

# CUADERNOS INTEMAC

## El terremoto de Lorca. La necesidad de revisar algunos principios

### The Lorca earthquake. Rethinking some basic ideas

Laura Menéndez Martínez  
Ingeniero de Caminos  
Dpto. de Estructuras, INTEMAC

Eduardo Díaz-Pavón Cuaresma  
Ingeniero de Caminos  
Dpto. de Estructuras, INTEMAC

Raúl Rodríguez Escribano  
Ingeniero de Caminos  
Dir. Div. de Control y Patología, INTEMAC

Ramón Álvarez Cabal  
Dr. Ingeniero Industrial  
Jefe Dpto. de Estructuras, INTEMAC



METIRE UT SCIAS

**INTEMAC**

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

**N.º 88**  
4.º TRIMESTRE '12



METIRE UT SCIAS

## INTEMAC

### INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

( O.C.T. ) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS  
EDIFICACIÓN  
INSTALACIONES



**INTEMAC**  
A U D I T

### AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORIAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



**INTEMAC**  
E C O

### AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

**CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL**

Obras Públicas

Edificación

Instalaciones

**CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL**

Aire

Agua

Ruido

**AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL**

**ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE**

---

**EL TERREMOTO DE LORCA.  
LA NECESIDAD DE REVISAR ALGUNOS PRINCIPIOS**

**THE LORCA EARTHQUAKE.  
RETHINKING SOME BASIC IDEAS**



**Laura Menéndez Martínez**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Departamento de Estructuras, Intemac  
Civil Engineer  
Structures Dpt. Intemac



**Eduardo Díaz Pavón Cuaresma**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Departamento de Estructuras, Intemac  
Civil Engineer  
Structures Dpt. Intemac



**Raul Rodríguez Escribano**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Director de la División de Control de Proyecto,  
Rehabilitación y Patología, Intemac  
Civil Engineer  
Design and Pathology Control División Manager, Intemac



**Ramón Álvarez Cabal**  
Dr. Ingeniero Industrial  
Jefe del Departamento de Estructuras, Intemac  
PhD. Mechanical Engineer  
Head of Structures Dpt. Intemac

---

Copyright © 2012, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133-9365

Depósito legal: M-4699-2010  
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. PRIMER TÓPICO: PARA SALVAR VIDAS LO FUNDAMENTAL ES EVITAR EL COLAPSO ESTRUCTURAL
3. SEGUNDO TÓPICO: ES POSIBLE DEFINIR UNA ACCIÓN REPRESENTATIVA DE LA SOLICITACIÓN SÍSMICA
4. TERCER TÓPICO: LAS ACCIONES SOBRE EL EDIFICIO SON RECOGIDAS POR SU ESTRUCTURA
5. CUARTO TÓPICO: EL PERÍODO FUNDAMENTAL
6. QUINTO TÓPICO: LAS ACCIONES DE CÁLCULO DEPENDEN DE LA RIGIDEZ
7. SEXTO TÓPICO: LOS ESFUERZOS DE CÁLCULO SON LOS CAUSANTES DE LOS DAÑOS
8. SEPTIMO TÓPICO: LA JERARQUÍA DE RESISTENCIAS
9. OCTAVO TÓPICO: EL MECANISMO PLÁSTICO IDEAL
10. NOVENO TÓPICO: LA INTENSIDAD
11. DÉCIMO TÓPICO: LA APLICACIÓN DE LAS NORMAS
12. RESUMEN
13. AGRADECIMIENTOS
14. REFERENCIAS

## CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. FIRST TENET: THE PREVENTION OF STRUCTURAL COLLAPSE IS ESSENTIAL TO SAVING LIVES
3. SECOND TENET: ACTION REPRESENTATIVE OF SEISMIC STRESS CAN BE DEFINED
4. THIRD TENET: ACTIONS ON BUILDINGS ARE ABSORBED BY THEIR STRUCTURE
5. FOURTH TENET: THE FUNDAMENTAL PERIOD
6. FIFTH TENET: DESIGN ACTIONS DEPEND ON STIFFNESS
7. SIXTH TENET: DAMAGE IS CAUSED BY STRESSES SUCH AS ADDRESSED IN THE DESIGN
8. SEVENTH TENET: STRENGTH HIERARCHY
9. EIGHTH TENET: THE IDEAL PLASTIC MECHANISM
10. NINTH TENET: INTENSITY
11. TENTH TENET: APPLICATION OF CODES
12. SUMMARY
13. ACKNOWLEDGEMENTS
14. REFERENCES

## ABSTRACT

*Seismic building design in Spain has been confined, in most cases, to ensuring structure's ability to withstand a series of horizontal actions that aim to simulate seismic stress.*

*This is a convenient approach because the substantial structural engineering required is normally performed by computer software and calls for very little of the designer's time. It also conveys the reassuring sensation of safety that derives from the use of very powerful and apparently sophisticated engineering tools.*

*The fallacy in this approach, which can most benevolently be regarded as useless but more objectively would have to be considered hazardous, surfaced during the Lorca earthquake.*

## 1. INTRODUCTION

In the afternoon of 11 May 2011, the earth in and around Lorca, a town in the Spanish province of Murcia, was shaken twice. The second quake reached a magnitude of 5.1 and could be felt in places as far away as Madrid.

The proximity of the epicentre to the town and its scant depth explain the high accelerations reached (the highest on record in Spain) and the intensity observed.

Nine people were killed, over 300 injured and many thousands left homeless, not to mention the substantial material damage caused.

INTEMAC conducted its first inspections in a matter of hours after the quakes. Pursuant to a consultancy agreement with the CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS, an in-depth inspection was conducted of over 350 buildings, along with an appraisal of the damage and, in many cases, proposals for repair measures. That task took a sizeable expert team over a year's work and led, among other findings, to the realisation that certain existing premises on building behaviour during earthquakes needed to be called into question.

One of the clearest lessons learnt was the existence of a difference between observed building behaviour and the behaviour assumed in standard design practice.

The present review discusses a number of elementary postulates in connection with certain commonly held tenets in seismic design.

## 2. FIRST TENET: THE PREVENTION OF STRUCTURAL COLLAPSE IS ESSENTIAL TO SAVING LIVES

The primary aim of design in seismic areas is obviously to save lives. The secondary objective, to limit material damage, has only begun to make headway in recent years.

The traditional approach to attaining both objectives consists of ensuring certain minimum structural response values. Hence, prevention of system collapse has been assumed to suffice to save lives.

## RESUMEN

*En nuestro País el proyecto sismorresistente en edificación se ha limitado, en el mejor de los casos, a la comprobación resistente de la estructura frente a un conjunto de acciones horizontales que pretenden simular la sollicitación sísmica.*

*Es un planteamiento cómodo porque el considerable esfuerzo de cálculo requerido es normalmente desarrollado por un programa de ordenador y no exige en realidad dedicación alguna del Autor del proyecto. Transmite, además, la tranquilizadora sensación de seguridad que se deriva del empleo de herramientas de cálculo muy potentes y aparentemente sofisticadas.*

*El terremoto de Lorca ha demostrado lo erróneo de este planteamiento, que desde el punto de vista más benevolente se puede calificar de inútil pero que en un juicio objetivo habría que calificar también como peligroso.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La tarde del 11 de mayo de 2011 se produjeron dos terremotos en las inmediaciones de la localidad de Lorca, en Murcia. El segundo de ellos alcanzó una magnitud de 5,1 grados y se pudo apreciar en localidades tan distantes como Madrid.

La proximidad del epicentro a la ciudad y lo escaso de su profundidad explican el elevado valor alcanzado por las aceleraciones (las máximas registradas en nuestro País) y la elevada intensidad observada.

El terremoto produjo 9 víctimas mortales, más de 300 heridos y varios miles de desplazados, además de numerosos daños materiales.

Las primeras inspecciones desarrolladas por INTEMAC tuvieron lugar a las pocas horas de producirse los terremotos. Un acuerdo de asesoría con el CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS nos permitió la inspección detallada de más de 350 edificios de la ciudad así como la evaluación de los daños existentes y, en muchos casos, la propuesta de medidas de reparación. Todo ello requirió más de un año de trabajo por parte de un amplio equipo de Técnicos que, entre otros resultados, nos llevó a cuestionarnos nuestros planteamientos previos respecto al comportamiento de los edificios frente al sismo.

Una de las enseñanzas más claras que pudimos obtener se refiere a la diferencia entre el comportamiento observado en los edificios y el que se asume en la práctica habitual de proyecto.

Para justificar este planteamiento desarrollamos en el presente trabajo algunas reflexiones de carácter elemental referidas a los tópicos más frecuentes en el proyecto sismorresistente.

## 2. PRIMER TÓPICO: PARA SALVAR VIDAS LO FUNDAMENTAL ES EVITAR EL COLAPSO ESTRUCTURAL

El objeto fundamental del proyecto en zonas sísmicas es, evidentemente, salvar vidas. Sólo en los últimos años se ha ido abriendo paso un segundo objetivo, secundario, que consiste en limitar los daños materiales.

El planteamiento tradicional para conseguir ambos objetivos consiste en asegurar ciertos valores mínimos de la respuesta estructural. Así, para salvar vidas se suponía suficiente evitar el colapso del sistema resistente.

The Lorca experience showed that this is only partially true. Structural collapse must be prevented, naturally, but more important still is preventing pedestrians from being injured by elements hurled off façades.

At Lorca, all the fatalities and injuries were caused by the detachment of architectural members, essentially roof parapets. After the quake, the streets of the city were blanketed in rubble and the remains of masonry infills (Photograph 1).



Photograph 1  
Fotografía 1

Behind such an apparently simple aim as “preventing the detachment of façade elements”, however, lies an extraordinarily complex problem.

Paradoxically, while in practice seismic design, a complex and technically demanding exercise documents, is routinely performed with computer software, no general and effective solution has been found for the apparently much simpler question of designing façade anchorage to resist horizontal action. In fact, building design documents seldom contain any reference whatsoever to roof parapet anchorage (for instance), despite the explicit requirements laid down in the existing legislation.

Moreover, the problem is very wide in scope. In Spain, the vast majority of façades are masonry infills or panels, whose resistance to actions normal to their own plane is very limited. Since the Código Técnico de la Edificación addresses masonry panel strength only from the standpoint of bending along the axis parallel to the perpend (Figure 1b), bending strength in the bed joint direction (Figure 1a) must be disregarded.

Façade panels and roof parapets would therefore have to be engineered as plates supported on their vertical sides (the support being afforded by columns) and unrestrained on their horizontal sides (between deck slabs). They would, then, be regarded as very deep simple horizontal beams. Since inter-column span is usually greater than storey height, the result is a drastic decline in bearing capacity. Displacement compatibility problems also arise (due to the restraint actually imposed by deck slabs) and small ancillary columns need to be built on both sides of openings.

Irrespective of legal provisions, flexural strength in the perpend direction, along with other mechanisms, enables masonry infills to act like plates in both directions and explains their stability when exposed to horizontal action. This possibility is conditioned, however, by certain legal provisions such as illustrated in Figure 2. While obviously intended to meet functional needs, these construction solutions may limit panel resistance substantially. Positioning weatherproofing between the panel and the deck slab hinders effective displacement restraint.

**Briefly, while façade anchorage may be the primary requirement for saving lives, today’s construction systems do not ensure such anchorage.**



La experiencia de Lorca demuestra lo parcial de este planteamiento: Es importante evitar el colapso de la estructura, pero lo es mucho más evitar la caída de elementos de fachada sobre las personas.

Todos los daños personales fueron producidos por la caída de elementos arquitectónicos, fundamentalmente los petos de cubierta. Las calles de la ciudad aparecían tras el sismo cubiertas por cascotes, restos de fábricas, etc. (Fotografía 1).

Desafortunadamente, una formulación aparentemente tan simple ... "evitar la caída de elementos de fachada"... esconde una realidad extraordinariamente complicada.

Lo paradójico del asunto es que mientras que el proyecto de una estructura ante acciones sísmicas, proyecto complicado y técnicamente muy exigente, se resuelve en la práctica mediante el uso rutinario de programas informáticos, la comprobación del anclaje de las fachadas ante acciones horizontales, algo aparentemente mucho más simple, constituye en realidad un problema abierto, para el que aún no ha sido posible encontrar una solución general y eficaz. De hecho, no es normal que la documentación de proyecto de un edificio contenga referencia alguna al anclaje de los petos de cubierta (por ejemplo), y ello pese a la exigencia explícita de la reglamentación vigente.

El problema tiene, además, un alcance muy amplio. La inmensa mayoría de las fachadas se resuelven en nuestro País mediante paños de fábrica, cuya capacidad frente a acciones normales a su plano es muy limitada. El Código Técnico de la Edificación limita la resistencia de las fábricas a la que puedan presentar ante flexiones de eje paralelo a las llagas (Figura 1 b), lo que obliga a despreciar la resistencia a flexión en dirección de los tendeles (Figura 1 a).

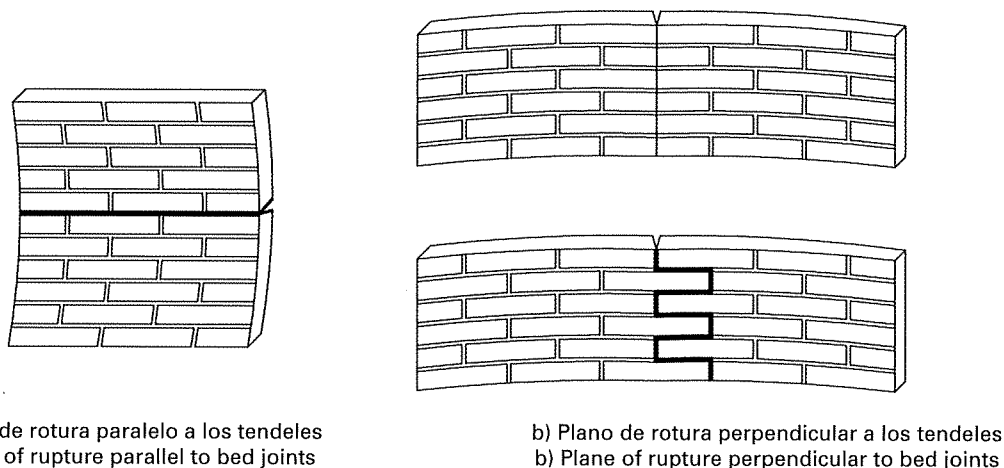


Figura 1  
Figure 1

Los paños de fachada y petos de cubierta se tendrían por tanto que comprobar como placas apoyadas en sus lados verticales (el apoyo vendría dado por los pilares) y libres en los horizontales (correspondientes a los forjados). En definitiva, se trataría de simples vigas horizontales de gran anchura. Como las luces entre pilares son normalmente mayores que las alturas de planta, ello reduce drásticamente su capacidad resistente. Además introduce problemas relativos a la compatibilidad de desplazamientos (por la coacción que, en realidad imponen los forjados) y obliga a la disposición de pilarcillos auxiliares a cada lado de los huecos.

Con independencia de las disposiciones normativas, la resistencia a la flexión en dirección de las llagas, junto con otros mecanismos resistentes, permite el trabajo de las fábricas como placas, en las dos direcciones y explica su estabilidad ante acciones horizontales. Esta posibilidad queda, sin embargo, condicionada por algunas disposiciones normativas como las que recoge la Figura 2, adjunta. Estas formas constructivas responden a necesidades funcionales evidentes pero pueden limitar de forma importante la resistencia de los paños. La disposición de la lámina de impermeabilización entre el paño y el forjado impide la coacción eficaz del desplazamiento.

**En definitiva, si el primer requisito para salvar vidas es anclar las fachadas el problema real es que los sistemas constructivos actuales no aseguran ese anclaje.**

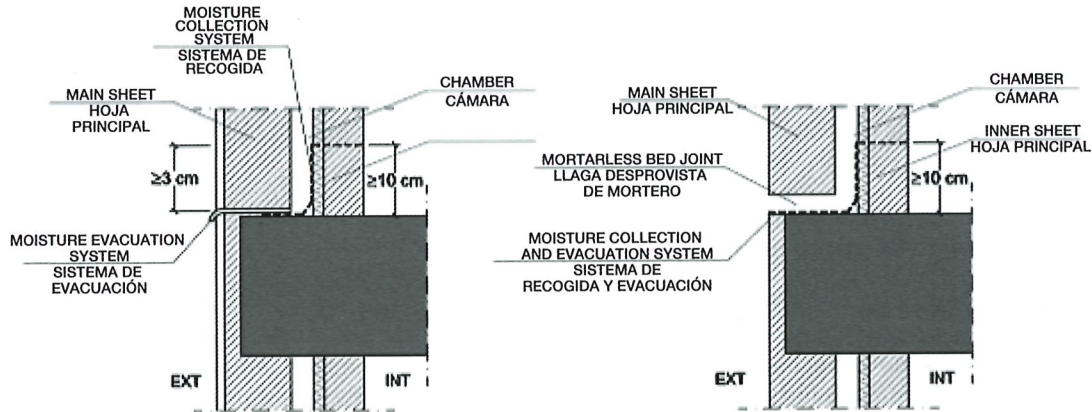


Figure 2  
Figura 2

### 3. SECOND TENET: ACTION REPRESENTATIVE OF SEISMIC STRESS CAN BE DEFINED

The Lorca earthquake has frequently been said to have been three times worse than forecast in the existing code, an assertion generally backed by a comparison between the acceleration recorded at the site and its basic acceleration.

Actually, however, that claim is not wholly accurate. Firstly, a direct comparison between the recorded and basic acceleration is unsuitable because it confounds the latter with the expected site acceleration. Basic acceleration, a parameter indicative of the overall seismicity in a region, includes other effects.

A comparison of spectra (Figure 3) would be more logical, but in any event the equivalent forces to which, at least in theory, the buildings at Lorca were exposed by the earthquake were several times greater than predicted.

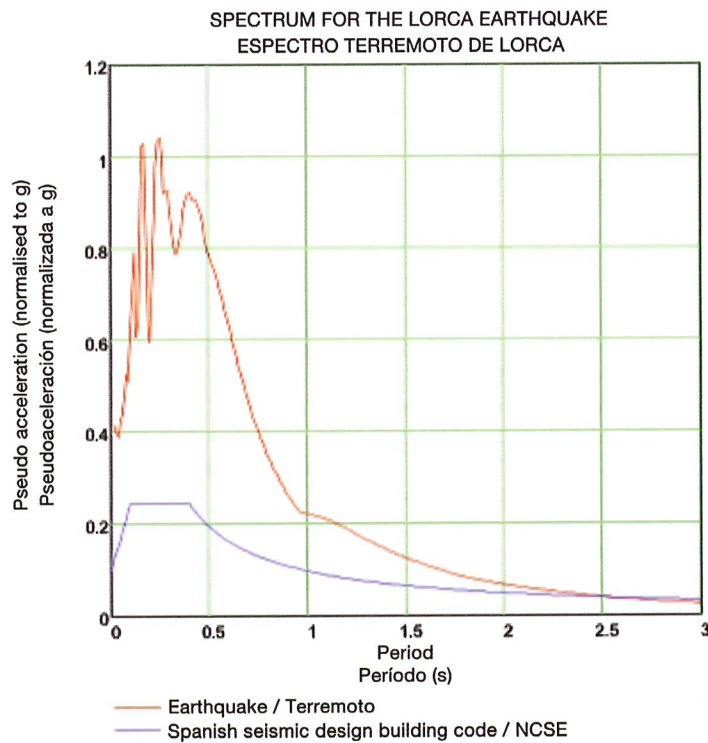


Figure 3  
Figura 3

### 3. SEGUNDO TÓPICO: ES POSIBLE DEFINIR UNA ACCIÓN REPRESENTATIVA DE LA SOLICITACIÓN SÍSMICA

Frecuentemente se ha señalado que el terremoto de Lorca fue tres veces peor que el previsto en la instrucción vigente, lo que se suele justificar a partir de la comparación entre los valores de la aceleración registrada y la aceleración básica del emplazamiento.

En realidad tal afirmación requiere muchos matices. En primer lugar, la comparación directa entre la aceleración registrada y la básica no es adecuada porque confunde esta última con la esperada en el emplazamiento. La aceleración básica es un parámetro representativo de la sismicidad global de una zona e incluye otros efectos.

La comparación sería más lógica si se estableciese en términos espectrales, Figura 3, pero en cualquier caso es evidente que el valor de las fuerzas equivalentes que, al menos en teoría, introdujo el sismo de Lorca en los edificios de la ciudad fue varias veces superior al previsto.

Ahora bien, la comparación en fuerzas equivalentes no representa en realidad más que una de las partes de la sollicitación sísmica y no es totalmente representativa de la misma. Si, por ejemplo, nos fijamos en otro aspecto de la sollicitación sísmica tan simple como la duración del terremoto, podemos comprender lo limitado del planteamiento tradicional.

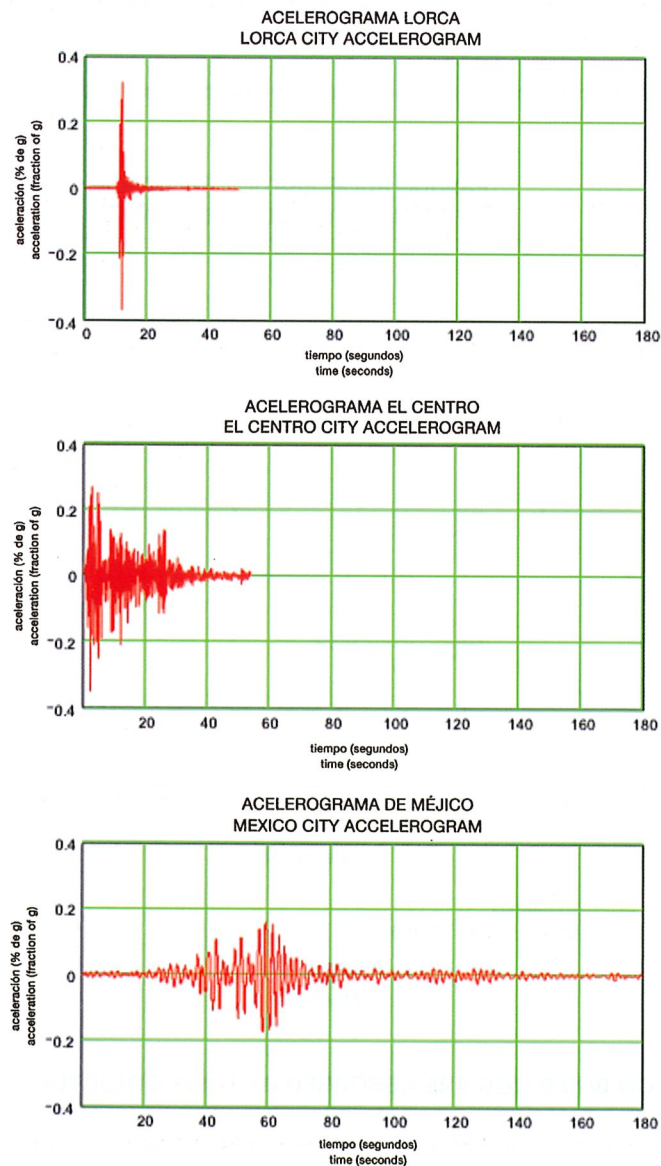


Figura 4  
Figure 4

Comparison in terms of equivalent forces, however, is only partially representative of only one of the components of seismic loads. Choosing another and very simple feature of seismic loads, such as quake duration, reveals the limitations of the traditional approach.

Figure 4 shows same-scale accelerograms for three earthquakes: Lorca, El Centro, California (1940) and Mexico City (1985). While the third caused the highest number of fatalities (from 7 000 to 10 000 people were killed) and the most severe damage, the peak acceleration reached, which was less than 0.2 g, was much smaller than recorded at Lorca (0.36 g). The intensity of the El Centro event was intermediate between the Lorca and Mexico City tremors.

Figure 5 shows the spectra for the three quakes. While the Lorca event induced the greatest equivalent forces, the more interesting study is how each quake affected different types of buildings.

In the Lorca tremor, stiff structures, buildings only a few storeys high, underwent the greatest loads. In Mexico City, by contrast, such structures were essentially unharmed, while severe damage was inflicted on flexible high-rises, whose initial stiffness progressively declined with the successive quakes in many cases (a development likewise related to duration) until periods close to excitation were reached.

The foregoing clearly shows that building codes reflect seismic action less than optimally. The accelerations recorded and the equivalent loads deduced from the Lorca accelerogram are not fully consistent with the actual severity of an earthquake of such a short duration.

**In short, the representation of seismic action in codes is always partial and at times unrelated to the actual severity of the earthquake.**

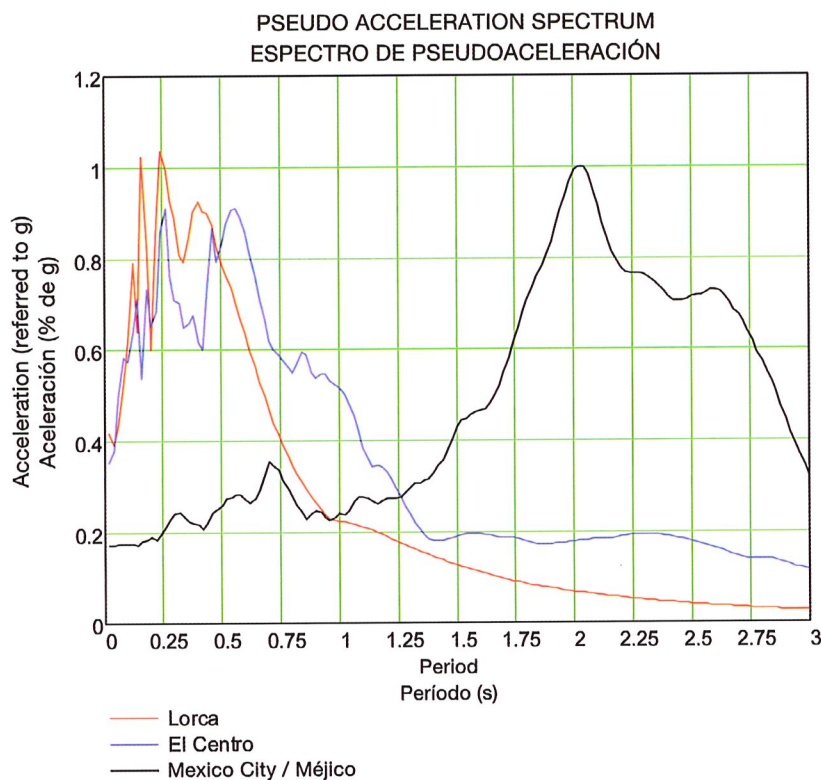


Figure 5  
Figura 5

#### 4. THIRD TENET: ACTIONS ON BUILDINGS ARE ABSORBED BY THEIR STRUCTURE

That the structure is the part of a building that can be most readily parametrised is particularly handy because the effects of actions can be mathematically calculated. Considering seismic-induced stress on cross-sections and cross-sectional strength is a very convenient approach.

En la figura nº 4 representamos, utilizando las mismas escalas, los registros de tres terremotos distintos, el de Lorca, el del Centro (California, 1940) y el de México de 1985. Este último fue con diferencia el que produjo el mayor número de víctimas (entre 7000 y 10000 personas fallecieron) y los más graves daños (decenas de edificios colapsaron) y, sin embargo, la aceleración máxima alcanzada, que no llega a 0,2 g, fue muy inferior a la registrada en Lorca, 0,36 g. El del Centro representa una situación intermedia entre eventos de carácter tan extremo como el de Lorca, ejemplo de terremoto próximo, y de México.

La Figura 5 muestra los espectros de los tres sismos. Se comprueba que es el terremoto de Lorca el que induce las mayores fuerzas equivalentes pero aún más interesante es comprobar cómo cada uno de ellos afecta a edificios distintos.

El sismo de Lorca produjo las mayores sollicitaciones en las construcciones rígidas, bloques de pocas alturas. El de México, sin embargo, pasó desapercibido para éstas y resultó demoledor para los edificios flexibles, de mayor altura, edificios cuya rigidez inicial se fue degradando en muchos casos con las sucesivas sacudidas (aspecto en el que, de nuevo hemos de referirnos a la duración) hasta llegar a períodos próximos al de la excitación.

A tenor de lo expuesto, parece claro que las acciones normativas no son el mejor reflejo de la sollicitación sísmica. Las aceleraciones registradas y las cargas equivalentes que se derivan del acelerograma de Lorca no son totalmente coherentes con la severidad real de un terremoto de tan corta duración.

**En resumen, la representación normativa de la acción sísmica es siempre parcial y, en ocasiones, ajena a la severidad real del sismo.**

#### **4. TERCER TÓPICO: LAS ACCIONES SOBRE EL EDIFICIO SON RECOGIDAS POR SU ESTRUCTURA**

La estructura es la parte del edificio que más fácilmente se puede parametrizar, lo que resulta muy conveniente porque permite la estimación de los efectos de las sollicitaciones mediante el cálculo. Nos resulta muy cómodo hablar de los esfuerzos producidos por el sismo en las secciones, de las resistencias de las mismas, etc.

La lástima es que todo ello no tiene, en muchos casos, relación alguna con la realidad. Muchos de los edificios inspeccionados en Lorca carecían de un sistema resistente eficaz ante acciones horizontales. En algunos casos su estructura era metálica de nudos simples, sin rigidez alguna a flexión. En otros muchos consistía en una sucesión de pórticos planos de hormigón armado entre los que se tendía un forjado unidireccional. También era relativamente frecuente el caso de vigas metálicas apoyadas sobre pilares de hormigón y sin conexión alguna con los forjados (obsérvese en la Fotografía 2 el desplazamiento de éste).



**Fotografía 2**  
**Photograph 2**

Naturalmente, en la mayoría de estos edificios tampoco el forjado (de vigueta y bovedilla) disponía de zunchado perimetral ni de capa de compresión, elementos que hubieran podido proporcionar el mínimo monolitismo.

The problem in many cases is that none of that even vaguely resembles reality. Many of the buildings inspected at Lorca lacked a system able to effectively withstand horizontal action. In some cases their steel structure was based on simple joints arrangement with no bending stiffness. In many others, the structure consisted of a series of plane reinforced concrete frames connected by one-way deck slabs. Another fairly common system comprised steel beams resting on concrete columns and entirely unconnected to the deck slabs (see the displaced slab in Photograph 2).

In most of these buildings the (joist and pan form) deck slabs had neither perimetric hooping nor a topping, elements that could have generated some minimal monolithic behaviour.

In a nutshell, these buildings had an unstable structural scheme. If they were to be modelled with a structural engineering program, the software would probably return some warning about the singularity of the stiffness matrix.

Surprisingly, these buildings had not only remained standing for several decades with no material anomalies, but the damage inflicted by the quake was not very different from the harm perceived in the buildings that did have some manner of specific structural system.

The conclusion would be that building structures play an insignificant role in this respect.

Such a drastic assertion is naturally subject to a good deal of nuance. If in a first approximation loads are believed to be absorbed by the stiffest members (which is only true as long as they resist), the importance of the masonry infills, which are much stiffer than the structure, is obvious. The foregoing can be substantiated by a simple example: calculation of the increment in horizontal stiffness in the portal frame in Figure 6, with five storeys and four bays, attained with a masonry infill in only one of the bays.

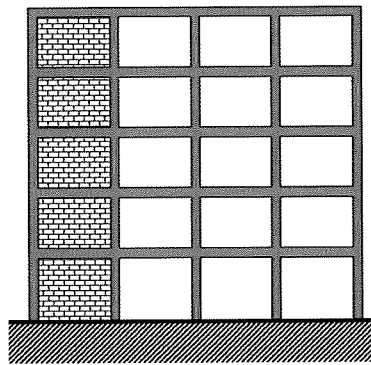


Figure 6  
Figura 6

The horizontal stiffness of a panel 4 m long and 3.5 m high (Figure 7), such as in the ground storey of the frame, can be readily found as:

$$K = \frac{F}{\Delta} = \frac{F}{\gamma \cdot h} = \frac{F}{\frac{\tau}{G} \cdot h} = \frac{F \cdot G}{\frac{F}{e \cdot \ell} \cdot h} = G \cdot \frac{e \cdot \ell}{h} = 1500 \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{130 mm \cdot 4000 mm}{3500 mm} = 2.2 E 5 \frac{N}{mm}$$

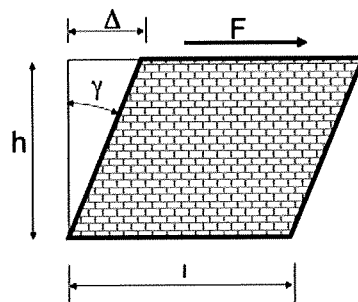


Figure 7  
Figura 7

En resumen, el esquema estructural de estos edificios era inestable. Si pretendiéramos modelizarlos con un programa de cálculo de estructuras probablemente éste nos devolvería alguna advertencia respecto a la singularidad de la matriz de rigidez.

De forma sorprendente estos edificios no sólo habían sobrevivido durante varias décadas sin mayor problema sino que los daños que presentaban tras el terremoto no eran muy distintos a los que se podían apreciar en los que contaban con algún sistema estructural específico.

Parecería, en consecuencia, que las estructuras de edificación no sirven para mucho.

Naturalmente, un planteamiento tan extremo admite muchos matices. En cualquier caso, si como primera aproximación nos creemos el que las cargas son siempre recogidas por los elementos más rígidos (lo que sólo es cierto mientras éstos resistan) podemos comprender inmediatamente la importancia de las fábricas, normalmente mucho más rígidas que la estructura. Una comprobación elemental permite justificar lo expuesto. Supongamos el pórtico de la Figura 6, con cinco alturas y cuatro vanos, y calculemos el incremento de rigidez horizontal que supone rellenar de fábrica uno sólo de los vanos.

La rigidez horizontal de un paño de 4 m de longitud y 3,5 m de altura (Figura 7), correspondiente a la planta baja del pórtico, se deduce de forma inmediata:

$$K = \frac{F}{\Delta} = \frac{F}{\gamma \cdot h} = \frac{F}{\frac{\tau}{G} \cdot h} = \frac{F \cdot G}{\tau \cdot h} = G \cdot \frac{e \cdot \ell}{h} = 1500 \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{130 mm \cdot 4000 mm}{3500 mm} = 2,2 E 5 \frac{N}{mm}$$

La rigidez lateral de la estructura, Figura 8, sería:

$$I = \sum_{i=1}^5 I_i = \sum_{i=1}^5 \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} = 3.375 E 9 mm^4 \quad (\text{cinco pilares de } 30 \times 30)$$

$$K = \frac{12 \cdot E \cdot I}{h^3} = \frac{12 \cdot 25000 N/mm^2 \cdot 3.375 E 9 mm^4}{(3500 mm)^3} = 2,4 E 4 \frac{N}{mm}$$

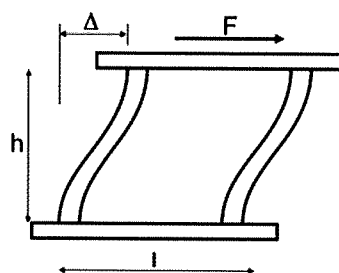


Figura 8  
Figure 8

Se comprueba, en definitiva, cómo un único paño de fábrica aporta más rigidez que todos los pilares de la planta.

Con todo, quizás más importante que este comportamiento pasivo de las fábricas, asociado a su rigidez, sea el papel activo que desarrollan, relacionado con el comportamiento reológico de los materiales.

Mientras que los paños tienden a expandirse con el paso del tiempo a consecuencia de la dilatación de las cerámicas, la estructura que los confina se contraerá por efecto de la retracción del hormigón. En Sánchez Marta [19], se demuestra que el resultado conjunto de ambos efectos, Figura 9, supone la aparición de esfuerzos internos tan importantes que pueden superar a los que en la estructura resultan de la acción de las cargas exteriores.

Los pilares llegan a entrar en tracción y, desde luego, las vigas estarían siempre traccionadas.

Estos resultados explican muchas de las fisuras que con frecuencia se aprecian en vigas y que se suelen atribuir exclusivamente a los esfuerzos derivados de las cargas exteriores (Fotografía 3). Explican también la frecuencia con la que tras el sismo se observó en Lorca la rotura de las juntas de construcción viga-pilar (Fotografía 4), juntas cuya capaci-

The lateral stiffness of the structure (Figure 8) would be:

$$I = \sum_{i=1}^5 I_i = \sum_{i=1}^5 \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} = 3.375E9 \text{ mm}^4 \quad (\text{five columns, } 30 \times 30)$$

$$K = \frac{12 \cdot E \cdot I}{h^3} = \frac{12 \cdot 25000 \cdot \text{N/mm}^2 \cdot 3.375E9 \text{ mm}^4}{(3500 \text{ mm})^3} = 2.4E4 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

In other words, a single masonry panel affords more stiffness than all the columns in the storey together.

Nonetheless, perhaps more important than this passive behaviour associated with masonry stiffness is the active role of such infills in connection with material rheology.

While these panels tend to expand with time as a result of the expansion of their clay-based constituents, the structure that confines them contracts due to concrete shrinkage. Sánchez Marta [19] showed that the combination of these two effects (Figure 9) is the appearance of internal forces of such a magnitude that it may exceed the ones imposed by external loads.

Some columns become axially loaded in tension, while the beams would always be subject to tensile stress.

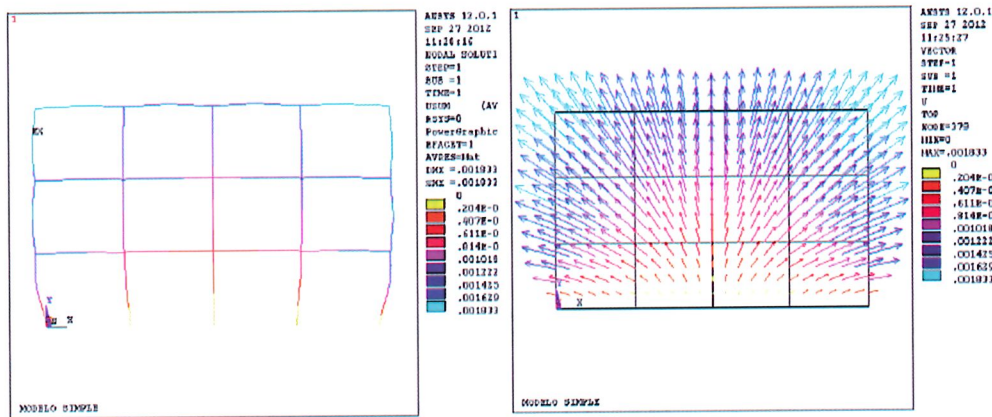


Figure 9  
Figura 9

These findings explain many of the cracks so often observed in beams and generally attributed to external loads only (Photograph 3). They also explain the frequency with which, after the Lorca quake, beam-column construction joints were observed to fail (Photograph 4). As the shear strength of these joints depends essentially on the value of the compressive stress that descends along the column, their safety may be compromised when they are exposed to horizontal action of a certain scale (the axial force which should ensure non-slippage in the joint as a result of friction actually descends along the masonry panel).

Concomitantly, the gravity load that descends along the masonry infills would explain both the fairly small proportion of confined masonry panels that collapsed under bending stress (the pre-compression to which they were subjected raised their strength enormously) and the buckling observed in certain cases (Photograph 5).

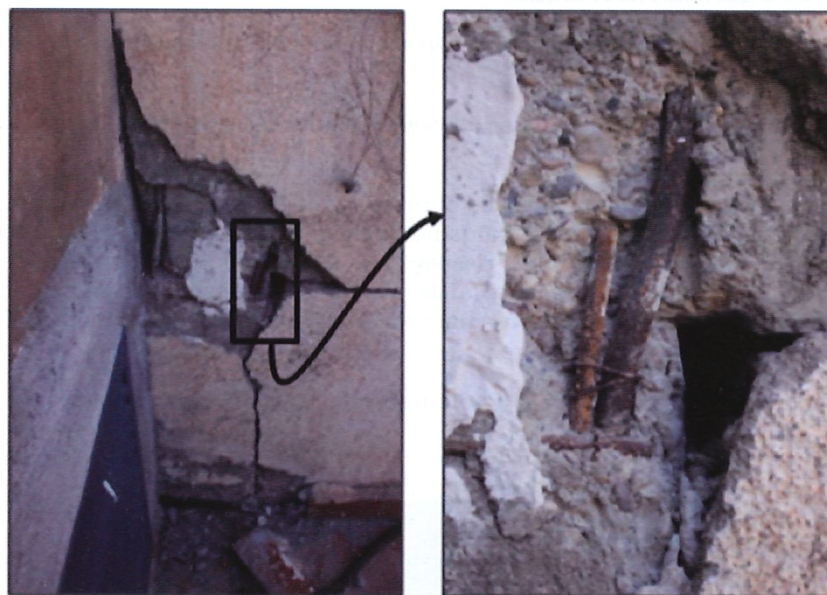
**The traditional division of architectural and structural members is an engineering artifice unsupported by reality.**



dad a corte depende fundamentalmente del valor del axil de compresión que baja por el pilar y que, en consecuencia, pueden presentar una situación precaria de seguridad ante acciones horizontales de alguna importancia (el axil que debería, por rozamiento, asegurar que la junta no deslizase está en realidad bajando por la fábrica).



Fotografía 3  
Photograph 3



Fotografía 4  
Photograph 4

En coherencia con lo anterior, la carga gravitatoria que baja por las fábricas justificaría tanto la relativamente reducida proporción de paños confinados de fábrica que ha colapsado en flexión (la pre-compresión a la que estaban sometidas aumenta enormemente su resistencia) como el pandeo observado en ciertos casos (Fotografía 5).

**La tradicional división en elementos arquitectónicos y estructurales es un artificio de cálculo sin soporte real.**



**Photograph 5**  
**Fotografía 5**

#### **5. FOURTH TENET: THE FUNDAMENTAL PERIOD**

One of the basic assumptions in seismic design is that seismic action, i.e., the equivalent loads applied to structures, depends on the fundamental period.

The problem arises when it comes to calculating period value. The first issue is to establish whether the object of the study is the building as a whole or the bare frame.

As noted in the preceding section, the mere presence of masonry infills raises the lateral stiffness of a building immensely (and vertical stiffness as well, although that is not directly related to the present discussion), an effect described in classical texts (Dowrick [13], Paulay and Priestley [18]). In trials conducted on a full-scale model at the EU's Joint Research Centre at Ispra (Fardis [28]), masonry infills raised the lateral stiffness of the building 16-fold. According to Taranath [11], experimental frequency measurements in New York City's Empire State Building revealed that the building was 4.8 times stiffer than its bare structure...

By way of example, a modal analysis of a building (Photograph 6) in Lorca (Barrio de San Fernando) yields the values listed in Table 1.



**Photograph 6**  
**Fotografía 6**

## 5. CUARTO TÓPICO: EL PERÍODO FUNDAMENTAL

Una de las bases del cálculo sísmico habitual es que las acciones sísmicas, las cargas equivalentes a aplicar en las construcciones, dependen del período fundamental.

El problema surge al intentar evaluar su valor. Por un lado, sería necesario precisar si nos estamos refiriendo al del edificio completo o al de la estructura desnuda.

Como hemos descrito en el punto anterior la simple consideración de la albañilería incrementa enormemente la rigidez lateral del edificio (y la vertical, aunque ello no sea objeto directo de este punto), efecto que reflejan ya los textos clásicos (Dowrick [13], Paulay y Priestley [18], etc.) En los ensayos realizados sobre modelos a escala real en el muro de reacción de Ispra (Fardis [28]), la ejecución de la albañilería multiplicó por 16 la rigidez lateral del edificio. Según Taranath [11], de la medida experimental de frecuencias del Empire State, en New York, se deducen valores de rigidez del edificio superiores en 4,8 veces a la de la estructura desnuda...

Si, a modo de ejemplo, desarrollamos el análisis modal de uno de los edificios de la barriada de San Fernando, mostrados en la Fotografía 6, obtendremos los valores que se relacionan en la Tabla 1.

	1 <sup>er</sup> Modo	2 <sup>o</sup> Modo	3 <sup>er</sup> Modo
<b>Estructura desnuda</b>	1,00 Lado corto	0,936 Torsión	0,896 Lado largo
<b>Estructura y escaleras</b>	0,932 Torsión	0,853 Lado corto	0,846 Lado largo
<b>Estructura, escaleras y fachadas</b>	0,605 Lado largo	0,455 Torsión	0,419 Lado corto

Tabla 1

Obsérvese cómo la inclusión los elementos no estructurales modifica no sólo el valor del período fundamental en cada dirección sino, incluso, el orden en el que se desarrollan. La Figura 10 refleja las formas modales correspondientes a la estructura desnuda. La consideración de las fachadas y escaleras reduce el período del primer modo en la dirección del lado corto desde 1 segundo a 0,42 segundos.

Al situar estos valores en el espectro las fuerzas equivalentes se cuadruplican (Figura 11). El cortante en la base, que actúa sobre los pilares exentos de la planta inferior aumenta en la misma proporción.

**Es fundamental reconocer que el período del edificio es distinto al de la estructura y ambos dependen de la sollicitación aplicada.**

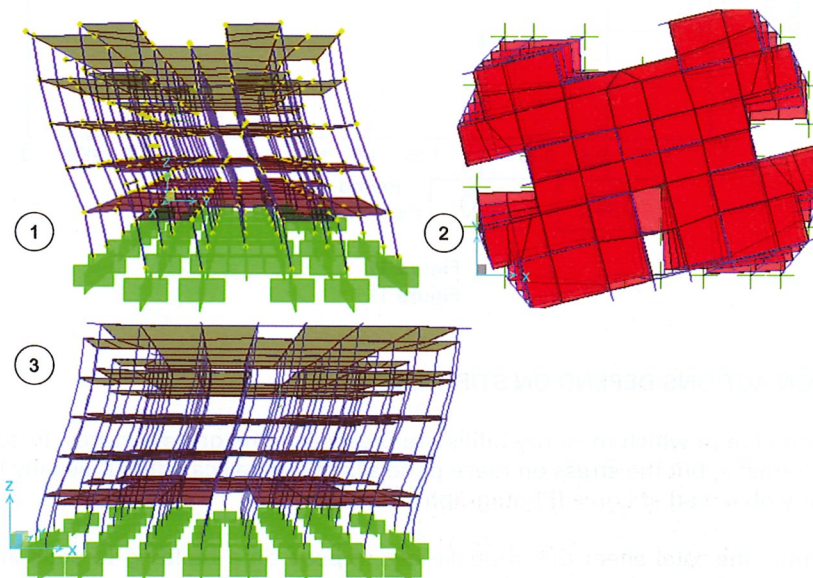


Figura 10  
Figure 10

	1 <sup>st</sup> mode	2 <sup>nd</sup> mode	3 <sup>rd</sup> mode
<b>Bare structure</b>	1.00 Short side	0.936 Torsion	0.896 Long side
<b>Structure and stairwells</b>	0.932 Torsión	0.853 Short side	0.846 Long side
<b>Structure, stairwells and façades</b>	0.605 Long side	0.455 Torsion	0.419 Short side

Table 1

Note that the inclusion of non-structural elements modifies not only the value of the fundamental period in each direction but also the order in which it appear. Figure 10 shows the mode shapes for the bare structure. Taking the façades and stairwells into consideration lowers the first mode period in the short side direction from 1 to 0.42 seconds.

When these values are positioned on the spectrum, the equivalent forces quadruple (Figure 11). Base shear, which acts on the unengaged columns on the ground storey, rises in the same proportion.

**The difference between building and bare structure periods and the dependence of both on the seismic action applied must be acknowledged.**

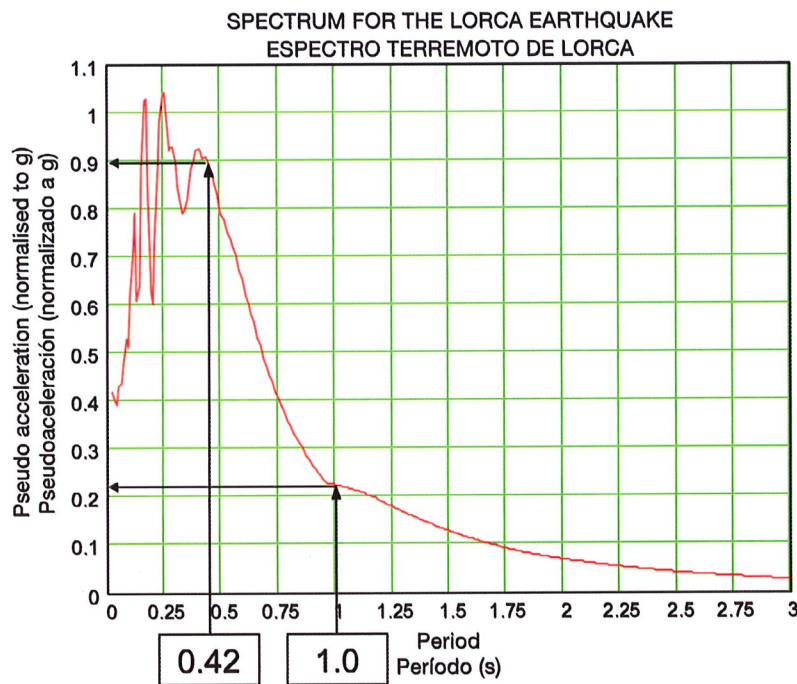


Figure 11  
Figura 11

## 6. FIFTH TENET: DESIGN ACTIONS DEPEND ON STIFFNESS

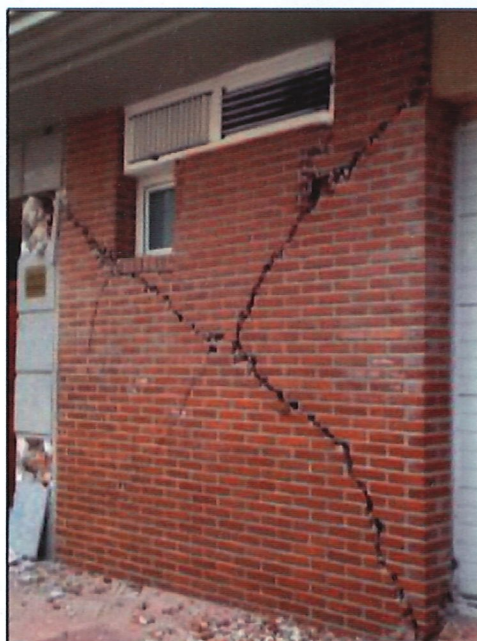
Assume the standard situation in which masonry infills are present on the ground storey. In such cases the stiffness afforded is even more dramatic, but the stress on these panels is of such a scale that it usually induces their failure in the X cracks so frequently observed at Lorca (Photograph 7).

Panel failure actually limits the total shear that a quake can impose on a building to such an extent that its value depends more on the strength of (essentially the non-structural) ground storey elements than on building stiffness (Figure 12).

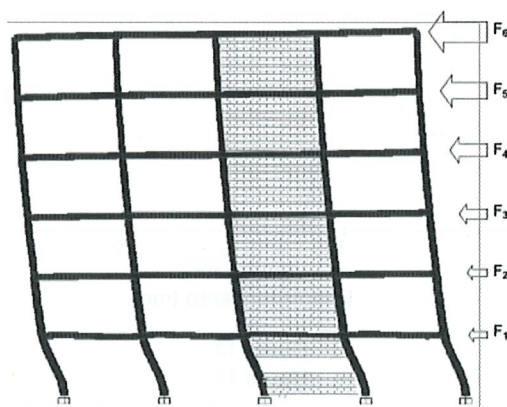
## 6. QUINTO TÓPICO: LAS ACCIONES DE CÁLCULO DEPENDEN DE LA RIGIDEZ

Supongamos ahora el caso, más habitual, de que las fábricas ocupen también la planta baja. En estos casos el incremento de rigidez que introduce su consideración es aún más dramático, pero la sollicitación sobre estos paños es tan importante que normalmente produce su rotura conforme a la configuración en aspa tan repetida en Lorca (Fotografía 7).

La rotura de los paños limita en realidad el cortante total que el sismo puede llegar a introducir en el edificio, de tal forma que su valor depende más de la resistencia de los elementos (y fundamentalmente de los no estructurales) de planta baja que de la rigidez del edificio (Figura 12).



Fotografía 7  
Photograph 7



$$\sum F_i \leq V_{\text{Fábricas}} + V_{\text{Pilares}}$$

Masonry                  Columns

Figura 12  
Figure 12

That same argument is naturally applicable to buildings with short columns (Photograph 8). The peak actions on these buildings are the loads that such columns are able to bear before collapsing. In other words, the loads borne by the building are limited by column strength.



Photograph 8  
Fotografía 8

Hence, the shape of the building's capacity curve, i.e., the relationship between force and side sway, would be as shown in Figure 13, a simple overlay of the capacity curves for the brittle elements which, simplifying greatly, can be represented as triangular diagrams.

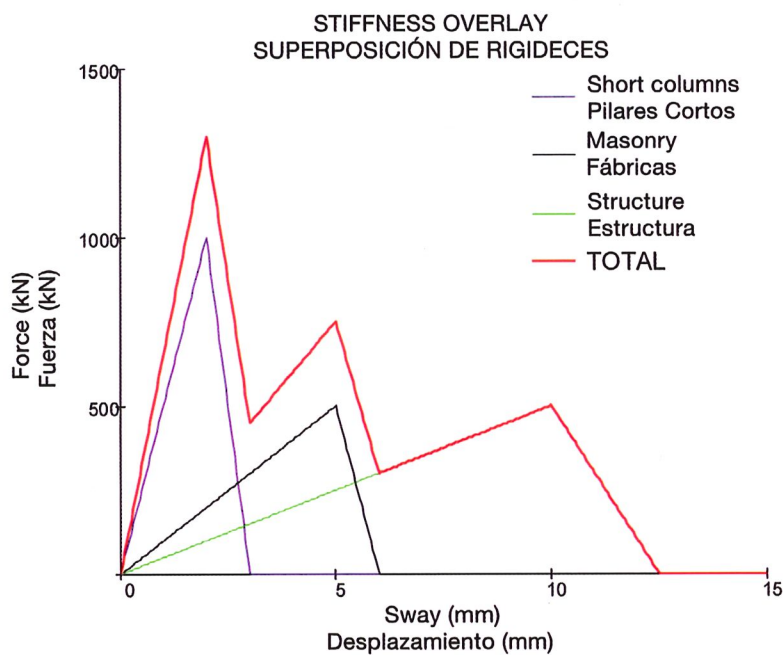


Figure 13  
Figura 13

The behaviour represented by these "saw tooth" capacity curves (Figure 14B) is contrary to the desired behaviour illustrated by curve "A" in Figure 14. The only explanation for the fact that this type of failure did not occasion more severe damage during the Lorca event than observed lies in the impulsive nature of the quake.

**The essentially brittle failure, characterised by successive abrupt declines in stiffness, commonly observed in Lorca was diametrically opposed to the behaviour sought in seismic design.**

Naturalmente, el mismo argumento se puede aplicar a los edificios con pilares cortos (Fotografía 8). Las acciones máximas que llegaron a actuar sobre estos edificios son simplemente las que estos pilares pudieron resistir antes de colapsar. Las cargas sobre el edificio están, de nuevo, limitadas por la resistencia de los pilares.

En conclusión, la curva de capacidad del edificio, esto es, la relación entre fuerza y desplazamiento lateral tendría la forma que representa la Figura 13, simple superposición de las curvas de capacidad de elementos frágiles que, de forma muy simplificada, podemos representar mediante diagramas triangulares.

Este tipo de curvas de capacidad se suelen designar como "en sierra" (Figura 14 B) y representan el comportamiento opuesto al deseable, representado por la curva "A" de la misma Figura 14. Únicamente el carácter impulsivo del terremoto de Lorca permite justificar el que este tipo de comportamiento no haya derivado en daños aún más graves que los observados.

**El comportamiento resistente más común en Lorca fue básicamente frágil, caracterizado por sucesivas caídas de rigidez, comportamiento opuesto al pretendido en el proyecto sismorresistente.**

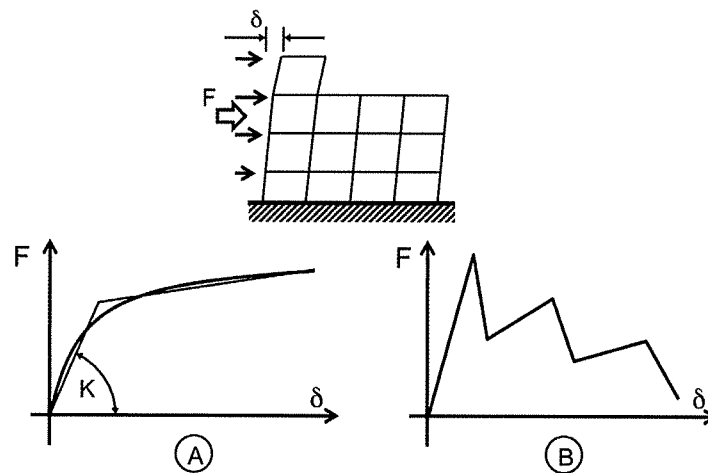


Figura 14  
Figure 14

## 7. SEXTO TÓPICO: LOS ESFUERZOS DE CÁLCULO SON LOS CAUSANTES DE LOS DAÑOS.

Algunos proyectistas sostienen que la comprobación a sismo puede omitir la consideración de los elementos no estructurales porque su rotura, que suponen se produce ya a causa de las primeras sacudidas del sismo, no degrada la capacidad resistente de la estructura.

No podemos estar de acuerdo. Como ya hemos demostrado, las fábricas son muy rígidas ante esfuerzos en su plano y, consecuentemente, son ellas y no los pórticos las que soportan las mayores sollicitaciones horizontales. Pero esas sollicitaciones han de transmitirse entre los sucesivos niveles a través de la estructura, al menos parcialmente (Figura 15). Como la resistencia de los paños es, en muchas ocasiones, mayor que la del marco estructural que los confina puede ocurrir que la estructura (normalmente pilares o nudos, como en el caso de la Fotografía 9) falle antes de hacerlo el paño de fábrica.

Muchos de los fallos estructurales (la mayoría, si excluimos el caso de pilares cortos) que pudimos observar en Lorca fueron inducidos por los elementos no estructurales a través de varios mecanismos: La transmisión directa de las cargas a la que acabamos de referirnos, la formación de puntales que testan a media altura del pilar (a consecuencia de la rotura del paño, Figura 16), la bien conocida situación de "pilar cautivo",...

## 7. SIXTH TENET: DAMAGE IS CAUSED BY STRESSES SUCH AS ADDRESSED IN THE DESIGN

Some engineers contend that seismic design can disregard the behaviour of non-structural elements because their failure, which is assumed to take place with the initial tremors, does not detract from the bearing capacity of the structure.

That premise is open to question. As shown above, masonry infills resist significant in-plane stress; consequently they and not the portal frames bear most of the horizontal loading. But that stress must be transferred from one level to another, at least partially across the structure (Figure 15). Since the infills are often stronger than the structural frame restraining them, the structure (normally columns or nodes, such as in Photograph 9) may fail before the masonry does.

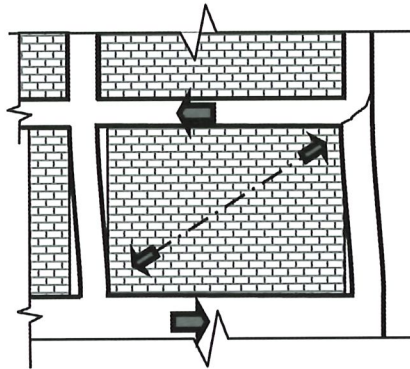


Figure 15  
Figura 15



Photograph 9  
Fotografía 9

Many of the structural failures (most, if short columns are excluded) observed at Lorca were induced by a variety of mechanisms involving non-structural elements. One was the direct load transfer just mentioned, in which the formation of loads affect the column at mid-height (as a result of infill failure, Figure 16): this is known as the short column effect.



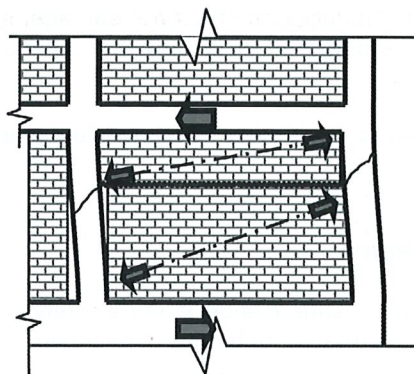


Figura 16  
Figure 16

Incluso si las fábricas son tan poco resistentes que no llegan a producir daño alguno sobre la estructura su rotura puede llegar a tener consecuencias igualmente graves por la posibilidad de producir daños a personas en su caída (Fotografía 10).

**Los mecanismos de fallo observados en Lorca fueron en muchos casos ajenos a los presupuestos en proyecto, y han sido causados directamente por los elementos no estructurales,**



Fotografía 10  
Photograph 10

## 8. SEPTIMO TÓPICO: LA JERARQUÍA DE RESISTENCIAS

La hipótesis básica sobre la que descansa el cálculo sísmico moderno es la formación de un mecanismo plástico estable como el que representa la Figura 17 A, caracterizado por la formación de rótulas en los extremos de las vigas.

La Instrucción es muy clara en este sentido, exigiendo al Proyectista la definición de una jerarquía clara de resistencias que impida cualquier otra forma de fallo: Ante los esfuerzos de cálculo los nudos han de resistir más que las barras, los pilares más que las vigas y cualquier barra ha de resistir más a corte que a flexión.

En Lorca no hemos observado ni un sólo caso de fallo coherente con esta hipótesis. En realidad, no hemos podido identificar la plastificación franca de ninguna sección. Desde este punto de vista hemos de reconocer que el comportamiento de los edificios ha resultado ser muy distinto al presupuesto en nuestra Instrucción y en cualquier normativa.

Even where the masonry is so weak that it induces no structural damage, its failure may have equally severe consequences because if its elements become detached, they may injure people in the surrounds in their fall (Photograph 10).

**Many of the failure mechanisms observed at Lorca were unrelated to design assumptions and induced directly by non-structural elements.**

### 8. SEVENTH TENET: STRENGTH HIERARCHY

The basic assumption underlying modern seismic design is the existence of a stable plastic mechanism such as shown in Figure 17A, characterised by the formation of hinges at beam ends.

Code stipulations in this regard are very clear, requiring the design engineer to define a specific strength hierarchy that prevents any other type of failure. Nodes must resist design stress more than members and columns more than beams; and all members must have greater shear than bending strength.

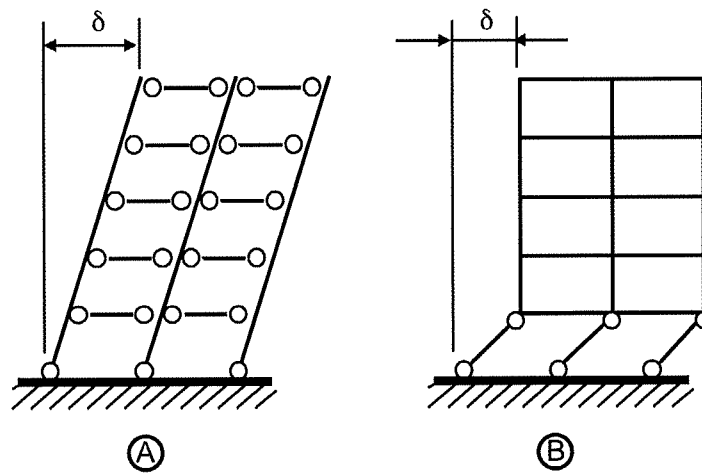


Figure 17  
Figura 17

Not a single failure observed in Lorca was consistent with that order of events. In fact, no obvious plastification was identified in any cross-section. Buildings proved to behave very differently from the premises laid down in Spanish, and for that matter, all other codes.

The mere observation of the cross-sectional dimensions of beams and columns (Photograph 11) reveals the extent to which this design maxim is ignored.

In other cases, the existence of masonry infill prevented beam plastification. The least favourable situation arises when, as in the buildings at San Fernando depicted in Photograph 6, these infills are absent on the ground storey. That may lead to the formation of a “weak storey” mechanism, with stress concentrating at the top and bottom of the columns on this storey. The result, shown in Figure 17B, is consistently described as a hazardous situation to be avoided. No clear examples of that type of failure were observed at Lorca. While some of the building columns clearly exhibited top or bottom failure, such as pictured in Photograph 12, it was unrelated to any stable plastification such as entailed in the mechanism illustrated in Figure 17B.

**In short, the inspection revealed no satisfactory failure scheme, defined to be a scheme consistent with regulatory assumptions.**

La simple observación de las escuadrías de vigas y pilares (Fotografía 11) pone ya de relieve hasta qué punto esta máxima de diseño es ignorada en el proyecto.



**Fotografía 11**  
**Photograph 11**

En otras ocasiones es la disposición de las fábricas la que impide la plastificación de las vigas. La situación pésima, en este sentido, se produce cuando, como en el caso de los edificios del barrio de San Fernando que muestra la Fotografía 6, estas fábricas no ocupan la planta baja. Entonces se puede formar un mecanismo de “planta débil” al concentrarse las solicitaciones en los extremos de los pilares de esta planta según el esquema que muestra la Figura 17 B, que se describe en todos los casos como peligroso y ejemplo a evitar.

En realidad tampoco hemos encontrado ejemplos claros de este esquema de fallo. Es cierto que algunos pilares de estos edificios presentan fallos claros en sus extremos, como el que muestra la Fotografía 12, pero se trata de fallos ajenos a cualquier esquema estable de plastificación como el que presupone el mecanismo de la Figura 17 B.

**En resumen, no hemos encontrado ningún esquema correcto de fallo, entendiendo por tal el coherente con las hipótesis normativas.**



**Fotografía 12**  
**Photograph 12**

## 9. EIGHTH TENET: THE IDEAL PLASTIC MECHANISM

A quick look at Figure 17 above suffices to surmise that the structurally ideal plastic mechanism is the least favourable economically speaking.

The extent of the deterioration attendant upon beam plastification generally precludes any possible recovery of the building, which undergoes widespread damage on all storeys.

In contrast, column plastification, associated with the weak storey mechanism, while much less safe, is also considerably less expensive (providing, of course, that it does not induce building collapse). Not only is damage limited to a single storey, the storey involved is at ground level, ensuring ready access. If it is unengaged, such as in the aforementioned buildings at San Fernando, the repairs would generate only moderate amounts of rubble, any shoring would be extraordinarily simple and the deployment of major scaffolding and powerful cranes would be unnecessary.

Much the same can be said of the short column effect (Photograph 13).



Photograph 13  
Fotografía 13

Nonetheless, this is obviously one of the most hazardous structural schemes for seismic areas and as such should be systematically avoided.

The paradox is that once the quake occurs and the building is secured, its recovery is fairly simple. The building in the photo, specifically, was successfully rehabilitated by Florentino Regalado y Asociados despite the severity of the damage endured.

The idea is not, naturally, to justify extremely hazardous structural approaches, but merely to point out that once the earthquake is over, **no clear relationship exists between the severity of the damage and the possibility of recovery.**

## 10. NINTH TENET: INTENSITY

The intensity of an earthquake is a measure of its on-site effects. The problem is that appraisal of those effects and consequently the establishment of intensity values is always subjective and often based on the direct use of statistics that are not necessarily suitable, at least from a strictly technical standpoint. In many cases, moreover, statistics are compiled from information provided by public authorities, which would appear to substantiate their reliability.

In recent months, splendid technical papers have been published in which estimates of the effects of the quake have been advanced by fitting failure or vulnerability models to the data. Again, the problem is that such fits refer to damage figures here regarded as possibly disputable.

All these factors may lead to a biased estimate of intensity in the long run.

## 9. OCTAVO TÓPICO: EL MECANISMO PLÁSTICO IDEAL

La simple observación de la anterior Figura 17 permite comprender que el mecanismo plástico ideal desde un planteamiento resistente es el pésimo desde un punto de vista económico.

Efectivamente, la extensión del daño que se asume en el esquema de plastificación de vigas hará, en general, imposible la recuperación del edificio, que presentará daños generalizados en todas sus plantas.

Por contraposición, el esquema de plastificación de los pilares, asociado al mecanismo de planta débil, resulta mucho menos seguro pero, desde luego, más barato (siempre, lógicamente, que no conduzca al colapso del edificio). No es sólo que limite la extensión de los daños a una única planta sino que además, al tratarse de la planta baja presenta todas las facilidades de acceso. Si además es exenta (como en el caso de los edificios citados del Barrio de San Fernando) la reparación es muy limpia (no se genera gran cantidad de escombros), los apuntalamientos precisos extremadamente simples y no es precisa la disposición de grandes andamiajes ni el empleo de potentes grúas.

En el mismo sentido sería obligado citar el caso de los pilares cortos, Fotografía 13.

Se trata, evidentemente, de uno de los esquemas estructurales más peligrosos en zonas sísmicas, y, en consecuencia, ha de ser evitado en todos los casos.

La paradoja es que, una vez producido el sismo y asegurado el edificio su recuperación es relativamente simple. El edificio de la fotografía, en concreto, ha sido rehabilitado con éxito por Florentino Regalado y Asociados pese a la extrema gravedad de los daños que presentaba.

No queremos, por supuesto, justificar unos esquemas estructurales extremadamente peligrosos, pero si hemos de señalar cómo, una vez superado el sismo, **no existe una correlación precisa entre la gravedad de los daños y la posibilidad de recuperación.**

## 10. NOVENO TÓPICO: LA INTENSIDAD

Como es bien sabido, la intensidad de un terremoto es una medida de sus efectos en un emplazamiento. El problema es que la evaluación de estos efectos, y por tanto la asignación de valores de intensidad, es siempre subjetiva, basada muchas veces en el empleo directo de cifras estadísticas no siempre adecuadas, al menos desde el punto de vista estrictamente técnico. En muchos casos, además, se trata de estadísticas elaboradas a partir de informaciones que emanan de organismos públicos, lo que parecería justificar su rigor.

Hemos tenido la oportunidad en los últimos meses de leer magníficos artículos técnicos en los que incluso se avanza en la estimación de los efectos del sismo ajustando diversos modelos de fallo o de vulnerabilidad. De nuevo el problema es que tal ajuste se refiere a unas cifras de daños que, desde nuestro punto de vista, podrían ser cuestionables.

Todo ello puede desencadenar, a largo plazo, una estimación sesgada de la intensidad.

Quizás un ejemplo elemental nos permita expresar con mayor claridad este punto: En algunos artículos técnicos se parte de la base de que ... *"más de 320 edificios tuvieron que demolerse"*...

Probablemente la frase ganaría en precisión si se limitase a indicar simplemente que más de 320 edificios se demolieron. La diferencia es evidente: Muchos de ellos fueron demolidos atendiendo a criterios de tipo social, económico, o político, criterios no menos justificables que los estrictamente técnicos, pero que no deben ser confundidos con éstos. Esos edificios no tuvieron que tirarse porque presentaran daños irreparables. Muchos de ellos, por ejemplo, se demolieron porque aunque presentaban daños muy limitados, que hacían perfectamente viable su reparación, su configuración los hacía especialmente vulnerables ante un nuevo sismo.

En muy pocos de los edificios inspeccionados por nosotros llegamos a recomendar la demolición. Todos ellos correspondían a construcciones murarias muy degradadas ya antes del sismo, deshabitadas muchas de ellas y en un estado tan precario que no era posible garantizar la seguridad de los equipos de inspección y consolidación.

---

Perhaps an elementary example will illustrate this point more clearly. Several of the papers assert, from the outset, that *"over 320 buildings had to be demolished"*.

In all likelihood, that statement would be more accurate if it noted simply that over 320 buildings were demolished. The difference is obvious: many were demolished on the grounds of social, economic or political criteria, which are no less valid than, but obviously should not be confounded with, strictly technical criteria. These buildings did not have to be pulled down because they were irreparable. Many were demolished because, although the limited damage sustained was perfectly compatible with feasible repair, their configuration made them especially vulnerable to another quake.

Demolition was recommended in very few of the buildings inspected by INTEMAC. All the buildings involved had bearing walls and were severely deteriorated even before the quake. Many were uninhabited and, most importantly, were in such a precarious state that the safety of inspection and consolidation teams could not be ensured.

The foregoing may be extended to the statistics on damage in buildings that were not demolished. Much of the damage repaired in Lorca and included under the respective statistical headings should not actually be defined as damage, but rather as working cracks consistent with reinforced concrete bearing behaviour. Other cracks could qualify as damage but their origin (incorrect batching, careless workmanship, insufficient curing) was clearly prior to and independent of the quake.



**Photograph 14**  
**Fotografía 14**

In all likelihood, however, in a few years' time no one will remember these details, here viewed as essential, and the **intensity of the Lorca quake will be established on the grounds of greatly over-estimated damage.**

## **11. TENTH TENET: APPLICATION OF CODES**

Immediately after the earthquake, voices from many different quarters began to call for an update to seismic design codes. These requests were often based on the apparent mismatch between code-based stress calculations and the stress recorded at Lorca.

Some opinions even identified a need to apply at least some code provisions retroactively. The objective was to further the individualised assessment of building vulnerability and thereby justify at least the most urgent action.

No decisions have been forthcoming in this respect at this writing. The difficulty of establishing and applying general action criteria with such a crucial economic component in a highly unfavourable economic scenario is obvious.

Even so, at least singular buildings should be covered by a new code under specific conditions as warranted. Pre-school facilities (Photograph 15), schools, health centres, shelters and the like should be subject to some manner of inspection and validation, perhaps along the lines initially laid down for technical building inspections.

Such inspections would not have to be very costly (the lessons learnt at Lorca provide an indication of exactly what to look for) and could save many lives.

El argumento puede extenderse a las estadísticas de daños en edificios que no llegaron a ser demolidos. Muchos de los daños reparados en Lorca y consignados en las correspondientes estadísticas ni siquiera podían en realidad considerarse como tales: se trataba de fisuras de trabajo coherentes con el comportamiento resistente del hormigón armado. Otras fisuras sí podrían ser consideradas como daño pero su origen era claramente anterior e independiente del sismo, consecuencia de una dosificación incorrecta, de una ejecución poco cuidada, del curado insuficiente,...

Lo más probable, sin embargo, es que dentro de unos años nadie recuerde estos matices, en nuestra opinión fundamentales, y **se juzgue la intensidad de Lorca en función de unas estadísticas de daños muy sobre-valoradas.**

## 11. DÉCIMO TÓPICO: LA APLICACIÓN DE LAS NORMAS

Inmediatamente después del terremoto se empezó a reclamar desde muy distintos sectores la necesidad de actualizar las instrucciones sismorresistentes. En muchos casos la petición se basaba en la aparente falta de adecuación de la solicitud normativa a la registrada en Lorca.

En ocasiones se llegó incluso a plantear la necesidad de asignar algún carácter retroactivo a las prescripciones normativas o, cuando menos, a algunas de ellas. Se pretendía con ello promover la evaluación individualizada de la vulnerabilidad de los edificios, lo que permitiría al menos justificar las actuaciones más urgentes.

En el momento en el que se redactan estas líneas no conocemos las decisiones adoptadas al respecto. Es evidente la dificultad de establecer en forma general criterios de actuación con una componente económica tan crítica, máxime cuando tendrían que ser aplicados en una situación económica poco favorable.

Con todo, pensamos que al menos los edificios singulares sí deberían ser contemplados desde la nueva Instrucción con el carácter específico que les corresponde. Guarderías (Fotografía 15), escuelas, centros sanitarios, locales de acogida, etc. deberían, en nuestra opinión, someterse a algún tipo de inspección y validación, quizás en la línea en la que inicialmente se plantearon las Inspecciones Técnicas de los Edificios.

Esas inspecciones no deberían ser especialmente costosas (Lorca nos ha enseñado hacia dónde tendríamos que dirigirlas) y podrían salvar muchas vidas.



Fotografía 15  
Photograph 15

## 12. SUMMARY

The foregoing discussion aims to prove that standard seismic design procedures are unsuitable. The evidence is to be found in a simple comparison of building response at Lorca and the behaviour assumed in conventional design.

Drawing that comparison in terms of a series of tenets immediately reveals the breadth of the difference between reality and the conceptual models normally used by engineers and architects.

Such differences are all too often justified by the need to simplify and parametrise reality to adapt it to necessarily limited models. But the suspicion is that such a process may have led to the contrary, to confiding in models that are unnecessarily complex and, worse yet, wholly unrelated to the reality they are supposed to model.

Many of the differences between the behaviour forecast by design models and real-life situations stem from the fallacious distinction between the bearing members that comprise structural models and architectural elements, which are assigned no role in those models.

That approach entails no excessive risk in terms of gravitational action, although it lies at the root of many significant differences between actual and design stress distribution. In contrast, where seismic forces are concerned, it constitutes an obvious hazard.

## 13. ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to acknowledge the support received from *CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS* for the dissemination of the experience collected on their work to support the Consortium experts during inspection work, damage assessment and repair proposals,

## 14. REFERENCES

### LEGISLATION

- [1] AENOR. UNE-EN 1998-1:2011. *"Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación"*, 2011.
- [2] Ministerio de Fomento. *"Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02)"*, Mayo 2003.
- [3] Ministerio de Fomento. *"Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07)"*, Enero 2008.
- [4] Ministerio de Fomento. *"EAE Instrucción de Acero Estructural"*, 2011.
- [5] Ministerio de Fomento. *"EHE Instrucción de Hormigón Estructural"*, 2008.
- [6] Ministerio de la Vivienda. *"Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural: Acciones en la edificación"*, Abril 2009.

### TEXTS

- [7] Alarcón Álvarez, E; Gómez Lera, S; Álvarez Cabal, R. *"Cálculo Matricial de Estructuras"*, Edit. Reverté, 1985.
- [8] Alex H. Barbat; J. M. Canet *"Estructuras Sometidas a Acciones Sísmicas. Cálculo por ordenador"* CIMNE, Barcelona, 1994.
- [9] Amadeo Benavent-Climent *"Estructuras sismorresistentes"*, Maia Ediciones, 2010.
- [10] Arcos Trancho, H; Cristina Porcu, M. *"Movimientos sísmicos y estructuras murarias"*, Consorcio de Compensación de Seguros, 2003.
- [11] Bungale S. Taranath. *"Wind and Earthquake Resistant Buildings. Structural análisis and design"*, Marcel Dekker. New York, 2005.
- [12] Calavera, J. *"Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón en masa, armado y pretensado"*, 2ª Edición, INTEMAC, 2008.
- [13] Dowrick, D.J. *"Earthquake Resistant Design"*, John Wiley & Sons, 1977.



## 12. RESUMEN

En los apartados precedentes hemos pretendido demostrar lo inadecuado del procedimiento habitual de proyecto frente a acciones sísmicas. Para ello tan sólo es necesario, en nuestra opinión, comparar la respuesta de los edificios observada en Lorca con la que se supone en el proyecto convencional.

Al referir dicha comparación a los tópicos más comunes es inmediato constatar la importancia de las diferencias entre la realidad y el modelo conceptual con el que trabajamos habitualmente los Técnicos.

En demasiadas ocasiones se justifican tales diferencias en la necesidad de simplificar y parametrizar la realidad para ajustarla a unos modelos forzosamente limitados, pero cabría preguntarse si en ese proceso no hemos llegado a la situación contraria, a confiar en unos modelos innecesariamente complejos y, lo que sería más grave, ajenos por completo a la realidad que se pretende modelizar.

Muchas de las diferencias entre el comportamiento que predicen nuestros modelos de proyecto y el que la realidad nos muestra surgen de la falaz distinción entre elementos resistentes, que forman el modelo estructural, y elementos arquitectónicos, a los que no asignamos participación alguna en dicho modelo.

Ante las acciones gravitatorias esta distinción no comporta riesgos excesivos, aunque es la causa de las muy importantes diferencias entre la distribución de esfuerzos real y la asumida en proyecto. En el caso sísmico, por el contrario, entraña un peligro evidente.

## 13. AGRADECIMIENTOS

Queremos dejar constancia del apoyo recibido del CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS para la difusión de la experiencia recogida por INTEMAC en las labores de apoyo a sus Peritos durante los trabajos de inspección, evaluación de daños y propuestas de reparación.

## 14. REFERENCIAS

### NORMATIVA

- [1] AENOR. UNE-EN 1998-1:2011. *"Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación"*, 2011.
- [2] Ministerio de Fomento. *"Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02)"*, Mayo 2003.
- [3] Ministerio de Fomento. *"Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07)"*, Enero 2008.
- [4] Ministerio de Fomento. *"EAE Instrucción de Acero Estructural"*, 2011.
- [5] Ministerio de Fomento. *"EHE Instrucción de Hormigón Estructural"*, 2008.
- [6] Ministerio de la Vivienda. *"Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural: Acciones en la edificación"*, Abril 2009.

### TEXTOS

- [7] Alarcón Álvarez, E; Gómez Lera, S; Álvarez Cabal, R. *"Cálculo Matricial de Estructuras"* Edit, Reverté, 1985.
- [8] Alex H. Barbat; J. M. Canet *"Estructuras Sometidas a Acciones Sísmicas. Cálculo por ordenador"* CIMNE, Barcelona, 1994.
- [9] Amadeo Benavent-Climent *"Estructuras sismorresistentes"*, Maia Ediciones, 2010.
- [10] Arcos Trancho, H; Cristina Porcu, M. *"Movimientos sísmicos y estructuras murarias"*, Consorcio de Compensación de Seguros, 2003.
- [11] Bungale S. Taranath. *"Wind and Earthquake Resistant Buildings. Structural análisis and design"*, Marcel Dekker. New York, 2005.
- [12] Calavera, J. *"Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón en masa, armado y pretensado"*, 2ª Edición, INTEMAC, 2008.
- [13] Dowrick, D.J. *"Earthquake Resistant Design"*, John Wiley & Sons, 1977.

- [14] Fardis, Michael N. *"Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings based on EN-Eurocode 8"*, Springer, 2009.
- [15] Luis M. Bozzo; Alex H. Barbat *"Diseño sismorresistente de edificios. Técnicas convencionales y avanzadas"*, Edit. Reverté, 2000.
- [16] M. A. Hacar; E. Alarcón. *"Elementos de Dinámica Aplicada a las Estructuras"*, Edix, 1972.
- [17] Miha Tomazevic. *"Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings"*, Series on Innovation in Structures and Construction, Imperial College Press, 2000.
- [18] Paulay, T; Priestley, M.J.N. *"Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings"*, John Wiley & Sons, 1992.
- [19] Sánchez Marta, L. *"Efecto de los rellenos de fábrica en la distribución de esfuerzos en los edificios"*, Proyecto de fin de Carrera. Universidad de Zaragoza, 2012.

#### SCIENTIFIC PAPERS

- [20] Álvarez Cabal, R. *"El Eurocódigo 8"* Jornada Técnica Anual ACHE Comportamiento de estructuras de hormigón en zonas sísmicas", 2004.
- [21] Arroyo Arroyo, J.R; Benito Muñoz, J.J; Álvarez Cabal, R. *"Análisis de la acción del viento en los edificios"* Cuadernos de INTEMAC, 4º trim, 1997.
- [22] Benito, Belén; Gaspar Escribano, Jorge. *"Informe sobre el terremoto de Lorca"*. Informe interno, Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
- [23] Bertero, V; Brokken, S. *"Infills in seismic resistant building"* Journal of Structural Engineering 109, 1337, 1983.
- [24] Carlos Puertas del Río, José Blanco Perrín. *"La estabilidad de los cerramientos de ladrillo. Luces y sombras"*, Asociación Española para la Calidad. Sección de Construcción, Noviembre 2003.
- [25] Dávila, S; 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.
- [26] Dávila Sánchez-Toscano, S; Hoogendoorn, P. P; Álvarez Cabal, R: *"ACCIONES EN FACHADAS"*. Memorias de las I JORNADAS HITOS ESTRUCTURALES, IETCC, Madrid, 2011.
- [27] Dávila Sánchez-Toscano, S; Hoogendoorn, P. P; Álvarez Cabal, R: *"ACCIONES EN FACHADAS"*, Cuadernos de INTEMAC, Madrid, 2011.
- [28] 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.
- [29] Instituto Geográfico Nacional, Universidad Complutense de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, Asociación Española de Ingeniería Sísmica. *"Informe del sismo de Lorca del 11 de mayo de 2011"*, Madrid, Julio 2011.
- [30] Institut Geològic de Catalunya, Universitat Politècnica de Catalunya, Asociación Española de Ingeniería Sísmica, Generalitat de Catalunya. *"El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011: Informe de la inspección y de los trabajos de campo realizados"*, Barcelona, 2011.
- [31] L. Hermanns, A. Fraile, E. Alarcón, R. Álvarez *"Performance of masonry buildings during the 2011 Lorca earthquake"*. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon 2012.
- [32] M.J. Nigel Priestley *"Myths and Fallacies in Earthquake Engineering -Conflicts between Design and Reality"* Concrete International, February 1997.
- [33] 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.
- [34] V. Lloret, F. Regalado. *"Análisis y reflexiones sobre los terremotos del 11 de mayo de 2011 acontecidos en Lorca (sugerencias para el futuro)"* Florentino Regalado & Asociados, Ingeniería y Proyectos, 2011.

- [14] Fardis, Michael N. *"Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings based on EN-Eurocode 8"*, Springer, 2009.
- [15] Luis M. Bozzo; Alex H. Barbat *"Diseño sismorresistente de edificios. Técnicas convencionales y avanzadas"*, Edit. Reverté, 2000.
- [16] M. A. Hacar; E. Alarcón. *"Elementos de Dinámica Aplicada a las Estructuras"*, Edix, 1972.
- [17] Miha Tomazevic. *"Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings"*, Series on Innovation in Structures and Construction, Imperial College Press, 2000.
- [18] Paulay, T; Priestley, M.J.N. *"Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings"*, John Wiley & Sons, 1992.
- [19] Sánchez Marta, L. *"Efecto de los rellenos de fábrica en la distribución de esfuerzos en los edificios"* Proyecto de fin de Carrera, Universidad de Zaragoza, 2012.

#### ARTÍCULOS

- [20] Álvarez Cabal, R. *"El Eurocódigo 8"* Jornada Técnica Anual ACHE Comportamiento de estructuras de hormigón en zonas sísmicas", 2004.
- [21] Arroyo Arroyo, J.R; Benito Muñoz, J.J; Álvarez Cabal, R. *"Análisis de la acción del viento en los edificios"* Cuadernos de INTEMAC, 4º trim. 1997.
- [22] Benito, Belén; Gaspar Escribano, Jorge. *"Informe sobre el terremoto de Lorca"*. Informe interno. Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
- [23] Bertero, V; Brokken, S. *"Infills in seismic resistant building"* Journal of Structural Engineering 109, 1337, 1983.
- [24] Carlos Puertas del Río, José Blanco Perrín. *"La estabilidad de los cerramientos de ladrillo. Luces y sombras"* Asociación Española para la Calidad. Sección de Construcción Noviembre 2003.
- [25] Dávila, S; 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.
- [26] Dávila Sánchez-Toscano, S; Hoogendoorn, P. P; Álvarez Cabal, R: *"ACCIONES EN FACHADAS"*. Memorias de las I JORNADAS HITOS ESTRUCTURALES, IETCC, Madrid 2011.
- [27] Dávila Sánchez-Toscano, S; Hoogendoorn, P. P; Álvarez Cabal, R: *"ACCIONES EN FACHADAS"*. Cuadernos de INTEMAC, Madrid 2011.
- [28] 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.
- [29] Instituto Geográfico Nacional, Universidad Complutense de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, Asociación Española de Ingeniería Sísmica. *"Informe del sismo de Lorca del 11 de mayo de 2011"*, Madrid, Julio 2011.
- [30] Institut Geològic de Catalunya, Universitat Politècnica de Catalunya, Asociación Española de Ingeniería Sísmica, Generalitat de Catalunya. *"El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011: Informe de la inspección y de los trabajos de campo realizados"*, Barcelona 2011.
- [31] L. Hermanns, A. Fraile, E. Alarcón, R. Álvarez *"Performance of masonry buildings during the 2011 Lorca earthquake"*. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon 2012.
- [32] M.J. Nigel Priestley *"Myths and Fallacies in Earthquake Engineering -Conflicts between Design and Reality"* Concrete International, February 1997.
- [33] 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.
- [34] V. Lloret, F. Regalado. *"Análisis y reflexiones sobre los terremotos del 11 de mayo de 2011 acontecidos en Lorca (sugerencias para el futuro)"* Florentino Regalado & Asociados, Ingeniería y Proyectos, 2011.

## Relación de Personal Titulado de INTEMAC

### Arquitectos

Benito Díez, María Pilar  
Fernández Sáez, Ana María  
Fraile Mora, Serafín  
González Balseyro, María José  
Luzón Cánovas, José M<sup>a</sup>  
Sánchez Arroyo, Jesús M<sup>a</sup>  
Sicilia Mañá, Beatriz  
Vergara Pérez, Carlos

### Ingenieros Aeronáuticos

\* París Loreiro, Angel

### Ingenieros de Caminos

Baena Alonso, Eva  
Barrios Corpa, Roberto  
\* Calavera Ruiz, José  
Calderón Bello, Enrique  
Corbacho Vicioso, José Angel  
Cortés Bretón, Juan María  
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier  
De la Fuente Gómez, Ana Isabel  
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa  
Díaz Heredia, Elena  
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo  
Fernández Montes, David Constantino  
Gómez Mariño, Cristina  
González González, Juan José  
Jiménez Ortiz, Gonzalo  
León Bello, Raúl  
\* Ley Urzaiz, Jorge  
Menéndez Martínez, Laura  
\* Rodríguez Escribano, Raúl Rubén  
\* Rodríguez Romero, Jesús M<sup>a</sup>  
Rueda Contreras, Jorge Ladislao  
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe  
Torre Cobo, María Carmen

### Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel  
Teixeira Martins, Hermano Tiago

### Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

### Ingenieros Industriales

\* Alvarez Cabal, Ramón Amado  
Arroyo Arroyo, José Ramón  
Borraz López, Alfonso  
González Carmona, Manuel  
Liébana Ramos, Miguel Angel  
Pou Esquiús, Carles  
Ramírez de la Pinta, Rubén

### Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

### Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

### Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

### Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

### Licenciada en Ciencias Políticas y de la Administración

Estébanez Morer, Ana María

### Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Silvia María  
López Sánchez, Pedro

### Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto  
Casado Chinarro, Alejandro  
Catalán Navarro, Antonio  
Martín López, Jesús Heliodoro  
Usillos Espín, Pablo

### Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M<sup>a</sup> Consuelo

### Master of Science in Civil Engineering

Hoogendoorn, Peter Paul

### Arquitectos Técnicos

Jiménez Salado, Borja  
Montejano Jiménez, María del Carmen  
Vicente Minguela, Francisco

### Ingeniero Técnico Aeronáutico

Domenech Mestre, Alberto

### Ingeniero Técnico Forestal

Collazo Rial, Manuel Ramón

### Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón  
Macias Gómez, Juan José

### Ingenieros Técnicos Industriales

Jiménez Rodríguez, José Antonio  
Madueño Moraño, Antonio  
Villar Riñones, Jesús  
Rodríguez Luque, Ana M<sup>a</sup>

---

**Ingenieros Técnicos Obras Públicas**

Martínez Vicente, Cristina  
Mata Soriano, Juan Carlos  
Montiel Sánchez, Ernesto  
Muriel León, Carlos  
Ortiz del Campo, Natalia  
Pardo de Agueda, Juan Luis  
Rivera Jiménez, Marta  
Romero García, Daniel  
Rosa Moreno, José Andrés  
Rozas Hernando, José Juan  
Sánchez Tomé, Elena  
Sanz Ruiz, Idoya

**Ingenieros Técnicos Topógrafos**

Amador Orenga, German  
Barragán Bermejo, M<sup>a</sup> Vicenta  
Carreras Ruiz, Francisco  
De Francisco Rodríguez, Francisco  
López Jiménez, Luis  
Martínez Ochando, Eduardo  
Sánchez Martín, María de la O  
Torés Campos, Ana M<sup>a</sup>

**Técnicos en Administración de Empresas**

Cebrián Sobrino, M<sup>a</sup> José

**Técnico en Publicidad**

Blanco Armas, Cristina

---

\* NOTA: Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con \* a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.



## CUADERNOS INTEMAC

CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

Precio de la suscripción Año 2010: 35 €



## ÚLTIMOS TÍTULOS PUBLICADOS

### Cuaderno N° 87

“Análisis comparativo entre los procedimientos propuestos por la instrucción EHE-08 y el Eurocódigo EC2 para el cálculo de flechas en vigas y forjados de hormigón armado”.

Autores: Eduardo Díaz-Pavón, Enrique Calderón Bello, Raúl Rodríguez Escribano.

### Cuaderno N° 88

“El terremoto de Lorca. La necesidad de revisar algunos principios”.

Autores: Laura Menéndez Martínez, Eduardo Díaz-Pavón Cuaresma, Raúl Rodríguez Escribano, Ramón Álvarez Cabal.

## CUADERNOS DE PRÓXIMA APARICIÓN

### Cuaderno N° 89

“Patología en construcciones resueltas con elementos prefabricados de hormigón estructural”.

Autor: Miguel Ángel Liébana Ramos.

Consulte lista completa de la Colección

## MONOGRAFÍAS INTEMAC

Publicación de INTEMAC con un carácter eminentemente práctico destinada a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusado en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica correspondientes.

### MONOGRAFÍA INTEMAC N° 5

“Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón”.

Autores: R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M<sup>a</sup>. Rodríguez Romero.

Precio de la Monografía 38 €

### MONOGRAFÍA INTEMAC N° 6

“Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo”.

Autores: P. López Sánchez, J. M<sup>a</sup>. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.

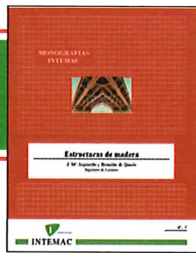
Precio de la Monografía 38 €

### MONOGRAFÍA INTEMAC N° 7

“Estructuras de madera”.

Autores: J. M<sup>a</sup>. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.

Precio de la Monografía 38 €



## NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

Con independencia de la serie de Cuadernos de INTEMAC, de los que se publica un número trimestral, bilingüe en español e inglés, en INTEMAC se producen, con acentuada frecuencia notas de información sobre aspectos concretos que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna, sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

Las Notas se envían únicamente por correo (pago por transferencia o tarjeta de crédito).

### NIT-5 (06)

Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón

J. Calavera Ruiz, A. Delibes, J. M<sup>a</sup>. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, G. González Isabel.

Edición en español, en color. 12 páginas

Precio 14 €



### NIT-6 (07)

El previsible descenso de la seguridad en pilares con la entrada en vigor del Eurocódigo EC-2, y la necesidad de un control estricto de la calidad del hormigón en pilares

J. Calavera Ruiz.

Edición en español, en color. 10 páginas

Precio 12 €

## VÍDEOS TÉCNICOS Y DVD'S

### Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

N° 2001 (1-1)

Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.

Esta nueva versión del vídeo 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia.

30 minutos - 25 €



### Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

N° 2002 (1-2)

Muestra el proceso de laminación en fábrica de las barras y alambres, la fabricación de mallas y los ensayos de tracción, doblado, arrancamiento de nudos y determinación de las características geométricas del corrugado y el ensayo de Beam-test para la determinación de las características de adherencia.

30 minutos - 25 €



### Compresión centrada en hormigón armado.

N° 2002 (1-4)

Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 Mpa a 70 Mpa, las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €

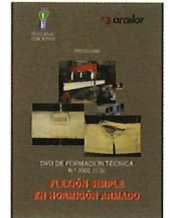


### Flexión simple en hormigón armado.

N° 2002 (1-3)

Incluye el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes cuantías y diferentes desarrollos de adherencia conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €

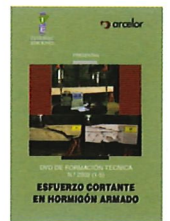


### Esfuerzo cortante en hormigón armado.

N° 2002 (1-5)

Muestra el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes formas de rotura por corte (Tracción diagonal, corte flexión, compresión diagonal, etc.) conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

25 minutos - 25 €



## BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

EL BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO incluye:

Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo. Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera. Secciones de Bibliografía y Cursos.

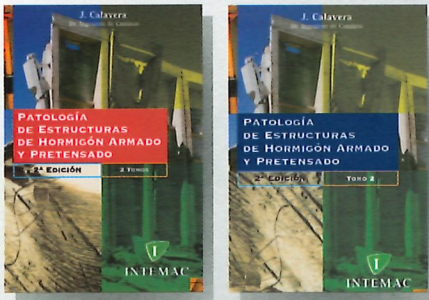
Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

Tarifa de suscripción anual (6 números) 200 €



Consulte otras publicaciones

[www.intemac.es](http://www.intemac.es)

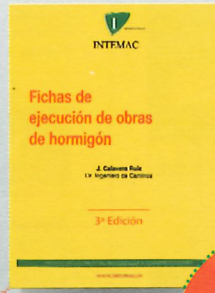


## Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 135 €

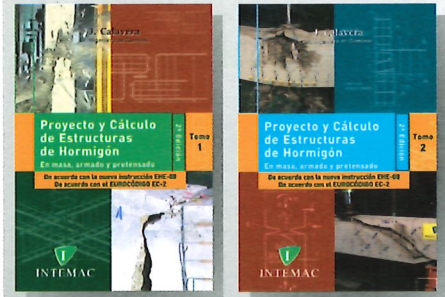


## Fichas de ejecución de obras de hormigón

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 68 €



## Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón

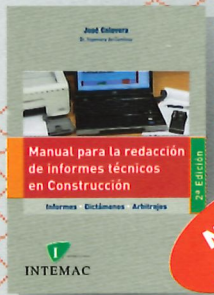
2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 180 €

Nueva publicación

Nueva edición



## Manual para la redacción de informes técnicos en construcción

2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 90 €

Nueva edición



## Manual de Ferralla

3ª edición

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

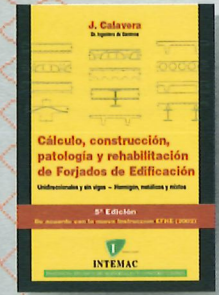
Precio: 45 €



## Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

Precio: 50 €

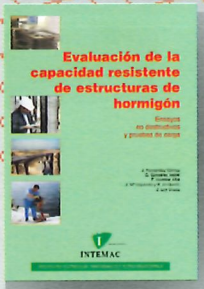


## Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación

5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 113 €



## Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

J. Fernández Gómez, G. González Isabel, F. Hostalet Alba, J. Mª Izquierdo, J. Ley Urzaiz

Precio: 64 €

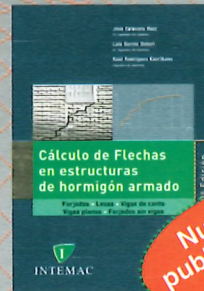


## Muros de contención y muros de sótano

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



## Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado

2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos), L. García Dutari (Ingeniero Civil), R. Rodríguez (Ingeniero de Caminos)

Precio: 110 €

Nueva publicación



## Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

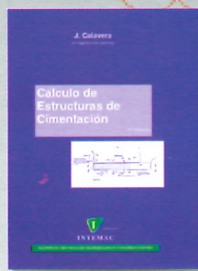
Libro: 123 € CD-ROM: 198 €



## Ejecución y control de estructuras de hormigón

J. Calavera, P. Alaejos Gutiérrez, J. Fernández Gómez, E. González Valle, F. Rodríguez García

Precio: 133 €



## Cálculo de estructuras de cimentación

4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



## Hormigón de alta resistencia

G. González-Isabel (Ingeniero Técnico de O. P.)

Precio: 47 €



## Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 57 €