

## LESIONES Y REPARACIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICIO DE VIVIENDAS AFECTADO POR LA EXPLOSIÓN DE UNA BOMBONA DE GAS BUTANO

### Manuel J. FREIRE TELLADO

Dr. Arquitecto  
ETSA - Universidade da Coruña  
Profesor Titular EU  
[manuel.freire.tellado@udc.es](mailto:manuel.freire.tellado@udc.es)

### Santiago MUÑIZ GÓMEZ

Dr. Arquitecto  
ETSA - Universidade da Coruña  
Profesor Titular  
[santiago.muniz@udc.es](mailto:santiago.muniz@udc.es)

### Jorge ARAGÓN FITERA

Dr. Arquitecto  
ETSA - Universidade da Coruña  
Profesor Contratado Doctor  
[coke@udc.es](mailto:coke@udc.es)

## RESUMEN

Como consecuencia de la explosión de una bombona de butano, el edificio objeto de estas líneas sufrió daños considerables que dieron como resultado una orden de evacuación municipal. Para posibilitar la reocupación del inmueble fue preciso realizar previamente su reparación.

Se trata de un edificio de viviendas sociales de los años cincuenta, situado en la costa gallega, de cuatro plantas de altura, con cubierta a dos aguas, resuelto con estructura de hormigón armado, forjados unidireccionales del mismo material - con un curioso techo de fábrica colgado de los forjados inclinados de cubierta- y cerramientos y particiones de fábrica de ladrillo.

Tras realizar la identificación y levantamiento de las lesiones del edificio, se llega a una explicación de éstas a partir de la deflagración producida, encontrándose una correlación total.

Las lesiones que presentan los elementos de fábrica se correlacionan con los distintos sistemas de respuesta ante acciones horizontales que proponen las normas vigentes -Eurocódigo EC-6 y el CTE SE-F español-, extrayéndose las oportunas conclusiones sobre el funcionamiento de estos mecanismos de respuesta.

Las lesiones halladas en la estructura de hormigón se estudian de forma pormenorizada, centrandó la atención aquellas lesiones singulares poco tratadas por la bibliografía técnica.

El texto se completa con la exposición de las obras llevadas a cabo para la reparación del edificio, señalando aquellas otras necesidades aparecidas durante el curso de la obra..

**PALABRAS CLAVE:** rehabilitación, normativa, estructuras, patología, hormigón armado

## 1. Introducción

### 1.1. Descripción de la edificación

El edificio en el que se produjeron los hechos pertenece a un conjunto de viviendas sociales (Ramiro Ledesma Ramos) de los años 50 contiguo a una de las playas urbanas de la localidad de las Rías Bajas de Boiro (A Coruña). El grupo de viviendas se ubica en un terreno con una amplia zona libre ajardinada parcialmente comprendido entre el paseo marítimo de remata la playa y la calle de acceso rodado. Esta zona se encuentra mayoritariamente ocupada por viviendas unifamiliares –el Plan General de Ordenación Municipal la clasifica como Suelo Urbano Residencial de Baja Densidad-, hecho que explica la situación de fuera de ordenación en la que se encuentra el conjunto y que lastra su excelente situación.

El conjunto de viviendas está formado por tres bloques aislados de cuatro alturas cada uno alineados con la calle de acceso, los dos pequeños más próximos a ésta alineados y el de mayor longitud –aproximadamente igual a la suma de los pequeños- más próximo al paseo marítimo y a la playa. El bloque donde se produjo la explosión es uno de los pequeños, el situado más al sur y más próximo al acceso al conjunto.

Se trata de un edificio paralelepípedo de cuatro alturas (bajo, 1º, 2º y 3º) y cubierta a dos aguas con pendientes perpendiculares a los lados mayores, con hastiales orientados a N-NO y S-SE (que abreviaremos como N y S en adelante) y fachadas perpendiculares a estos, Figura 1. Su planta es rectangular, con escalera de ida y vuelta situada en el centro y dos viviendas por planta –una a cada lado de la escalera- ajustadas a las estrictas limitaciones de superficies de la vivienda social –apenas 42 m<sup>2</sup> de superficie útil, distribuidos en cocina-comedor, aseo y tres habitaciones, Figura 2-. Está construido con estructura de hormigón armado y cerramientos y tabiquería de fábrica de ladrillo hueco doble enfoscada y pintada.

El edificio cuenta con estructura de hormigón armado formada por tres pórticos longitudinales, paralelos a fachada, con 6 pilares cuadrados (de 25x25 cm<sup>2</sup> cada uno) y vigas de canto (48 cm). Estos pórticos se atan en los testeros con un nervio transversal del mismo canto que las vigas del pórtico (48 cm), y reciben forjados unidireccionales de hormigón (17+3), formados por semiviguetas de hormigón armado de tipo suela, bovedillas de hormigón y capa de compresión in situ. La cubierta a dos aguas está resuelta con sendos forjados inclinados de los que cuelga una curiosa losa cerámica que hace de techo de la planta tercera. La escalera de acceso, de ida y vuelta como se ha dicho, se sitúa en el eje del edificio y está resuelta con losa de hormigón armado.

## 2. Lesiones producidas por la deflagración

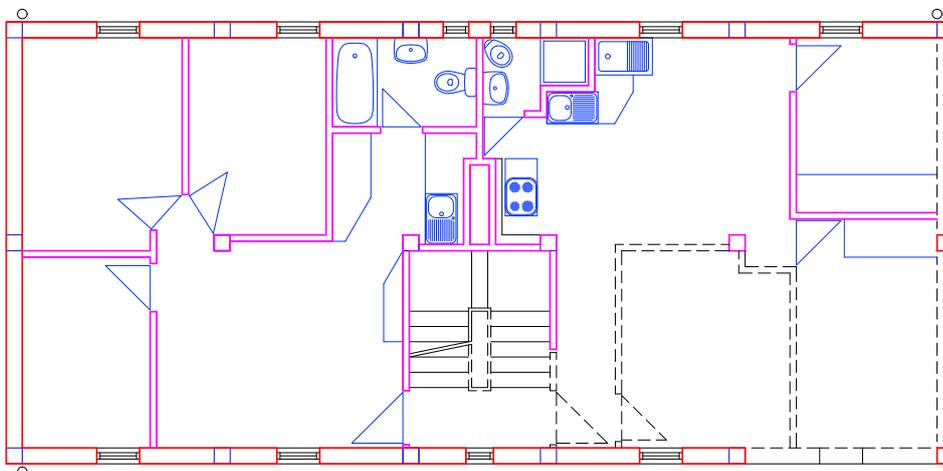
### 2.1. La explosión

La deflagración se produjo en la vivienda situada en el segundo izquierda, 2º Izq (la situada más al norte del bloque), en la estancia separada de la escalera por el vestíbulo de la vivienda. La investigación posterior permitió deducir que la bombona estaba situada sobre el pavimento y junto al tabique que separa esta estancia del vestíbulo de la vivienda.



**Figura 1: Vista del edificio siniestrado antes de la intervención**

La sobrepresión causada por la explosión se abrió paso hacia el exterior reventando todos los tabiques de la estancia, arrancando de cuajo la ventana de la habitación, orientada al este – curiosamente el tramo de fachada en el que estaba ubicada se mantuvo, por lo que la ventana parece haber actuado como elemento de baja resistencia-y pulverizando 3 tramos de fachada situados entre pilares –dos del testero N y uno de la fachada E- todos pertenecientes a estancias contiguas a aquélla en la que se produjo la deflagración, Figuras 1 y 2. En la fachada oeste arrancó otra ventana, enfrentada a la anterior.



**Figura 2: Planta 2ª. A trazos las partes arrancadas por la explosión**

También derribó parcialmente el tabique de separación con la caja de escalera, por donde se transmitieron los efectos de la explosión a las viviendas del resto del edificio. En su ascenso, los gases de la explosión se llevaron por delante la losa cerámica que constituía el techo del cañón de la escalera, se expandieron por el fallado, y rebotaron sobre el forjado inclinado de cubierta volviendo sobre el techo de las viviendas del tercero, ocasionando daños en la losa cerámica anteriormente referida. Las lesiones se completaron con las producidas por las sucesivas deformaciones de los forjados que delimitan la vivienda, como consecuencia primero de la sobrepresión producida y posteriormente por la depresión y la repetición amortiguada del ciclo.

El informe de daños que se presenta está incompleto por cuanto las viviendas 1º dcha y 2º dcha habían alcanzado un acuerdo de reparación con la compañía de seguros antes de nuestro acceso al edificio, por lo que no se tuvo acceso a ellas.

A la fecha de la visita se había realizado el desalojo del edificio, un apuntalamiento preventivo parcial de la edificación y una limpieza previa, actuaciones ordenadas por los técnicos municipales.

## **2.2. Lesiones en elementos estructurales**

Curiosamente, los pilares que resultaron más afectados por la deflagración no fueron los más cercanos sino los del testero norte pertenecientes a los dormitorios adyacentes (pilares 6 –Figura 3-, 12 y 18), especialmente el de la esquina norte del edificios.



**Figura 3: Nudo superior del Pilar 6 tras su limpieza**

En los dos pilares (nº 5 y 11) situados en la estancia de la explosión se observaron sendas fisuras horizontales que recorren las cuatro caras de ambos pilares, Figura 4, situadas unos 5 cm por debajo de la cara inferior de las vigas que acometen -dentro del tercio superior del pilar por tanto, zona en la que tradicionalmente se produce una reducción de la resistencia del hormigón-. Estas fisuras se diagnosticaron como derivadas del esfuerzo instantáneo de tracción al que se vieron sometidos los pilares como consecuencia de la presión producida por la explosión: para que el acero desarrolle toda su capacidad resistente a tracción se tiene que producir una deformación en el elemento que es incompatible con la capacidad de deformación del hormigón a tracción, lo que origina su rotura antes de la entrada en carga del acero. Una vez cesado el esfuerzo de tracción, la fisura se cierra de forma natural como consecuencia de la vuelta a la sollicitación normal de compresión.



**Figura 4: Nudo superior del Pilar 11 tras la explosión**

El pilar de la esquina norte (pilar nº 6, Figura 3) presentaba un desplazamiento hacia el exterior y las correspondientes grietas a nivel de nudo, con desplazamiento entre sus bordes / labios. A nivel de encuentro con la viga y el zuncho perpendicular en la parte superior se aprecian grietas que se juntan sobre la arista exterior hacia la mitad del canto de la viga. La descripción anterior sugiere que el elemento se encuentra completamente fracturado a este nivel.

Desde el exterior y a mitad de la altura del tramo del pilar se aprecia una fisura horizontal que se continúa en ambas caras (en el pilar central 12 se observa una fisura de flexión similar que afecta a la cara exterior).

Arranque del tramo: se aprecia una fisura horizontal a nivel de arranque del pilar en la cara este y una fisura inclinada simétrica respecto a la superior con respecto al eje horizontal que pasa por la mitad de la altura del pilar en la cara norte.

En las vigas de techo se observó la fisuración de la cara de tracción como consecuencia de las flexiones alternas provocadas por la explosión. Y a nivel de forjado es muy llamativo el desprendimiento del revestimiento y de la suela inferior de las bovedillas de hormigón.

Se apreció que el color del hormigón de la suela de las viguetas ha virado ligeramente de color, tendiendo al rojizo, lo que implica la exposición del hormigón a altas temperaturas, sin mayor repercusión por tratarse de un forjado armado.

### 2.3. Lesiones en cerramientos y tabiquería

Anteriormente se han comentado los daños más evidentes de los que sufrieron cerramientos y tabiquería. De ellos llama la atención que ninguno de los 3 paños de fachada perdidos corresponda a la estancia de la explosión en la que salió despedida su ventana- de tal forma que los daños parecen haberse producido con más intensidad en la dirección N-S longitudinal que en la transversal E-O. Se atiende ahora a daños en las particiones que se han mantenido total o parcialmente en su sitio. Tiene el interés de contrastar su comportamiento con el que suponen los documentos normativos.

Tabiques de separación con el cañón de la escalera de 1º y 3º Izq. Ambos muestran una configuración de grietas en aspa, a unos 60º con la vertical. Se entiende que cada rama es producto de una fase de la explosión –sobrepresión y depresión posterior-.



**Figura 5: Tabique del 2º izq de separación con la escalera tras la explosión**

Tabique de separación con el cañón de la escalera del 2 izq, Figura 5: desaparición parcial, manteniéndose en la zona más protegida de la explosión, en la que pudo apoyar sobre la meseta y zancas de la escalera a efectos de flexión horizontal. No se aprecian lesiones derivadas.

Tabique de separación con el cañón de la escalera del 3º D, Figura 6. Se trata de un tabique confinado entre ambos forjados y sendos pilares en sus bordes, con la puerta de acceso en uno de sus extremos, de tal forma que, ante la presión horizontal derivada de la explosión, el tabique estaría en una situación de placa apoyada en 3 bordes (ambos forjados y el pilar). Se produce una rotura de flexión por tendeles, con una grieta horizontal a media altura (una única línea de rotura), sin producirse el semiempotramiento del tabique en el pilar adyacente que suponen las normas vigentes EC-6 [1] y DB-SE-F [2], que conduciría a tres líneas de rotura en el paño.



**Figura 6: Tabique del 3º D de separación con la escalera tras la explosión**

Losa cerámica del techo del 3º, Figura 7. Se mantiene, salvo en el cañón de la escalera. Por la parte inferior muestra una fisuración como 'de curvas de nivel' coincidentes con la disposición de la tabiquería y los cuelgues superiores de la losa.



**Figura 7: Losa cerámica del techo del 3º D de separación con la escalera tras la explosión**

### **3. Reparaciones. Proyecto y obra**

#### **3.1. Introducción**

Es evidente que con carácter previo a la realización de cualquier reparación de un elemento estructural se debe realizar su evaluación para resistente para determinar su grado de seguridad y fijar la intensidad de las obras a ejecutar –las referencias [3] [4] y [5] facilitan información al

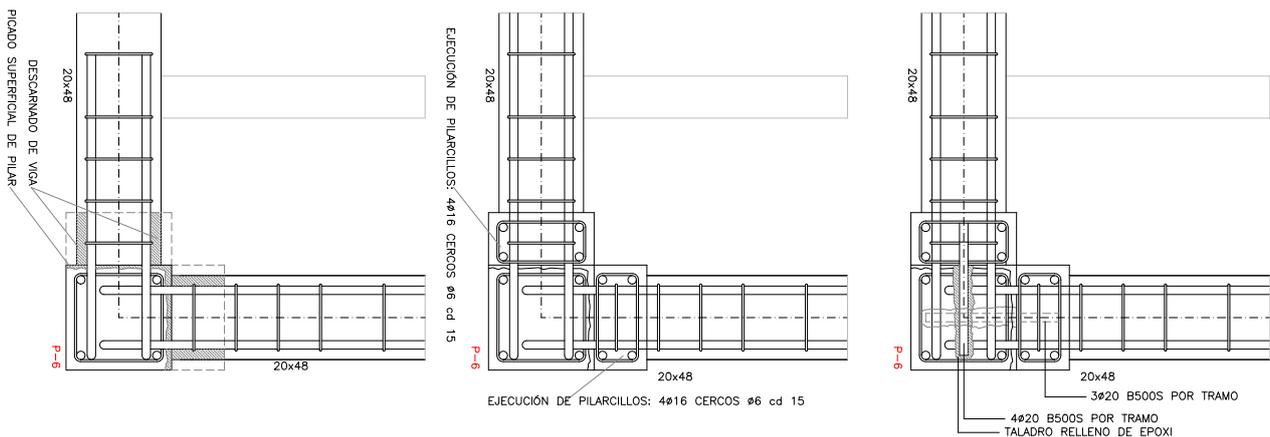
respecto-. No es éste sin embargo el objetivo de estas líneas, y además este aspecto en este caso tampoco daba pie a comentarios novedosos, por lo que se omite su descripción.

### 3.2. Actuaciones en vigas y pilares

Con la excepción de las precisas para el Pilar 6, las reparaciones estructurales necesarias se han considerado de pequeña entidad, pasando por restablecer la continuidad perdida del material hormigón, y vinculadas a actuaciones en la planta en la que se produjo la explosión. Para ello se aplicó una inyección con mortero epoxídico en una formulación comercial (Sikadur 52 inyección), Pilares 5, 10, 11, 12 y 18. En aquellos elementos en los que se vio afectada la superficie de hormigón, se actuó sobre ésta.

Pilar 10, vigas 6-12, 12-18 de techo planta segunda y viga 9-10 de cubierta: saneado de superficies en mal estado mediante repicado manual, limpieza de las armaduras y pasivación de las mismas con dos manos de Sika Monotop 610; seguidamente se realizará una regeneración del hormigón con mortero tipo Sika Monotop 612 o similar.

Viga 10-11 de techo 2º I: Se aplicó un tratamiento de protección superficial mediante revestimiento de la viga con 5 mm de mortero Sika Monotop 620 armado con ArmaGlass 50, Velo de fibra de vidrio para hormigones armados, aplicado en dos manos.



**Figura 8. Refuerzo del pilar 6 de esquina**

La actuación del pilar 6, el pilar de esquina que presentó desplazamiento en el tramo de la explosión, fue la única que se extendió a varias plantas. Se trató de una actuación en dos fases, una primera de consolidación de la situación existente y una segunda de refuerzo. En la primera se fijó la geometría deformada, reparando los nudos superior e inferior de la planta afectada por la explosión mediante inyección con mortero epoxídico de reparación (Sikadur 52 inyección). En la segunda fase se trató de dar una vía alternativa a las cargas que recogía el pilar, pequeñas en relación a situación y el tipo de edificación, mediante la colocación de sendos pilarcillos de 25x12,5 contiguos al pilar de esquina de 25x25 para que le sirvan de 'muletas', Figuras 8 y 9. Dichos pilarcillos tratan de apearse al pilar de planta 3ª y de recoger la carga de las vigas de techo que concurren en dicho pilar. Dado que la carga es moderada, el refuerzo no llega a cimentación: se prolonga la planta bajo la explosión, longitud a lo largo de la cual la carga se reconduce al pilar existente. Dichos pilarcillos fueron ejecutados con acero B-500 S y con mortero Sika Monotop 638 Mortero. En proyecto se previó la realización de una prueba de carga de la estructura reforzada



**Figura 9. Preparación del refuerzo del pilar de esquina**

### **3.3. Actuaciones en losas cerámicas**

En la zona del cañón de la escalera se realizó un forjado apoyado en los tabiques de cierre del cañón con un vuelo de 1,00 m hacia cada uno de los pisos. En este forjado se dejó una trampilla para acceso a cubierta. Las losas cerámicas, para las que en proyecto estaba previsto su demolición y sustitución por placas de cartón yeso, fueron reemplazadas también por este sistema a petición de los propietarios.

Durante la ejecución se descubrió que en el paño de forjado oeste del testero del techo de la vivienda de la explosión tenía su armadura de positivos cortada para permitir el tendido de los macarrones de electricidad sin resaltar. Ello llevó a un refuerzo convencional a positivos mediante tiras de fibra de carbono que quedaron protegidas mediante un revestimiento adecuado, y ello pese a que la historia del edificio había testimoniado su competencia en la situación encontrada.

También se encontró una fisura paralela a las viguetas en el forjado de suelo de la explosión que selló y cosió con una banda de mallazo embutida en un faja de 90 cm de espesor de microhormigón situada dentro del espesor del recrecido.

## **4. Conclusiones**

- Los acuerdos de indemnización alcanzados por parte de los propietarios y la compañía de seguros imposibilitaron el conocimiento completo de las lesiones experimentadas por el edificio- Urgen medidas legislativas que pongan a disposición de la comunidad los datos recabados por estas compañías, evitando que se limiten a meras valoraciones económicas

y que sea posible conocer el comportamiento de las edificaciones en estas situaciones extraordinarias. Este tipo de situaciones dificulta en gran medida la investigación en patología de estructuras (compárese con la situación americana donde los datos son fácilmente accesibles).

- Las lesiones producidas, en especial el arrancamiento de fachadas, sugiere la incorporación de tramos de pared de menor resistencia como forma de protección ante el colapso estructural en una situación accidental de explosión en edificios de fábrica.
- Se ha constatado la existencia de más lesiones en el piso superior que en el inferior, mostrando un peor comportamiento ante las descompresiones que ante las sobrecompresiones provocadas por la explosión.
- Las roturas que experimenta la tabiquería de fábrica cargada no siguen totalmente los modelos de rotura recogidos en SE-F: el enlace con el pilar adyacente no ha funcionado como restricción, produciéndose una única línea de rotura central correspondiente a las coacciones introducidas por los forjados superior e inferior.
- Por el contrario, la losa cerámica de techo muestra unos patrones de rotura de la fábrica que corresponden a los que desarrolla la teoría.
- La situación de fuera de ordenación fue determinante para que los propietarios se decantasen sin excepciones por la reparación del inmueble. El sistema empleado, descrito en estas líneas, ha resultado un éxito y ha permitido la reocupación del inmueble.

## 5. Referencias

- [1] EN 1996-1-1: 2005. Eurocódigo 6. Proyecto de estructuras de fábrica. Parte 1-1: Reglas Generales para estructuras de fábrica armada y sin armar (Ratif. AENOR en junio de 2007) y EN 1996-1-1:2005+A1:2012
- [2] CTE SE-F Código Técnico de la Edificación. Documento Básico 'Seguridad Estructural: Estructuras de Fábrica'. Ministerio de Vivienda. R.D. 314/2006, de 17 de marzo, Código Técnico de la Edificación y modificaciones posteriores (versión abril 2009).
- [3] ARAGON FITERA, J., "Inspección técnica, diagnosis y reparación de forjados de hormigón armado". Servicio de publicaciones del COAG. Santiago, 2004.
- [4] FREIRE TELLADO, Manuel J., "Criterios para la evaluación de estructuras de hormigón armado". Hormigón y Acero nº 237 (2005). Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC).
- [5] Fernández Gómez, J. et al. "Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón. Ensayos no destructivos y pruebas de carga". INTEMAC S.A. Madrid, 2001.