

Sistemas de estabilización y apeo de fachadas en interacción con estructuras existentes en el Centro Canalejas Madrid

David RODRÍGUEZ MUÑOZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
MC2 Estudio de Ingeniería
Ingeniero
david.rodriquez@mc2.es

Álvaro SERRANO CORRAL

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
MC2 Estudio de Ingeniería
Director Técnico
alvaro.serrano@mc2.es

César HERRERA CASTILLA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
CHC Ingenieros
Director Técnico
cesar.herrera@chcingenieros.es

RESUMEN

La remodelación del conjunto de edificios que componen la manzana de Canalejas tiene un condicionante de gran magnitud: el mantenimiento, conservación e integración de las fachadas existentes. Ello supone el desarrollo de estructuras provisionales, y ocasionalmente definitivas, que permitan el apeo de las fachadas y su estabilización horizontal durante la ejecución de la obra, y que han debido ser coordinadas con la geometría preexistente y la correspondiente al edificio reformado, adaptándose a menudo al conocimiento creciente de la estructura original. Se ha realizado una intensa campaña de caracterización y monitorización de las fachadas.

ABSTRACT

The rehabilitation of the historic buildings that compose the block of Canalejas is strongly conditioned by a heritage requirement: every original façade shall be kept, conserved and later integrated in the new building. For that purpose, a group of temporary structures are developed in order to prop and stabilize the façades during the total length of the new structure construction. Their volume and location are coordinated with both the original and future building, often being adapted during the construction process. An extensive inspection campaign is carried out and the façade displacements have been monitored.

PALABRAS CLAVE: protección patrimonial, estabilización de fachada, apeo de fachada, micropilote, monitorización

KEYWORDS: heritage protection, façade stabilization, façade propping, micropile, monitoring

1. La remodelación del complejo de Canalejas

La conocida como “manzana de Canalejas” es un conjunto de edificios situados en el centro de Madrid, a pocos pasos de la Puerta del Sol. Construidos en su mayor parte a lo largo del siglo XX, componían un desigual complejo en el que la función bancaria final había ido difuminando el carácter singular y diferenciado inicial. Los últimos años previos a la presente intervención habían sido testigos de un progresivo abandono y deterioro de los mismos.

El Centro Canalejas Madrid supone la rehabilitación y remodelación del conjunto de edificios para la creación de un centro comercial, un hotel de cinco estrellas y una serie de viviendas de alto

standing. El edificio reformado tiene su coronación a la misma cota que el más alto de los preexistentes (si bien, dicha cota se regulariza) pero el edificio incrementa su volumen en el subsuelo con la creación de tres nuevos sótanos. La ejecución de la reforma del edificio precisa de la demolición interior de los edificios (con la salvedad de las crujeas estructurales específicamente protegidas) y del descalce de los muros de sótano de las fachadas para profundizar en la cota de cimentación.

Por su carácter histórico los edificios se encuentran recogidos en el Catálogo de Elementos Protegidos del Ayuntamiento de Madrid [1]. A efectos prácticos, los edificios que componen la manzana pueden dividirse en tres grandes grupos (Figura 1):

- Edificios catalogados como BIC. Son los más antiguos e icónicos de la manzana: Alcalá 14 (“la Equitativa”) y Canalejas 1. Su nivel de protección es superior al resto y en lo que atañe a la estructura engloba la fachada y la primera crujía estructural
- Edificios cuya fachada se encuentra protegida. Corresponden al resto de edificios de la manzana, con la excepción de Alcalá 6.
- Edificios cuya fachada puede ser desmontada. Es el caso único de Alcalá 6 en el que, por el hecho de ser el de más reciente construcción (1974) y de que su fachada es copia de la correspondiente a Alcalá 12, se permite su desmontaje y posterior restitución, de cara a facilitar la accesibilidad a la parcela.

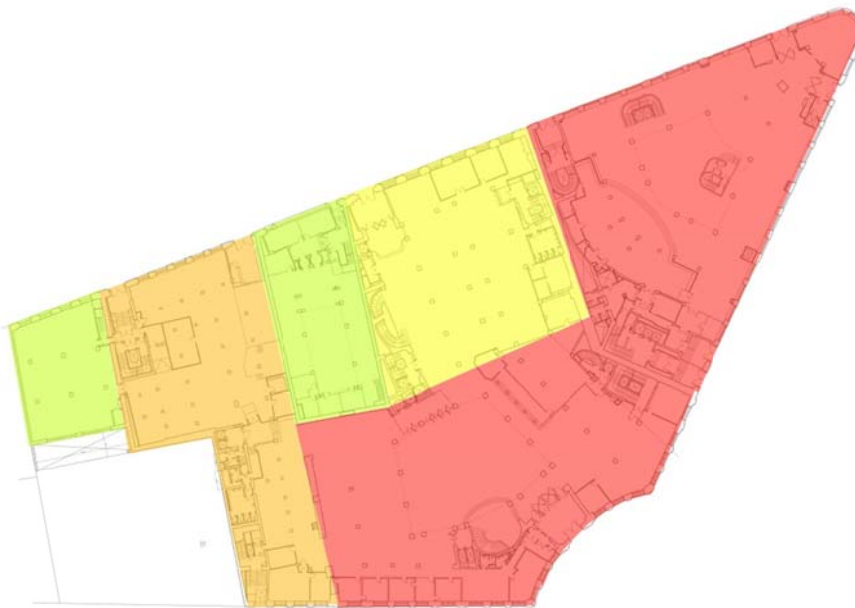


Figura 1. Planta y niveles de protección de los edificios originales: en rojo Alcalá 14 y Canalejas 1 (BIC), en naranja Alcalá 8 con fachada a San Jerónimo 7 (protección integral), en amarillo Alcalá 12 (protección estructural) y en verde Alcalá 6 y Alcalá 10 (protección parcial)

La protección patrimonial de los diferentes edificios impone que la actuación debe realizarse respetando en todo momento la integridad de los elementos de fachada, por lo que es preciso incorporar estructuras específicas que, con carácter fundamentalmente provisional, resistan las cargas verticales de dichos elementos y los estabilicen ante las cargas horizontales que puedan producirse.

En la presente comunicación se describen los sistemas empleados para este fin, tanto en su esquema básico como las particularidades asociadas a cada uno de los edificios y alineaciones. De manera adicional se repasan las actuaciones realizadas sobre los propios elementos de

fachada, bien enfocados a su caracterización, como a su refuerzo y a la monitorización de desplazamientos durante la ejecución de la obra.

2. Sistemas de apeo y estabilización de fachada.

La situación reformada del edificio implica la sustitución de todos los elementos que originariamente se encontraban conectados con la fachada: forjados y muro de sótano. En el primer caso (y con la excepción de las primeras crujías de los edificios BIC), los forjados originales son sustituidos por losas macizas de hormigón armado. En el segundo caso, el incremento de sótanos y el avance de la parcela bajo rasante hacia el túnel de la línea 2 de Metro transforman el muro de sótano original en una serie de soportes.

En el presente capítulo se describe la tipología básica de elementos de apeo y estabilización de fachada, correspondientes a la alineación de Alcalá y las variantes implementadas para el resto de alineaciones (Figura 2)

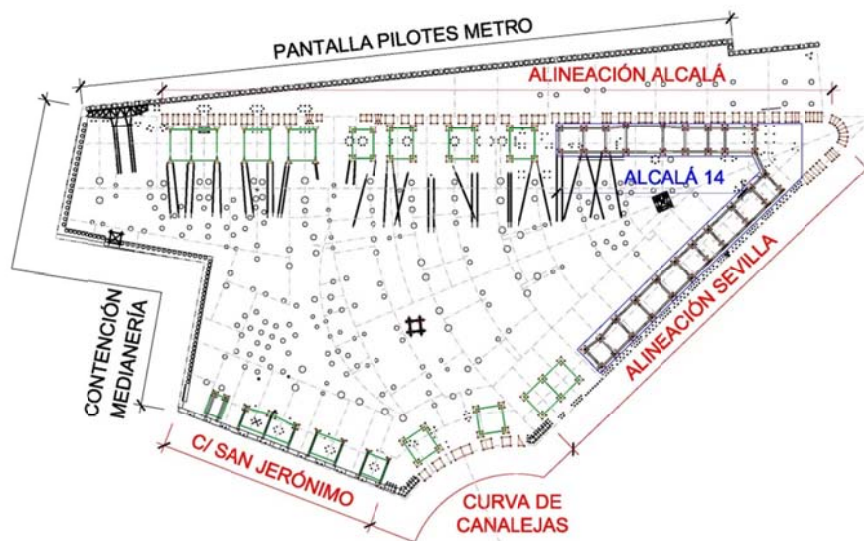


Figura 2. Planta de las alineaciones de fachada y contención

2.1. Tipología básica. La alineación de Alcalá

El **sistema de apeo de fachada** está compuesto por una viga de recepción y transferencia de la fachada y una doble cortina de micropilotes que funciona como soporte y cimentación provisional.

La viga de recepción se compone de una pareja de vigas de hormigón armado que se disponen paralelamente a la coronación del muro de sótano preexistente, de manera cercana a la rasante de la calle. Las vigas tienen sección rectangular, de 50 cm de anchura mínima y canto entre 1 y 2 metros y se encuentran rígidamente unidas a través de dos sistemas: en coincidencia con los machones de fachada (las zonas de mayores tensiones verticales) se colocan grupos de barras de pretensar tipo “Dywidag” que generan una compresión transversal. Gracias a la superficie de contacto intencionalmente rugosa entre el hormigón y la fábrica de ladrillo original, la compresión transversal deriva en una fuerza de fricción vertical, capaz de resistir el peso de la fachada. Este sistema se había empleado con notable éxito en la reforma de la plaza de toros de las Arenas en Barcelona [2] y tiene la ventaja respecto a sistemas de recalce o tipo “peine” de que las perforaciones para la colocación de las barras son de un tamaño mucho menor, por lo que no generan una situación provisional de pérdida significativa de sección de muro. Adicionalmente, a

las vigas se les dota de un tacón con el fin de obtener una redundancia en la resistencia por fricción que, aunque estimada de manera muy conservadora, presenta incertidumbres (Figura 3)

El segundo sistema de conexión entre ambas vigas es el derivado de la unión rígida entre ambas vigas bajo los huecos de fachada, allí donde las tensiones verticales son mínimas. Esta unión permite equilibrar los cortantes entre la viga interior (más cargada, ya que recibe los nuevos soportes adosados a la fachada) y la exterior, así como generar un zunchado perimetral alrededor del machón de fachada, mejorando notablemente la resistencia de la fábrica (Figura 4)

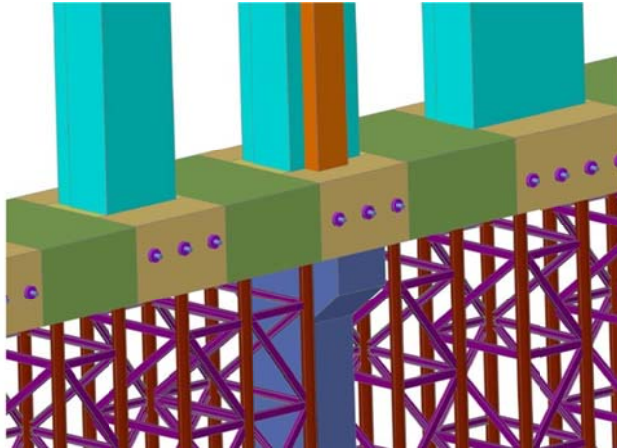


Figura 3. Vista 3d del sistema de apeo: la viga de apeo (en amarillo y verde), las torres de micropilotes (marrón y malva) y los soportes definitivos (naranja y añil)



Figura 4. Vista en perspectiva de la fachada de Alcalá 8 tras la demolición del muro de sótano. La fachada apoya sobre el sistema de apeo.

Ambas vigas se sustentan en una doble cortina de micropilotes que absorben la totalidad de la carga de peso propio de la fachada y del nuevo edificio, así como una parte significativa de las cargas de servicio para cubrir la situación provisional. Durante el proceso de excavación y profundización de los sótanos, ambas cortinas son arriostradas entre sí generando torres con suficiente rigidez como para limitar la inestabilidad vertical.

El segundo elemento que asegura la integridad de la fachada es el **sistema de estabilización**, que se compone de una torre de estabilización, un pórtico de transición y una cimentación de micropilotes (Figura 5).

La torre de estabilización es una pieza prismática y ligera, compuesto en su parte superior por perfiles tipo “RMD” conectados mediante piezas bulonadas y en su parte inferior por perfilera metálica de sección doble T atornillada. La conexión a fachada se realiza mediante vigas horizontales (“carreras”) que se unen rígidamente a la primera con anclajes químicos. La unión entre estabilizador y carrera es asegurada mediante una pieza compuesta por un tirante y una pareja de bloques de madera, capaces de recoger las sollicitaciones axiales en ambos sentidos.

La torre de estabilización se apoya en el pórtico de transición, una estructura tipológicamente muy similar a la anterior pero con una mayor rigidez y cuya función es transmitir los esfuerzos derivados de la torre de estabilización y los empujes de la pantalla paralela al túnel de Metro a los micropilotes de cimentación.

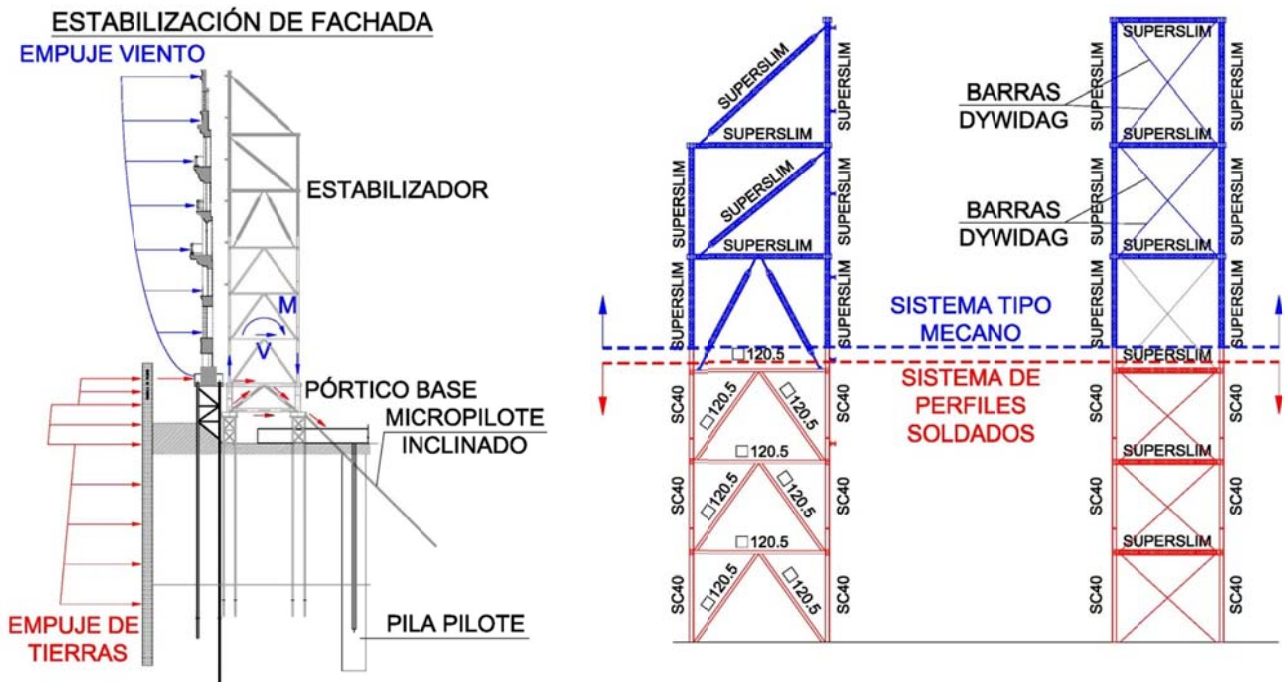


Figura 5. Esquema del sistema de estabilización de fachada

La cimentación de cada uno de los estabilizadores está compuesta por cuatro torres de micropilotes verticales y dos parejas de micropilotes inclinados que recogen gran parte del empuje horizontal, reduciendo la flexión de las torres.

Como elementos de transición entre la estructura original de los edificios y la estructura de la situación reformada, los sistemas de apeo y estabilización son ejecutados, en su mayor parte, previamente a la demolición, lo que limita de manera notable el tamaño de la maquinaria y medios auxiliares a emplear en la ejecución (Figuras 6 y 7).



Figura 6. Ejecución de micropilotes con gálbo reducido



Figura 7. Montaje de la parte superior del estabilizador

La acción conjunta de ambos sistemas posibilita la eliminación del resto de estructuras que coaccionan vertical y horizontalmente la fachada, siendo ésta perfectamente estable y generando de paso imágenes de gran impacto visual (Figura 8).



Figura 8. Vista área de la manzana tras la demolición interior de los edificios. Las fachadas se mantienen en su posición gracias a los sistemas de estabilización y apeo.

2.2. Adaptaciones y particularidades. El resto de alineaciones

Las diferentes características que determinan el resto de fachadas del edificio han motivado la implementación de variantes sobre la tipología básica descrita en el punto anterior, afectando en mayor medida a los sistemas de apeo de fachada.

En la **alineación de Sevilla** el muro de sótano es ciego bajo el nivel de Sótano 1 (al contrario que bajo la fachada de Alcalá, donde la cuña en la que se alojan las rampas propicia que la alineación sea permeable) y en base a dicha circunstancia se pretende implementar una variante en la que los micropilotes de apeo de las vigas queden embebidos en el propio muro de sótano, conformando de manera directa su cimentación definitiva. Para ello, se abren nichos de unos 3 m de anchura en el muro de sótano original de manera coincidente con los nuevos soportes (Figura 9). En ellos se realiza un primer grupo de 9 micropilotes que componen la primera fase del encepado, con resistencia suficiente como para cubrir el peso de la fachada y de la nueva estructura hasta la cornisa. Tras la ejecución del soporte y de las vigas gemelas en cabeza, puede demolerse el muro de sótano original y realizar la segunda fase de micropilotes, que aportan la resistencia necesaria para la totalidad de las cargas en servicio (Figura 10).

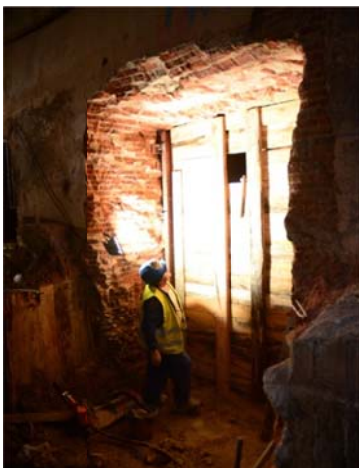


Figura 9. Apertura de nichos en el muro de sótano original



Figura 10. Vista de los soportes y de la viga de apeo de fachada en la alineación de Sevilla.

Las soluciones ideadas para la **alineación curva de la fachada de Canalejas** han estado sujetas a numerosos ajustes y adaptaciones producto de su interacción con el proyecto de reforma del aparcamiento bajo la calle Sevilla y de las decisiones de la comisión local de Patrimonio. Así, del requisito inicial de un ancho libre de 22 metros bajo la fachada y la propuesta de ejecutar una pantalla adosada a la fachada por el interior han quedado diseñados y ejecutados dos potentes muros en forma de L que hubieran debido recibir dicha pantalla. La solución definitiva incorpora dos apoyos intermedios para la viga de apeo de fachada (un soporte y una pantalla en ménsula) que reducen a un tercio la luz efectiva y posibilitan un diseño más parecido al esquema tipo de la fachada de la calle Alcalá.

Por último, en la alineación correspondiente a la **carrera de San Jerónimo** el exiguo tamaño de la calle y de sus aceras desaconseja la realización del apeo de fachada mediante vigas gemelas, por lo que se opta por realizar un recalce tradicional, ejecutando el muro de sótano definitivo por bataches. Para ello se excavan pozos de 2 x 2 m en disposición alterna (Figura 11) que cubren el 60% de la superficie del muro y que alcanzan la cota de cimentación y permiten la ejecución de la zapata y del alzado del muro de hormigón armado de 70 cm de espesor (Figura 12). Un tramo continuo de muro es ejecutado a continuación en cabeza regularizando el recalce y sirviendo de viga de reparto mientras el 40% restante es ejecutado en “descendente” de manera acompasada con la excavación.

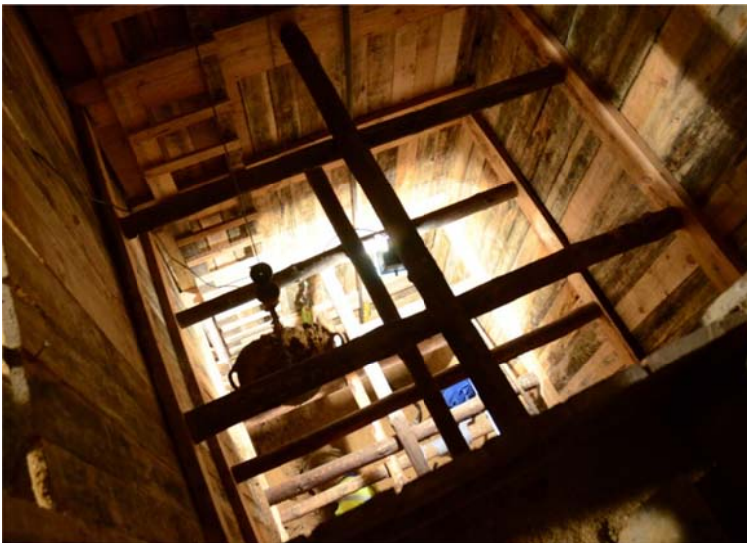


Figura 11. Excavación de pozos entibados con madera



Figura 12. Batache terminado. Obsérvese la ménsula de arranque del soporte adosado a fachada

3. Caracterización de las fachadas. Inspección y ensayos

Contemporáneamente a las actividades de apeo y estabilización de fachada, se ha llevado a cabo una intensa campaña de inspección y caracterización de las fachadas con una finalidad múltiple:

- Establecer la composición y estado de conservación de cada uno de los paños de fachada.
- Estimar la masa del conjunto de la fachada para el dimensionamiento y control de los sistemas de apeo provisional.
- Verificar la resistencia de la fábrica de piedra en aquellos edificios donde la protección patrimonial impone la función portante de la fachada (Alcalá 14 y Canalejas 1).

Es en este último punto donde se han concentrado los mayores esfuerzos debido al carácter crítico de los elementos en su doble vertiente: patrimonial y estructural. Los ensayos de

compresión de la piedra (calizas y granitos) han arrojado valores comprendidos entre los 25 MPa y los 50 MPa, en la horquilla baja de los valores habituales [3]. La estimación de la resistencia de la fábrica de piedra a partir de la resistencia a compresión del material principal es un aspecto que no recogen las normativas contemporáneas con suficiente precisión por lo que en el proyecto se ha adoptado la conservadora norma de buena práctica imperante en el s. XIX de considerar una resistencia del conjunto igual a 1/10 de la resistencia de la piedra [4]. En aquellos machones en los que la estimación de tensiones en servicio devuelve valores superiores a este umbral se ha procedido al refuerzo de las juntas mediante la inyección de morteros fluidos de alta resistencia sin retracción.

Para la caracterización de las fábricas de ladrillo que forman la base de las fachadas y que quedan confinadas por las vigas de apeo se ha procedido a través de un doble método: por un lado se ha ensayado una muestra de fábrica completa y por el otro se han ensayado los ladrillos individualmente, estimando a posteriori la resistencia conjunta con el mortero. Según el primer método se obtienen valores de tensión admisible de aproximadamente 1.5 MPa y del doble a través del segundo método. Aunque la estimación de tensiones en el ladrillo supera ambos valores, concurren dos aspectos beneficiosos: de una parte, el trabajo de la fábrica se realiza en condiciones de compresión triaxial, pues el machón de ladrillo se encuentra lateralmente confinado por todo su perímetro por la viga gemela; de la otra, el propio proceso constructivo del apeo ha atravesado por fases más críticas que la definitiva (Figura 13).



Figura 13. Vista del tramo de muro de sótano bajo machón de fachada durante la ejecución de las vigas gemelas

4. Monitorización de desplazamientos

Durante la totalidad de la ejecución de la estructura se ha mantenido un intenso control de los desplazamientos tanto en la coronación como en el pie de las fachadas, mediante el uso de tres estaciones de topografía automatizada.

La toma automática de movimientos en los puntos de control (repartidos cada 10 – 15 metros a lo largo de todo el contorno) ha permitido conocer la evolución de los desplazamientos según los tres ejes principales: vertical, paralelo y perpendicular a fachada. El análisis de este último permite colegir tres efectos principales: una oscilación diaria debida al soleamiento, una oscilación

estacional que puede asociarse a la variación de la temperatura media diaria y el efecto de la retracción temprana de los forjados. En la Figura 14 puede observarse cómo durante el invierno la fachada se inclina hacia el interior de la parcela (valores positivos de desplazamiento) y cómo dicho movimiento se invierte durante el verano. A partir del mes de febrero de 2016, cuando el incremento de temperatura debiera invertir la gráfica, la ejecución de los forjados sobre rasante coacciona e invierte el movimiento estacional.



Figura 14. Desplazamientos perpendiculares al plano de fachada en la coronación de Alcalá 12. Valores medios diarios.

De manera análoga, pueden establecerse correlaciones entre los movimientos verticales en la base y las diferentes fases de la obra, como por ejemplo, la medición de un ascenso de la fachada de manera coincidente con la demolición interior (que reduce su carga) o un ligero descenso cuando el muro de sótano es eliminado y los micropilotes entran en carga. Sin embargo, las variaciones registradas se encuentran dentro de un rango de orden milimétrico, coincidente con la propia tolerancia del aparato, por lo que los resultados deben acogerse con prudencia.

5. Conclusiones

La reforma interior de los edificios que componen la manzana de Canalejas precisa del concurso de estructuras provisionales que, sirviendo de puente entre los esquemas estructurales originales y los definitivos, aseguren la estabilidad de los elementos de fachada.

Se establece un sistema de apeo y estabilización de fachada, conceptualmente sencillo, para la principal de las alineaciones, la correspondiente a la calle Alcalá, que se modifica en el resto de alineaciones de acuerdo a los requerimientos y particularidades de cada zona.

Paralelamente se lleva a cabo una intensa campaña de inspección y ensayo de los elementos de fachada de cara a obtener una caracterización lo más precisa posible de estos elementos que, en algunos casos, suman a su función de cerramiento la de ser elementos portantes. De manera complementaria, la monitorización de los movimientos permite tener una imagen global del comportamiento de la fachada, obteniendo resultados coherentes y correlacionables con las diferentes fases de obra y condiciones climáticas.

El resultado es la transformación interior de un edificio conservando durante todo el proceso su piel exterior y asegurando en todo momento la integridad de la misma.

6. Participantes

Propiedad: OHL Desarrollos

Dirección Técnica: Inmobiliaria Espacio

Diseño arquitectónico y Dirección de Obra: Estudio Lamela

Dirección de Ejecución: B & V Aparejadores

Proyecto de estructuras y asistencia técnica: MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo Tyspa)

Consultoría Técnica a la Propiedad: CHC Ingenieros

Construcción: OHL

Referencias

- [1] http://www-2.munimadrid.es/urbanismo_inter/visualizador/
- [2] A. Tabera, M. Madrid, Centro lúdico y comercial “Arenas de Barcelona”. Proceso constructivo de la estructura, Hormigón y acero. 268 (2013) 5-45
- [3] J-M. Delbecq, Analyse de la stabilité des ponts en maçonnerie par la théorie du calcul à la rupture. Thèse: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (1983)
- [4] S. Huerta, Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica, Instituto Juan de Herrera