

Descenso de forjado reticular mediante gateo sincronizado como parte de una rehabilitación integral

Descent of bidirectional floor with synchronized hydraulic jackets within a global refurbishment project

Francisco González Ramos^a, Paula Villanueva Llauradó^b, Álvaro Rodríguez Gámez^c,
David Fernández Montes^{*d} y Álvaro Serrano Corral^e

^a Prof. PhD. Civil Engineering of Technical University of Madrid (UPM). Director of BETAZUL, S.A. francisco@betazul.es

^b Prof. PhD. Architecture of Technical University of Madrid (UPM). Technical Office of BETAZUL, S.A. paula@betazul.es

^c Civil Engineering of Technical University of Madrid (UPM). Technical Office of BETAZUL, S.A. alvaro@betazul.es

^{d*} Prof. PhD. Civil Engineering of Technical University of Madrid (UPM). Technical Director of BETAZUL, S.A.

david.fernandez.montes@upm.es

^e Prof. Civil Engineering of Technical University of Madrid (UPM). Technical Director of MC2-Grupo TYPESA. alvaro.serrano@mc2.es

RESUMEN

La presente comunicación detalla el procedimiento constructivo seguido para el gateo de un forjado reticular de hormigón armado, para su descenso 1190 mm respecto a la cota inicial. El procedimiento incluyó un sistema de descenso por etapas, con central hidráulica, con objeto de garantizar un descenso progresivo y homogéneo. La principal particularidad del sistema es el uso de unos gatos aptos para descenso e izado, soportados por unos módulos de estructura de madera que permiten la realización independiente de cada etapa.

ABSTRACT

This paper details the construction procedure developed for the lifting of a reinforced concrete bidirectional floor, for its 1190 mm descent from the original level. The procedure included a descent system in stages, with a hydraulic power station, in order to guarantee a progressive and homogeneous descent. The main feature of the procedure is the use of jacks suitable for both lowering and lifting, supported by wooden structure modules that allow the independent completion of each stage.

PALABRAS CLAVE: rehabilitación; estructuras de hormigón, gateo; sistema hidráulico.

KEYWORDS: refurbishment; concrete structures, lifting; hydraulic jack system.

1. Introducción

Prolongar la vida útil de las estructuras es una vía interesante de cara a reducir el impacto de la construcción y contribuir a la sostenibilidad del sector, lo que ha llevado a un incremento notable de las actividades de rehabilitación en las últimas décadas. En el caso de la edificación, es imprescindible que estas actividades de rehabilitación procuren una suficiente versatilidad frente a cambios de necesidades de

uso, así como una capacidad para cumplir las normativas actuales tanto en términos de seguridad estructural como en términos de accesibilidad y eficiencia energética.

El proyecto que se presenta en este artículo parte de las mencionadas premisas, al suponer una adaptación de una estructura de edificación existente a una nueva configuración geométrica. La actuación en la que se centra el

estudio consiste en el descenso de un forjado bidireccional de cubierta, de hormigón armado, con objeto de enrasar la cota superior del forjado con la cota del forjado interior y permitir así una salida accesible desde el interior del edificio.

2. Materiales y métodos

2.1 Descripción del estado inicial y caracterización de materiales.

El forjado objeto de estudio es bidireccional de hormigón armado con casetones perdidos. En el momento de la actuación, se encuentra con un espesor total de 0.60 m compuesto por el propio forjado, de 0.43 m de espesor, más un plastón o mortero de recrecido de 0.17 m de espesor. El plastón se considera como una carga muerta, que no contribuye a las propiedades resistentes del forjado. Por este motivo, como actuación previa al descenso del forjado, se procedió a retirar el plastón obteniendo un forjado con un peso propio total de 6.5 kN/m².

El forjado tiene unas dimensiones totales de 27.5 x 13.5 m, dando lugar a una superficie total de 371.2 m². En estado original, se apoya perimetralmente sobre muros de fábrica en dos de sus lados, con un pequeño voladizo de 1.28 m en uno de ellos. Un esquema del estado inicial del forjado en sección se recoge en la **figura 1**, incluyendo fábrica paralela a la original ejecutada con la altura del apoyo definitivo. En la **figura 2**,

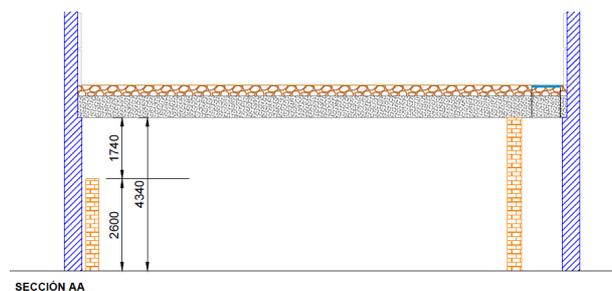


Figura 1. Sección transversal del forjado antes del descenso.

se muestra el estado original del paño de forjado a descender, así como del espesor de solado en relación con el canto del forjado reticular.

Considerando la fecha de construcción y la tipología del forjado, se ha estimado que la resistencia a compresión del hormigón es igual a 18 MPa. No se ha considerado necesaria la realización de ensayos de caracterización, puesto que el forjado no presenta ningún deterioro significativo ni una flecha excesiva. Se han considerado unas cargas de servicio consistentes en el peso propio, una carga muerta debida al material de solado, más una sobrecarga de uso no concomitante con la carga de nieve. Con ello, se han estimado las tensiones de servicio, que se han puesto en relación con la resistencia estimada; de esta forma, y nuevamente con la tipología del forjado, se ha verificado que la distribución mínima de armaduras es técnicamente admisible para garantizar el correcto funcionamiento del elemento estructural.



Figura 2. Estado original del forjado reticular.

Por otra parte, se han caracterizado los muros de fábrica soporte del forjado, conforme a la normativa española CTE-DB-SE-F [1]. Dicha norma especifica que es posible determinar la resistencia de los muros de fábrica en función del tipo de pieza (ladrillo), espesor y tipo de mortero. Se ha considerado de forma conservadora que el mortero es de 7.5 N/mm^2 , y las piezas de ladrillo perforado con resistencia a compresión de 15 N/mm^2 . Conforme a la norma española, se estima una resistencia a compresión del conjunto de la fábrica igual a 5 N/mm^2 .

2.2 Descripción del estado final.

En el estado final, el forjado se encuentra a una cota 1.19 m por debajo de la cota inicial. Uno de los muros de apoyo es reemplazado por un nuevo muro, también de fábrica de ladrillo, situado retranqueado respecto al límite del forjado. Las variaciones en geometría y apoyos se representan en la **figura 1** y en la **figura 3**.

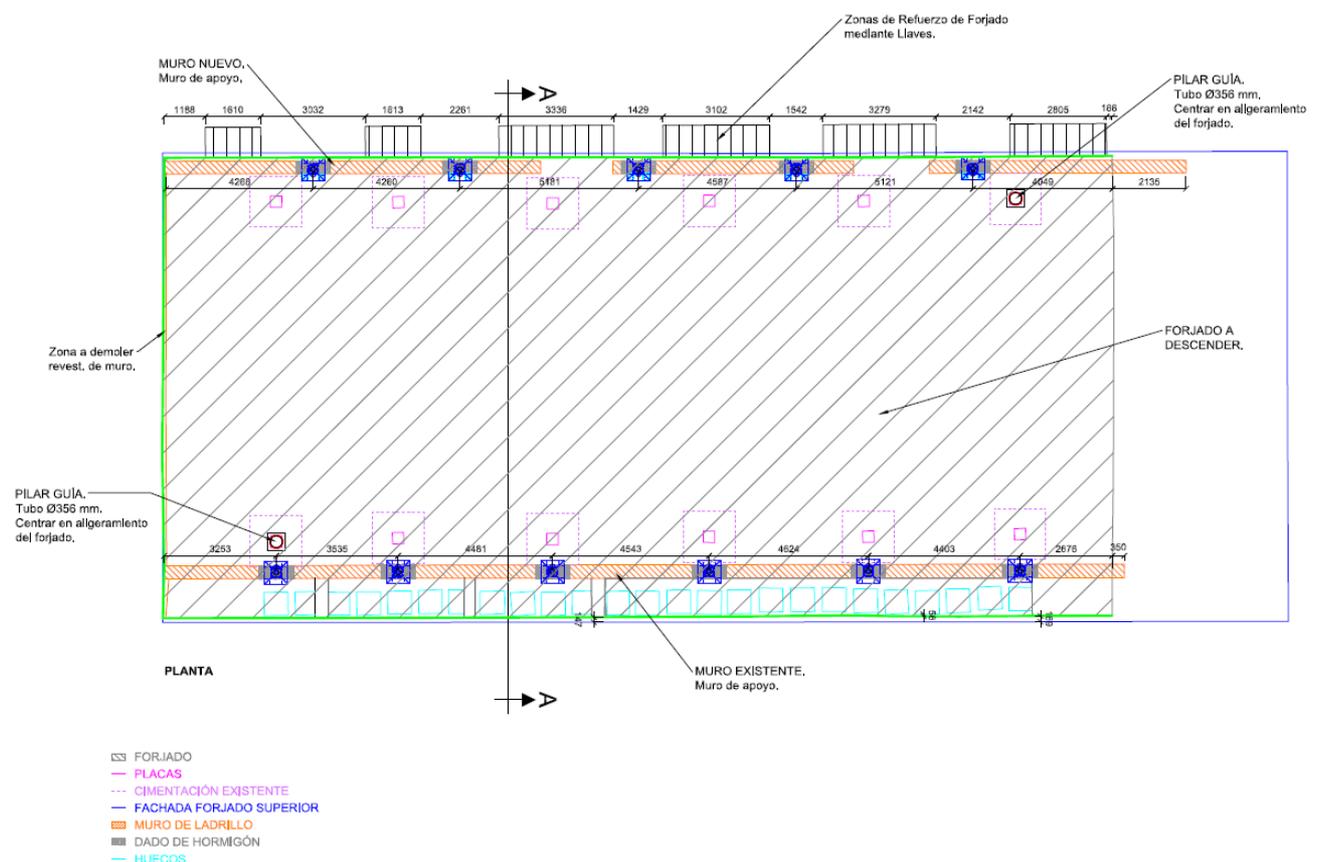
De cara a evaluar la viabilidad del proyecto, se ha procedido a estimar los esfuerzos del forjado en situación final con el nuevo apoyo, que se ha diseñado para una resistencia a compresión igual o superior a la de los apoyos existentes.

2.3 Descripción del proceso constructivo.

El proceso constructivo cuenta con diversas etapas, incluyendo trabajos previos al descenso propiamente dicho, así como actuaciones finales para conexión del forjado a los apoyos en la cota definitiva. Pueden señalarse los siguientes hitos en el proceso:

- 1.- Construcción de nuevo muro hasta una cota inferior a la nueva cota de apoyo, con espacio suficiente para alojar los dispositivos de gateo.
- 2.- Realización de cajas en muros para instalación de los dispositivos de gateo.

Las dos primeras fases implican la necesidad de establecer el número de apoyos



necesarios para soportar el forjado, en cada línea de muro. Para ello, se ha utilizado el peso propio del forjado anteriormente estimado, una vez descontado el peso del plastón, y se ha distribuido de forma que no provoque tensiones excesivas en ningún punto del muro. Se ha estimado el área tributaria de cada una de las cargas puntuales, conforme al esquema de la **figura 3**.

Los cálculos realizados han llevado a concluir que se precisan seis apoyos puntuales en el lado de la fábrica antigua, más cinco apoyos en el lado de la fábrica nueva. En el punto de accionamiento más desfavorable, conforme al esquema gráfico anterior, se estima un área tributaria de 6.00 x 6.75 m; con ello, la carga más desfavorable (es decir, la del punto de accionamiento más solicitado) es de 263.65 kN. Cada apoyo se ha diseñado para concentrar la carga en un área de 1.00 x 0.32 m. La tensión a compresión de servicio en el apoyo puntual más solicitado es igual, conforme a este cálculo, a 0.823 N/mm². Se considera una reserva suficiente respecto a la resistencia a compresión de la fábrica, antes estimada en 5 N/mm²; por lo que puede concluirse con ello que la tensión es admisible para los muros de fábrica.

3.- Instalación de dispositivos de gateo y entrada en carga de los mismos. Demolición del extremo superior de los muros de fábrica existentes hasta una cota cercana pero inferior al apoyo definitivo, para permitir el descenso.

4.- Descenso del forjado con ayuda de una central hidráulica, por etapas. Esta fase se desarrollará detalladamente en la siguiente sección, por ser el principal objeto del presente estudio.

5.- Una vez colocado el forjado a la cota definitiva, se procede a ejecutar la conexión del forjado a los tramos entre dispositivos de gateo con retacado de mortero de elevadas prestaciones (resistencia a compresión superior a 40 N/mm²). Se elige un mortero de baja

retracción, para minimizar los desplazamientos por asentamiento del forjado en la entrada en carga.

6.- Retirada de los dispositivos de gateo, y relleno y retacado de las cajas de los muros.

3. Diseño del sistema de gateo y descripción de resultados

En esta sección se presenta el sistema de gateo, incluyendo el dispositivo que permitió el gateo por etapas, y se ejemplifican las gráficas resultado de la monitorización del proceso de descenso de forjado.

3.1 Diseño del sistema y dispositivos de gateo

El gateo se realizó con gatos hidráulicos de doble efecto tipo HCR10010 de ENERPAC. Este modelo, conforme al fabricante tiene una capacidad de 100 toneladas y una carrera de 250 mm. Dado que la carga a transmitir por cada apoyo se ha estimado en 263.65 kN, la capacidad de los gatos es suficiente para el número de apoyos propuestos.

Se eligieron gatos de doble efecto dada la considerable diferencia de cotas entre la inicial y la final, que no puede salvarse con la carrera de los gatos comerciales. Por ello, se procedió a un gateo por etapas en el que se dispusieron unos dispositivos, a modo de cajón de gateo, con módulos de madera y cajas de acero para transferir las cargas del gato a los módulos de madera. El dispositivo de gateo se representa en la **figura 4**, mientras que el paso de la situación inicial a la final se recoge en la **figura 5**.

Para el diseño del dispositivo de gateo, se consideró necesaria una liberación por escalones de diferencia de cota, para recuperar la carrera del gato. De esta forma, se dispuso un entramado de módulos en el que la carga se transmite alternativamente a los módulos exteriores e interiores. El entramado propuesto

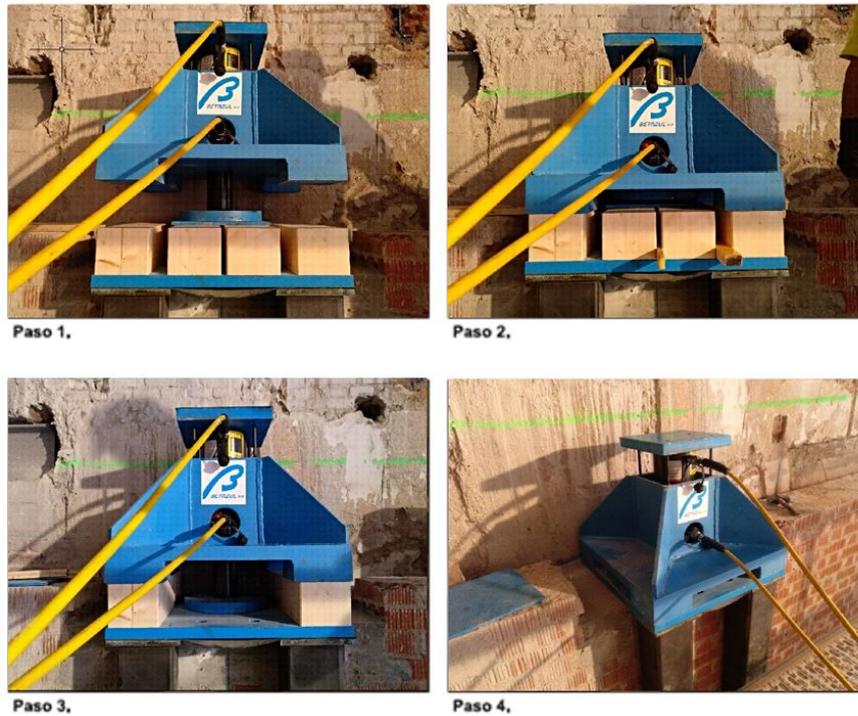


Figura 4. Secuencia de gateo de una etapa

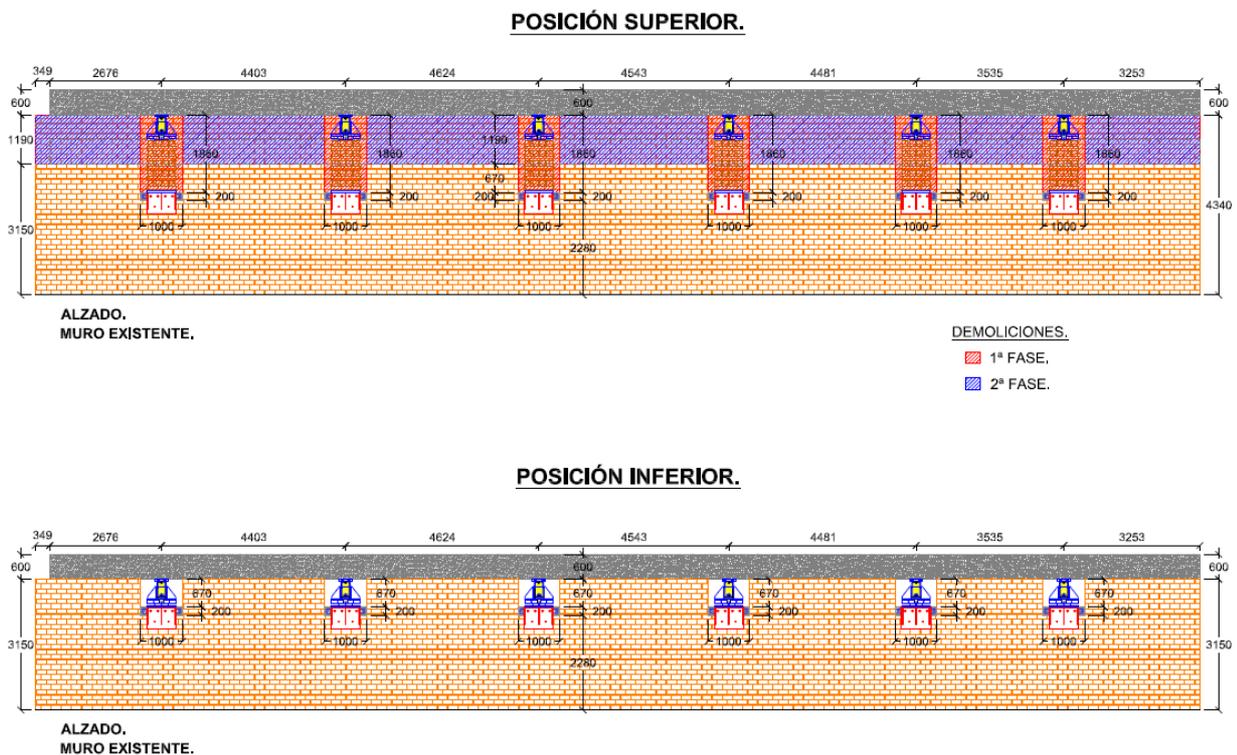


Figura 5. Vista longitudinal de uno de los muros de apoyo, en situaciones inicial y final

optimiza la robustez del dispositivo, al combinarse filas con módulos en dirección longitudinal y transversal.

Los módulos se calcularon para una

madera de abeto tipo GL28H, de forma que el área resistente en cada momento fuera suficiente para la carga del apoyo más desfavorable. Su disposición y dimensiones permiten una rápida

colocación y retirada, facilitando el proceso constructivo y minimizando los tiempos entre fases de gateo. En cada etapa, se distinguen cuatro pasos combinando el émbolo extendido y retraído para el apoyo alterno en los módulos exteriores e interiores de madera.

Para garantizar la correcta transferencia de cargas del gato al dispositivo de gateo, según la alternancia fijada entre módulos exteriores e interiores, se diseñó una caja de gateo metálica, dimensionada con ayuda de un software de elementos finitos, para no provocar tensiones excesivas en ningún punto. Dicha caja permite el accionamiento del gato con la extensión del émbolo para el apoyo consecutivo en módulos interiores y exteriores de madera. La **figura 6** recoge los gráficos obtenidos del dimensionamiento de dicha caja.

3.2 Proceso de descenso del forjado

El descenso se realizó por etapas, con ayuda de

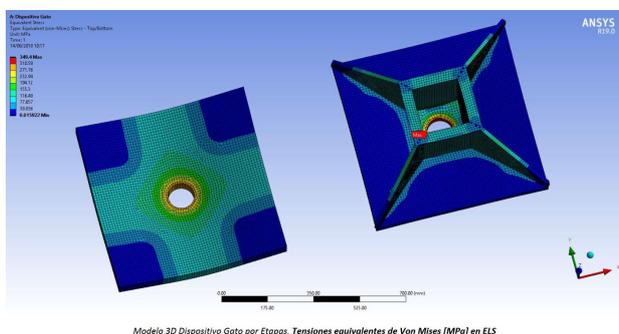


Figura 6. Caja metálica de dispositivo de gateo.

una central hidráulica ENERPAC de 16 canales. Se ejecutó fijando la velocidad de descenso, en cada etapa. Tras cada etapa de descenso, se procedió a un ligero ascenso para facilitar la retirada de los módulos de madera, transfiriendo la carga alternativamente de los módulos exteriores a los interiores. Se realizaron un total de 10 etapas, cada una con un descenso de 120 mm (altura de los módulos de madera), más un pequeño ascenso final para permitir la retirada de los gatos tras el retacado de la fábrica.

Con objeto de limitar posibles desplazamientos laterales durante el descenso, se colocaron dos pilares guía circulares pasantes a través del forjado. En la actuación no se detectaron desplazamientos laterales relevantes, por lo que no entraron en carga los pilares guía.

Según se ejemplifica en la **figura 7**, durante todo el proceso de descenso del forjado, se registraron las gráficas de carga inducida y desplazamiento absoluto en cada momento y por cada uno de los apoyos correspondientes al sistema de gateo. En dichos gráficos se puede observar la aplicación de la carga a cada etapa para inducir un ligero ascenso del elemento estructural.

Con el dispositivo y procedimiento constructivo empleado (ver **figura 8**), se consiguió un buen control de los desplazamientos y de la diferencia de

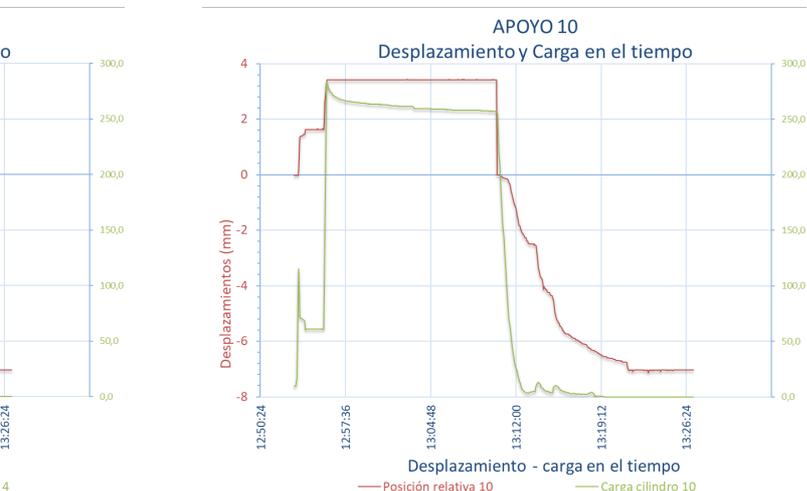


Figura 7. Gráficas carga-desplazamiento de los apoyos 4 y 10.



Figura 8. Módulos del proceso de descenso de forjado.

desplazamientos entre apoyos en todo momento, por lo que no se produjeron alteraciones del estado tensional del forjado durante el proceso más allá de la concentración de los apoyos.

4. Conclusiones

Se ha presentado un caso real de descenso de forjado mediante gateo hidráulico sincronizado, como parte de un proyecto de rehabilitación integral. Se diseñó un sistema de gateo con gatos de doble efecto y cajón modular, permitiendo la realización de un descenso por etapas.

Las principales ventajas del sistema presentado, según se pudo observar con el éxito de la realización, son: posibilidad de cubrir grandes carreras, superiores a la carrera nominal de los gatos, con una optimización de costes y plazo; elevado nivel de control de calidad del proceso, con monitorización en cada uno de los apoyos y posibilidad de obtener datos en tiempo real.

El sistema puede servir de base

conceptual a operaciones similares o, en general, a cualquier operación de gateo en la que no sea posible limitarse a la carrera nominal de los dispositivos hidráulicos empleados.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la posibilidad de realizar los trabajos, y de comentar el presente estudio, a Tragsa y a su Dirección Técnica. Adicionalmente, los autores desean agradecer especialmente su contribución a la constructora encargada de los trabajos, Betazul S.A. y a la ingeniería MC-2.

Referencias

- [1] RD 314/2006 Código Técnico de la Edificación (DB-SE-A). Ministerio de Vivienda, Madrid, 2006.
- [2] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.
- [3] EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1 – 1: General rules and rules for buildings, CEN. 2004.

