

X Congreso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción.

CONPAT 2009. Valparaíso-Chile.

29 de Septiembre al 2 de Octubre

IMPORTANCIA DE LA METODOLOGÍA EN LA INTERPRETACIÓN DE DAÑOS. ESTUDIO CRÍTICO EN UN EDIFICIO ANTIGUO

Vicente Alegre¹, Valentín Ródenas¹, Bibiana Macias¹, Sergio Villalba²

¹COTCA, S.A. Calle Tuset, 8. 08006 Barcelona. España. Tel. 932187146 / Fax 934152365, e-mail info@cotca.com

²CRACK. Ingeniería Catalana, S.L. Calle Tuset, 8. 08006 Barcelona. España. Tel. 932187146 / Fax 934152365, e-mail svillalba@crack-ingenieria.cat

RESUMEN

La metodología para el estudio de daños, es importante en todas sus fases: recopilar la información previa posible, visita preliminar para plantear los trabajos, toma de datos y catálogo de los daños exhaustivo, planteamiento de catas y ensayos necesarios, análisis teórico modelizando el fenómeno estudiado, caracterizándolo y llevando a cabo en su caso estudios de sensibilidad, análisis de las causas, conclusión y propuesta de actuación.

En esta ponencia se comentan las bases de partida para un correcto estudio de daños y se presenta el caso de daños en un edificio antiguo con la larga historia de cargas y con daños en los contrafuertes en el que se constata la importancia de tener en cuenta las bases de partida y de seguir correctamente la metodología de un estudio de daños con el desarrollo de las fases del estudio para evitar errores en el diagnóstico.

Palabras clave: Metodología, interpretación de daños, estudio de sensibilidad, modelización, errores.

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de daños, las patologías, requieren una metodología que empieza a estar muy extendida entre los especialistas, pero que exige un esfuerzo didáctico para que se pueda incorporar al bagaje de los que no lo consideran necesario porque, ellos como técnicos ya se consideran especialistas.

Los estudios de daños están entre la ciencia y la técnica, al haberse sobrepasado los límites de las tolerancias de algunas de las propiedades o de los estados límites de la estructura. Para el especialista, el patólogo, tiene la virtud del continuo aprendizaje, aprender del error, y ante la gran variedad de problemas que se plantean es necesario actuar con humildad y rodearse de un equipo multidisciplinar adecuado al tipo de daños que se estudian.

Los pasos básicos, en la metodología científica, son de forma resumida los siguientes:

Recopilar toda la información previa posible, conocer la obra en su conjunto y hacer una toma de datos exhaustiva de los daños y del estado actual; realizar los ensayos, catas e instrumentación necesarias para definir lo realmente construido; modelizar teóricamente el comportamiento para correlacionar causas y daños; analizar las causas a partir de todo lo anterior y tomar decisiones en función del nivel de conocimiento adquirido y las consecuencias de un nuevo error.

La necesidad de metodología se pone de manifiesto a partir de un ejemplo, que es el estudio de los daños en los contrafuertes de las Atarazanas de Barcelona, un edificio situado en la fachada marítima de la ciudad al pie de la montaña de Montjuïc. Se construyeron como un almacén de galeras al servicio de la Corona de Aragón y tienen más de 700 años de historia.

2. DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

La construcción del edificio se sitúa en una primera fase entre 1.283 y 1.328 y luego una segunda fase entre 1.328 y 1.390. El resultado final es una sucesión de naves góticas sostenidas sobre pilares de piedra y con cubiertas de madera a dos aguas. Un espacio cubierto pero amplio, con luz y lugar de trabajo protegido del agua.

Ha sufrido varias ampliaciones y durante los siglos XVIII y XIX fue un equipamiento militar. Es Monumento Histórico Artístico desde 1.976. En la actualidad tiene varios usos, y la zona en estudio forma parte del Museo Marítimo de la ciudad. Desde 1.985 existe un Plan Director de Reforma y Restauración de las Atarazanas.

En el lateral de las Ramblas, existen un total de 11 contrafuertes que soportan la cubierta a dos aguas, y forman parte junto con un muro perimetral, del cerramiento lateral del edificio.



Figura 1. Vista general de las Atarazanas. Figura.2. Vista general de los contrafuertes.

Los contrafuertes tienen una altura de unos 10.2 metros una longitud de 3.15 metros y una anchura de 0.68 metros y el aspecto exterior es la mampostería tomada con mortero.

Siguiendo los principios básicos de un estudio de daños, lo primero que se debe hacer es recopilar el máximo de información previa. En este caso concreto la información previa es abundante por su historia y es importante tenerla en cuenta. El último documento que analizó los daños era fundamentalmente estructural y no comenta que conoce de la historia anterior, ni de la última reparación realizada en otros contrafuertes opuestos donde se vio, por ejemplo, que no eran todos de mampostería, sino que interiormente eran de hormigón en masa. Tampoco se hace eco de obras de instalaciones recientes (cajones de hormigón próximos a los cimientos de la alineación de las Ramblas).

3. TOMA DE DATOS. DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS

En los once contrafuertes aparecen grietas con las siguientes características:

- En general se desarrollan en una altura que va desde la acera a unos tres metros de altura.
- Las grietas son algo inclinadas siguiendo principalmente un escalonamiento por las juntas de la mampostería.
- Las grietas se acercan al muro de fachada (transversal al contrafuerte) a medida suben en altura.
- No se aprecian fisuras sobre la cota de apoyo del arco.
- Los dos primeros contrafuertes opuestos, que en principio son similares a los estudiados, fueron reparados con un pretensado y un recalce.



Figura 3. Grieta en el contrafuerte.



Figura 4. Detalle de la grieta en el contrafuerte 7.

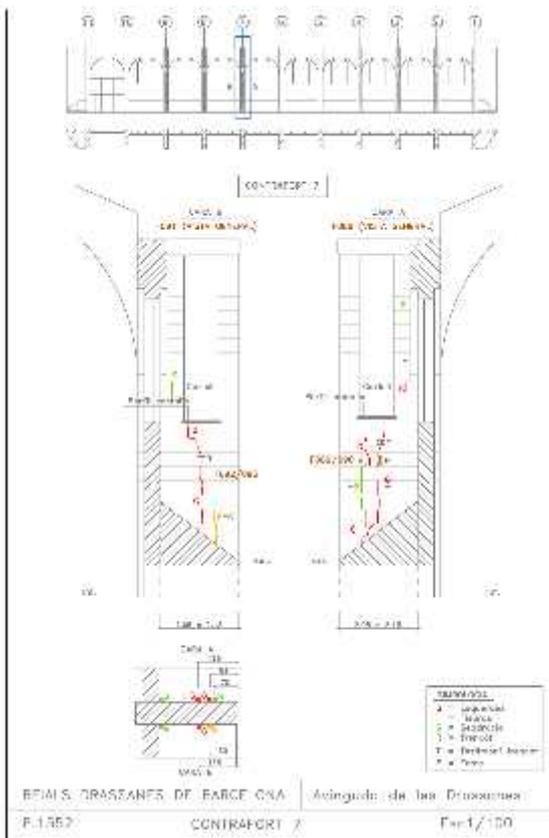


Figura 5. Daños en el contrafuerte 7

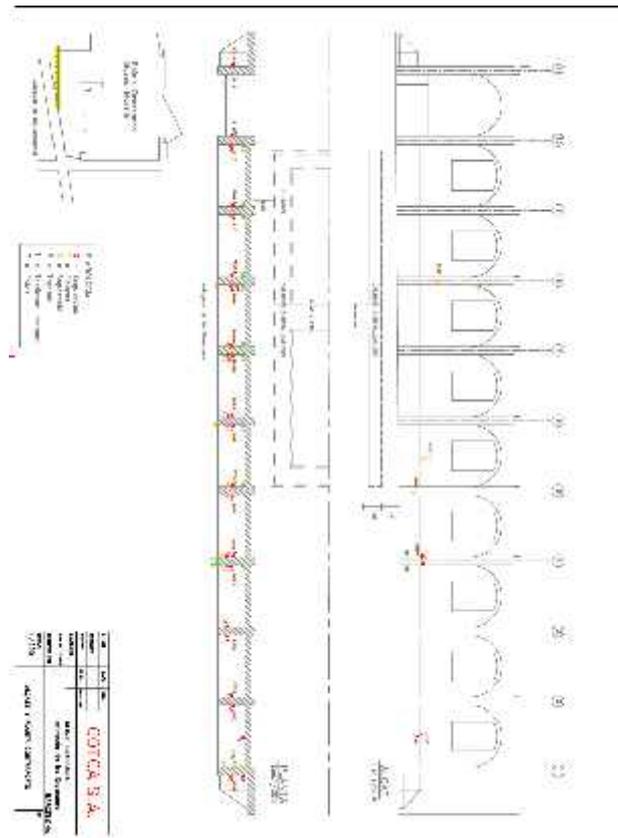


Figura 6. Planta y alzado de la pared y contrafuertes.

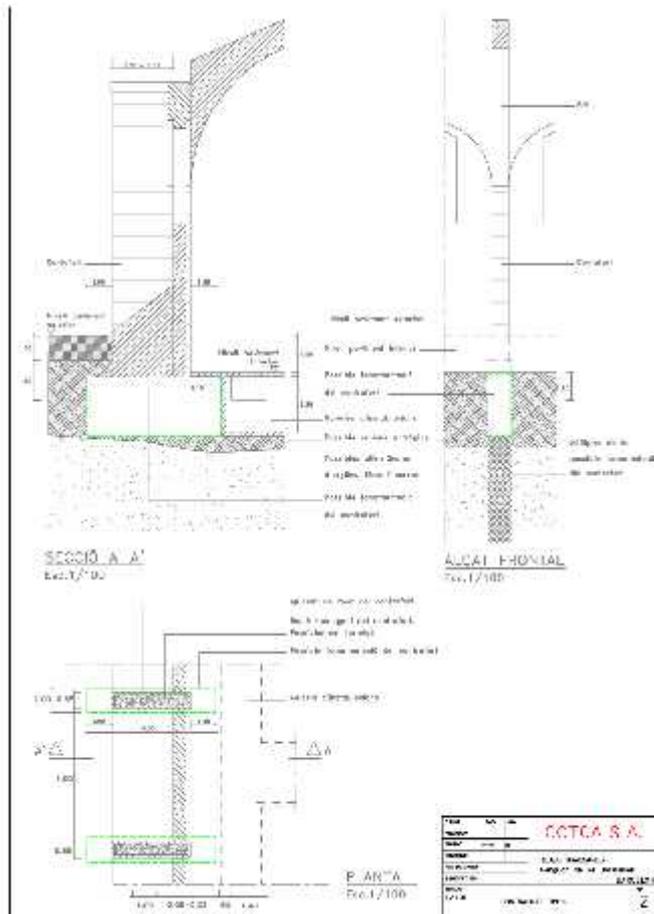


Figura 7. Sección tipo del contrafuerte

4. ENSAYOS

Al ser un edificio del Patrimonio no se pueden, a priori, realizar catas. Se plantean entonces ensayos no destructivos con georradar, para estudiar el subsuelo próximo a la posible base de cimentación, y la composición interna del contrafuerte, que dieron la siguiente información:

- La cimentación del contrafuerte no es fácil de detectar con el georradar y puede tener del orden de 5 metros de profundidad y los rellenos antrópicos tienen una potencia de unos 3.5 a 5 metros.
- El contrafuerte está formado por un aplacado de piedra de 8 a 10 centímetros, e internamente es un relleno homogéneo similar al hormigón en masa. Esto contradice el último informe que lo consideraba de mampostería... (sin hacer ensayos de información).
- La grieta atraviesa el contrafuerte de lado a lado.
- Realizados sondeos se constata que el terreno de relleno tiene una potencia entre 3,5 y 5 mts, y que los asentamientos previsible a 5 mts de profundidad oscilan entre 7 ó 8 cm (sondeos 2 y 3) o 2 cm (sondeo 1) para la carga del contrafuerte.

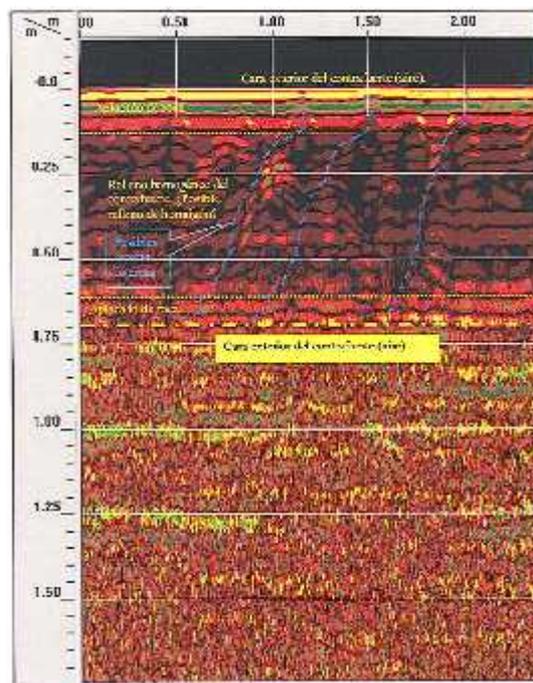


Figura 8. Perfil transversal del contrafuerte.

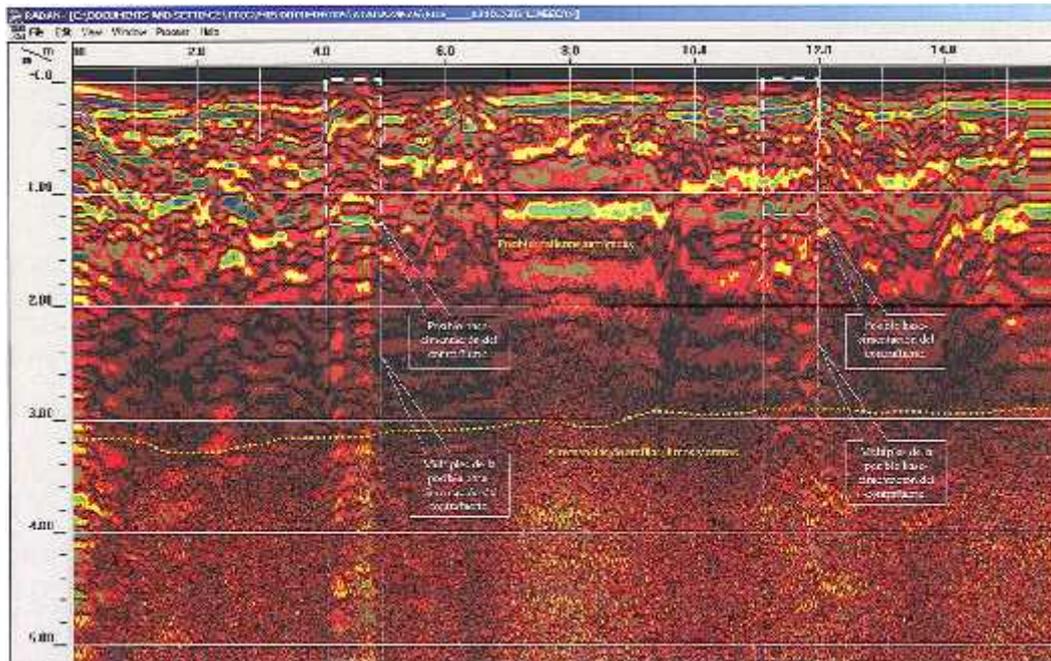


Figura 9. Perfil longitudinal con dos contrafuertes.

- Al realizar una nueva investigación bibliográfica, se constató que en 1940 el Arquitecto de Patrimonio hizo los contrafuertes imitando los muros antiguos, con hormigón en masa recubierto de mampostería aplacada.

5. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

A la vista de las fisuras el informe anterior había realizado un modelo elástico-lineal muy completo (SAP 2000) considerando solo el peso propio.

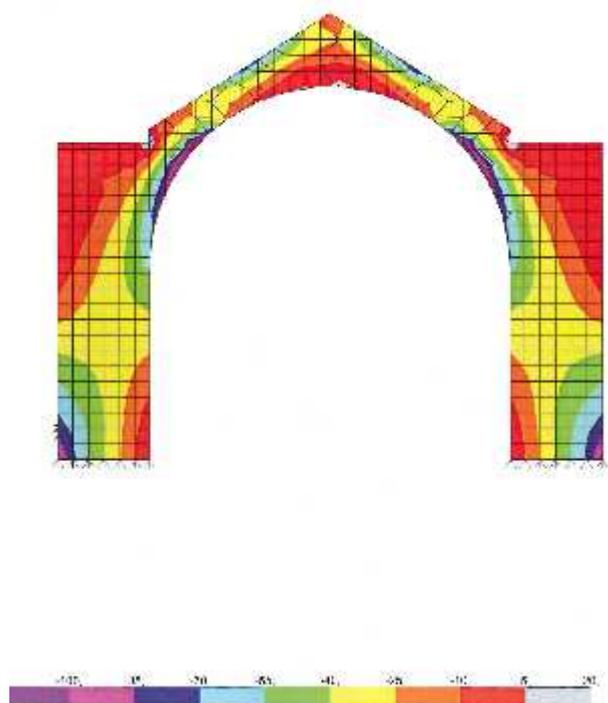


Figura 10. Análisis del pórtico sin tener en cuenta la posibilidad de asientos.

Con las gráficas que se extraen del modelo, se llega a la conclusión de que hay tracciones importantes “superiores a las de la fábrica de mampostería” que justifican las grietas existentes, sin embargo solo analizando el modelo vemos que con el peso propio la zona con tracciones máximas está comprimida, y por lo tanto no justifica el daño.

Por otra parte si esas tracciones son importantes, el modelo habría que mejorarlo ya que una vez “rota esa unión la transmisión de cargas es diferente”.

Es por lo tanto esencial ver las limitaciones del modelo por potente que sea, y estudiar la sensibilidad de las variables a las hipótesis de partida.

En este caso era importante porque:

- La fábrica no era de mampostería, era hormigón en masa recubierto de mampostería.
- La grieta atravesaba los dos materiales, por lo que no era grave considerar un valor medio de módulo de elasticidad.
- Con el modelo no se interpretaba el daño, y tenía que ayudar a pensar que la causa era otra, y no la que se dictaminó... (poca resistencia de la fábrica de mampostería, o cargas horizontales excesivas sobre el contrafuerte).

El análisis correcto, empezaba por la recopilación de información que entre otras cosas decía que:

- Se habían hecho unos cajones de instalaciones próximos a la cimentación por el interior en la última rehabilitación.
- El terreno de apoyo tiene una potencia de rellenos importante.
- Los daños habían aumentado últimamente, aunque se había vuelto a una nueva situación de equilibrio tras la fisuración.

Si se introducen estos posibles asentos en el terreno, la justificación de las tracciones en esa zona comprimida por el peso propio, según el modelo es “más accesible”.

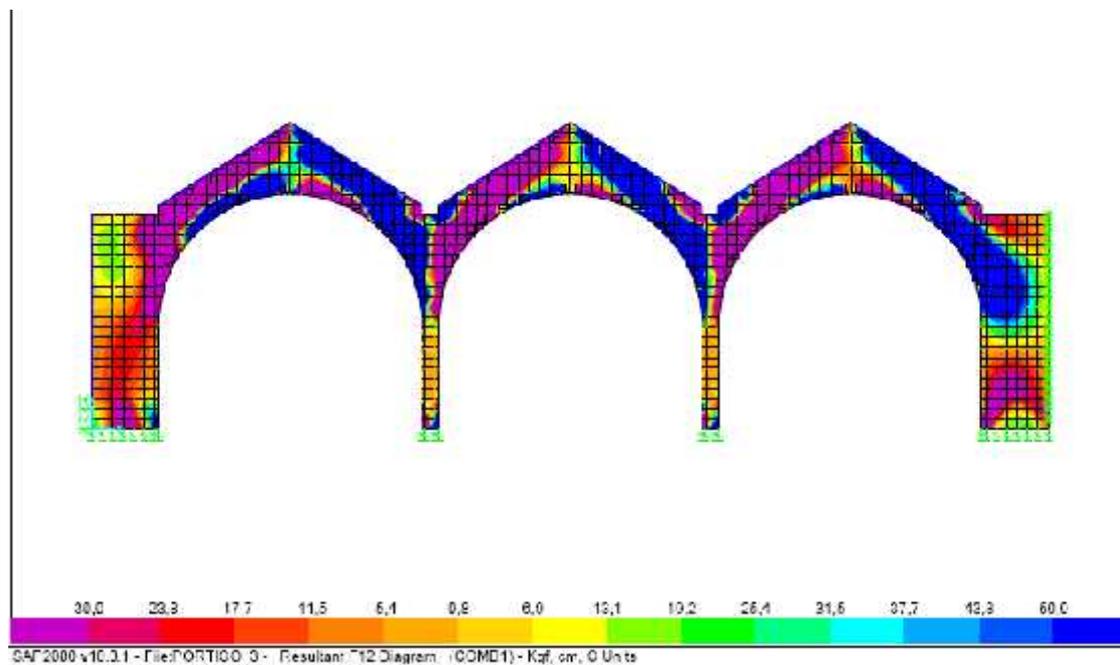


Figura 11. Análisis estructural del pórtico tipo teniendo en cuenta la interacción suelo estructura.

7. ASPECTOS METODOLÓGICOS. CONCLUSIONES

A través de este ejemplo, se ponen de manifiesto las disfunciones a que puede dar lugar no seguir la metodología, y se pueden también resaltar las principales características de un estudio de daños:

- La información, nunca es suficiente, y menos en edificios con una larga historia de cargas y de actuaciones.
- La toma de datos ha de ser exhaustiva, lo que permitirá valorar los riesgos de las acciones que intervienen, y correlacionar causas y efectos, detectando por ejemplo zonas mejor cimentadas, o menos afectadas por alejarse de las últimas instalaciones llevadas a cabo.
 - Los ensayos son necesarios para estudiar la sensibilidad de las variables a las hipótesis de partida que se establezcan. Si no se pueden hacer ensayos destructivos existen herramientas que proporcionan información muy válida, como en el caso que nos ocupa con el georradar.
 - Los modelos teóricos, son aproximaciones a una realidad más compleja pero son un instrumento imprescindible para correlacionar la causa y el daño. Si el modelo no reproduce la causa, o solo lo hace parcialmente, habrá que seguir buscando la razón del daño. Es importante analizar el modelo, los resultados y las limitaciones del mismo. En este caso es un error clave, se hizo un modelo que no consideraba la causa del daño, y a pesar de que el modelo mostraba en la zona de la grieta compresiones, se atribuyó la causa al empuje horizontal.
 - Un conocimiento profundo de la causa permite optimizar la solución de reparación, siempre teniendo en cuenta las consecuencias de un nuevo error.

En relación a las principales características de un estudio de daños, aplicadas a este caso, se puede constatar lo siguiente:

- Cada edificio es un prototipo (no hay ninguno igual). Esto se aprecia en la distinta respuesta de los 11 contrafuertes, pese a tener la misma geometría, y los mismos tipos de materiales. Todos tienen distintas respuestas, al no tener exactamente el mismo terreno de apoyo, ni las mismas condiciones de contorno.
- Las estructuras reaccionan a los cambios con el principio de la mínima energía. Cuando se ven sobresolicitados se agrietan y se acomodan (si pueden) a una nueva situación de equilibrio. El asiento del terreno ha producido un arco de descarga en el contrafuerte, que la realización de instalaciones por el interior ha podido incrementar.
- La causa del daño rara vez es única. En este caso intervienen las tensiones de empuje horizontal de la cubierta, el terreno de apoyo y las afectaciones del agua, y el bulbo de presiones de los nuevos cajones de instalaciones próximos a la cimentación.

- Un pequeño porcentaje de causas produce la mayor parte de los defectos. La causa principal es el asiento del terreno, las concausas son los empujes, las obras por el interior, las pérdidas en instalaciones por la acera y variaciones del subsuelo, la temperatura y la humedad, el grado de degradación de la piedra y el mortero,
- Mínimo número de catas para obtener el máximo de información. Este caso es un ejemplo en el que por ser Patrimonio, se evitó hacer catas en los contrafuertes y actuar por el interior del Museo.
- La trascendencia del error obliga al técnico a trabajar con humildad, prudencia y objetividad, para evitar que una solución errónea aumente el riesgo de daños.
- No hay una relación biunívoca entre causa y daños. El asiento (la causa) puede dar lugar a grietas, pérdidas en instalaciones mecánicas o de desagües, falta la estabilidad, etc.

Las grietas (el daño) no son solo por el asiento, (aunque por su causa se produzca el 90% del daño) sino que también pueden contribuir, aunque sea poco los empujes y las modificaciones de obra realizadas por el interior.

El caso presentado permite entender tras un correcto procedimiento, y siguiendo todos los pasos del proceso de forma adecuada, que la “causa” es el asiento, y no el “empuje horizontal” que era la principal conclusión errónea del informe anterior.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Consorcio de las Drassanes Reials de Barcelona, por la confianza depositada para realizar el trabajo que ha dado pie a esta comunicación. Ahora bien, dado que las empresas las constituyen personas se agradece a Artur Lladen la atención que ha tenido en todo momento en el desarrollo del trabajo.

9. REFERENCIAS

Calavera, J. (1996) Patología en estructuras de hormigón armado y pretensado.

Alegre, Vicente (1999) “El futuro de la patología” III Congreso Nacional de la Ingeniería Civil del siglo XXI. Volumen II, 1079-1073, Barcelona, Nov 99.

Alegre, V, et al, (2003) “Orientación para la selección de la intervención” Manual de Rehabilitación de estructuras de hormigón CITED, 161-212, Sep 2003.

Aguado A., Alegre, V. (2007) “Errores humanos frecuentes con resultados de daños en las estructuras”, CONPAT 2007.

COTCA (2009) “Informe relativo a las causas de los daños en los contrafuertes del edificio de las Atarazanas en Barcelona”. Informe interno.