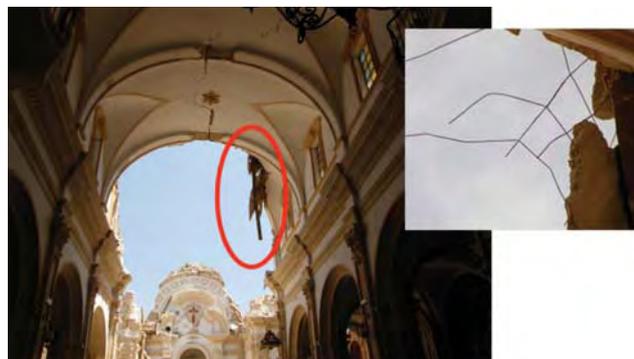


Figura 8.- Refuerzo con hormigón armado en la zona del transepto de la Iglesia de Santiago.



REPORTAJES



➔ **Figura 9.-** Efecto del impacto del edificio colapsado sobre el colindante.

Falta de entrenamiento de los evaluadores.

Los daños en las zonas afectadas por sismos fuertes pueden ser tan generalizados que los expertos no se puedan encargar de la totalidad de las evaluaciones. En tales casos es necesario que gran parte de las evaluaciones se realicen por profesionales con poca o ninguna experiencia en los daños producidos por sismos. Es muy conocido el hecho de que los evaluadores inexpertos, por el impacto visual producido por el desastre, califican algunos de los daños como más graves de lo que realmente lo son o, en otros casos, subestiman daños graves que aparentemente no lo son. Es fundamental el entrenamiento previo de los profesionales involucrados en evaluaciones post-sísmicas, así como utilizar especialistas para la toma de las decisiones más difíciles.

Subjetividad en las evaluaciones.

Sin duda, las evaluaciones tienen un grado de subjetividad incluso cuando se realizan por expertos. Dicha subjetividad es inherente al uso de calificaciones lingüísticas de los daños

tales como *leve, menor, moderado, severo, grave o fuerte*. El significado de dichas calificaciones pueden ser interpretado de manera diferente por diferentes evaluadores.

Falta de organización y sistematización de los registros.

Es necesaria la gestión mediante sistemas informáticos de la información generada en el proceso de inspección: se deben mantener bien documentados todos los registros de evaluación junto con todas las decisiones tomadas. Asimismo, es necesario un sistema de información geográfica para la visualización de los daños.

Falta de un plan de emergencias asociado.

La falta de un plan de emergencias a nivel local puede dar lugar a la realización de censos de daños diferentes, con objetivos y alcances diferentes y en fechas diferentes, lo cual puede restar credibilidad al proceso en la población.

LAS LECCIONES APRENDIDAS DEL TERREMOTO DE LORCA

De todo lo expuesto en este artículo pueden extraerse una serie de conclusiones en forma de lecciones que debemos entender, aprender y valorar en su justa medida.

1. El terremoto de Lorca ha tenido una magnitud que encaja en lo que se puede esperar en la zona para un período de retorno de 475 años. La aceleración pico del terreno registrada en Lorca, más alta que la estipulada por la norma NCSE-02, puede deberse a la ruptura superficial de la falla y a la cercanía del epicentro.
2. Es más eficiente realizar la evaluación post-sísmica de daños por inspectores con experiencia o entrenados en el uso de formularios de evaluación durante el período que transcurre entre dos terremotos.



Figura 10.- Vista general del único edificio colapsado en Lorca.

3. Como no es razonable prever ningún cambio en las tipologías estructurales que se utilizan en España, es importante aprender a convivir con las existentes y mejorar su comportamiento sísmico.
4. Proyectar un edificio en una zona sísmica a partir de una configuración estructural con errores, como los que se han descrito en este artículo, puede conducir a un comportamiento sísmico inadecuado incluso si los cálculos y el armado se hacen de acuerdo con las normas. Como dichos errores de configuración caen dentro de las prácticas habituales de proyecto y construcción y, previsiblemente, se seguirán cometiendo, debe encontrarse la forma de mejorar la seguridad sísmica de los edificios teniendo en cuenta este factor condicionante.
5. El terremoto de Lorca no ha producido ningún tipo de daño estructural y no estructural inesperado, es decir, que no se haya producido, estudiado y catalogado en estructuras similares de otras zonas sísmicas de Europa y del resto del mundo durante los terremotos ocurridos en el pasado.
6. Errores similares de configuración conducen a daños y a pérdidas por sismo similares en diferentes zonas sísmicas.
7. Los elementos no estructurales pueden dañarse incluso cuando la estructura de hormigón armado tiene un comportamiento elástico durante un terremoto. En este sentido, se puede afirmar que la mayoría de los edificios más recientes de Lorca sufrieron únicamente daños no estructurales. Debe recalarse que este efecto puede producir pérdidas enormes.
8. La reparación de estructuras dañadas por terremotos debe llevarse a cabo por especialistas, después de realizar un estudio específico que establezca el estado post-sísmico del edificio y un proyecto de reparación.
9. Los edificios monumentales de mampostería reparados o reforzados en los años 60 utilizando hormigón armado no suelen tener el comportamiento sísmico mejorado previsto en su momento.
10. En los edificios esenciales y de importancia especial, deben evitarse no sólo los daños estructurales sino también los no estructurales, así como los daños en las instalaciones, a fin de garantizar permanentemente el cumplimiento de su función. ■



WWW.INTEMAC.ES • WWW.INTEMAC.ES • WWW.INTEMAC.ES • WWW.INTEMAC.ES

Prestigio en el Control de Calidad



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

Una organización independiente de control de calidad y asistencia técnica en la construcción

Control de calidad de proyectos

Control de calidad de materiales y pruebas - Auscultación

Control de calidad de obras civiles

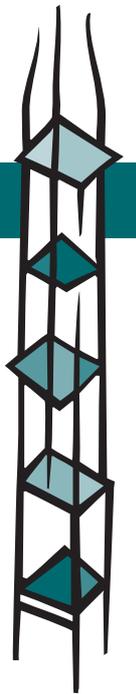
Control de ejecución de instalaciones

Control de ejecución de obras de edificación

Patología y Rehabilitación

Cursos de especialización

www.intemac.es



CIENCIA Y CONCIENCIA SÍSMICA EN ESPAÑA

Rafael Blázquez Martínez - Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Catedrático de Ingeniería del Terreno. Universidad de Castilla La Mancha.

Las preguntas surgen de forma espontánea en la calle y en los medios de comunicación siempre que ocurre un terremoto catastrófico en alguna parte del mundo: ¿Es España un país con sismicidad alta, moderada o baja? ¿Nos puede suceder a nosotros algo parecido a lo de Chile, Turquía, etc.? ¿Están cambiando las pautas de sismicidad del planeta de forma que ahora ocurren más sismos que antaño? Obviamente las preguntas así formuladas, en términos absolutos y de forma muy general, deben matizarse para que las respuestas no carezcan de sentido. Cuando hablamos del nivel de sismicidad, ¿con relación a qué zona del planeta nos estamos comparando? Porque es claro, comparando por ejemplo la actividad sísmica en España con la que se produce en Italia, que nuestro nivel de sismicidad —tanto histórica como instrumental— es significativamente más bajo y se concentra en zonas muy concretas de la Península Ibérica (Figura 1). Ahora bien, si se contempla la historia sísmica de nuestra nación en una determinada ventana de tiempo, se comprueba (Figura 2) que en absoluto puede afirmarse que España sea un país carente de sismicidad. De hecho los Pirineos, gran parte de la costa mediterránea y muy especialmente el sur y sureste de la Península son zonas cuya peligrosidad sísmica es apreciable, como se constata en el mapa prescrito por la Norma Española de Construcción Sismorresistente (Figura 3).

Vayamos por partes. Los terremotos son, probablemente, los fenómenos geológicos más espectaculares y los que

"No existe conciencia histórica en nuestro país acerca del riesgo sísmico y su importancia"



Figura 1.- Mapa de sismicidad mundial.

originan mayores daños (Figura 4) y víctimas (Figura 5) en menor tiempo. Si bien es sabido que los sismos no son controlables ni predecibles, no es menos cierto que el progresivo aumento del bienestar social en las sociedades más desarrolladas genera una aversión cada vez mayor a los riesgos “naturales” —entrecomillado porque

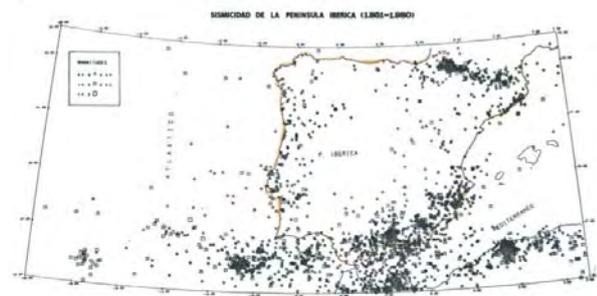


Figura 2.- Mapa de epicentros de sismos registrados en la Península Ibérica entre 1951 y 1980.



REPORTAJES

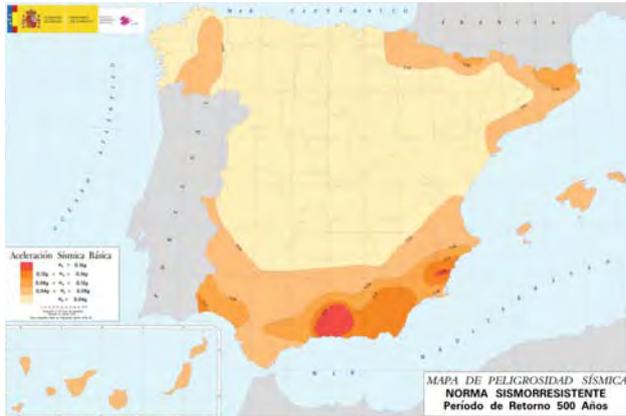


Figura 3.- Mapa de peligrosidad sísmica de España (Norma NCSE-02).



Figura 4.- Fallo de la capacidad portante de cimentaciones de edificios por efecto de la licuefacción del terreno (terremoto de Niigata, Japón, 16/6/1964).

el fenómeno es natural, pero el riesgo no lo es, ya que es el resultado de decisiones humanas— y una mayor exigencia de responsabilidades a los poderes públicos .

La ocurrencia de terremotos en España con cierta frecuencia, anómalamente baja en el último siglo, es algo que no debería extrañarnos, pues —como nos enseña la geología— la situación geográfica de España, en el borde de las placas Euroasiática y Africana, determina la existencia de zonas sísmicamente activas en la Península Ibérica. En efecto, al oeste de Gibraltar se encuentra el extremo oriental de la falla Azores-Gibraltar, responsable del gran terremoto de Lisboa de 1755 (uno de los más intensos de toda la historia de la humanidad, si no el más intenso), mientras que en el arco mediterráneo la rotación y penetración de la placa de África por debajo de la de Eurasia es responsable de los grandes terremotos históricos ocurridos en España. No está de más recordar aquí, por ejemplo, que los terremotos de Carmona (1504), Almería (1522), Málaga (1680), Dalías (1804) y Torrevieja (1829) destruyeron prácticamente esas ciudades en las fechas citadas (Figura 6). El último sismo catastrófico ocurrido en España, el día de Navidad de 1884, es el conocido como terremoto de Andalucía, que contabilizó alrededor de 900 muertos,

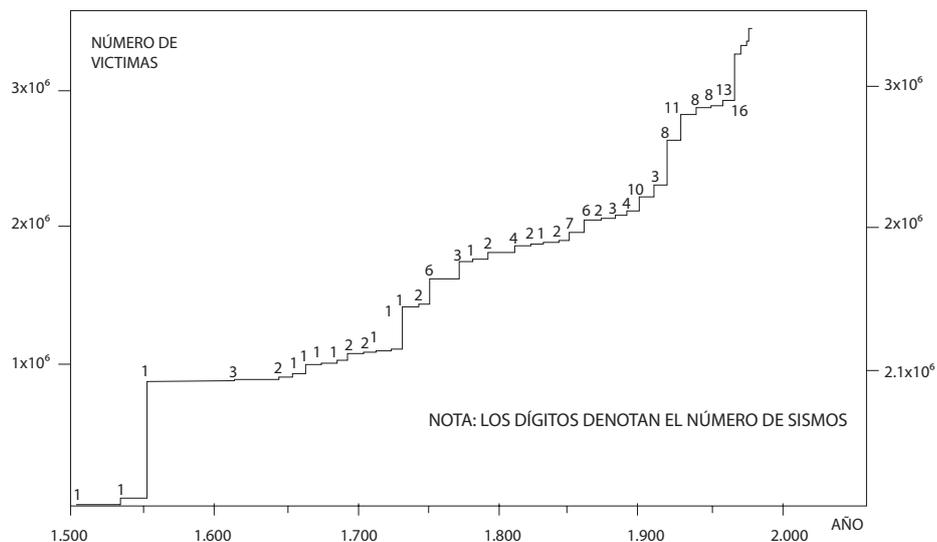


Figura 5.- Numero acumulado de víctimas como consecuencia de la actividad sísmica a nivel mundial entre los años 1500 y 1980.



Figura 6.- Ilustración de la obra "Los terremotos de Orihuela", publicada en 1829 y basada en la destrucción generada por el terremoto de Torrevieja (21/3/1829).

la mayoría en Arenas del Rey (Granada), epicentro del terremoto. La devastación fue tal que el rey Alfonso XII y tres comisiones internacionales visitaron esta remota zona de las Alpujarras (Figura 7).

Sin embargo, a pesar de ser España un país de sismicidad media, no existe conciencia histórica en nuestro país acerca del riesgo sísmico y su importancia. A ello ha contribuido poderosamente el largo tiempo transcurrido (127 años) desde la ocurrencia del mencionado terremoto de Andalucía, a pesar de que, como hemos visto, la historia de España en los últimos siete siglos está repleta de ejemplos de terremotos destructivos de intensidad igual o superior a IX en la escala Mercalli —magnitud Richter superior, aproximadamente, a 6,5— (Tabla 1).



Figura 7.- Aspecto de la plaza de Arenas del Rey (Granada) tras el terremoto de Andalucía (25/12/1884).

"Tsunamis como el de Fukushima han ocurrido ya y pueden volver a ocurrir en el Golfo de Cádiz"

Esta especie de "anestesia sísmica" en la que vive instalada la ciudadanía puede llegar a operar muy negativamente sobre nuestro país, porque a la falta de conciencia sísmica se une la falta de formación sísmica en todos los niveles educativos. De hecho la mayoría de la población, y algún que otro medio de comunicación, ignora cuáles son las zonas sísmicamente activas en España. La prueba fehaciente de que el tema sísmico no se considera que sea relevante para nuestros escolares es su reiterada ausencia en los sucesivos planes de enseñanza. Y, lo que es más grave, la Ingeniería Sísmica ha aparecido siempre relegada —cuando no directamente omitida— en los sucesivos planes de estudios universitarios, lo que se ha traducido en una carencia notable de profesionales cualificados, un desconocimiento generalizado del fenómeno sísmico por parte de la ciudadanía y, por ende, una infravaloración de sus posibles efectos en muchas zonas.

Es cierto que cada vez que ocurre un terremoto los medios de comunicación nos inundan con informaciones y tertulias más o menos ortodoxas sobre la probabilidad de que ocurra una catástrofe sísmica en cualquier parte de nuestra piel de toro. Sin embargo, no es menos cierto que este tipo de informaciones obedecen más a la (efímera) actualidad de la noticia que al interés formativo. Como resultado de todo ello, el mensaje que percibe la sociedad es, parafraseando a Unamuno, "que se preocupen otros" (japoneses, chilenos, etc.), ya que el tema no nos afecta.

Cabe preguntarse ¿cuál sería la reacción de esa misma sociedad si se la hubiera instruido ya desde la etapa escolar en la cultura de la prevención y mitigación de los daños sísmicos? ¿Se contemplarían de la misma manera las imágenes de las tragedias de Haití, Chile y Japón si se tuviera conciencia de que gran parte del Levante y el Sur de España son zonas sísmicas? ¿O si fuera de conocimiento general que tsunamis como el de Fukushima han ocurrido ya y pueden volver a ocurrir en el Golfo de Cádiz causando miles de muertos? (terremoto de Lisboa, 1755).



REPORTAJES

➔ **Tabla 1.-** Sismos catastróficos ocurridos en la Península Ibérica en los últimos 600 años.

Fecha	I _{MAX} (MSK)	Localización	Comentarios
1396 (18/12)	IX	Tabernes (Valencia)	200 casas hundidas.
1428 (02/02)	IX	Olot (Gerona)	800 muertos.
1504 (05/04)	VIII – IX	Carmona (Sevilla)	Destrucción de la ciudad y de sus murallas.
1518 (09/11)	IX	Vera (Almería)	165 muertos y licuefacción en Sevilla.
1522 (22/09)	VIII – IX	Alhama (Almería)	1.000 muertos.
1531 (30/09)	VIII – IX	Baza (Granada)	310 muertos y Baza destruida.
1680 (09/10)	VIII – IX	Málaga (Málaga)	80 muertos y 1.000 casas destruidas.
1748 (23/03)	IX	Estubeny (Valencia)	38 muertos y Montesa destruida.
1755 (01/11)	X	SW Cabo San Vicente	20.000 muertos y tsunami (terremoto de Lisboa).
1804 (25/08)	VIII – IX	Dalias (Almería)	400 muertos.
1806 (27/10)	VIII	Pinos Puente (Granada)	12 muertos y 1.200 casas dañadas.
1829 (21/03)	IX	Torrevieja (Alicante)	400 muertos y 3.000 casas destruidas.
1884 (25/12)	IX – X	Arenas del Rey (Granada)	839 muertos y 4.400 casas destruidas.
1954 (29/03)	V	Dúrcal (Granada)	Profundidad focal 650 km (record mundial).
1956 (19/04)	VIII	Albolote (Granada)	11 muertos y 83 % de los edificios dañados.
1969 (28/02)	VII	SW Cabo San Vicente	4 muertos. y maremoto M = 7,3.
2011 (11/05)	VII	Lorca (Murcia)	9 muertos y 40 % casas dañadas.

"La aplicación de normas sísmicas es una condición necesaria pero no suficiente para la minoración del riesgo sísmico"

Seguramente no. Es por ello que reclamamos desde aquí que nuestra historia sísmica se enseñe en nuestras aulas, igual que se hace con la historia universal o la historia del arte, ya que los terremotos también forman parte de nuestra historia. Y ello ha de hacerse no solo a niveles de postgrado —como ha venido ocurriendo hasta ahora— sino de forma programada desde el comienzo del ciclo educativo.

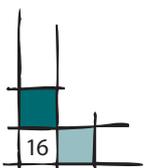
En los niveles básicos de educación (primaria y secundaria) la formación sísmica es esencial para concienciar a la población ubicada en zonas de riesgo sobre la necesidad de prevenir, y en su caso mitigar, los daños derivados de los terremotos. En cuanto al nivel universitario, la Ingeniería Sísmica debe enseñarse concurrentemente con otras materias, como la Geotecnia o las Estructuras, enfatizando su carácter multidisciplinar, compartido por diferen-

tes profesiones: ingenieros, arquitectos, sismólogos, geólogos, planificadores, etc.

En el actual escenario de crisis económica e internacionalización empresarial la labor formativa juega un papel fundamental, habida cuenta de la situación de desventaja que afrontan nuestras empresas al competir por proyectos en países sísmicos con empresas extranjeras que sí poseen profesionales especializados en estos temas.

Así las cosas, llama poderosamente la atención que, ante el hecho consumado de la falta de percepción del riesgo sísmico, cuando éste aparece, sus efectos se atribuyan sin más a deficiencias de la Norma de

"El problema no estriba en el contenido de la Norma, sino en el grado de cumplimiento y aplicación de la misma"



"España fue uno de los primeros países europeos en dotarse de una norma sísmica propia"

Construcción Sismorresistente. De nuevo, la pregunta inmediata es: ¿tiene carencias o está obsoleta la norma actual? La respuesta es simple: rotundamente no.

La norma sísmica española es un código moderno, cuyos principios y reglas de aplicación se alinean con los de las normas más avanzadas de los países de nuestro entorno. Además, la norma no es un texto inmutable, sino que ha venido experimentando cambios notables en los últimos 20 años, en consonancia con el avance de los conocimientos sobre Sismología e Ingeniería Sísmica a nivel mundial. Baste citar, a título de ejemplo, la sustitución en 1994 del antiguo mapa determinista de zonas sísmicas por el mapa probabilista de peligrosidad sísmica, más acorde con la naturaleza aleatoria del fenómeno.

Es justo también recordar que España fue uno de los primeros países europeos en dotarse de una norma sísmica propia. Los antecedentes de la misma se remontan al año 1962, fecha en la que el Ministerio de la Vivienda publicó la Norma MV-101 sobre Acciones en la Edificación. A esta norma le siguió en el año 1974 la Norma PDS-1, primera norma sísmica española propiamente dicha, publicada por la Comisión Interministerial de Normas Sismorresistentes y que estuvo en vigor por espacio de veinte años. La citada norma fue sustituida en 1994 por la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-94, la cual fue a su vez actualizada ocho años después pasando a ser la Norma NCSE-02 de Construcción Sismorresistente (Parte General y Edificación), aprobada por la Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes y vigente en la actualidad.

El último eslabón en este proceso ha sido la irrupción en el mismo de la Norma Sísmica Europea (Eurocódigo 8),

alternativa a nuestra norma nacional. La aparición del Eurocódigo 8 —cuyo alcance es mucho más amplio por estar orientado no solo a edificaciones sino a obras civiles— ha producido un efecto catalizador, impulsando el desarrollo de nuevas normas nacionales, tales como la Norma NCSP07 de Construcción Sismorresistente (Parte de Puentes) publicada en el año 2007.

En todo caso, es importante puntualizar que la aplicación de normas sísmicas es una condición necesaria pero no suficiente para la minoración del riesgo sísmico, el cual debe ser gestionado apropiadamente. El terremoto de Fukushima (Japón, 2011) constituye, sin ir más lejos, una prueba clara de que cuando se aplican normas de construcción sismorresistente y se utiliza la tecnología adecuada los daños estructurales se reducen de forma notable. Con todo, eso no basta, pues se requiere además establecer planes de protección civil y campañas de educación a la población sobre las medidas a adoptar en caso de terremotos. Dichos planes son muy eficaces para paliar el número de víctimas ocasionadas por daños no estructurales, algo que el reciente terremoto de Lorca (11 mayo 2011) evidenció con toda crudeza. De hecho, los problemas de comportamiento humano durante el sismo de Lorca —que generaron desgraciadamente la mayoría de las víctimas— podrían haberse paliado con programas de educación sísmica básica, programas divulgativos de autoprotección, simulacros, etc., de forma que la población en general supiera qué hacer y cómo reaccionar en caso de terremoto. Resulta imperativo poner en marcha este tipo de programas, pues el largo período de quietud sísmica que vive nuestro país, lejos de tranquilizarnos, nos preocupa aún más, ya que la energía se está acumulando en las zonas de fallas y en lugar de tener episodios sísmicos pequeños o moderados podemos llegar a tener un gran episodio de efectos devastadores.

Respecto a los problemas estructurales detectados en el sismo de Lorca (pisos blandos, pilares cortos, etc.), han venido a confirmar el

"La norma sísmica española se alinea con las normas más avanzadas de los países de nuestro entorno"



REPORTAJES



Figura 8.- Fallos estructurales por carga sísmica. Terremotos de Lorca, España, 2011 (izquierda) y Kobe, Japón, 1995 (derecha).

hecho conocido de que los errores de proyecto y construcción son responsables del 70% de los fallos sísmicos (Figuras 8 y 9), mientras que solo un 15% de éstos son atribuibles a defectos de los materiales. Así mismo se ha puesto de manifiesto que estos fallos son a veces producto de disposiciones urbanísticas permisivas dictadas al amparo de ordenanzas municipales que contravienen las regulaciones de la Norma, tema éste que deberá esclarecerse (y corregirse) al depurar las responsabilidades que procedan en cada caso.

Una última puntualización sobre la Norma. La mejora de la seguridad sísmica no podrá conseguirse nunca cambiando única y ex-

clusivamente la normativa, sobre todo si los cambios se circunscriben a los aspectos más inciertos y proclives a la discusión científica (el mapa de peligrosidad, las acciones de proyecto, etc.). El problema no estriba en el contenido de la Norma, sino en el grado de cumplimiento y aplicación de la misma. La seguridad sísmica solo se incrementará si se monitoriza adecuadamente el grado de cumplimiento real de la Norma, especialmente en los aspectos más críticos para la vulnerabilidad de las estructuras: diseño conceptual, detallado de uniones, armado de pilares, etc., algo que es sabido (y a veces ha sido cruelmente penado, Figura 10) desde tiempo inmemorial.



Figura 9.- Asiento de una edificación debido a la licuefacción del terreno subyacente (terremoto de Izmit, Turquía, 17/8/1999).



Figura 10.- Código de Hammurabi, emperador de Mesopotamia (siglos XVIII y XVII a. C.).

"Los errores de proyecto y construcción son responsables del 70% de los fallos sísmicos"

Como resumen de todo lo expuesto se enumeran tres estrategias que se juzgan imprescindibles para mejorar la seguridad sísmica en cualquier territorio.

- 1) Formación técnica en Ingeniería Sísmica e inclusión de esta disciplina en los planes de estudios en todos los niveles académicos (especialmente en el universitario).
- 2) Información periódica a la población, mediante cursillos, programas y folletos divulgativos sobre medidas de protección para saber qué hacer en caso de terremotos.
- 3) Creación de Comisiones Asesoras de carácter técnico en los ámbitos autonómico y local, con funciones de inspección y vigilancia, que velen por el cumplimiento estricto de la Norma Sísmica en las fases de proyecto y construcción de edificaciones

y evalúen técnicamente los informes de daños emitidos en situaciones post-evento.

En conclusión: la naturaleza no entiende de sofismas ni de lagunas técnicas o educacionales. Salgamos de la amnesia, intencionada o no, evitemos la nefasta costumbre de hacer catastrofismo, tan extendida en nuestro país, y no esperemos a recobrar la memoria por la vía de la catástrofe.

Es esencial recuperar la conciencia colectiva que existía en España hasta hace poco más de un siglo con respecto a nuestra problemática sísmica y no limitarnos simplemente a ignorar el problema o invocar a San Emigdio, como se hacía antaño (Figura 11). Solo así se evitará que en España puedan reproducirse los dolorosos sucesos de los terremotos más recientes —el último, el de Turquía el pasado mes de Octubre—, que tanta alarma social producen al poder ser contemplados en televisión, prácticamente en directo por todo el país.

Evitemos que la exposición incontrolada y la desprotección frente al riesgo sísmico mermen gravemente nuestro desarrollo y estaremos evitando que se haga realidad una vez más el aforismo: "los países que olvidan su historia están condenados a repetirla". ■



Figura 11.- Oración a San Emigdio, santo protector contra los terremotos.



ACIES

Asociación de Consultores Independientes de Estructuras de Edificación

Garantía de calidad.

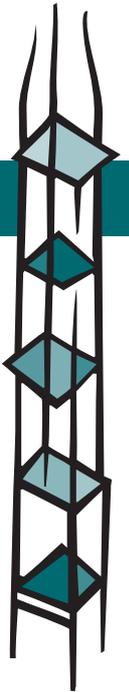
- AGRUPAMOS A LOS CONSULTORES DE ESTRUCTURAS QUE LIDERAN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN.
- NUESTROS ASOCIADOS PONEN A SU DISPOSICIÓN 500 PROFESIONALES DE LA MÁXIMA EXPERIENCIA.
- COMPROMETIDOS CON LA FORMACIÓN, LA DIVULGACIÓN Y EL I+D+I.

**“POTENCIAMOS LA CALIDAD DE
LOS PROYECTOS Y SERVICIOS
PROFESIONALES DE LOS SOCIOS”**

SI QUIERES CONOCER MAS DE
ACIES ENTRA EN NUESTRA WEB

www.acies-ed.com

SEDE:
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
C/ Serrano Galvache s/n, 28033 Madrid
acies@acies-ed.com
Tlf. 690 85 62 74



LA CONFIGURACIÓN SÍSMICA DE LOS SISTEMAS

Bernardo Perepérez Ventura - Doctor Arquitecto. Catedrático de Universidad de Construcciones Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Valencia.

La configuración arquitectónica de los edificios condiciona su configuración sísmica, la cual, a su vez, influye en cómo se distribuyen los esfuerzos y las deformaciones que inducen los movimientos sísmicos.

La experiencia adquirida, sobre todo con base en los seísmos pasados, ha demostrado que hay configuraciones sísmicas irregulares que pueden tener consecuencias muy perniciosas. Por lo tanto, es indispensable que los proyectistas tengan conocimiento de ellas y de sus consecuencias.

En este artículo se tratan las principales irregularidades sísmicas de los sistemas considerados como un todo.

La configuración arquitectónica se refiere a las características espaciales de los edificios tales como su forma, su tamaño y sus proporciones; se suele derivar de requisitos diversos como, por ejemplo, los formales, los funcionales, los urbanísticos, los de singularidad, etc. Sin embargo, la configuración sísmica ha de contemplar también el tipo, la forma, el tamaño aproximado y la ubicación de los elementos estructurales, así como la naturaleza, las dimensiones y la situación de los elementos calificados como no estructurales [7].

El primer paso para obtener la resistencia sísmica necesaria consiste en establecer una configuración adecuada. Ésta influye en el modo en que se distribuyen los esfuerzos debidos a la acción sísmica, en la magnitud relativa de los mismos y en la existencia potencial de características del diseño efectuado que puedan resultar problemáticas en lo que a su comportamiento e influencia respecta.

"Es fundamental que el proyectista conozca y aplique los principios sísmicos desde el inicio del proceso"

Las soluciones estructurales que no son redundantes, o que por su complejidad introducen incertidumbres en el análisis estructural y en la concreción de los detalles, pueden conducir a un comportamiento no previsto e indeseable por más atención que se preste al cálculo de los esfuerzos, al dimensionamiento de las piezas y a los detalles [9]. Por lo tanto, dado que la configuración arquitectónica comienza a establecerse en las primeras etapas del diseño y que suele condicionar en gran medida la configuración sísmica, es fundamental que el proyectista conozca y aplique los principios sísmicos desde el inicio del proceso [10]. Estos principios incluyen [11]:

- 1) La configuración de la estructura, atendiendo a la regularidad de ésta tanto horizontal como verticalmente.



REPORTAJES

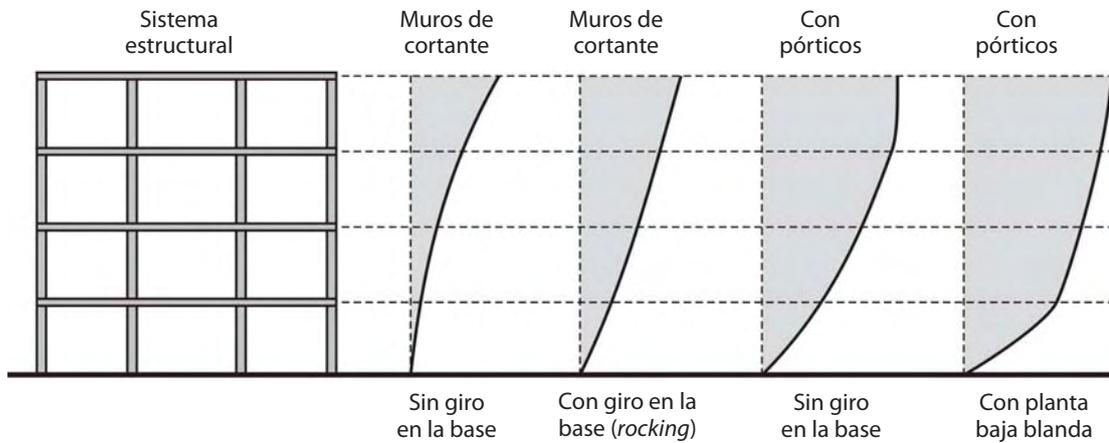


Figura 1.- Variación de la deformación horizontal de una estructura.

- 2) El diseño del sistema estructural, evitando que los daños y las deformaciones anelásticas se concentren en áreas localizadas que comprometan la funcionalidad o la seguridad del edificio.
- 3) El estudio y el detalle (*detailing*) de las regiones críticas de las piezas para que puedan absorber los esfuerzos y disipar la energía sin agotarse.
- 4) El control de la deformación horizontal máxima (*drift* total) y de la deformación horizontal relativa entre forjados sucesivos (*drift* de planta). Ilustradas cualitativamente en la Figura 1 [6].

El control del *drift* sirve para evitar [11]:

- a) Los riesgos relacionados con la integridad física de las personas tanto dentro como fuera del inmueble.
- b) La interrupción de la funcionalidad de edificios importantes para la comunidad o con aforos elevados.
- c) Los daños o el deterioro de los enseres o contenidos de mayor valor.
- d) Los daños excesivos de los elementos no estructurales.
- e) La inestabilidad o el agotamiento de la estructura o de alguna de sus partes.

Es evidente que el diseño sismorresistente lleva asociado un nivel de complejidad bastante mayor que el correspondiente sólo a las cargas gravitatorias. Esto es consecuencia de las incertidumbres correspondientes a:

- La magnitud y la dirección del movimiento sísmico.
- La aleatoriedad de la respuesta de la propia estructura que puede deberse a la posible interacción con los elementos no estructurales y a la variabilidad de las propiedades de los materiales, de las cargas actuantes en condiciones de servicio, de la calidad de la ejecución, etc.

CONFIGURACIÓN REGULAR

Las configuraciones regulares son aquellas en las que no hay discontinuidades físicas dignas de mención en su configuración en planta, en su configuración vertical o en los sistemas resistentes destinados a absorber los esfuerzos horizontales.

Las estructuras con una configuración regular —si se hallan compuestas por muros de cortante, por pórticos o por sistemas duales con muros de cortante y pórticos— son las que se desvían escasamente de las características siguientes:

- Estabilidad frente al vuelco.
- Esbeltez geométrica reducida.
- Alturas de planta iguales.
- Simetría en planta con respecto a los dos ejes principales.
- Uniformidad de los alzados y de las secciones.

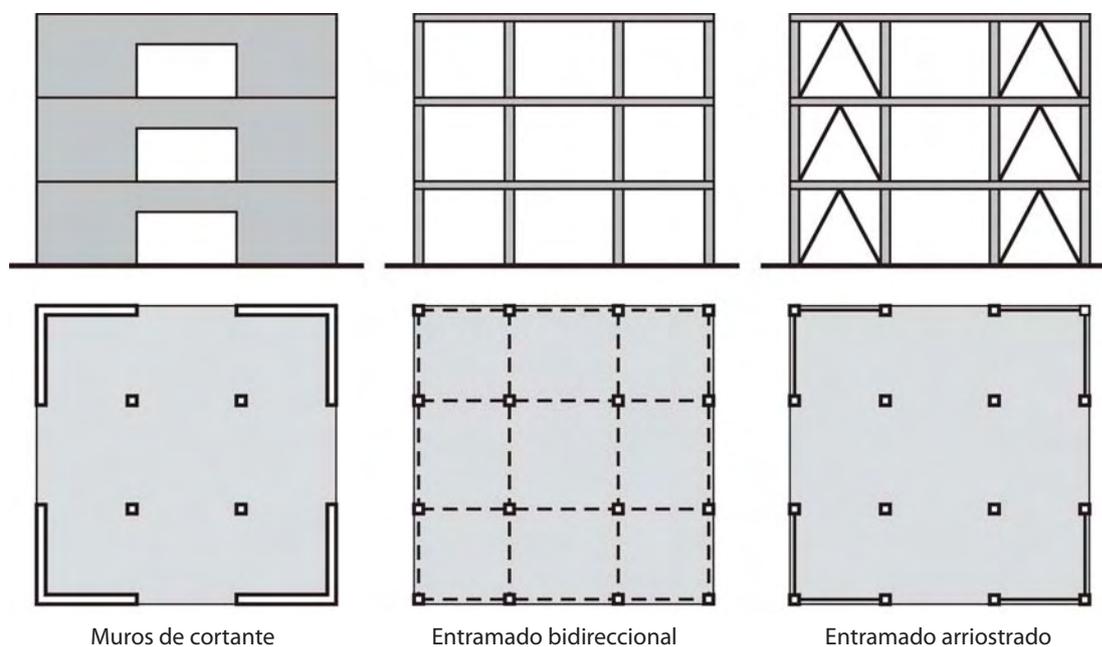


Figura 2.- Soluciones estructurales ideales desde un punto de vista sísmico.

- Resistencia máxima a la torsión en planta.
- Luces reducidas o, como mucho, moderadas.
- Transmisión directa de las cargas.

Las características relacionadas las ilustran, a título de ejemplo, las tres soluciones ideales desde el punto de vista sísmico recogidas en la Figura 2 [1].

CONFIGURACIÓN IRREGULAR

Las configuraciones irregulares son las que poseen discontinuidades físicas lo suficientemente importantes como para dar lugar a concentraciones de tensiones que resulten problemáticas. No es posible hacer una relación exhaustiva de tales configuraciones, pero a continuación se tratan las más importantes dentro de las que afectan a los sistemas.

Torsión en planta

Se produce cuando no coinciden los centros de masas y de rigideces; es decir, se puede producir por distribuciones irregulares de rigideces, de masas o de ambas [9]. Las torsiones en planta significativas son caracte-

"Las plantas complejas deben descomponerse en figuras simples con juntas sísmicas"

rísticas, por ejemplo, de los edificios en esquina con dos muros medianeros rígidos y dos fachadas muy perforadas y flexibles [6, 9], y también de los edificios de oficinas en los que, para "liberar" las plantas, se sitúa el núcleo de comunicación vertical cerca de uno de los bordes [6].

El giro de las plantas en torno al centro de rigideces impone desplazamientos horizontales e incrementos de esfuerzos en los elementos resistentes verticales. Estos efectos son tanto mayores cuanto más alejados están dichos elementos del centro de rigideces y pueden causar daños importantes e, incluso, el colapso parcial o total del edificio.

Plantas complejas

Los edificios con plantas simples, simétricas y compactas se suelen comportar adecuadamente [9], pues ofrecen trayectorias planas y



REPORTAJES

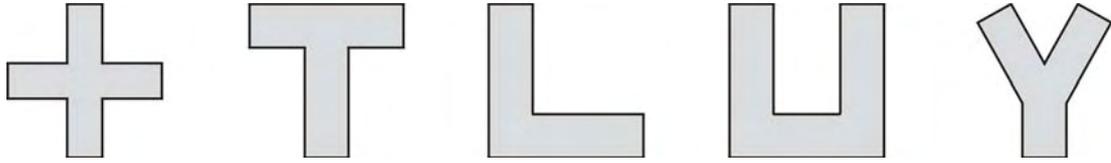


Figura 3.- Plantas complejas con comportamiento sísmico insatisfactorio.

directas a las fuerzas de inercia [10]; es el caso, por ejemplo, de las plantas circulares y cuadradas y de las rectangulares que no sean demasiado alargadas. En cambio, tienen un comportamiento sísmico insatisfactorio las plantas complejas: en cruz, en T, en L, en U, en Y, etc. (Figura 3); o sea, las plantas en las que el camino más corto para unir puntos lejanos de las mismas se sitúa, en buena medida, fuera de ellas.

En las plantas complejas, las "alas" tienden a experimentar giros significativos que se ven restringidos con la proximidad al núcleo. Por ello, es habitual que aparezcan daños importantes en los elementos no estructurales, en la estructura vertical e, incluso, en los forjados (diafragmas). La solución más habitual consiste en descomponer la planta compleja en figuras simples relacionadas por juntas sísmicas, cuya anchura debe ser suficiente para impedir el golpeteo (*pounding*) de las distintas unidades estructurales.

Escalonamientos y "apéndices"

Las configuraciones con escalonamientos verticales bruscos se corresponden con cambios abruptos de rigidez y de resistencia, por lo que generan una concentración de esfuerzos en las plantas adyacentes a esta irregularidad vertical. Es el caso, por ejemplo, de edificios esbeltos unidos en su base por una o pocas plantas (Figura 4 a) o de edificios con un podio de superficie en planta bastante mayor (Figura 4 b) [10].

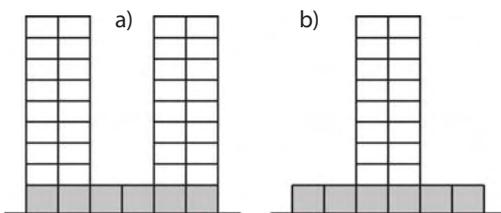


Figura 4.- Ejemplo de escalonamiento en edificios.

"Los escalonamientos verticales deben producirse de forma paulatina"

El efecto de los escalonamientos verticales depende de las proporciones y del tamaño de las partes involucradas [5], por lo que, en el caso de que existan, conviene que se produzcan de una manera paulatina (Figura 5).

Un caso extremo de esta irregularidad es el de los apéndices, es decir, el de piezas más o menos esbeltas con



Figura 5.- TransAmerica Building (1969-72), 260 m, 48 plantas, San Francisco. Arquitecto: William L. Pereira.



Figura 6.- Ejemplo de apéndice y del efecto de amplificación de las fuerzas dinámicas [8].

una superficie en planta mucho menor que la de las partes inferiores [6]. Se trata de elementos como las espadañas, las chimeneas, las linternas de las cúpulas, etc., en los que existe el riesgo de que se produzca el fenómeno de amplificación dinámica de las fuerzas de inercia conocido coloquialmente en Hispanoamérica como chicoteo (Figura 6).

Plantas blandas

Bajo la denominación de "plantas blandas" se suelen incluir las plantas blandas propiamente dichas, las plantas

"Las plantas blandas son muy comunes en España"

débiles y las plantas que, simultáneamente, son blandas y débiles, como en este artículo [4].

En sentido estricto, una planta blanda es aquella cuya rigidez es significativamente menor que la de las plantas superiores, en tanto que se trata de una planta débil si la resistencia de la misma es bastante más reducida que la de la planta siguiente¹.

Las plantas blandas son consecuencia de la adopción de disposiciones arquitectónicas o estructurales tales como la inclusión de una planta de mucha altura (Figura 7 a), la supresión de elementos resistentes verticales (Figura 7 b), la interrupción de muros de cortante antes de llegar a la cimentación o la perforación importante de los mismos en los niveles inferiores (Figura 7 c) y la supresión de elementos resistentes horizontales (Figura 7 d).

Las plantas blandas suelen ser muy vulnerables desde el punto de vista sísmico². Por lo tanto, se trata de una cuestión a la que se debe prestar una atención especial en el proyecto, en la ejecución y en el uso de los edificios, así como, en su caso, en la inspección y peritación de éstos. En el terremoto de Izmit (Turquía) de 1999, por ejemplo, las plantas blandas fueron la causa del colapso o de la aparición de daños importantes en el 85 - 90 % de los edificios siniestrados [2].

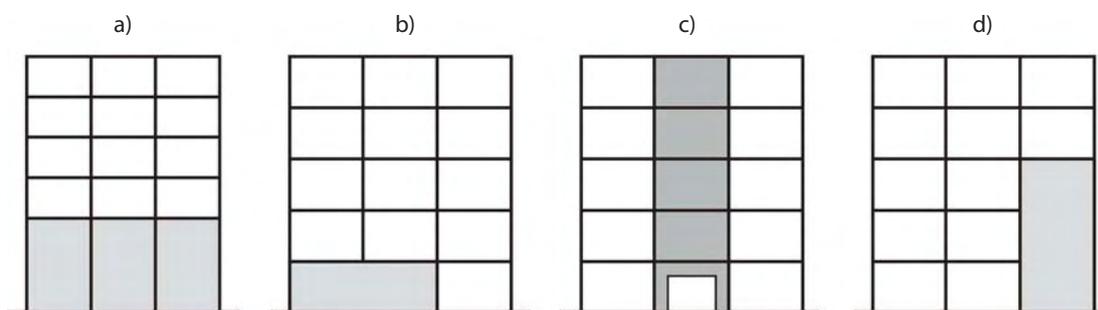


Figura 7.-

¹ Es frecuente considerar que la planta es blanda si su rigidez es menor que el 70 % de la de la planta superior o que el 80 % de la media aritmética de las rigideces de las tres plantas siguientes, y que la planta es débil si su resistencia con respecto a las acciones horizontales es menor que el 80 % de la resistencia de la planta superior.

² La experiencia ha demostrado reiteradamente que la vulnerabilidad es mucho mayor si la estructura es de pórticos que si se basa en muros de cortante o en un sistema dual.



REPORTAJES



Figura 8.- Daño en extremos de pilares de planta blanda [3].

Las plantas blandas son muy comunes en los medios urbanos de determinados países, entre los que se encuentra España, como consecuencia de la interrupción de los elementos rígidos de compartimentación —e incluso de cerramiento— a nivel de un determinado forjado, que suele ser el techo de la planta baja. El problema se agrava con frecuencia por la mayor altura de la planta baja. Se suele manifestar por un cambio brusco del *drift* de la planta blanda con respecto al experimentado por las plantas superiores, que tienden a desplazarse en dirección horizontal como un sólido rígido (Figura 1). Como consecuencia de ello:

- Los daños estructurales tienden a concentrarse en los nudos y en los extremos de los pilares de la planta blanda (Figura 8) [3].
- El deterioro de los elementos no estructurales, si no se colapsa la estructura, se concentra principalmente en la planta blanda, al tiempo que decrece rápidamente en altura (Figura 9).
- La planta blanda puede experimentar deformaciones horizontales y permanentes muy amplias (Figura 10) e incluso colapsarse (Figura 11).

Golpeteo (“pounding”)

Unidades estructurales distintas pueden chocar repetidamente durante un evento sísmico si existe una separación insuficiente entre ellas. Ello puede alterar y hacer irregular su respuesta e imponer fuerzas de inercia suplementarias a las estructuras.

Los daños pueden quedar circunscritos a los elementos no estructurales si las alturas de las dos estructuras y de sus plantas son



Figura 9.- Ejemplo de edificio con planta blanda dañado [12].



Figura 10.- Terremoto de Managua (Nicaragua) de 1972.



Figura 11.- Colapso de planta blanda en Pettino durante el terremoto de L'Aquila (Italia) de 2009.

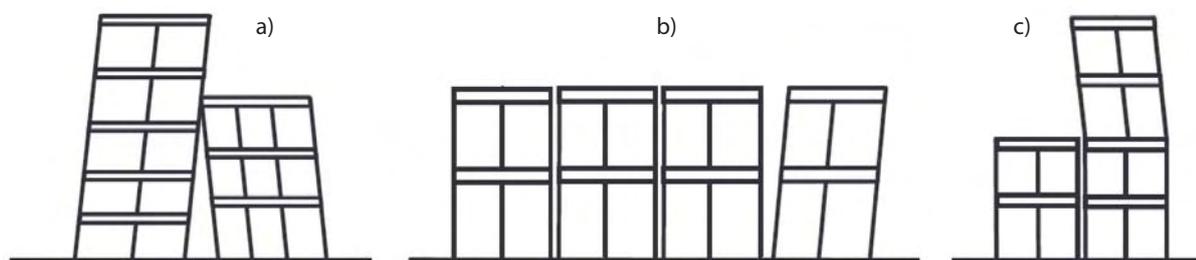


Figura 12.- Ejemplo de daños producidos por golpeteo entre estructuras.



Figura 13.- Colapso de planta blanda en Pettino durante el terremoto de L'Aquila (Italia) de 2009.



Figura 14.- Caso típico de golpeteo en el terremoto de México de 1985.

similares, aunque la última unidad estructural puede experimentar desplazamientos permanentes y significativos (Figura 12 b)³ e incluso colapsarse.

Los daños estructurales pueden ser importantes en los siguientes casos:

- Estructuras de altura distinta en los que la cubierta del edificio más bajo impacta en la zona central de los pilares de una planta intermedia del edificio más alto (Figura 12 a y 13).
- Estructuras de altura distinta pero con alturas de planta similares (Figura 12 c y 14).

CONCLUSIÓN

En palabras de Geoffrey Wood, uno de los cinco socios fundadores de Ove Arup & Partners [7]:

"Earthquake-resistant design is really a problem for architects".

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arnold, C. (2003). Architectural Considerations. En "The Seismic Design Handbook". Ed. Farzad Naeim. 2ª edición. Ed. Kluwer Academic Publishers. Boston.
- [2] Dogan, M.; Kiraç, N.; Gönen, H. (2002). Soft-Storey Behaviour in an Earthquake and Samples of Izmit-Duzce. ECAS 2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, 14 Ekim 2002, Orta Dogu Teknik Üniversitesi, Ankara, Turquía.

³ Casos típicos de golpeteo en la provincia de Sichuan durante el sismo de Wenchuan (Sichuan, China) de 2008 [13].



REPORTAJES

- [3] Elenas, A. (2003). Athens Earthquake of 7 September 1999: Intensity Measures and Observed Damages. ISET Journal of Earthquake Technology. Technical Note, Vol. 40, No. 1, marzo.
- [4] EQ Tip 21. Why are Open-Ground Storey Buildings vulnerable in Earthquakes? IITK-BMTPC. Earthquake Tip 21. www.bmtpc.org.
- [5] Ersoy, U. (1988). Seismic Resistant Reinforced Concrete Structures-Design Principles. Journal of Islamic Academy of Sciences 1:1, 20-26
- [6] fib TG 7.1 (2003). Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings. State-of-the-art report. Ed. International Federation for Structural Concrete. Laussane. Mayo.
- [7] Gibbs, T. (2003). Conceptual Design to Resist Earthquakes. PAHO Leaders Course, Ocho Ríos, Jamaica, 11 de febrero.
- [8] IGME (Instituto Geológico y Minero de España) (2011). Informe geológico preliminar del terremoto de Lorca del 11 de mayo del año 2011, 5,1 Mw.
- [9] Moehle, J.P.; Mahin, S.A. (1991). Observations on the behavior of Reinforced Concrete Buildings during Earthquakes. En "ACI SP-127, Earthquake Resistant Concrete Structures – Inelastic Response and Design". Ed. S.K. Ghosh.
- [10] Murty, C.V.R.; Brzev, S.; Faison, H.; Comartin, C.D.; Irfanoglu, A. (2006). AT RISK: The Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame Buildings with Masonry Infill Walls. EERI Publication Number WHE-2006-03. Octubre.
- [11] Park, R. (2000). Improving the Resistance of Structures to Earthquakes. University of Canterbury. Hopkins Lecture – 16 de agosto.
- [12] Sezen, H.; Whittaker, A.S.; Elwood, K.J.; Mosalam, K.M. (2003). Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey. Engineering Structures (2003) 103-114.
- [13] Wibowo, A.; Kafle, B.; Mohyeddin, A.; wt al. Damage in the 2008 China Earthquake. http://www.aees.org.au/Proceedings/2008_Papers/48_Wibowo.pdf. ■



zuncho Revista trimestral

Si todavía no recibe nuestra revista y quiere recibirla gratuitamente o que la reciba otra persona, por favor háganos llegar los datos adjuntos por fax (91 556 75 89) o por correo electrónico (zuncho@ferraplus.com).

Nombre: _____

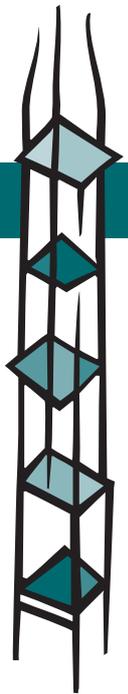
Empresa: _____

Cargo: _____

Dirección postal: _____

E-mail: _____ Tel.: _____ Fax: _____

De acuerdo con la Ley 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD), los datos personales suministrados por el Usuario serán incorporados a un fichero automatizado. En cumplimiento de lo establecido en la LOPD, el Usuario podrá ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición. Para ello puede contactar con nosotros en el teléfono: 91 556 76 98; o enviándonos un correo electrónico a: zuncho@ferraplus.com.



COMPORTAMIENTO DE LOS CERRAMIENTOS Y PARTICIONES DURANTE EL TERREMOTO DE LORCA

Ramón Álvarez Cabal¹, Suyapa Dávila Sánchez-Toscano², Eduardo Díaz-Pavón Cuaresma³- INTEMAC.

¹Dr. Ingeniero Industrial. Jefe del Departamento de Controles Especiales. INTEMAC. Profesor titular de Estructuras. E.T.S. de Ingenieros Industriales. UPM.

²Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Controles Especiales. INTEMAC. Profesor asociado. E.U. Ingeniería Técnica Industrial. UPM.

³Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de la Sección de Patología. INTEMAC.

Este artículo analiza el comportamiento de los cerramientos y particiones durante el terremoto de Lorca en su doble faceta de elementos pasivos, que se ven solicitados por la respuesta de la estructura, y de elementos activos que interaccionan con ella y modifican su respuesta. Para ello se incluye una descripción del comportamiento observado, el contraste con los resultados de algunos análisis numéricos de carácter elemental y las conclusiones que de ellos se derivan.

Muchas de las calles de la ciudad de Lorca presentaban tras el terremoto el aspecto que intenta reflejar la Figura 1. En las aceras, sobre los automóviles y dispersos en la calzada aparecían restos de albañilería, en ocasiones paños enteros de fachadas, parapetos y todo tipo de cascotes. De hecho, fue precisamente la caída de estos elementos la que provocó la mayoría de los daños a personas. Aunque la imagen se repetía en todos los barrios de la ciudad, independientemente de su situación, resultaba especialmente clara en los formados por edificios modernos, entendiéndose por tales los dotados de estructura diferenciada del cerramiento, frente a los más antiguos, en los que predominaban los edificios con muros.



Figura 1.- Aspecto general de las calles de Lorca tras el terremoto.



REPORTAJES

La caída de estos restos respondía básicamente, y a tenor de lo observado en los edificios de los que procedían, a dos mecanismos diferentes:

- Los petos de cubierta (Figura 2) así como, en menor medida, algunos paños de cerramiento situados preferentemente en las plantas altas, parecían haber colapsado ante las solicitaciones normales a su plano, fuerzas de inercia causantes de los esfuerzos de flexión que el empotramiento en los forjados —único mecanismo resistente en el caso de los petos— no fue capaz de resistir.
- El fallo de los cerramientos de las plantas bajas seguía un patrón distinto, coherente con los esquemas de colapso ante acciones en su plano ejercidas desde el contorno. Estas acciones producen en los paños de fábrica el característico esquema de rotura en aspas (Figura 3) que se observaba con frecuencia en los edificios de la ciudad. Dentro de esta forma de fallo por acciones en su plano



Figura 2.- Aspecto general de los daños en petos de cubierta.



Figura 3.- Fallos en cerramientos de planta baja.

"La caída de petos y fachadas provocó la mayoría de los daños a personas"

se podría incluir el caso de los paños aledaños a las juntas entre edificios, que habían sufrido el efecto de los choques entre ellos (Figura 4), lo que resultaba especialmente patente, aunque no exclusivo, en el caso de juntas entre edificios de distinta configuración.

Naturalmente, la diferenciación presentada conlleva la inevitable simplificación del fenómeno. Es claro que en muchos casos el fallo responde a ambos mecanismos a la vez, aunque en diferente medida, y que en muchos otros el auténtico responsable del colapso fue la precaria situación previa de las fábricas. No obstante, la distinción puede ser útil porque justifica un aspecto determinante, como es el grado de interacción con la estructura.

Cuando el fallo se produce ante acciones normales a la fábrica, acciones que en este caso se refieren al sismo pero que igualmente podrían derivar del viento o de las sobrecargas de uso, el colapso se produce conforme a un mecanismo de flexión con una capacidad reducida en comparación con la de la estructura resistente del edificio. No existe interacción entre los cerramientos y la estructura y, en este sentido, los primeros son elementos pasivos sujetos a la respuesta de la estructura.

Cuando, por el contrario, el fallo se produce ante acciones en el plano de la fábrica, debidas al sismo en este caso y a las cargas gravitatorias en muchos otros, la capacidad y la rigidez de la misma es comparable o superior a la de la propia estructura, por lo que en este caso sí existe una clara interacción.

Los cerramientos y particiones condicionan, por tanto, la respuesta del edificio, constituyéndose en elementos activos de importancia fundamental. En lo que sigue se analizan ambas formas de comportamiento.

"En muchos casos el colapso de las fábricas se produjo por su precaria situación previa"

FÁBRICAS SOMETIDAS A ACCIONES NORMALES A SU PLANO

En los párrafos que siguen analizaremos tanto las sollicitaciones que el sismo pudo haber impuesto sobre las fábricas durante el terremoto de Lorca, como las resistencias con las que éstas pudieron responder.

Como apunte previo hemos de señalar que se trata de un ejercicio ajeno a los planteamientos normativos actuales que, explícitamente, excluyen el uso de las fábricas en zonas sísmicas cuando éstas se disponen conforme a las soluciones más frecuentes. En efecto, el Código Técnico de la Edificación [8] es claro en este sentido al establecer que:

... "La resistencia a flexión por tendeeles se empleará solamente con combinaciones de carga que incluyan acciones variables normales a la superficie de la fábrica (por ejemplo: viento). No se considerará dicha resistencia cuando la rotura de la fábrica por flexión origine el colapso o la pérdida de estabilidad del edificio o alguna de sus partes, o en caso de acción sísmica."

Lo anterior limita la resistencia a flexión de los paños de fábrica a la que puedan presentar en el sentido de las llagas. Trabajarían, en resumen, como vigas unidireccionales soportadas en los pilares de la estructura —salvo que el confinamiento de la hoja permita el desarrollo del arco de carga que se describe más adelante— o en las mochetas y pilarcillos en el caso de los petos, mecanismo de eficacia limitada por la mayor luz en este sentido y casi nunca posible puesto que ni los paños se anclan eficazmente a los pilares ni las mochetas, en el caso de los petos, se disponen a las distancias reducidas que serían necesarias.



Figura 4.- Daños en paños aledaños a las juntas entre edificios.

Solicitaciones

Para cuantificar las acciones se modeliza un edificio representativo: un bloque regular de 8 alturas cuya estructura, de hormigón armado, está formada por pórticos planos separados 5 m constituidos por cuatro vanos con una anchura total de 20 metros. Todas las plantas tienen una altura de 3 m salvo la baja, de 4 metros. Se utiliza un modelo de pórtico a cortante en el que las masas se estiman conforme a las prácticas constructivas habituales. Los pilares se dimensionan frente a las cargas gravitatorias, como era frecuente en los años 70. El módulo elástico del hormigón se ajusta para obtener un periodo fundamental similar al preconizado por las fórmulas habituales en la normativa, en torno a 0,72 segundos.

Al modelo se le aplica en la base el movimiento correspondiente a la componente N-S del terremoto de Lorca, movimiento



REPORTAJES

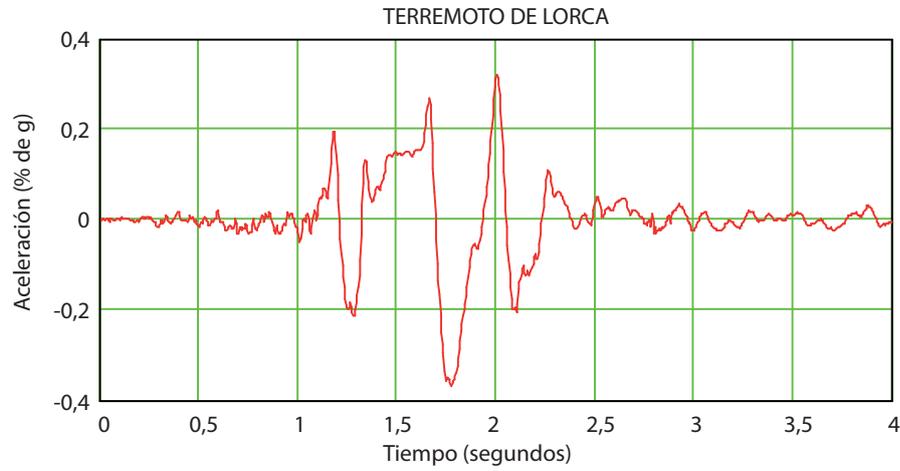


Figura 5.



Figura 6.

que refleja la Figura 5 en aceleración y la Figura 6 en desplazamiento¹. Mediante un algoritmo simple de integración por pasos se obtiene el registro equivalente a nivel de la planta superior, que se muestra en la Figura 7 para la aceleración.

Se observa que las aceleraciones alcanzan en cubierta valores comparables a los de la gravedad.

Para obtener las acciones que estas aceleraciones suponen en los elementos situados a ese nivel se dibuja en la Figura 8 el espectro

correspondiente, así como el del acelerograma en suelo al objeto de permitir su comparación.

Para los elementos muy rígidos, como los propios petos, no existe amplificación y, en consecuencia, las acciones sobre los mismos son las correspondientes a la aceleración a ese nivel. Ello implica que tales acciones son semejantes a las que supondría su propio peso si se hubiesen construido como voladizos horizontales, lo que equivaldría a girar 90° el edificio, tal y como se indica en la Figura 9.

¹ Es llamativa la forma del registro de desplazamientos, un simple pulso que apenas supera los 3 cm en cada sentido y que no dura mucho más de un segundo, aspectos característicos de los registros próximos.

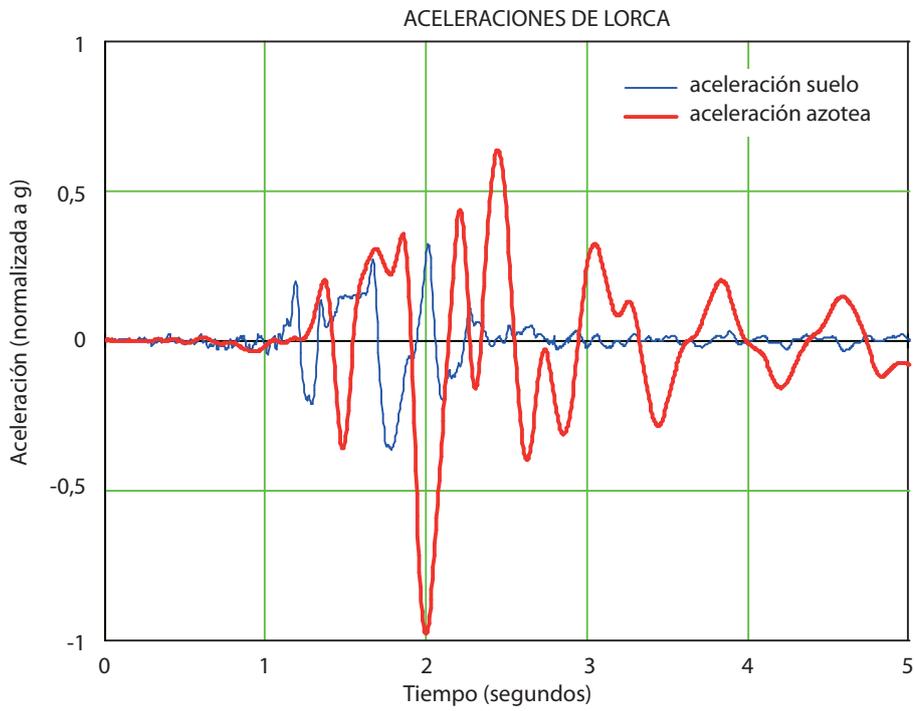


Figura 7.

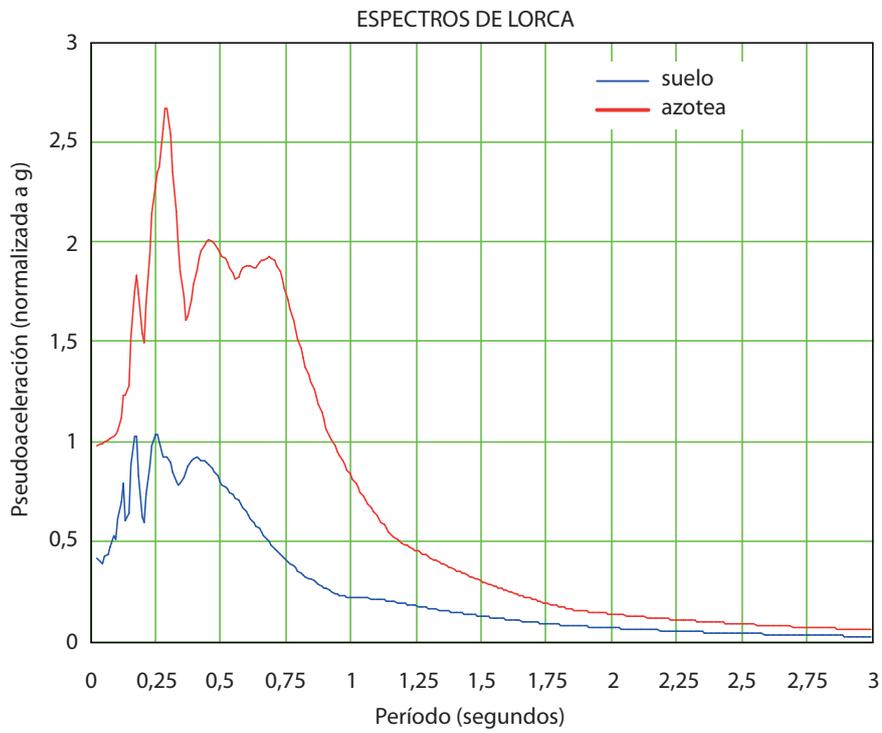
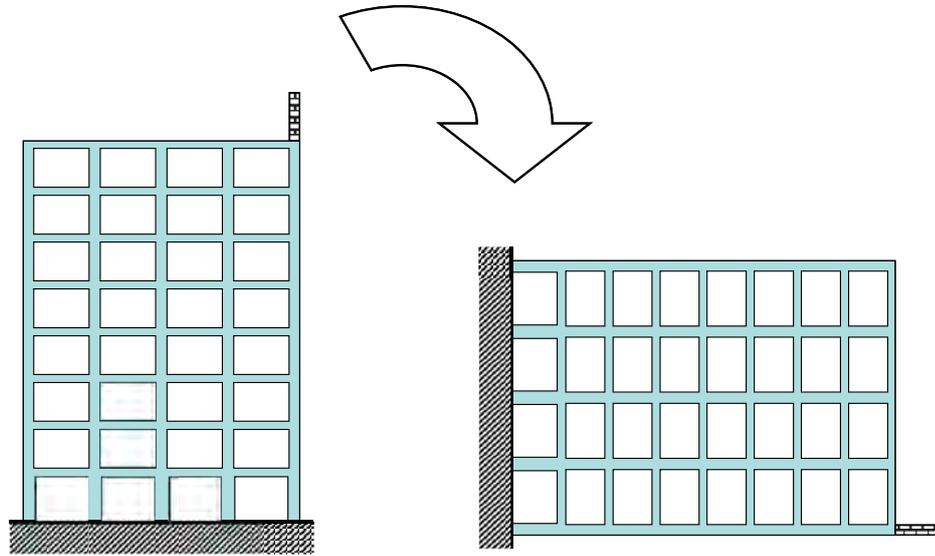


Figura 8.



REPORTAJES



⇒ **Figura 9.-** Las acciones resultantes sobre los petos superiores, son similares a las que se producirían en el caso de girar el edificio 90°.

En concreto, para un peto de fábrica de ladrillo de medio pie, revestido por ambas caras y 1,2 m de altura se tendría un momento en el apoyo sobre el forjado de valor:

$$M = \frac{q \cdot h^2}{2} = \frac{0,13 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ kN/m}^3 \cdot (1,2 \text{ m})^2}{2} = 1,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Ello equivale a unas tensiones en la fábrica del orden de:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1,4 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\frac{1.000 \text{ mm} \cdot (130 \text{ mm})^2}{6}} = 0,5 \text{ N/mm}^2$$

valor muy superior a la resistencia característica de la fábrica conforme el CTE (0,1 N/mm²).

Conforme a un cálculo clásico, las tensiones en los paños superiores de cerramiento serían comparables.

Pese a lo llamativo del resultado —equivalente, como hemos indicado, a construir el peto en voladizo horizontal— aún más sorprendente resulta comprobar que la sollicitación normativa sobre los petos, una sobrecarga de 1,6 kN/m en su borde superior, es incluso superior a la inducida por el sismo, a la que dobla en magnitud:

$$M = \gamma_Q \cdot (P \cdot h) = 1,5 \cdot (1,6 \text{ kN} \cdot 1,2 \text{ m}) = 2,88 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La situación sería semejante para los elementos de rigidez comparable (elevada en relación a la estructura del edificio en su conjunto) como es el caso de los casetones de escaleras y maquinaria de

ascensores o las chimeneas (Figura 10). En el extremo opuesto, los elementos más flexibles, como las antenas, se verían sometidas a sollicitaciones más reducidas.

El valor de las aceleraciones, y por tanto las fuerzas de inercia perpendiculares a los paños de fábrica, se reducen en



⇒ **Figura 10.-** Colapso de una chimenea en la cubierta de un edificio.

las plantas más bajas. Los momentos en los paños más altos, entre los niveles 7 y 8, serían comparables a los que actúan en la base de los petos.

Resistencias

Las tensiones obtenidas en la base del peto y en los apoyos de los paños superiores de las fachadas son semejantes y suponen valores en torno a cinco veces superiores a las resistencias características (sin minorar) que el propio Código Técnico especifica para la fábrica, lo que indica lo precario de su situación.

Hemos de señalar, sin embargo, que el fallo en los paños de cerramiento más elevados no ha resultado ni mucho menos tan frecuente como el de los petos. Ello podría deberse, en nuestra opinión, a dos efectos beneficiosos que se presentan con mayor frecuencia en los primeros:

- las cargas gravitatorias, y
- el efecto arco.

Las cargas gravitatorias. Se suman a las de flexión debidas al sismo y, al introducir compresiones sobre la sección, reducen las tensiones en la cara traccionada de la hoja aumentando su capacidad. En el caso de los petos estas compresiones se deben únicamente a su propio peso y son de valor muy reducido:

$$\sigma = \rho \cdot h = 15 \text{ kNm}^3 \cdot 1,2 \text{ m} = 18 \text{ kN/m}^2 \approx 0,018 \text{ N/mm}^2$$

Esto es, valores despreciables frente a los correspondientes a la acción sísmica, razón por la cual no fueron tenidas en cuenta en las comprobaciones precedentes. En el caso de los paños, sin embargo, las cargas gravitatorias que reciben pueden llegar a suponer un porcentaje importante de las totales en los forjados, especialmente si los paños se disponen entre las vigas de los pórticos, o si tales forjados están constituidos por losas o son reticulares —si, por el contrario, se tratara de elementos unidireccionales paralelos a la fachada la carga que entregarían a ésta sería, lógicamente, menor—. Aunque no se trate de valores muy importantes

(no llegarían a 0,1 N/mm² en las plantas más altas) su contribución será siempre más importante que en el caso de los petos.

Efecto arco. Cuando el paño de cerramiento queda confinado entre forjados de rigidez suficiente como para poder absorber las reacciones en los bordes, se puede plantear un mecanismo tipo arco conforme a los planteamientos del ya citado Documento Básico del Código Técnico. Asumiendo un espesor del arco de la décima parte del ancho útil del paramento y despreciando el efecto de las deformaciones se obtendría (Figura 11):

$$q_d = 0,72 \cdot f_d \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^2 = 0,72 \cdot 5.000 \text{ kN/m}^2 \cdot \left(\frac{0,12 \text{ m}}{0,75 \text{ m}}\right)^2 \approx 6,85 \text{ kN/m}^2$$

Valor muy superior al de las solicitaciones que, recuérdese, equivaldrían al peso del paño, esto es, inferiores a 2 kN/m².

Naturalmente, la realidad no es tan favorable. Ni el apoyo de las hojas de fábrica suele ser completo —si en la anterior formulación el ancho eficaz se limita a los 2/3 del total, según la práctica constructiva habitual, la capacidad se reduce a menos de la mitad y, además, el efecto de las deformaciones ya no podría ser ignorado— ni la rigidez de los forjados permitiría en la mayoría de los casos absorber las reacciones, por lo que el modelo únicamente podría ser aplicado en las zonas de los paños aledañas a los pilares, que actuarían como tirantes del arco. Con todo, en la práctica el mayor problema deriva de la imposibilidad de asegurar el apoyo de tan siquiera los citados 2/3 del espesor de la fábrica (Figura 12).

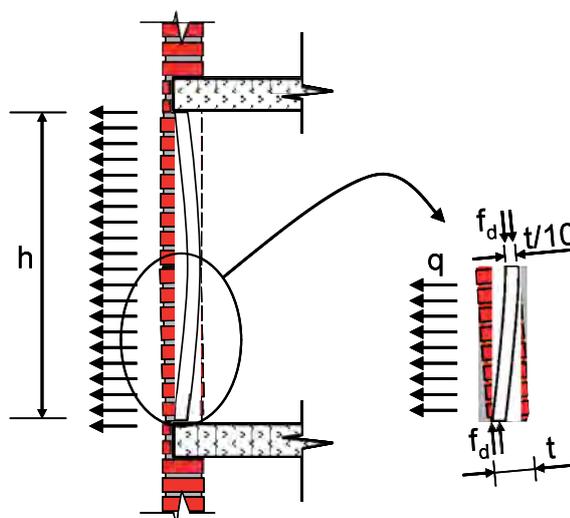


Figura 11.- Representación esquemática del efecto arco en un paño de cerramiento confinado entre forjados.



REPORTAJES



Figura 12.- Detalle del apoyo real de una fábrica en el forjado de un edificio siniestrado.

Conclusiones

A partir de los valores obtenidos se hace evidente la imposibilidad práctica de que los petos de fábrica resistan, al menos en la configuración más habitual, no ya la solicitación del sismo sino incluso la prescrita por la normativa aplicable. Los paños entre forjados podrían contar con más recursos resistentes y, por ello, su situación probablemente no resulte tan crítica.

En todo caso, la realidad observada en algunos casos resulta mucho más precaria que la supuesta en los apartados precedentes. El apoyo de las fábricas en la estructura, tanto petos como cerramientos, queda condicionado por unas prácticas constructivas que, desde nuestro punto de vista, resultan especialmente nocivas.

"Los cerramientos y particiones condicionan la respuesta del edificio"



Figura 13.- Detalle de la ceja resultante de un deficiente encuentro entre el solado de cubierta y la fábrica del peto.

La falta de cuidado en el detalle del encuentro entre los solados de cubierta y la fábrica del peto constituye un ejemplo claro. En ocasiones no se deja la pertinente junta que permita la libre dilatación de aquellos, con lo que su empuje acaba rompiendo la adherencia del mortero en la base del peto, desplazando éste hacia el exterior y formando la característica ceja visible en muchas fachadas (Figura 13).

Igualmente nocivo es el detalle de entrega de la lámina de impermeabilización, que en ocasiones, y ya desde el propio proyecto, se termina introduciendo el borde en el tendel, rompiendo así la continuidad de la sección, tal y como recoge la Figura 14. En la misma figura se observa el detalle habitual de apoyo en el forjado, apoyo forzosamente parcial si, como es habitual, se desea

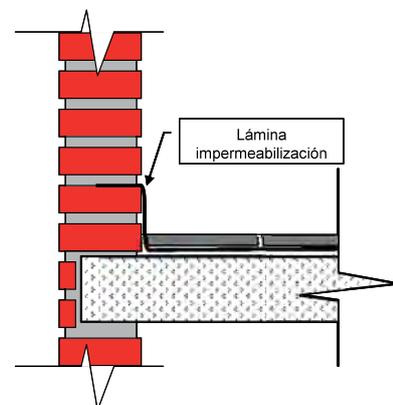


Figura 14.- Fallo habitual en el detalle de entrega de la lámina de impermeabilización, que rompe la continuidad de la sección de la fábrica.

"El fallo en los paños de cerramiento más elevados no ha resultado tan frecuente como en los petos"

mantener la continuidad del plano de fachada con el aplacado que cubre el frente del forjado. Es evidente que ambos detalles reducen drásticamente la capacidad de la sección.

Con todo, la situación más crítica se presenta cuando la hoja de fábrica se pasa por delante del forjado y se apoya en un perfil metálico colgado de simples tirantillas (Figura 15). Se trata de una configuración poco fiable incluso ante las cargas gravitatorias. La Figura 16 constituye un ejemplo de lo expuesto: La hoja exterior se pasa delante del forjado y en la interior, la única que podría ofrecer un apoyo correcto en el forjado, se impide tal apoyo al cortarla en todo su espesor con la lámina de impermeabilización.



Figura 15.- Detalle del empleo de un perfil metálico, con un precario anclaje, para apoyar la fábrica de ladrillo por delante del forjado.



Figura 16.- Detalle de la lámina de impermeabilización que rompe la continuidad de la fábrica.

FÁBRICAS SOMETIDAS A ACCIONES EN SU PLANO

Cuando la rigidez y resistencia de las fábricas son comparables, cuando no superiores, a las de la propia estructura, ya no cabe la habitual consideración de "elementos no estructurales" referida a los cerramientos y particiones, por mucho que en la práctica habitual resulte cómodo mantener la diferenciación.

El planteamiento no es de aplicación exclusiva al caso sísmico. Es bien conocido que, los tan indebidamente designados elementos no estructurales, son precisamente los que en realidad están arriostando, y de forma eficaz, muchos edificios, tanto industriales como residenciales. De hecho, uno de los esquemas estructurales empleado en Lorca con mayor profusión consiste en sucesivas alineaciones paralelas de pórticos planos entre los que se tienden forjados unidireccionales (Figura 17), esquema que no puede ofrecer valores fiables de rigidez o resistencia ante cargas horizontales en la dirección del forjado, especialmente en el caso de estructuras metálicas en las que las viguetas del forjado están simplemente apoyadas, sin conexión alguna, sobre las vigas. Esto es, la estabilidad del edificio en esa dirección queda confiada exclusivamente a los elementos no estructurales.

Sin embargo, y en contra de lo que pudiera pensarse, no hemos sido capaces de identificar en estos edificios una especial incidencia de los daños, lo que nos lleva a pensar que con alguna generalidad



REPORTAJES



Figura 17.- Esquema estructural más habitualmente utilizado en Lorca.

han sido los elementos no estructurales los que realmente han soportado la acción del sismo. Por otra parte, su rigidez ha condicionado la propia sollicitación, por lo que podríamos concluir que han resultado más determinantes que la propia estructura.

La idea es, en realidad, tan antigua como el propio cálculo sísmico. Estos planteamientos aparecen ya reflejados en los primeros textos clásicos (Dowrick [1], Paulay y Priestley [3], etc.) También

ha sido objeto de numerosas ensayos experimentales (Bertero y Brokken, [2]), algunos de ellos utilizando incluso modelos a tamaño natural (ECOEST [4]).

Todas las referencias coinciden en señalar la importancia de los elementos no estructurales —no sólo cerramientos y particiones, sino también losas de escaleras, rampas, particiones de sectorización, etc.— en la respuesta del edificio. No es fácil, sin embargo, encontrar un tratamiento uniforme del tema. Mientras que algunos autores (Pujol et al, [7]) remarcan el carácter positivo de las fábricas al limitar los desplazamientos e incrementar el amortiguamiento, otros (Álvarez, [6]) ponen el énfasis en la incertidumbre que introducen respecto a la respuesta del edificio. En todos los casos se señala, no obstante, el riesgo asociado a las formas de fallo que pueden inducir en los pilares.

Respuesta de la estructura

Con el único objeto de cuantificar la importancia de los elementos no estructurales se integra de nuevo la respuesta del pórtico inicial suponiendo esta vez la estructura desnuda.

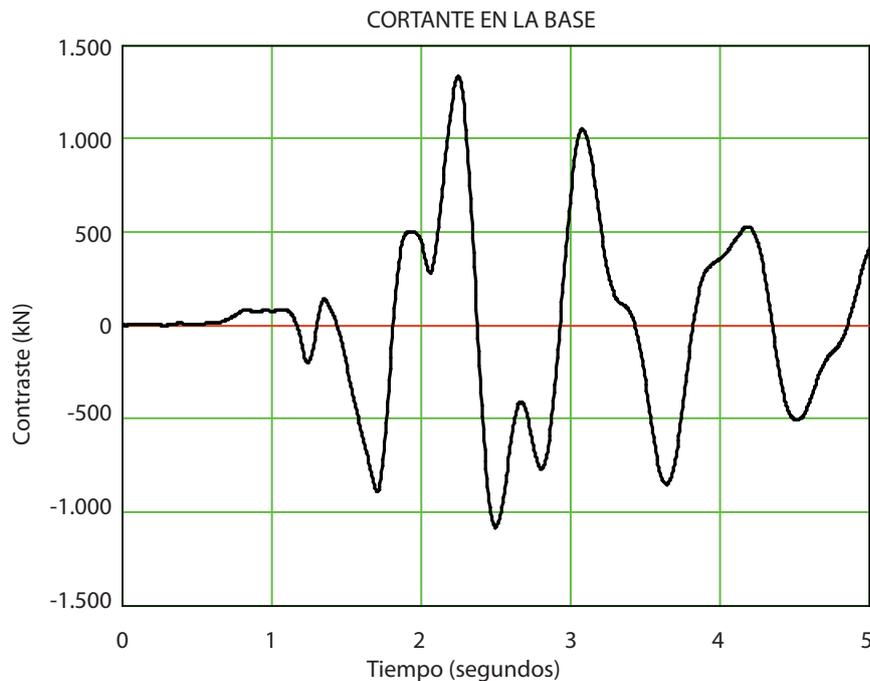


Figura 18.- Cortante en la base. Pórtico inicial tipo con estructura desnuda.

El valor obtenido en estas condiciones para el período fundamental, en torno a un segundo, coincide razonablemente con el que se deduce del análisis modal numérico de la estructura. En realidad, y conforme a los planteamientos del Eurocódigo 8, [10], la estructura se debería haber modelizado con los valores de rigidez correspondientes a las secciones fisuradas o, si ello no fuera posible, con una rigidez no superior a la mitad de la correspondiente a la sección bruta. En Álvarez [5], se analizan las consecuencias de este punto.

El cortante en la base responde a la gráfica de la Figura 18, alcanzando un máximo en torno a 1.330 kN, equivalente al 27 % del peso del edificio.

Respuesta del edificio

La densidad real de los cerramientos es tan importante como permite adivinar la Figura 19.

Para cuantificar su efecto se vuelve a integrar el pórtico original incluyendo esta vez la rigidez correspondiente a un solo paño de la estructura, esto es, 5 m. El período



Figura 19.- Detalle de al importancia que la fábrica de ladrillo tiene en el comportamiento estructural del edificio

fundamental cae en este caso a menos de la mitad, 0,4 segundos, y el cortante total (Figura 20) supera los 4.000 kN, el 82 % del peso total de la estructura y tres veces superior al obtenido para la estructura desnuda.

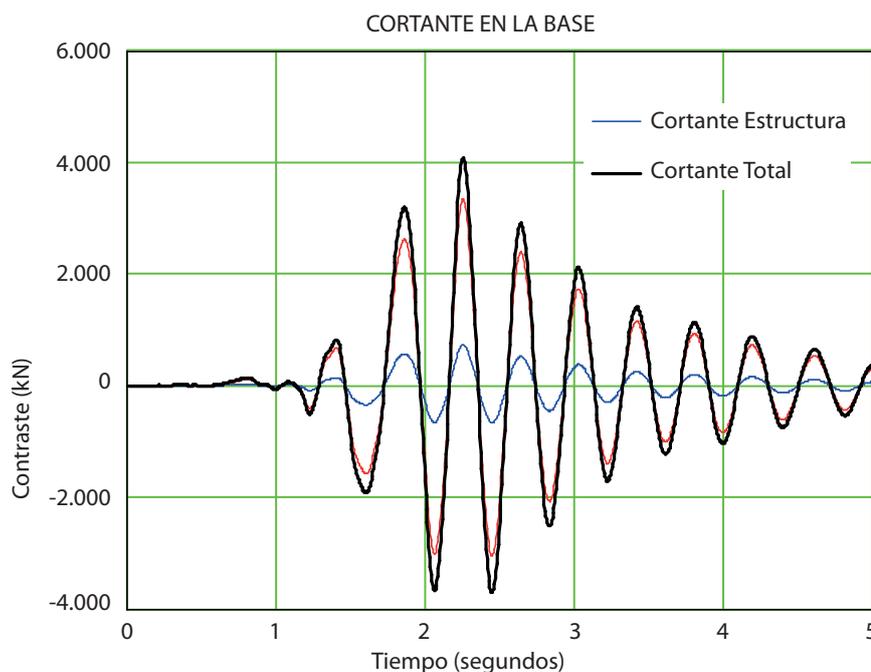


Figura 20.- Cortante en la base. Pórtico inicial tipo con estructura y fábrica.



REPORTAJES

Como se observa en la misma Figura 20, la mayor parte de este cortante, 3.340 kN, es transmitido por la fábrica, la cual no tiene evidentemente la resistencia necesaria. En efecto, las tensiones tangenciales resultantes tendrían un valor de:

$$\tau = \frac{V}{L \cdot t} = \frac{3.340 \text{ kN}}{5 \text{ m} \cdot 0,13 \text{ m}} = 5.138,5 \text{ kN} \approx 5 \text{ N/mm}^2$$

Expresión en la que L y t son respectivamente la longitud y el espesor del paño, incluyendo en este caso el revestimiento.

Para simular el fallo de la fábrica en planta baja (Figura 21) se integra una última vez el registro del terremoto eliminando del modelo la rigidez del paño de planta baja. Tanto el período fundamental, 0,62 segundos, como el cortante en la base, 2.950 kN, resultan valores intermedios entre los previos, como era de esperar.



Figura 21.- Fallo de la fábrica en planta baja.

"El apoyo de las fábricas en la estructura queda condicionada por unas prácticas constructivas especialmente nocivas"

Más interesante resulta constatar la modificación de la primera forma modal, Figura 22, que refleja la formación de un mecanismo de planta flexible, con todo lo que ello conlleva.

Conclusiones

La Figura 23 resume lo expuesto en los apartados precedentes. Al situar en el espectro los períodos obtenidos considerando o no las fábricas, se obtienen valores espectrales —directamente relacionados, en definitiva, con la magnitud de las fuerzas que impone el sismo a la estructura— radicalmente diferentes.

Lo anterior no hace más que corroborar la importancia estructural de los, paradójicamente, designados

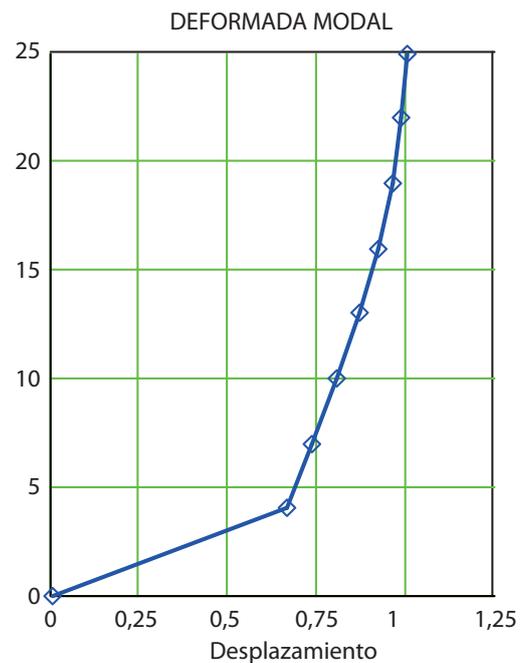


Figura 22.

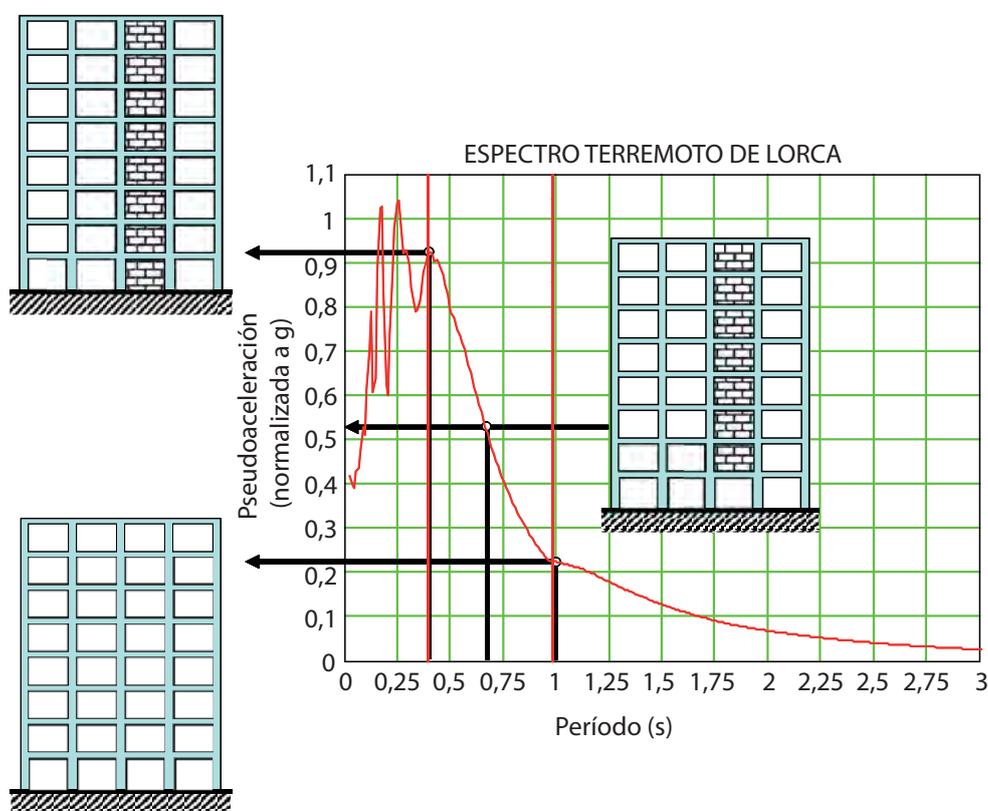


Figura 23.- Diferencias de los valores espectrales de un edificio en función de la disposición de las fábricas.

como “elementos no estructurales”, aspecto sobradamente conocido y reflejado en la literatura técnica. En los ensayos realizados sobre modelos a escala real en el muro de reacción de Ispra (Fardis [4]), la ejecución de la albañilería multiplicó por 16 la rigidez lateral del edificio. En los ensayos de Bertero, desarrollados y publicado hace más de 30 años, la fábrica cuadruplicaba la capacidad de los pórticos estructurales.

Al igual que comenzábamos este artículo señalando cómo la caída de las fábricas había producido los mayores daños personales, no queremos finalizarlo sin reflejar igualmente que, en nuestra opinión, las fábricas también han contribuido a salvar vidas. En el caso de edificios en los que se produjo el colapso de toda una alineación de pilares como el que recoge la Figura 24.

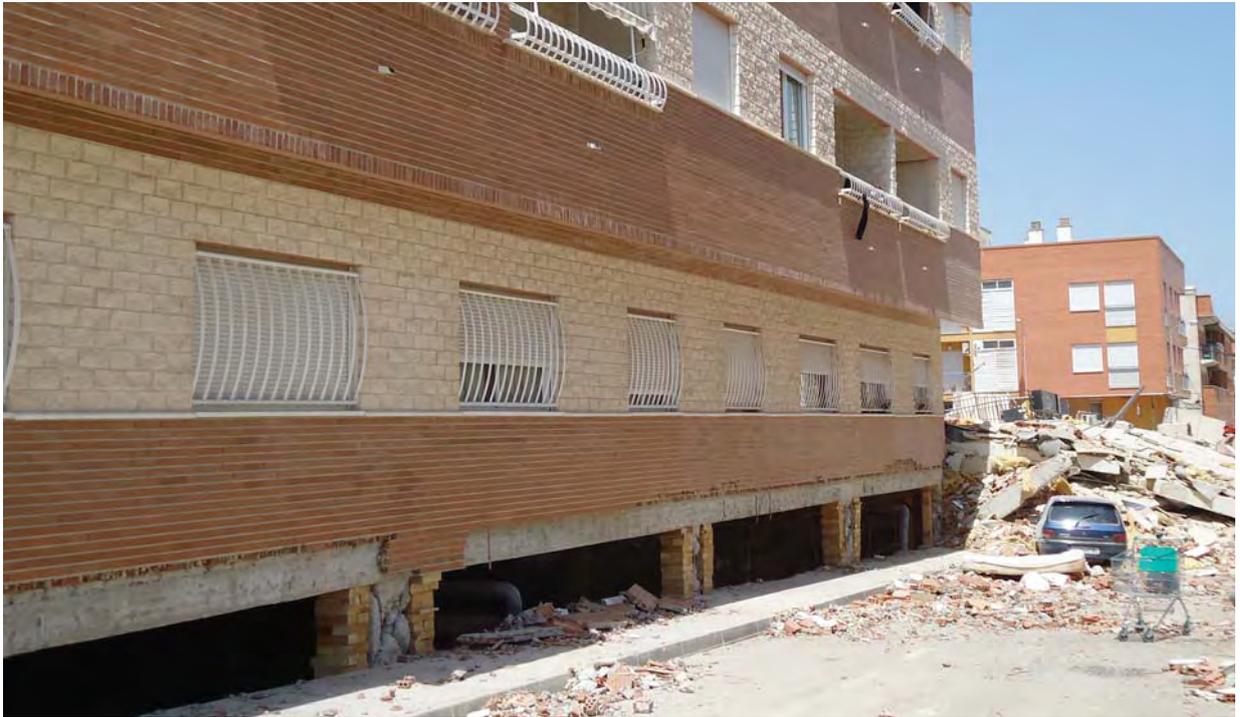
En estos casos la tabiquería constituye el único mecanismo resistente del edificio, conforme al esquema habitual de bie-las comprimidas que refleja la Figura 25. Un cálculo elemental permite comprobar que la fábrica tiene una capacidad sobrada frente a las solicitaciones gravitatorias del conjunto del edificio, de valor muy inferior a las que el sismo induce en las plantas bajas.

A MODO DE PROPUESTA

No hemos pretendido originalidad alguna en todo lo que antecede. Antes al contrario, se ha intentado demostrar que la importancia fundamental de los elementos no estructurales en la respuesta del edificio ha sido ya identificada, cuantificada y sobradamente publicada desde prácticamente los inicios de la ingeniería sísmica como disciplina específica. Se trata, sin embargo, de un aspecto ajeno, en general, a las prácticas constructivas —tanto de proyecto como de ejecución e, incluso, mantenimiento— observadas en Lorca.



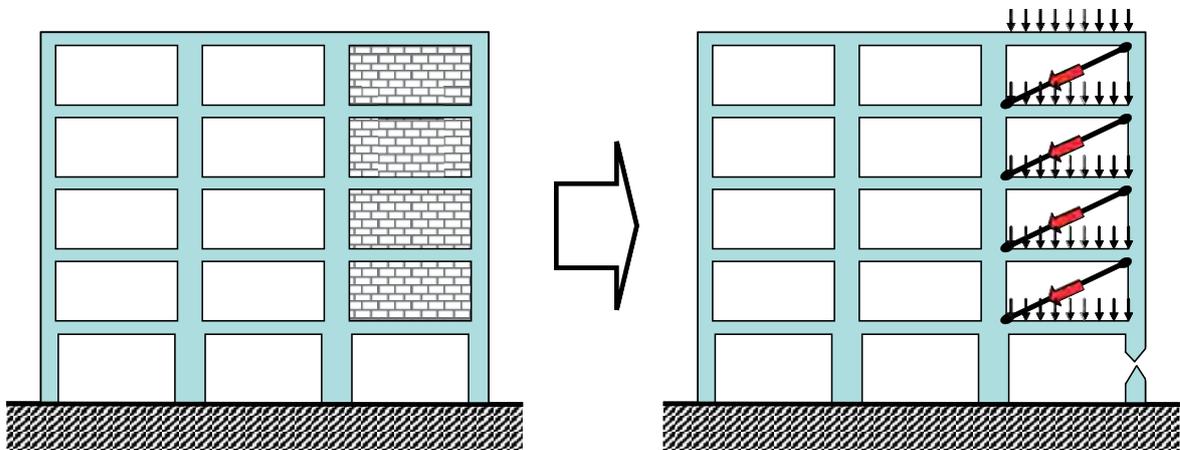
REPORTAJES



⇒ **Figura 24.-** Edificio con una alineación de pilares de planta baja colapsados.

Efectivamente, en contra de lo que se pudiera deducir de la sismicidad del emplazamiento, tales prácticas no son distintas a las aplicadas en cualquier otra ciudad Española situada en las que no existe riesgo sísmico, al menos conforme a nuestra apreciación. Si en términos generales cabe concluir que los edificios no parecen haberse proyectado o construido pensando en la posibilidad de un sismo, en el caso particular de las fábricas esta impresión se hace aún más nítida.

"Los edificios de Lorca no parecen haber sido proyectados ni construidos pensando en la posibilidad de un sismo"



⇒ **Figura 25.-** Mecanismo resistente de la fábrica.

Sin embargo, todos los reglamentos y normativas son claros en este sentido, señalando explícitamente la necesidad de incluir los elementos no estructurales en la modelización del edificio cuando, como es el caso, puedan desarrollar rigidez y resistencia suficientes. También se exige explícitamente el atado de los petos, chimeneas, cercas, etc.

Probablemente la razón por la que en este aspecto no se haya seguido totalmente la normativa tiene que ver con la simple facilidad de cálculo —aunque introducir las bielas equivalentes a ello no conlleva especial dificultad—, con motivos económicos —rigidizar el modelo supone multiplicar las cargas horizontales—, o con la incertidumbre respecto a la disposición final de las fábricas, si bien las realmente importantes, correspondientes a las fachadas, a las medianerías y a las sectorizaciones, no deberían, conforme a la ley, modificarse en ningún caso.

Lo cierto, de todas formas, es que el proyecto sísmico se reduce en general al cálculo de la estructura, dando por supuesto que ello exige del cumplimiento de los principios básicos de proyecto. En definitiva, parece claro que cualquier medida tendente a mejorar el proyecto debería expresarse en términos de cálculo, a ser posible de fácil incorporación en los programas de uso habitual.

Una posible forma de actuación en este sentido consistiría en introducir rigidez en el modelo, de forma que se compense en alguna medida la omisión de la aportada por las fábricas, y ello podría conseguirse imponiendo límites al desplazamiento horizontal entre pisos, tal y como predica el Eurocódigo y otras muchas normas. Quizás una medida como ésta, que no exige modelizar elementos no estructurales, podría paliar algunos de los problemas descritos anteriormente a cambio, naturalmente, de incrementar las escuadrías de los pilares, especialmente en las plantas bajas donde ello resulta más problemático.

Con todo, pensamos que la forma más eficaz a corto plazo pasa por la publicación de una norma específica relativa a la estabilidad de las fachadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dowrick, D.J. "Earthquake Resistant Design". John Wiley & Sons. 1977.
- [2] Bertero, V; Brokken, S. "Infills in seismic resistant building". Journal of Structural Engineering 109, 1337. 1983.
- [3] Paulay, T; Priestley, M.J.N. "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings". John Wiley & Sons. 1992.
- [4] European Consortium of Earthquake Shaking Tables. "Experimental and numerical investigations on the seismic response of R.C. infilled frames and recommendations for code provisions". Michael N. Fardis Editor. 1996.
- [5] Álvarez Cabal, R. "El Eurocódigo 8". Jornada Técnica Anual ACE "Comportamiento de estructuras de hormigón en zonas sísmicas". 2004.
- [6] Álvarez, R; Arroyo, J.R. "La estimación del período fundamental de los edificios". III Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural. Zaragoza. 2005
- [7] Pujol, S; Benavent-Climent, A; Rodríguez, M.E; Smith-Pardo, J.P. "Masonry infill walls: An effective alternative for seismic strengthening of low-rise reinforced concrete building structures". Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. 2008.
- [8] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural: Fábricas. Ministerio de la Vivienda. Abril 2009.
- [9] EAE Instrucción de Acero Estructural. Ministerio de Fomento. 2011.
- [10] AENOR. UNE-EN 1998-1:2011. Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación. 2011. ■

LA CONFERENCIA DE INVIERNO DE EUROCONSTRUCT REVELA UN FUTURO INCIERTO PARA LA CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA

El año 2011 finalizará con un crecimiento negativo del -0,6 % que no mejorará en el 2012 como consecuencia del enfriamiento de la economía europea, previéndose una situación intermedia entre el estancamiento y una ligera recesión (-0,3 %), según se ha puesto de manifiesto en la conferencia de invierno de Euroconstruct, celebrada el pasado mes de noviembre.

Los analistas del sector confían, no obstante, que esta tendencia negativa se interrumpa en 2013 donde se prevé que el crecimiento alcance un discreto 1,9 %.

De esta forma, serán cinco los años en los que de una forma consecutiva se ha producido una recesión en el sector de la construcción, acumulando un descenso del orden del 17 %, lo que nos sitúa en niveles registrados a comienzos de este siglo.

La **edificación residencial** de nueva planta, que fue la que más temprano dejó sentir las consecuencias de la crisis, es también la primera en experimentar esta mejoría aunque sólo pueda calificarse como de parcial, puesto que en un mismo país deberán convivir segmentos de mercado plenamente normalizados con otros todavía en dificultades.

La **edificación no residencial**, por el contrario, no encontrará la senda de la recuperación hasta el año 2013 como consecuencia de la actitud recelosa de los promotores frente a la recuperación económica.

El mercado de la **ingeniería civil** se encuentra sujeto a la salud fiscal de los países europeos, en los que se han retirado muchos de los planes de inversión, lo que ha conducido a una situación recesiva en 2011 (-3,3 %) que se prolongará durante el 2012 (-2 %) para alcanzar un estancamiento en el periodo 2013-2014 al final del cual se prevé un crecimiento del 0,6 %.

Situación en España

La situación del sector de la construcción en España es crítica tras haberse reducido a la mitad en tan sólo tres años (2008-2011) y encontrarse en un descenso continuado que no tiene visos de corregirse. Así, en 2011 la actividad ha descendido en un 19 % y se espera que esta tendencia continúe durante el 2012 con un descenso adicional del 9 % y una ligera estabilización en el año 2013.

En la **edificación residencial** el stock de viviendas apenas desciende, obstaculizando la promoción de vivienda nueva y la rehabilitación. Un cambio en la situación fiscal de la vivienda pudiera mejorar algo el panorama, pasando de la recesión al estancamiento (-0,1 %) y experimentando un ligerísimo repunte (+ 2,5 %) en el periodo 2013-2014, donde no se esperan volúmenes superiores a las 100.000 viviendas anuales.

Al igual que en el resto de Europa la **edificación no residencial** espera una mejora de la economía como paso previo para plantearse la adopción de nuevos proyectos, por lo que el periodo 2011-2012 será claramente recesivo (-10 %), situación a la que no colabora la percepción de riesgo país por parte del inversor extranjero, si bien se estima una tímida recuperación (+1,5 %) para el periodo 2013-2014, muy lejana todavía a los niveles de producción habituales del sector.

Más incógnitas plantea, no obstante, el **sector de la obra pública**, en el que el año en curso ha sido plenamente destructivo (-35 %) como consecuencia de la drástica reducción de la inversión pública por parte de la Administración Central, a la que se unirá en 2012 la de las Administraciones Autonómicas, lo que conducirá a un acusado descenso del orden del -24 %, que se iría suavizando en años sucesivos (-4 % anual en 2013-2014), si bien no se descarta que se produzca una parada completa de la inversión en infraestructuras.

ALUMINIO

Dos libros claves con todos los requisitos sobre el aluminio, sus aleaciones y anodización



MANUAL DE NORMAS UNE

ANODIZACIÓN DEL ALUMINIO

El anodizador, el suministrador y el comprador deben conocer los requisitos, características y posibilidades de la anodización, pues los resultados del proceso difieren bastante en aspecto, color, reflectividad, etc, dependiendo del uso final que se le quiera dar a la pieza.

Con objeto de facilitar la selección de la capa anódica que debe aplicar en sus productos, este manual contiene las 21 normas sobre anodización del aluminio que le proporcionan información sobre:

- Requisitos generales y medición del espesor.
- Aislamiento eléctrico.
- Efectividad del sellado.
- Resistencia a la corrosión.
- Medición de la reflectividad.
- Solidez.
- Resistencia mecánica.
- Requisitos para productos en contacto con alimentos.

2011 – CD-ROM – 30 €
ISBN: 978-84-8143-737-9



MANUAL DE NORMAS UNE

COMPENDIO DE ALEACIONES DE ALUMINIO

Esta publicación incluye 86 normas UNE fundamentales para la comprensión y conocimiento completo de estas aleaciones, que tanta importancia tecnológica tienen en los diferentes sectores (alimentación, construcción, químico, sanidad, transportes, etc.).

De cada aleación conocerá:

- Propiedades químicas, físicas, mecánicas, y tecnológicas.
- Designación numérica y simbólica.
- Ejemplos de sus aplicaciones más típicas.

Además, permite localizar rápidamente las normas por diversas opciones de búsqueda:

- Designación numérica y simbólica.
- Uso para forja o para fundición.
- Serie 1000, 2000, etc.
- Grupo (Al, AlMgSi, etc.)
- Sistema de clasificación europeo (EN AW-xxxx) y sistema antiguo (L-xxxx).

2011 – CD-ROM – 39,52 €
ISBN: 978-84-8143-731-7

2 libros
55,62€
oferta adquisición

FERRA PLUS

Calidad



Fiabilidad

Distintivo
oficialmente
RECONOCIDO



Garantía



AENOR



Producto
Certificado

**FerraPlus,
más que ferralla certificada**

Empresas en posesión de la marca

ARMACENTRO, S.L. • ARMALLA, S.L. • ARTEPREF, S.A.U. • CESÁREO MUNERA, S.L. • COFEMA, S.A. • COFEMA ZARAGOZA, S.L.
ELABORACIÓN Y MONTAJES DE ARMADURAS, S.A. • EUROARMADURAS, S.L. • FERRALLADOS CORE, S.A. • FERRALLAS ALBACETE, S.A.
FERRALLAS JJP MAESTRAT, S.L. • FERRALLATS ARMANGUÉ, S.A. • FERROBÉRICA, S.L. • FERROFET CATALANA, S.L. • FERROINSA, S.A.
FERROS ILURO, S.L. • FORJADOS DEL EBRO, S.L. • FORJADOS RIOJANOS, S.L. • FORMAC, S.A. • GESFER, S.L. • HIERROS AYORA, S.L.
HIERROS DEL NOROESTE, S.L. • HIERROS DEL PIRINEO, S.A. • HIERROS GODDY, S.A. • HIERROS HUESCA, S.A. • HIERROS SÁNCHEZ, S.L.
HIERROS SANTA CRUZ, S.L. • HIERROS SANTA CRUZ SANTIAGO, S.L.U. • HIERROS URIARTE, S.L. • HIERROS Y ACEROS DE MALLORCA, S.A.
HIERROS Y MONTAJES, S.A. • HIJOS DE LORENZO SANCHO, S.A. • JESÚS ALONSO RODRÍGUEZ, S.L. • LENUR FERRALLATS, S.L.
MANUFACTURADOS FÉRRICOS, S.A. • PENTACERO HIERROS, S.L. • PREFORMADOS FERROGRUP, S.A. • S. ZALDÚA Y CÍA, S.L.
SINASE FERRALLA Y TRANSFORMADOS, S.L. • TÉCNICAS DEL HIERRO, S.A. • TEINCO, S.L.
TRANSFORMACIONES FÉRRICAS VILLARCAYO, S.L.