DIJOUS A L'ACE

42

Quaderns d'estructures

Editorial | Editorial

Pre-estudio de un modelo de clasificación de la seguridad estructural

Sessions Construmat | Sesiones Construmat

V Congreso de ACHE

Homenatge a Joan Torras i Guardiola
Homenaje a Joan Torras Guardiola

Joan Torras i Guardiola. Biografia (1827-1910) | Joan Torras Guardiola. Biografía (1827-1910)

Miscel·lània | Miscelánea

Llista de membres de l'Associació
Listado de miembros de la Asociación

ASSOCIACIÓ DE CONSULTORS D'ESTRUCTURES

Desembre 2011. **Preu 9,00 €**

Edita

Associació de Consultors d'Estructures (ACE)
Quaderns d'Estructures (Dijous a l'ACE)
Número 42
Desembre 2011
Preu de l'exemplar: 9,00 €

JUNTA DIRECTIVA
President
David Garcia i Carrera
Vicepresident
Antoni Blázquez i Boya
Secretari
Josep Baquer i Sistach
Tresorer
Xavier Mateu i Palau
Àrea Qualitat
Martí Cabestany Puértolas
Àrea Cultural
Emma Leach i Cosp
Àrea Formació
Cesc Aldabó Fernández
Àrea Tècnica
Jorge Blasco Miguel
Àrea Professional
Enric Heredia Capmany-Gaudet
Àrea Social
Miquel Rodríguez Niedenführ
Gerent
Sandra Freijomil i Tramunt
Equip de Redacció
Sandra Freijomil i Tramunt
Emma Leach i Cosp
Xavier Mateu i Palau
Publicitat
Ana Usea i Garí
Tel. 93 459 33 30
Col·laboradors d'aquest número
J. Baquer, J. Blasco, A. Blázquez, R. Brufau, X. Falguera, A. Feliu, G. Formentí, E. Heredia, A. Lecha, J. López-Rey, J. Maristany, L. Miró, M. Morte, J. Parés, A. Paricio
Maquetació i producció
Baber
Núm. d'exemplars 750

Impressió: EGS. Rosari 2. Barcelona
Dipòsit legal: B. 28347-2000

La redacció de la revista no es fa responsable de les opinions, textos i imatges dels autors dels articles.

Redacció i Administració:
Jordi Girona 31, edifici Til·lers
08034 Barcelona
tel. 93 401 18 88 / fax 93 401 56 72
e-mail: info@consultorsestructures.org
web: www.consultorsestructures.org
Horaris d'oficina:
dilluns a divendres (9 a 14 hores)

Sumari

Pàg. 2 **1** **Editorial** | *Editorial*
Junta Directiva

Pàg. 4 **2** **Pre-estudio de un modelo de clasificación de la seguridad estructural**
Comisión de Rehabilitación (Josep Baquer, Jorge Blasco, Amparo Lecha, Xavier Falguera, Enric Heredia y Antoni Paricio)

Pàg. 24 **3** **Sessions Construmat** | *Sesiones Construmat*
El sistema eMii. Edificación Modular Industrializada Integral
Miguel Morte Morales
Forjados cerámicos: estudio de un colapso
Laureà Miró
Rehabilitació de la fàbrica CACI a Badalona
Rehabilitación de la fábrica CACI en Badalona
Jordi Parés

Pàg. 40 **4** **V Congreso de ACHE**
Aproximaciones al análisis de la resistencia al fuego (REI) de un forjado unidireccional
Jorge Blasco Miguel, Jordi Maristany Carreras y Javier López-Rey Laurens
Salón de banquetes para restaurante en Olot
Antoni Blázquez Boya y Gerard Formentí Cunill

Pàg. 56 **5** **Homenatge a Joan Torras i Guardiola** | *Homenaje a Joan Torras Guardiola*
Robert Brufau

Pàg. 58 **6** **Joan Torras i Guardiola. Biografia (1827-1910)** | *Joan Torras Guardiola. Biografía (1827-1910)*
Assumpció Feliu

Pàg. 66 **7** **Miscel·lània** | *Miscelánea*

Pàg. 70 **8** **Llista de membres de l'Associació** | *Listado de Miembros de la Asociación*

Forjados cerámicos: estudio de un colapso

Laureà Miró. «Blog: www.laureamiro.com»

Este artículo es una transcripción, de forma aproximada y con las adaptaciones que he considerado oportunas, de la ponencia que la *Asociación de Consultores de Estructuras* y el *Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de la Edificación de Barcelona* tuvieron la gentileza (¡y la osadía!) de asignarme en el salón Construmat el 19 de mayo de 2011.

1. PRESENTACIÓN DEL CASO

Estudiaremos el caso de una nave industrial situada en el municipio de Dosrius, cerca de Mataró, donde se produjo un aparatoso accidente al hundirse un forjado. Se trata de una nave construida a principios de la década de 1970 y compuesta por forjados cerámicos y vigas Void. Aquí tenemos una foto que hemos podido rescatar del proceso de construcción:

Figura 1.

Como se puede observar la estructura resistente está formada por vigas alveoladas o Void sobre las que descansan viguetas cerámicas con sus bovedillas. Las vigas alveoladas están apoyadas en pilares metálicos y paredes de fábrica. Esta es una sección representativa (fig. 2).

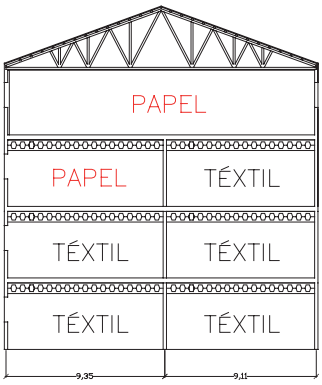

Figura 2.

La nave estaba tradicionalmente dedicada a la industria textil, pero hace unos 4 años se vendió parcialmente a una empresa dedicada a la impresión y manipulación de papel y cartón. Y entonces empezaron los problemas...

Datos de las vigas Void:

- Luz máxima de 9,35 m.
- Alveolos hexagonales sin macizar.
- Formadas a partir de IPN-450, con un canto total de 64 cm.

Figura 3. Vista de las vigas Void. Los alveolos centrales están tapados por la pintura de protección frente al fuego.

Datos de los forjados cerámicos:

- Luces de 5,00 m.
- Canto total de 20 cm.
- Capa de compresión de 3 cm por encima de la vigueta, pero evidentemente sin rastro de mallazo.
- Armados inferiormente con 2ϕ16 y superiormente con 1ϕ6 (sin continuidad).

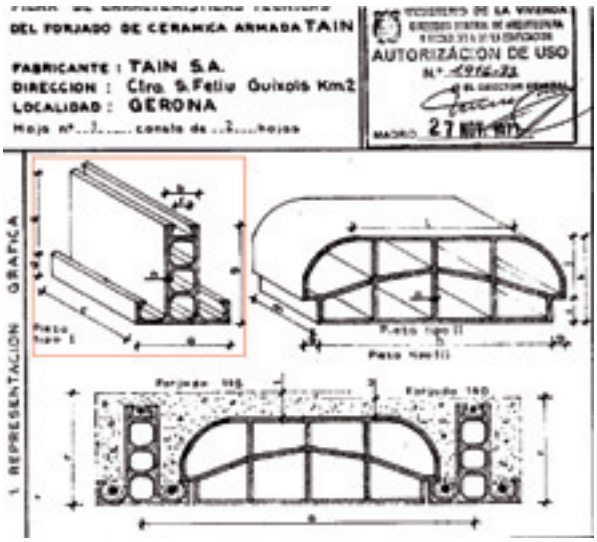

Figura 4. Autorización de uso del forjado cerámico, cortesía de Xavier Madorell (a partir de una recopilación del ITEC).

Datos de los pilares:

- Formados por 2 × UPN según la carga vertical.
- Aparecen secciones fuera de catálogo.
- Ningún sistema explícito de arriostramiento.

Parte de los forjados cerámicos fueron reforzados con perfilería metálica. El refuerzo era en realidad bastante inoperante, cosa que provocó una falsa sensación de seguridad que acabó siendo trágica. Los errores detectados en el refuerzo fueron los siguientes:

- Insuficiencia del dimensionado para soportar incrementos de carga significativos.
- Falta de retacado de los perfiles con el techo.
- Interrupción del refuerzo en puntos críticos.
- Apoyo de vigas en paredes de cerramiento sin continuidad estructural.

Figura 5. Planta tercera: viga parte-luz apoyada en ventana.

Figura 6. Planta segunda: el refuerzo no abarca el ancho del forjado, cosa que provoca el descenso de unas viguetas respecto de las otras.

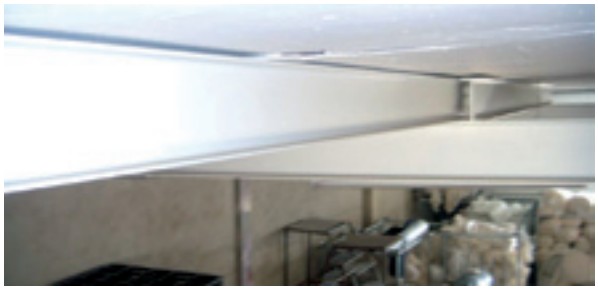

Figura 7. Planta segunda: falta el retacado.

2. RELATO DEL COLAPSO

2.1. La situación previa

Como ya hemos comentado las plantas superiores de la nave cambiaron de tipo de industria: de textil a papelera. No hace falta hacer comentarios sobre la diferencia del nivel de carga.

Figura 8. Industria textil (plantas inferiores).

Figura 9. Nueva industria papelera.

Pero es que además la industria del papel requiere de un elemento tan peligroso como su nombre indica: *el toro* (o carretilla elevadora).

Figura 10.

Decimos que el toro es peligroso porque al levantar la carga este transmite unas reacciones puntuales sobre sus dos ruedas delanteras muy importantes: solamente decir que la normativa (UNE-EN 1991-1-1:2002 o Eurocódigo 1) aplica un coeficiente dinámico de un 40 % para ruedas neumáticas y de un 100 % para ruedas macizas. Ya tenemos, por tanto, dos elementos peligrosos: el importantísimo incremento de carga y el uso constante del toro.

2.2. Los síntomas

No obstante, los dos elementos que hemos indicado no fueron suficientes para provocar el accidente (faltará un tercero que comentaremos luego), pero sí dieron lugar a unos síntomas que, si hubieran sido detectados e interpretados adecuadamente por un técnico, hubieran mostrado que algo no funcionaba bien:

- *Síntoma núm. 1:* exceso de deformación de los forjados cerámicos.

Figura 11. Se aprecia cómo el suelo se deforma entre las vigas principales.

- *Síntoma núm. 2:* lesiones en los forjados y cerramientos.

Figura 12. Lesiones en forjados.

Figura 13. Lesiones en cerramientos.

- *Síntoma núm. 3:* vibraciones molestas al circular el toro y funcionar la maquinaria.

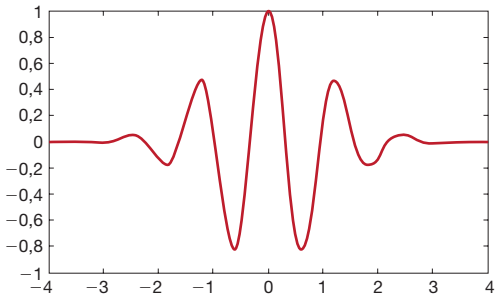

Figura 14.

2.3. El tercer elemento

¿Cuál es pues el tercer elemento que nos falta para provocar el accidente? Pues salir a la terraza...

Figura 15.

Figura 16.

Efectivamente el propietario de la nave decidió aprovechar el espacio inútil de la terraza, así que abrió una puerta y empezó a sacar material con el toro. Todos sabemos que las terrazas se calculan para sobrecargas muy moderadas, que tienen hormigón para las pendientes que no siempre es ligero y que, si se dejan sin ningún tipo de mantenimiento durante 40 años, suelen deteriorarse bastante. Al final, pues, pasó lo que tenía que pasar...

2.4. El accidente

Con la terraza bien cargada de material, en una operación de levantamiento de la carga por parte del toro, 30 metros cuadrados del forjado de la terraza se hundieron (agujero de 6 × 5 metros). El forjado, el material y el operario dentro del toro se precipitaron a la planta inferior... cuyo forjado también cedió. Y todo se precipitó a la planta baja por encima de la solera.

Figura 17.

Figura 18.

Cuando pasa una cosa de estas ya solo queda confiar en los milagros. Y el milagro se produjo: no había nadie en las plantas inferiores y el operario del toro salió prácticamente ileso.

En las figuras 19 y 20 se aprecia cómo quedaron las secciones cortadas del forjado cerámico.

Figura 19. Sección sobre viga: las armaduras han resbalado por no tener suficiente longitud de anclaje.

Figura 20. Sección sobre pared: las armaduras han sido cortadas, seguramente por la existencia de patillas.

Aunque estas cosas siempre son difíciles de determinar, en principio el colapso puede ser atribuido a un fallo por cortante.

Pasado el primer susto el ayuntamiento suspendió la licencia de actividad de la industria y exigió un certificado de solidez del edificio. Y entonces me llamaron a mí: hala, ¡certifica!

3. ANÁLISIS REALIZADO

3.1. Análisis del forjado cerámico. Prueba de carga.

En primera aproximación (todo lo burda que se quiera) el momento resistente de un forjado cerámico se puede calcular como si de un forjado de viguetas de hormigón se tratara. Pero el cortante y la flecha son de determinación mucho más difícil, porque no disponemos de la experiencia y sobre todo de la cantidad de ensayos de los que disponemos para los elementos de hormigón. Determinar su resistencia y buen comportamiento sin una prueba de carga es muy aventurado.

De todas formas hay que indicar que para que una prueba de carga sea realmente representativa es necesario haber estimado, aunque sea aproximadamente, la capacidad de carga del forjado y haber realizado una predicción de su comportamiento. La prueba de carga, además, tendrá que estar instrumentalizada y la tendrá que hacer personal especializado. Si no es así más vale no hacerla porque podemos llegar a conclusiones totalmente equivocadas.

En nuestro caso se cargaron tres viguetas, a lo largo de toda su luz, con 5,00 kN/m^2 mediante bidones de agua.

Figura 21. Aplicación de la carga.

Figura 22. Apuntalamiento claramente incorrecto, ya que al no tocar el techo no es estable si no se arriostra bien.

La prueba de carga nos permitió certificar la bondad del forjado para una sobrecarga moderada (del orden de 3,50 kN/m^2). Hay que tener en cuenta que las pruebas de carga nunca permiten asignar una sobrecarga igual a la ensayada, ya que hay que contar con la consideración del margen de seguridad.

Hubiera sido deseable extender la carga a la totalidad de las viguetas del vano, porque cargar solamente unas pocas, aunque resulta bastante más barato, provoca que las viguetas no cargadas también colabo-

ren a través de la capa de compresión y del pavimento, con lo que los resultados se ven muy alterados.

Se tomaron medidas no solamente de la deformación del forjado cerámico, sino también de las vigas alveoladas. El resultado fue bastante sorprendente, ya que el forjado cerámico recuperó prácticamente toda su deformación al retirar la carga y las vigas metálicas recuperaron únicamente el 80%, aunque su deformación máxima fue mucho menor de la esperada. Lo que sucede en las pruebas de carga es que se movilizan elementos que en principio no están contabilizados como resistentes. Así, en nuestro caso atribuimos el extraño comportamiento de las vigas metálicas a la creación de una cabeza de compresión formada por el tramo de viguetas por encima de la viga y el pavimento, de forma que en realidad la prueba de carga movilizó una viga mixta. Además, por supuesto, las uniones de la viga con los pilares no son articulaciones perfectas...

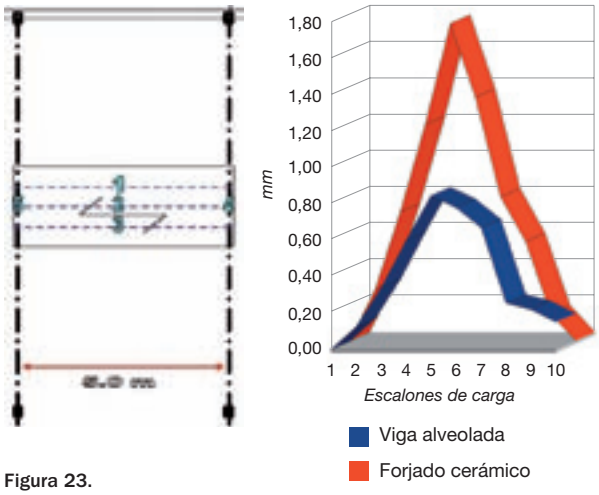

Figura 23.

3.2. Análisis de los pórticos metálicos

A diferencia de los forjados cerámicos, los elementos metálicos son totalmente previsibles y no guardan, en principio, ningún misterio. Es importante no obstante ajustar la carga permanente actuante, midiendo bien los grosores y, a ser posible, pesándola, porque si no la dispersión en los resultados puede ser grande.

El análisis de los elementos metálicos de la zona interior fue relativamente positivo, de forma que se asignó una sobrecarga de uso entorno a los 4,00/5,00 kN/m^2 (aunque muy por debajo de las necesidades del propietario de la industria papelera). El análisis de las vigas y pilares de la terraza fue mucho más preocupante, y se estimó que estaban trabajando ya al límite con la carga permanente.

Todo esto a carga vertical. El problema es que todos los pórticos están articulados y no hay prácticamente elementos explícitos de arriostramiento. Un modelo de cálculo apropiado sería el de un pórtico plano, donde todas las barras estén articuladas incluso en los arranques de cimentación (porque se supone que las zapatas son pequeñitas y giran). En la figura 24 se puede observar la práctica ausencia de paredes de carga que sirvan de arriostramiento en el sentido de los pórticos.

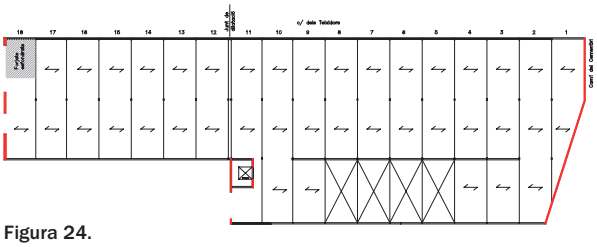

Figura 24.

Evidentemente, si ponemos una mínima carga de viento e intentamos calcular el pórtico articulado en un programa de ordenador obtendremos un error, porque no se trata de una estructura: es un mecanismo sin estabilidad lateral y no es estable.

Pero la nave lleva casi 40 años en servicio y no se ha caído. ¿Por qué? Los motivos son variados:

- Las uniones no son del todo articuladas.
- Las zapatas giran menos de lo que se supone.
- Las pocas paredes existentes tienen una mayor capacidad de arriostramiento de lo que la normativa admite.
- El viento ha soplado mucho menos de lo previsto en la norma de acciones.

4. PROPUESTA DE REFUERZO

Concluido el análisis la propiedad solicita el diseño del refuerzo necesario para lograr una sobrecarga de uso de 15,00 kN/m^2 y la circulación de carretones elevadores.

Los requerimientos son tan elevados y la carga se encuentra tan alejada de la que se tuvo en cuenta durante la concepción de la nave que el proyecto de refuerzo tiene que ser bastante drástico:

- Capa de compresión adicional de 12 cm de grosor con doble mallazo, para permitir la circulación de los toros (cargas de punzonamiento).
- Refuerzo de todas las viguetas cerámicas con vigueta metálica inferior.
- Macizado de todos los alveolos de las vigas Void, para convertirlas en vigas IPN normales.

- Refuerzo de los pilares metálicos, añadiendo perfiles de forma que se generen nudos rígidos que resuelvan la precaria estabilidad lateral.
- ¿Refuerzo de la cimentación? Lo ignoramos, ya que durante las inspecciones no se pudieron realizar catas en la cimentación.

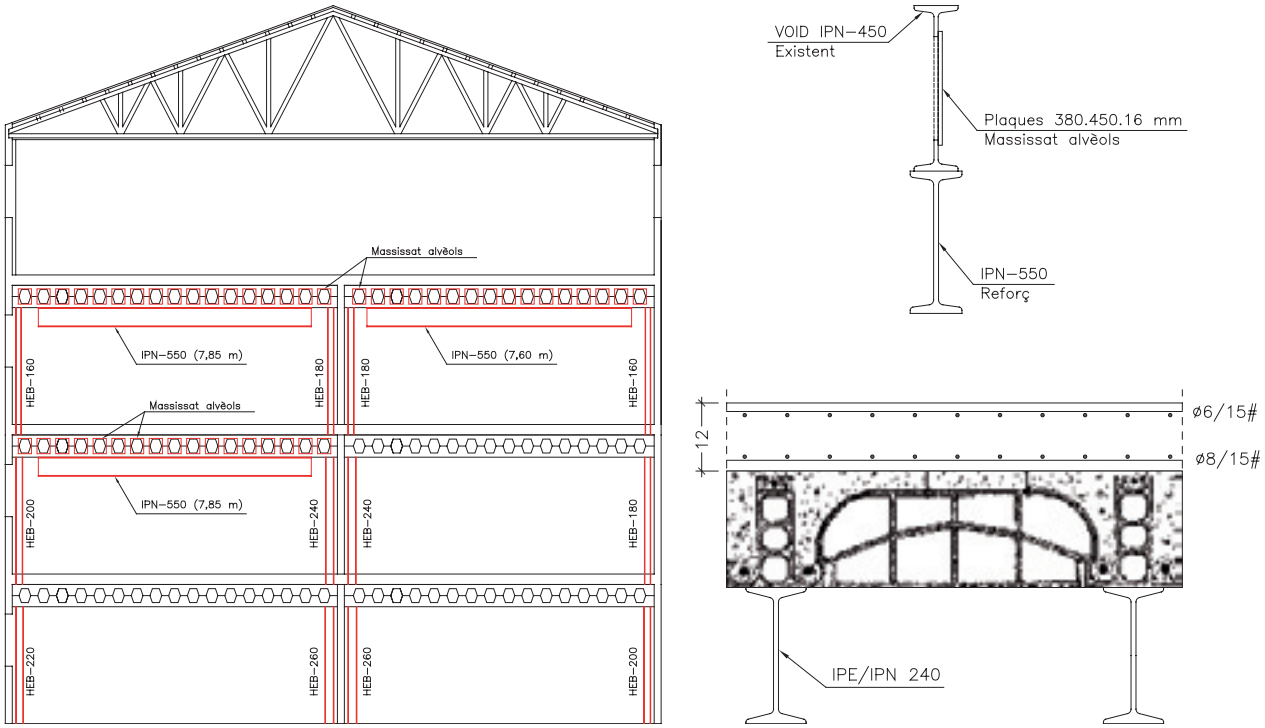

Figura 25.

BOSCH & VENTAYOL
GEO SERVEIS
SONDEIGS I ESTUDIS GEOTÈCNICS
PIEZOCON, ASSAIGS CPTU.
ENGINYERIA GEOLÒGICA
GEOLOGIA DEL MEDI AMBIENT
HIDROGEOLOGIA

Bosch & Ventayol Geoserveis S.L és una empresa creada el 1990, amb l´objectiu d'oferir un servei de qualitat en el camp de l'Enginyeria Geològica, la Geologia del Medi Ambient i els Reconeixements geotècnics en general.

Sondeigs:
Perforació a rotació amb extracció de mostra contínua.
Geòleg a peu de sondeig.

Piezocons - Assaigs CPTU, i Electric Field Vane-Test:
L'assaig CPTU és un dels més interessants, sofisticats i fiables que es poden fer "in situ", especialment en terrenys argilosos poc compactes i en sediments sorrencs sota el nivell freàtic.
L'assaig Vane-Test "in situ" ens permet obtenir un registre automàtic i informatitzat de la cohesió no drenada de sòls cohesius.

Estudis Geotècnics:
- Qualitat i rigor.
- Ajustats a les necessitats del projecte.
-Supervisió geològica en fase d'obra.

Hidrogeologia:
- Estudis per a l'excavació de soterranis sota el nivell freàtic.
-Instal.lació de piezòmetres de control.

Estudis de contaminació de sòls i aigües.

Cartografies Geotemàtiques.

Contacte:
Seu Social:
C/ Rocafort 261º àtic 2º
08029 Barcelona
Magatzem i oficines:
C/ Indústria 26. Poligon Industrial Buvisa.
08329 Teià.
Tel: 93-5408542 Fax: 93-5408539
info@boschiventayol.com
www.boschiventayol.com
http://geoventayol.blogspot.com/

Empresa acreditada per la Generalitat de Catalunya com a Laboratori d'assaigs per al control de qualitat de l'edificació. Núm. Declaració Responsable: LB600075