

ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO PARA MINIMIZAR EL RIESGO DE FISURACIÓN DE PARTICIONES INTERIORES POR EXCESIVA DEFORMABILIDAD DE LA ESTRUCTURA HORIZONTAL

Eduardo DÍAZ-PAVÓN CUARESMA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
INTEMAC
Jefe de la Sección de Patología
ediazpavon@intemac.es

Prof. Jaime FERNÁNDEZ GÓMEZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático de Edificación y Prefabricación de la
ETSICCP (Universidad Politécnica de Madrid)
Presidente de INTEMAC
jfernandez@intemac.es

RESUMEN

La Catedra de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid, en colaboración con el Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC), está llevando a cabo una investigación sobre las distintas variables que pueden influir en la aparición de fisuras en tabiques y cerramientos de edificios con estructura de hormigón armado debido a la flecha vertical de la estructura horizontal, problema que aún no ha sido resuelto de forma totalmente satisfactoria con los criterios de las normativas, en particular las vigentes en España.

De un primer análisis de de los casos analizados se deduce la importante influencia de otras variables no contempladas por la normativa en la aparición de daños y en la intensidad de estos. En la presente comunicación se exponen los principales resultados obtenidos en dichos análisis.

PALABRAS CLAVE: deformabilidad, limitación de flechas, patología, fisuración

1. Introducción y planteamiento de la investigación

La fisuración de tabiques y cerramientos debida a la flecha vertical de vigas y forjados es uno de los principales problemas aún no satisfactoriamente resueltos en los edificios, y en particular los que tienen estructura de hormigón armado.

Las distintas Normativas, en España y en el resto de países, se han enfrentado al problema desde dos perspectivas complementarias:

- Estimando la flecha con una precisión razonable, y estableciendo límites superiores al valor de dicha flecha, tanto en valor absoluto como relativo con la luz del vano.
- Estableciendo unas relaciones canto/luz mínimas en función del tipo de pieza, luces, condiciones de contorno, etc.

En relación con el primer punto, las distintas normativas han ido desarrollado distintos procedimientos de cálculo. En este sentido, cabe señalar que los resultados de cálculo de flecha que se han realizado para la presente investigación han sido efectuados tanto mediante la Normativa en vigor en cada caso como mediante el Método de Integración de Curvaturas¹, que se considera el más refinado.

En relación con la limitación al valor de las flechas, las distintas normativas presentan limitaciones que en general dependen únicamente de la luz del elemento (como es el caso de las recomendaciones de la Instrucción EHE-08), y en algunos casos también del tipo de tabique o pavimento dispuesto sobre el forjado (como especifica el Código Técnico de la Edificación).

En cuanto al segundo punto, puede en ocasiones resultar demasiado simplista el planteamiento y, en ausencia de una experiencia suficiente, puede resultar inadecuado.

Por otro lado, del análisis de edificios que han presentado este tipo de patologías en España se desprende que en algunas ocasiones, las fisuras se producen aun cumpliéndose los criterios de la Normativa española tanto en relación con el cálculo y la limitación de flechas, como con el cumplimiento de los cantos mínimos.

Es por ello que, con base en los resultados de más de 150 trabajos sobre edificios que presentaban estas anomalías facilitados por INTEMAC, se está llevando a cabo una investigación sobre las diferentes variables que puedan influir en el origen del problema. Como punto de partida inicial se ha formado una base de datos que contiene todas las características del edificio, flechas calculadas, tipo de disposición de los tabiques, y todos los datos disponibles que pudieran influir en el problema.

El objeto de la presente investigación es por tanto determinar en que medida influyen cada una de las variables analizadas, así como valorar la idoneidad de las limitaciones existentes en la Normativa española de cara a limitar este tipo de patologías. Además, con base en un tratamiento estadístico de los resultados se planterán modelos de previsión que determinen la probabilidad de riesgo en función de las características del inmueble proyectado.

2. Investigación realizadas

Con base en más de 150 casos de edificios de hormigón armado que presentaban fisuras en tabiques y cerramientos cuyo origen residía en la incompatibilidad de rigideces entre la estructura horizontal del inmueble y la de dichos elementos de albañilería, y que han sido estudiados por INTEMAC en el transcurso de los últimos 15 años, se han seleccionado las siguientes variables que pudieran influir en la aparición de dichas patologías:

2.1. Sobre las características del edificio

¹ Método desarrollado en CALAVERA RUIZ, J., GARCÍA DUTARI L. y RODRÍGUEZ ESCRIBANO, R.; *Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado*. 2ª Edición 2009, que a su vez está basado, en líneas generales, en los trabajos del CEB-FIP MODEL CODE 1990.

En relación con este punto, las variables que han sido consideradas son las siguientes:

- *Uso del edificio*, distinguiendo entre residencial, administrativo y docente.
- Número de plantas sobre rasante.
- *Características de la planta baja*, en concreto si ésta es diáfana o no, o si tiene un uso distinto al resto del inmueble.
- *Tipo de tabiques y cerramientos*, en función de su rigidez.
- *Distribución de la tabiquería en altura*.
- *Fecha del Proyecto y/o fecha de construcción del inmueble*.

2.2. Sobre las características de los forjados

Dada la gran diversidad existente en cuanto a tipos de forjados y luces a salvar, hemos distinguido entre las siguientes variables:

- *Tipología*, distinguiendo entre forjados unidireccionales y bidireccionales, y en cada uno de ellos distintos tipos en función de las características de las vigas y/o nervios de forjado.
- *Luces de forjados y vigas*.
- *Cantos de forjados y vigas*.
- *Tipo de acero* empleado en las armaduras.

2.3. Sobre los resultados del cálculo de flecha

Para el cálculo de flechas se ha realizado un cálculo por el procedimiento establecido por la Normativa en vigor en cada caso (EH-91, EHE-98 y EHE-08, basados todos ellos en el *Método de Branson*), así como por el método de integración por curvaturas, que consiste básicamente en el cálculo de la curvatura en cada sección a partir del momento flector que solicita la misma. Dicha curvatura, a su vez, es suma de tres componentes, correspondientes a la flecha instantánea, la de fluencia y la de retracción.

Una vez calculada la curvatura en cada sección, es posible calcular el diagrama de curvaturas que existe a lo largo de la pieza, para a continuación calcular las flechas.

La flecha así obtenida, de forma más precisa que con los otros métodos, es la que hemos analizado como variable en el presente estudio, obteniendo:

- *Flecha total y activa en nervios*
- *Flecha total y activa en vigas*

Además, en función de la localización del daño (véase el apartado 2.4 siguiente) y siguiendo los criterios del Eurocódigo 2, se ha considerado otra variable:

- *Luz de referencia*, definida como la luz entre puntos fijos que realmente afecta al tabique con daños

Y con base en dicha variable, se ha obtenido:

- *Luz de referencia/Flecha activa*

2.4. Sobre las características de los daños

En cada inmueble se han seleccionado las zonas más representativas de los daños en tabiques y cerramientos existentes en cada caso, definiendo para cada uno de ellos:

- *Intensidad de los daños*, distinguiéndose básicamente entre *moderada*, *intensa* y *grave*. En este sentido cabe señalar que también se han seleccionado algunas zonas en las que no existían daños o estos eran muy reducidos, con objeto de disponer de datos de flechas en zonas sin daños. En las figura nº 1, nº 2 y nº 3 mostramos un ejemplo de los distintos niveles de daño.
- *Características del vano* en el que aparecen los daños, diferenciando entre vanos interiores, extremos, de esquina, aislados y voladizos.
- *Localización del daño*, en función de que la partición con daños se encuentre sobre una viga, sobre nervios de forjado, o que le afecte tanto la deformabilidad de las vigas como la de los forjados.
- *Densidad de tabiquería* en la que aparece el daño en cada caso.
- *Características de la tabiquería* en cuanto a la mayor o menor sensibilidad que pueda presentar a la aparición de daños. En la figura nº 4 mostramos unos ejemplos de distribuciones de tabiquería *sensible* (tabiques que presentan quiebros y/o huecos en zonas de cdv) respectivamente.

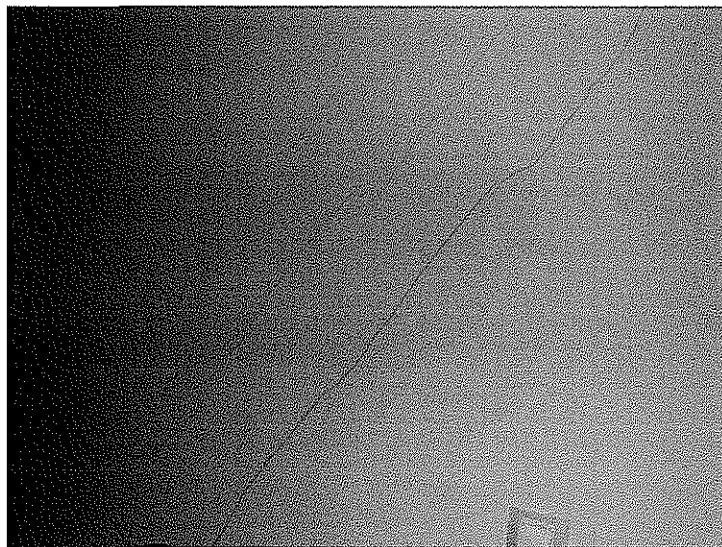


Fig. 1: Ejemplo de daños *moderados* en un tabique por deformabilidad excesiva

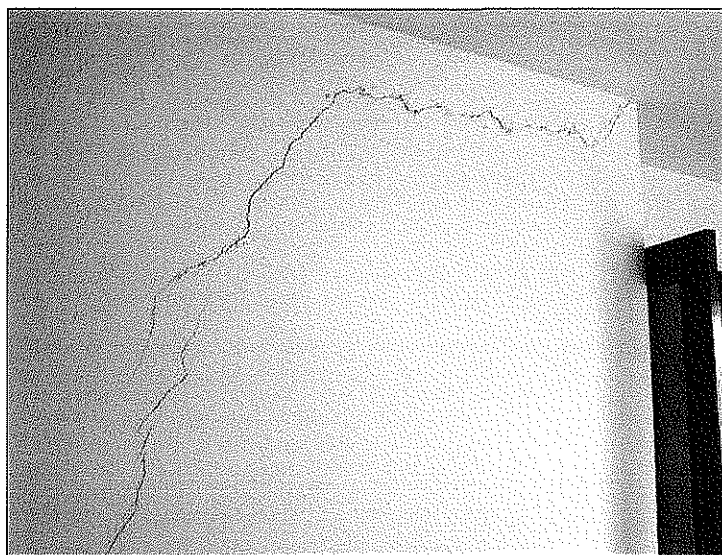


Fig. 2: Ejemplo de daños *intensos* en un tabique por deformabilidad excesiva



Fig. 3: Ejemplo de daños *graves* en un cerramiento por deformabilidad excesiva

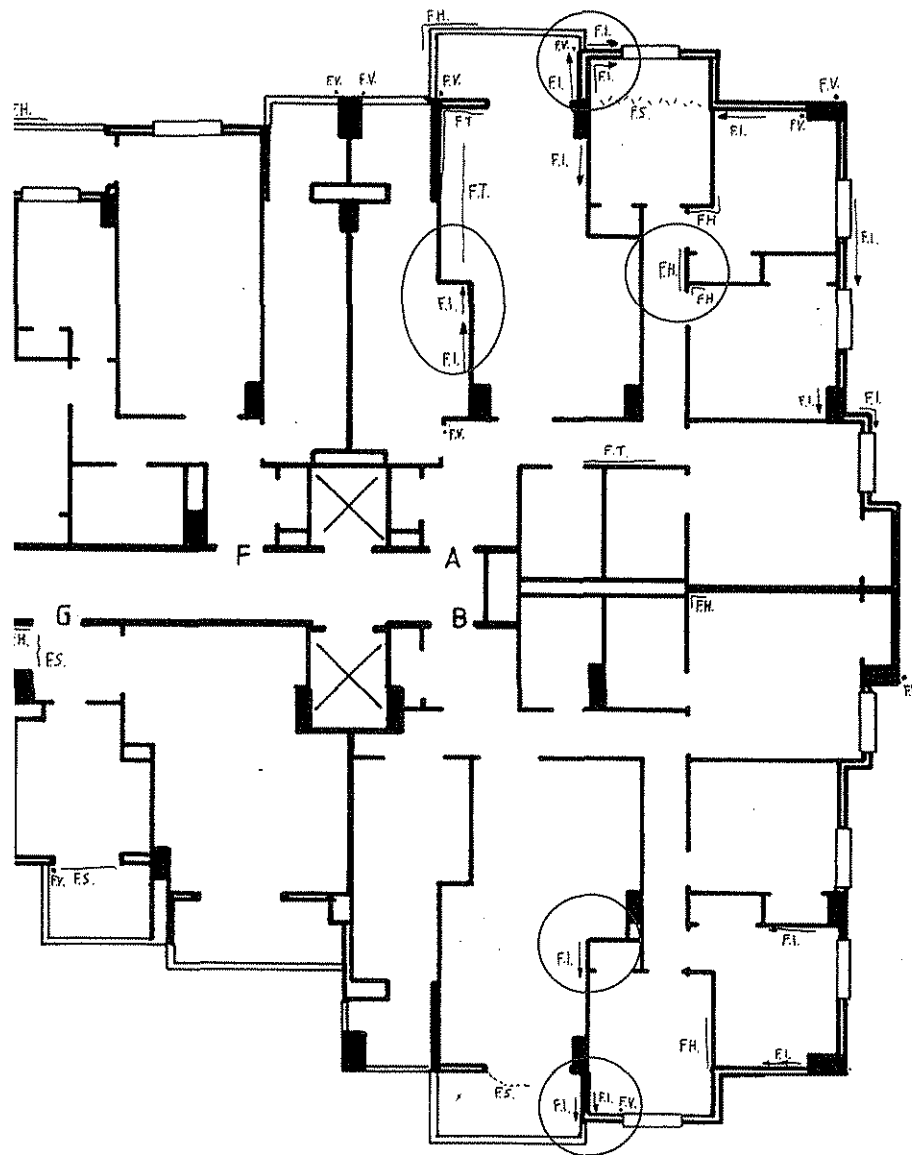


Fig. 4: Ejemplo de distribución de tabiquerías sensibles

3. Resultados obtenidos

Se han calculado las flechas de todos los edificios y se han analizado mediante un programa de tratamiento estadístico de los datos (SPSS) la interacción de todas las variables del proceso, y en especial, con el nivel de daños.

A modo de resumen, en las figuras nº 5 y nº 6 mostramos unas gráficas con la relación entre el nivel de daños y la relación *Luz de referencia/Flecha activa* o con el valor de dicha *flecha activa* respectivamente.

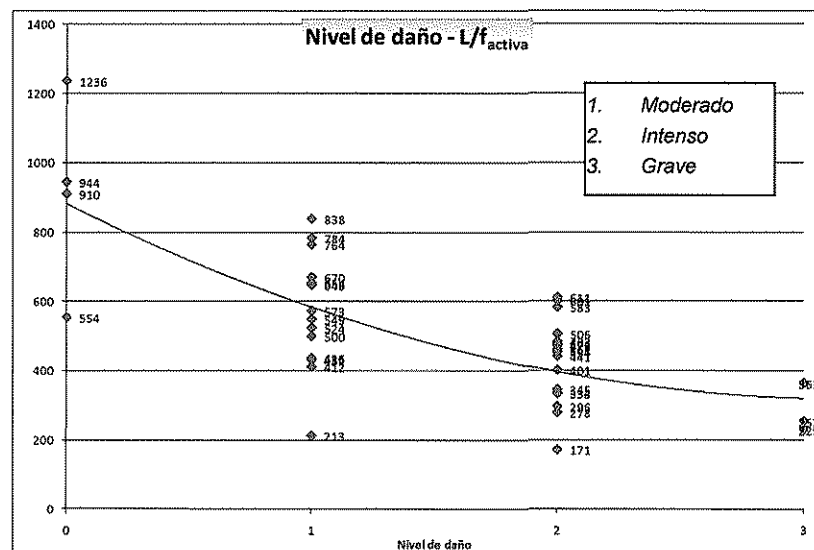


Fig. 5: Relación entre el nivel de daños y la relación L/f_{activa}

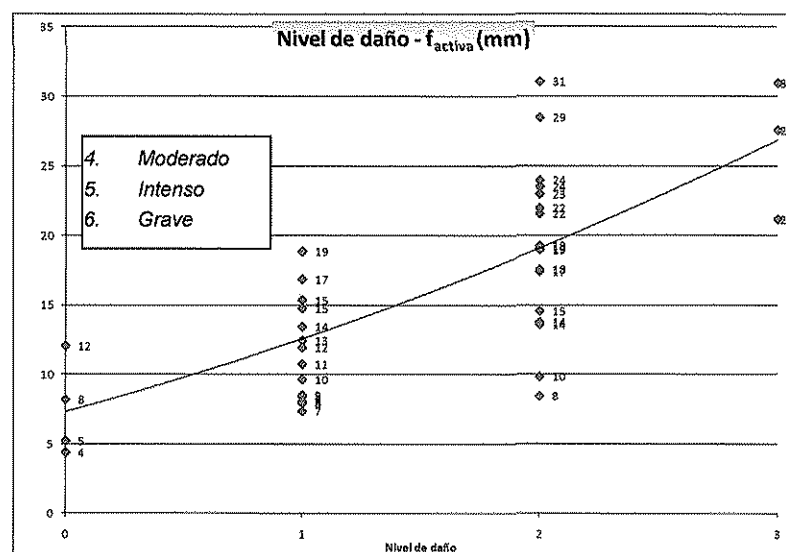


Fig. 6: Relación entre el nivel de daños y la f_{activa}

Con base en los resultados de los casos analizados, con carácter preliminar es posible avanzar los siguientes resultados :

- Se detectan niveles de daños graves en estructuras con flechas activas superiores a 25 mm, y relaciones Luz de referencia/Flecha activa superiores a 1/250.
- Se detectan niveles de daños intensos en estructuras con flechas activas comprendidas en general entre 15 y 25 mm, y relaciones Luz de referencia/Flecha activa comprendidas entre 1/250 y 1/500.
- Se detectan niveles de daños moderados en estructuras con flechas activas comprendidas en general entre 7 y 15 mm, y relaciones Luz de referencia/Flecha activa comprendidas entre 1/400 y 1/800.

- Se desprende que existe un nivel de daños que depende tanto del valor absoluto de la flecha como de su valor relativo.

Esto hace que, en muchas ocasiones, las limitaciones de flecha de la Normativa actualmente en vigor (especialmente en lo relativo a no establecer un valor máximo de *flecha de activa*) no sean suficientes para evitar la aparición de daños en elementos de albañilería. Claramente, a la vista de la figura nº 6, es necesaria una limitación del valor absoluto de la flecha, en un valor de referencia comprendido entre 5 y 10 mm.

- Todos los valores de *flecha activa* y las relaciones *Luz de referencia/Flecha activa* varían mucho de unos casos a otros en función de numerosas variables, entre las que cabe destacar el número de plantas (por el efecto de transmisión de cargas en vertical a través de las particiones) y la sensibilidad de la tabiquería a la aparición de los daños (tabiquerías *sensibles*, de acuerdo con las definiciones anteriores).
- Dichas variables relativas a la configuración de la tabiquería, tienen también mayor o menor importancia en función de la tipología de forjado existente en cada caso.

4. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos, cabe establecer las siguientes conclusiones:

- En muchos casos los daños en tabiques se han producido aun cuando del cálculo de flechas se deducen valores de flecha total y activa que cumplen con los criterios de las actuales normativas.
- De las variables seleccionadas, es el propio valor de la flecha obtenida del cálculo, la que tiene un mayor peso en relación con la aparición e intensidad del daño. En este sentido cabe indicar que no sólo es importante el valor de *luz/flecha activa*, sino también el valor absoluto de dicha flecha a partir de determinadas luces. Esta limitación sí existía en la Normativa española precedente (EH-91 y EHE-98 establecían 10 mm de límite), así como en otras Normativas y bibliografía de referencia, que en algunos casos presentan limitaciones más estrictas -del orden de 7,5 mm-, más adecuada en nuestra opinión a la vista de los resultados obtenidos.
- Otras variables relativas a las características y distribución de los tabiques (fundamentalmente en lo relativo a la distribución en planta y en altura de estos), parecen ser igualmente determinantes. Así, con mayor densidad de tabiquería, las limitaciones deberían ser más restrictivas.
- Por último, la investigación realizada también ha puesto de manifiesto en relación con la estimación de las flechas, que tanto en vigas planas como en forjados, las desviaciones que se obtienen al realizar el cálculo mediante los criterios recogidos en la Instrucción EHE o EH-91, respecto a las que se obtienen utilizando un método más afinado, como es el *Método de Integración por Curvaturas*, pueden ser significativas (inferiores en torno a un 30% inferiores en el caso de vigas planas, y hasta un 45% para los forjados).

5. Bibliografía

- EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural. Ministerio de Fomento. Madrid. 2008.
- EUROCODE EC-2. Proyecto de estructuras de hormigón – Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. 2004.
- CALAVERA RUÍZ, J y RODRÍGUEZ ESCRIBANO, R.; Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado. 2ª Edición 2009.
- CEB-FIP MODEL CODE 1990.
- FAVRE, R; KOPRINA, N., y Radojicic, A.; Effects, différés, fissuration et deformations des structures du beton. Geogi Saint-Sphorin. Lausanne. 1980.