

APEO Y SUSTITUCIÓN DE UN PILAR DE FÁBRICA DE LADRILLO EN UN EDIFICIO MODERNISTA EN USO

V. ALEGRE

Ingeniero de Caminos
Cotca, S.A.
Barcelona, España
secretaria@cotca.com

S. VILLALBA

Dr. Ingeniero Industrial
Cotca, S.A.
Barcelona, España
info@cotca.com

F. FORCE

Arquitecto Técnico
Cotca, S.A.
Barcelona, España
controlc@cotca.com

V. RÓDENAS

Ingeniero de la Edificación
Cotca, S.A.
Barcelona, España
patologia@cotca.com

RESUMEN

En un edificio modernista con pilares de fábrica de ladrillo y capitel y basamento de piedra, se tiene que sustituir sus pilares al presentar éstos fisuras verticales y estando el edificio en uso. Se presenta el proceso de apeo y sustitución de un pilar, resolviendo las patologías que presenta, cumpliendo los requerimientos de patrimonio y confirmando que la estructura apeada de arcos y bóvedas no se ve alterada durante el proceso de ejecución. Posteriormente se ha extendido el mismo proceso, con los mismos mecanismos de apeo y sustitución, a otros pilares con diferentes niveles de fisuración.

Se exponen las dificultades que presenta la sustitución, tanto desde el punto de vista mecánico (pretensado, control de deformaciones, etc.) como Patrimonial (estético, durable, etc.), para poder mantener la pátina del tiempo, así como las medidas de seguridad adoptadas para el control y seguimiento de las operaciones del apeo.

1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Se trata de uno de los últimos edificios modernistas del Hospital de San Pablo de Barcelona que llevó a cabo el hijo de Lluís Domenech y Muntaner. En el momento de construcción debía escasear el dinero, ya que la calidad ornamental dista mucho de otros edificios. De la misma forma los materiales utilizados no alcanzan las prestaciones de sus predecesores.

El edificio es de planta rectangular con un patio central, la cimentación es de mampostería y fábrica de ladrillo y sobre ella se colocan paredes o pilares de fábrica de ladrillo. Los pilares son todos de 60 cm de diámetro en las dos plantas inferiores y los pilares que envuelven el patio central llevan bajantes metálicos en su interior de 10 cm de diámetro.



Figura 1. Vista general de la tipología.

2. DISFUNCIONES QUE SUPONEN EL APEO Y LA SUSTITUCIÓN

El esquema adjunto indica el nivel de fisuración en tres pilares, que tras una diagnosis de las causas, se decide sustituir.



Figura 2. Fotografía pilar 23.

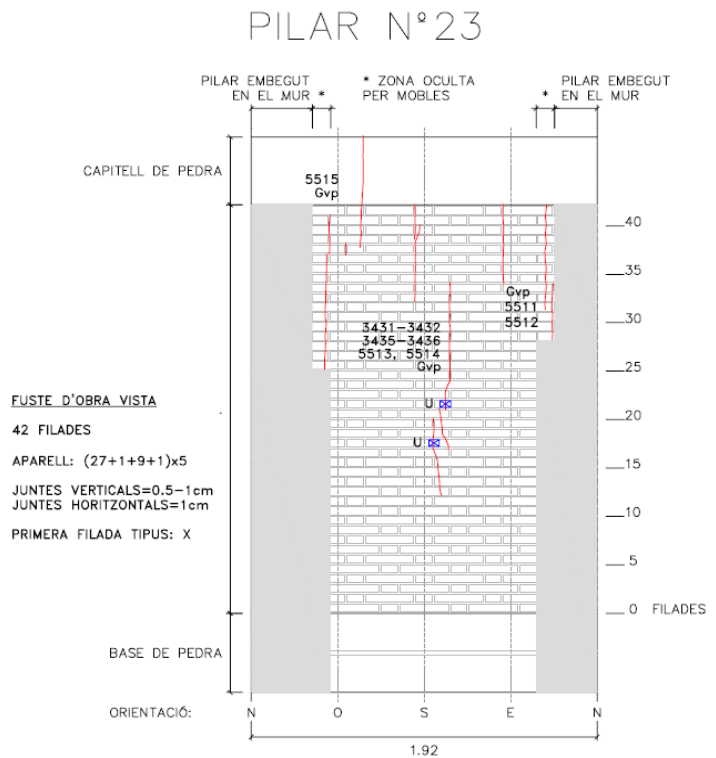


Figura 3. Desarrollo del pilar 23 y su fisuración.

Las causas de las fisuras verticales son por orden de relevancia, el nivel de cargas, el terreno, el tubo oxidado interior que hace de desagüe y la falta de cocción de los ladrillos. La razón adicional para su sustitución es que los daños (las fisuras verticales) evolucionan con casi cien años de edad (1928).

Los pilares están trabajando con tensiones próximas al límite de su capacidad estructural.

Esta situación comprometida, por el riesgo que lleva implícito, se puede atenuar con un análisis del conjunto, sin dejar de mantener la vigilancia y tomando medidas adecuadas, de auscultación y control de la evolución de los daños observados.

La existencia de pilares similares sin lesiones, o con lesiones antiguas, y las actuaciones realizadas con anterioridad, dejan dudas sobre el peso de cada una de las causas. La extracción del pilar permitirá una definición más completa de las cuatro causas estudiadas, y su peso en cada caso. Para ello, se ensayará a compresión el pilar extraído y se caracterizará el ladrillo, el mortero y la fábrica, y el grado de oxidación del tubo que puede compararse con los ensayos no destructivos de georradar realizados.

3. DIRECTRICES DEL PROCESO PLANTEADO

Al ser un edificio en uso, se plantean una serie de medidas orientadas a realizar los trabajos con la máxima seguridad:

- Toma de datos “in situ” para la comprobación geométrica y levantamiento de planos del estado actual, ensayos no destructivos con georradar de la situación de las tuberías interiores de los pilares del patio interior.
- Catas en las cimentaciones para conocer el terreno de apoyo de las zapatas y diseño de la cimentación superficial o profunda idónea. Testigos del hormigón en su caso.
- Creación de un sistema de auscultación, con un protocolo de contingencias estableciendo unos niveles de aviso, alerta y alarma vinculados a unos protocolos de actuación.

La sustitución propiamente de los pilares contempla los siguientes aspectos:

- Modelización de la estructura.
- Definición y procedimiento de apeo y sustitución de los pilares. Proceso constructivo con todas las fases:
 - o Medidas para mantener la funcionalidad del edificio durante el proceso de apeo.
 - o Apeo y apuntalamiento de los arcos que se requieran durante estas operaciones de seguridad.
 - o Extracción de los pilares existentes.
 - o Reposición y revestimiento de los mismos, incluidas las afectaciones a las instalaciones y otros elementos que puedan interferir en el proceso de ejecución.
 - o Instrumentación de la puesta en carga de los nuevos pilares.

4. APEO Y SUSTITUCIÓN DE LOS PILARES CERÁMICOS

Los procesos son los siguientes:

- Anillado del fuste del pilar:
 - o Previamente se posicionará una banda de neopreno entre el fuste del pilar y la camisa metálica para garantizar la adherencia entre materiales. Esta tendrá un espesor mínimo de 8 mm.

- Se colocarán las placas semicilíndricas simétricas a ambos lados y se unirán entre sí mediante tornillos ISO 8.8 M24 con el par de apriete pertinente al 70% de la resistencia a tracción del tornillo (según lo estipulado en la EAE a 76.7).
- La camisa vendrá prevista de placas, cartelas y pletinas de 8 mm, así como de 2 perfiles UPN en cajón en cada lado de la pletina para la posterior carga y transporte del fuste del pilar mediante elevador una vez cortado.

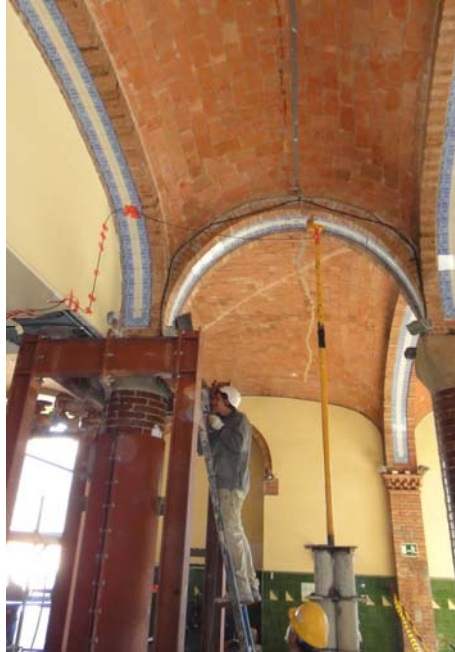


Figura 4. Anillado del fuste del pilar.

- Ejecución del refuerzo de la cimentación para sustentar los pórticos de apeo y conexión con la cimentación existente del pilar:
 - La cimentación se diseña a partir de las catas y el estudio geotécnico para que el asiento de la estructura en ese punto sea nulo o despreciable.
 - De acuerdo con las catas, en un caso la zapata se apoya en relleno y en otros en un terreno arcilloso competente, por lo que la cimentación diseñada para evitar asentamientos ha sido una cimentación profunda.

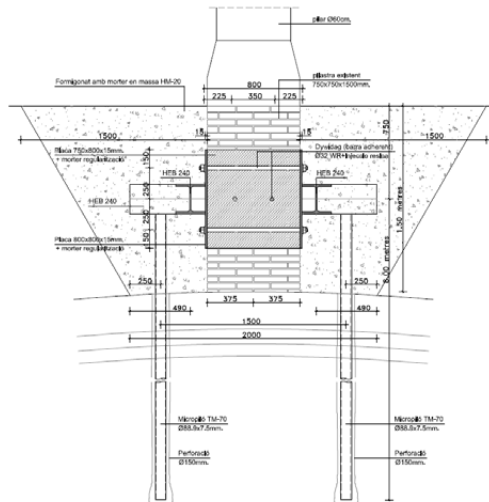


Figura 5. Refuerzo de la cimentación.

- Ejecución del pórtico metálico de apeo en capitel del pilar.
 - o Colocación de mortero de nivelación en los tramos de apoyo del perfil metálico.
 - o Se realizarán las perforaciones para los anclajes químicos y se limpiará la superficie de trabajo.
 - o Colocación de perfil metálico de reparto HEB 200 mediante anclaje tipo HVU-HAS y colocación de los pilares metálicos del pórtico (HEB 180).
 - o Se ubicará toda la estructura superior del pórtico metálico para el apeo del capitel mediante las uniones con placas de fuerza de la estructura.
 - o Se colocará una banda de neopreno entre el capitel y la placa metálica de apoyo para garantizar la adherencia de la misma.
 - o Se procederá a dar el par de apriete necesario (según lo estipulado en la EAE a 76.7) a los pasadores tipo Gewi que garantizan la unión de perfiles opuestos IPE 300 para coger mejor el capitel.
 - o Puesta en carga del pórtico de apeo del pilar.

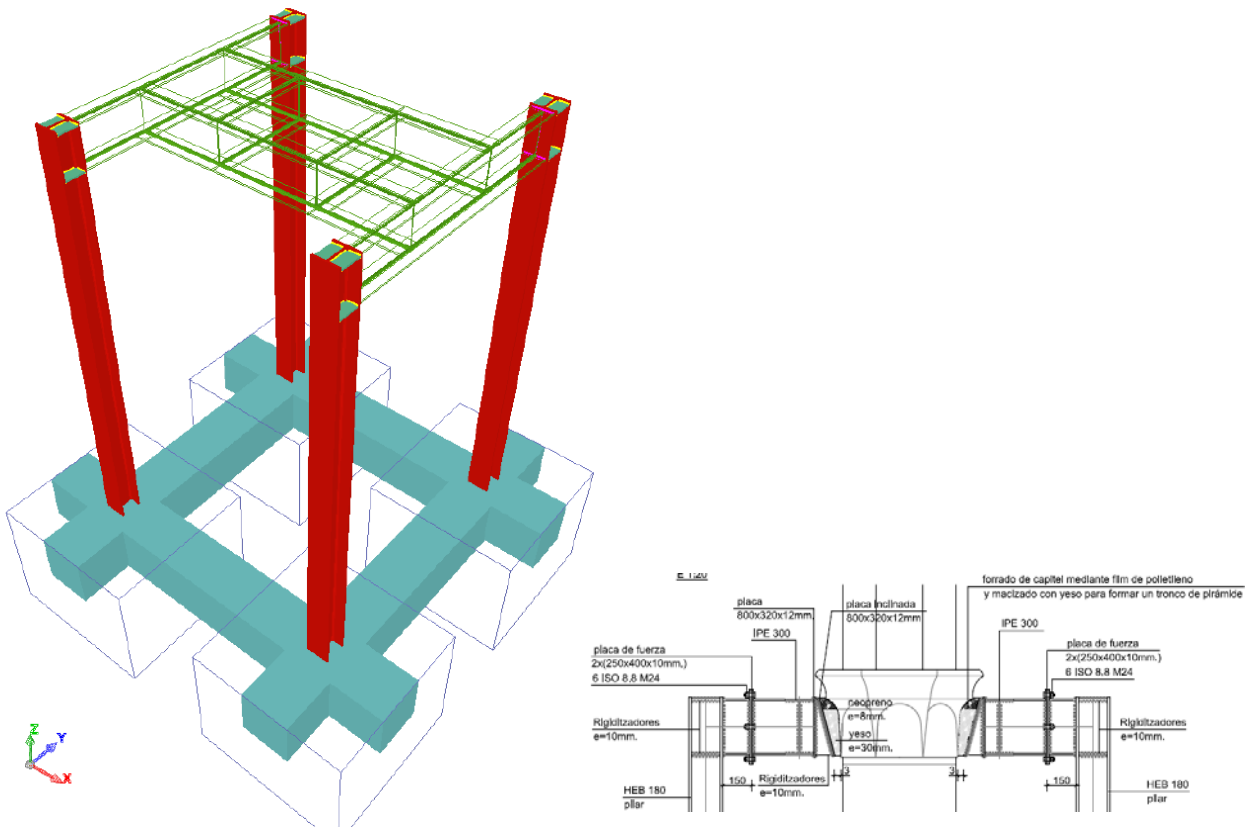


Figura 5. Diseño del pórtico metálico de apeo en capitel.

- Corte del fuste del pilar y retirada del mismo.
 - o Se procederá al corte inferior (Corte 1) y corte superior Corte 2) del fuste del pilar de obra de fábrica mediante hilo de diamante. Se realizará también el tercer corte (Corte 3) previsto para la parte inferior de la base del pilar que permitirá su posterior retirada.
 - o Se procederá a la retirada del fuste del pilar de fábrica mediante traspallet eléctrico de 20 kN de capacidad.

- Se procederá a la retirada de la base de piedra con cuidado para su posterior puesta en obra como cubrimiento del nuevo pilar.



Figura 6. Corte del fuste del pilar.

- Ejecución del nuevo pilar metálico.

- En esta fase de ejecución se pretende maximizar las soldaduras en taller del nuevo pilar metálico, por lo tanto, tanto las placas de apoyo (superior e inferior) como el propio pilar HEB 200, se soldarán en taller.
- Repicado de hormigón y pilastra hasta cota de posición final de la placa base.
- Mediante placa de “negativo” se materializarán los taladros y se colocarán los tacos químicos en la parte superior del pilar (bajo capitel).
- Limpieza de la superficie de trabajo y presentación del pilar en obra, garantizando la planeidad de las placas y la verticalidad “plomada” del pilar.
- Se realizarán los taladros por los anclajes en la parte inferior (base del pilar) y se colocará mortero de nivelación tipo mortero de retracción compensada y ligeramente expansivo (GROUT) para la placa base superior (capitel) e inferior (base) del pilar metálico nuevo. Se dispondrá de una tolerancia entre 30-40 mm tanto en la parte superior como inferior del nuevo pilar.
- Retirada del pórtico de apeo del capitel y entrada en carga del nuevo pilar metálico.
- Reposición del pavimento.

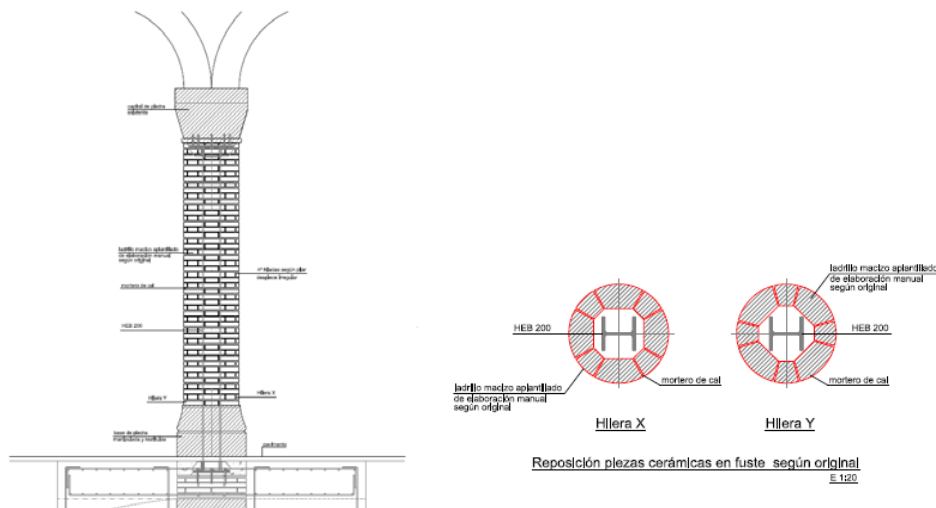


Figura 7. Ejecución del pilar metálico.

- Reconstrucción del pilar, manteniendo la pátina del tiempo.
 - o Finalmente se realizará un revestimiento y forrado según requerimientos y exigencias de la Dirección Facultativa. El pilar interior metálico irá relleno de hormigón en masa o (si se prefiere mortero de cemento portland).



Figura 8. Pilar reconstruido.

5. INSTRUMENTACIÓN DE SEGURIDAD

Se instrumentaron las bóvedas con fibra óptica (figura 9 y 10), que permite medir microfisuraciones en los tramos de bóvedas próximas al apeo.



Figura 9. Vista general de la sala.



Figura 10. Detalle de la bóveda.

6. CONCLUSIONES

- * El procedimiento planteado para apear los pilares fisurados, ha cumplido sus objetivos:
- * Mantener el centro en funcionamiento, sin incrementar daños.
 - o Extraer el pilar para ensayarlo a compresión y conocer la carga de servicio y de rotura, y para caracterizar la oxidación del tubo interior así como el ladrillo, el mortero y la fábrica.
 - o Conocer mejor el peso de las cuatro concausas que producen la fisuración: el nivel de carga, el terreno de apoyo, la oxidación del tubo metálico interior y la falta de cocción de los ladrillos.
 - o Sustituir los pilares en peores condiciones, por otros metálicos que quedan recubiertos por una fábrica de ladrillo vidriada similar a la existente antes del ensayo, manteniendo la pátina del tiempo, que era una exigencia del Departamento de Patrimonio del Ayuntamiento.
- * La instrumentación con fibra óptica en las bóvedas próximas al pilar apeado, ha permitido hacer un seguimiento en tiempo real de las tensiones durante el proceso de apeo. De acuerdo con los resultados obtenidos al apear el pilar, las bóvedas, como consecuencia del pretensado de las barras, no sólo no han tenido tracciones sino que se han comprimido ligeramente.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los técnicos del Hospital de San Pablo, Frederic Crespo y Agustí Grau, la confianza depositada para realizar el trabajo.

8. REFERENCIAS

- [1] Levy M., and Salvador M., *Why Buildings Fall Down*, W.W. Norton & Company, New York, 1992, 334 pp.
- [2] Villalba, S., Casas, J. R. (2012) Application of optical fiber distributed sensing to health monitoring of concrete structures. *Mechanical Systems and Signal Processing*. [Online] 39 (1–2), 441–451. Available from: [doi:10.1016/j.ymssp.2012.01.027](https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2012.01.027) [Accessed August-September 2013].
- [3] Regier, R. (2013). Application of fibre optics on reinforced concrete structures to develop a structural health monitoring technique. Master Thesis. Queen's University, Kingston (Canada).
- [4] Güemes, A., Fernández, A., Soller, B., "Optical Fiber Distributed Sensing - Physical Principles and Applications, *Structural Health Monitoring*, Vol. 9, No. 3, 2010 pp. 233-245.
- [5] LI, H., LI, D. and SONG, G. "Recent applications of fiber optic sensors to health monitoring in civil engineering". *Engineering Structures*, 26, 2004, pp. 1647–1657.
- [6] Norbert J. Delatte *Beyon failure: forensic case studies for civil engineers*. 2008.