

Sistemas provisionales para apeo de muros de fábrica con pies derechos de madera

Provisional shoring systems for masonry timber-framed walls

Francisco González Ramos^a, Álvaro Serrano Corral^b, Belén Ballesteros^c, Paula Villanueva Llauradó^d y David Fernández Montes^e

^a Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Profesor de la ETSI Caminos, Canales y Puertos (UPM). Director de BETAZUL, S.A. francisco@betazul.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Profesor de la ETSI Caminos, Canales y Puertos (UPM). Director Técnico de MC2-Grupo TYPESA. alvaro.serrano@mc2.es

^c Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Jefe de Proyectos en MC2-Grupo TYPESA. belen.ballesteros@mc2.es

^d Doctora Arquitecta en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Profesora de la ETS Arquitectura (UPM). paula.villanueva@upm.es

^e Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Profesor de la ETSI Caminos, Canales y Puertos (UPM). Director Técnico de BETAZUL, S.A. david.fernandez.montes@upm.es

RESUMEN

En las actuaciones de rehabilitación de edificios históricos es habitual la necesidad de llevar a cabo el apeo de muros de fábrica existentes. Es frecuente que el estado estructural en el que se encuentran estos muros sea de muy mala calidad. La solución propuesta, no convencional, consiste en vigas de apeo provisional sobre castilletes también provisionales, diseñados de tal forma que puedan ser reutilizados en el apeo de las diferentes alineaciones de muro que se vayan a realizar progresivamente.

ABSTRACT

The need of shoring systems for masonry walls is usual for rehabilitation actions in historical buildings. The structural condition of these specific timber-framed walls is usually poor. The proposed non-conventional action consists of a shoring frame system supported on provisional steel turrets, which have been designed taking into consideration the reutilization of the shoring system in different masonry structural elements step by step.

PALABRAS CLAVE: rehabilitación, apeo, muros de fábrica, seguridad.

KEYWORDS: rehabilitation, shoring, masonry walls, safety.

1. Introducción.

Las intervenciones estructurales de edificios existentes con muros de fábrica son habituales. En los momentos actuales es muy importante el volumen de las obras de remodelación y

rehabilitación de edificios destinados a viviendas, oficinas y otros usos. Ello es consecuencia de que, o bien son objeto de adaptación a algún cambio de uso, o bien las

edificaciones antiguas han visto superado su periodo de vida útil desde un punto de vista funcional; requiriéndose, en todo caso, modificación en las particiones y cerramientos, para mejorar las condiciones de aislamiento térmico, acústico y de protección frente a fuego, así como las instalaciones, para ajustarse a las prescripciones establecidas por los reglamentos vigentes en la actualidad [1,2].

Muchas de estas edificaciones presentan muros de fábrica que requieren ser eliminados o sustituidos por otra estructura portante metálica o de hormigón armado como es el caso que nos ocupa. Si bien, en algunos casos, se utilizaron sistemas de apeo mediante elementos de perfil pasante (puente de aguja); en general, los muros de fábrica eran de muy baja calidad (zonas con rellenos no estructurales, existencia de pies de madera podrida, puntos de concentración de cargas en el alzado del muro por la existencia de huecos en posiciones no alineadas en alzado, etc.) y fue necesario apea dichos muros con sistemas que fueran lo menos invasivos posibles, descartando, en la mayor parte de los casos, los puentes de aguja.

En definitiva, la solución propuesta consistió en vigas de apeo sobre castilletes provisionales, diseñados de tal forma que pudieran ser reutilizados en el apeo de las diferentes alineaciones de muro que se fueran a realizar progresivamente.

Las vigas de apeo fueron definidas como vigas armadas en C de gran canto y muy poco peso que se situaban a ambos lados del muro y conectadas con barras pretensadas, cuya compresión permitía transferir la carga vertical del muro a dichas vigas de apeo. A su vez, estas se apoyaban en los castilletes, que se definían como una estructura de tubos situados por fuera de la estructura existente, sin diagonales y fácilmente desmontables.

Dado que lo habitual era no poder ejecutar la cimentación definitiva hasta que no se hubiera descargado el muro existente, se dispuso una cimentación provisional. Una vez apeado el

muro, se ejecutó la estructura definitiva de los distintos niveles avanzando desde el nivel apeado hacia la cimentación, quedando todo el sistema provisionalmente colgado en los castilletes de apeo hasta que se pudo ejecutar la cimentación definitiva por completo.

2. Descripción del caso particular.

La metodología planteada se ha aplicado en la ciudad de Madrid, donde una buena parte de los muros de edificios antiguos presentan además de la fábrica, vigas y pies derechos de madera, tipología conocida como ‘muro o entramado de telar’. El edificio objeto de la rehabilitación, construido en 1860 en la madrileña calle de Preciados, ocupa un solar de 260 m² y se compone de una planta sótano, una planta baja y seis plantas sobre rasante (ver **figura 1**). Su irregularidad geométrica en planta (ver **figura 2**), su adaptación a uso comercial, junto con las limitaciones estructurales y en fachadas exteriores impuestas por Patrimonio, ha dado lugar a una serie de intervenciones de cirugía estructural, de cierta envergadura y complejidad, entre las cuales destacan una serie de actuaciones fundamentales y otras actuaciones secundarias.

Anterior a la intervención, fue necesario un profundo conocimiento del edificio, mediante visitas de inspección, una completa toma de datos, un estudio patológico y un estudio de las tipologías de materiales. Asimismo, como en cualquier otra obra de rehabilitación integral fue necesario definir las actuaciones previas y de demolición. La demolición parcial de la tabiquería y muros no portantes fue vital para la apertura de huecos de paso necesarios para facilitar la ejecución de las distintas fases de apeo respetando aquellos muros que seguían actuando como muros portantes.

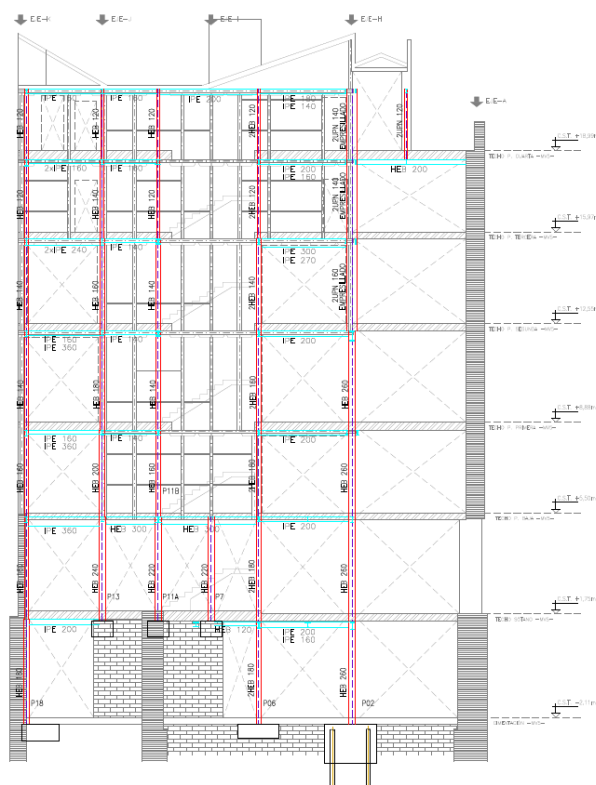


Figura 1. Alzado del edificio.



Figura 2. Planta tipo del edificio.

3. Actuaciones fundamentales.

El mal estado de la estructura existente llevó a la necesidad de definir una estructura de refuerzo que fuera capaz de asumir la totalidad de las nuevas cargas. Se definió, por tanto, un nuevo esqueleto metálico que invadiera lo menos posible la estructura existente que, en algunos casos, estaba protegida. Se añade, como

actuación relevante en las plantas inferiores, el apeo de aquellos muros que, por exigencias de la zona comercial y al no contar con protección especial de Patrimonio, había que demoler.

Adicionalmente, el refuerzo de los forjados existentes fue ejecutado mediante la disposición de un forjado mixto compuesto de viguetas metálicas tipo HEB/IPE conectadas mediante pernos Nelson a una losa colaborante de hormigón armado. Cabe subrayar que las intervenciones estructurales en el edificio objeto de la presente comunicación estuvieron condicionadas por importantes requisitos administrativos, entre los que se encontraba la conservación del material de los forjados originales, con independencia de las conclusiones derivadas del estudio patológico emitido. En ese sentido, tuvo que garantizarse que las viguetas de madera originales se integraran en el nuevo forjado conectándolas mediante tirafondos al forjado unidireccional metálico, aunque sin función estructural.

Por encima del apeo, para minimizar la afección a los muros, se dispuso un sistema de pilares empresillados con perfil UPN y vigas a ambos lados de los muros que soportaran las vigas de refuerzo de los forjados.

En cambio, por debajo del apeo, al dejar los muros sin carga, los pilares se definieron como HEB centrados con vigas para apoyo de dichos refuerzos de forjado. Las vigas de apeo y los pilares definitivos podían alcanzar los 500 kg de peso, por lo que su manipulación se realizó por medio de camiones grúa y carros de arrastre. Asimismo, se utilizaron trócolas para su colocación definitiva.

Dada la singularidad del proceso constructivo, fue necesario definir, previo al apeo de la estructura, la cimentación de los apeos provisionales y de la estructura vertical metálica definitiva. Esta cimentación se diseñó profunda mediante micropilotes de calidad N-80 y diámetro Ø101.6x8. Los encepados fueron rectangulares con un área media igual a 3 m² y canto igual a 1.10 m. Sobre los micropilotes se

apoyaron los soportes tubulares de escuadría cuadrada de los castilletes, los cuales sirvieron como punto de apoyo de las cargas transmitidas por el apeo cuando el sistema elegido no fue el puente de agujas. Su peso aproximado era de 70 kg aproximadamente por tramo, por lo que su manejo se realizó de modo manual o por medio de trócola.

La cimentación definitiva de los nuevos pilares, en algunos casos (ver **figura 3**), se pudo hacer al inicio de ejecución de la obra. No obstante, en otros casos (cuyo procedimiento constructivo completo se indica en el apartado 5), no se pudo hacer hasta que no se produjo la descarga efectiva del muro existente. En estos casos, se requirió igualmente realizar los micropilotes desde el inicio, para apoyar en ellos un encepado provisional (ver **figura 4**).



Figura 3. Cimentación de estado reformado.



Figura 4. Encepados provisionales y micropilotes.

4. Actuaciones secundarias.

Del mismo modo, fueron necesarias una serie de actuaciones secundarias de rehabilitación entre las que destacamos las siguientes:

- Apertura de huecos de paso de dimensiones máximas 1.50 m x 2.10 m que no precisaron apeo alguno al contar con el efecto arco de descarga en fábricas. Fueron realizados mediante doble cargadero metálico unido mediante presillas en su parte inferior cuyo apoyo directo en la fábrica se materializó mediante unos dados de hormigón armado.
- Ejecución de recalces de machones por bataches.
- Reconstrucción de machones muy deteriorados.
- Reposición de sillares de granito de fachada: cortes de regularización mediante sierra de diamante, reconstrucción de zonas deterioradas, limpieza e inyección de holguras, etcétera.

5. Procedimiento constructivo.

Las fases del procedimiento constructivo que se siguieron para ejecutar las actuaciones fundamentales descritas en el apartado 4 se indican específicamente a continuación para uno de los vanos tipo en los que fue necesario ejecutar un encepado provisional y un apeo a nivel de planta tercera (P_3):

- Fase 1. Ejecución de encepados provisionales y micropilotes.
 - 1.a. Ejecución de micropilotes.
 - 1.b. Ejecución de encepados provisionales (ver **figura 4**).
- Fase 2. Apeo del muro en el nivel de planta tercera (P_3) (ver **figura 5**).
 - 2.a. Ejecución de las torres de apeo hasta el nivel de planta tercera (P_3) apoyadas en los encepados provisionales ejecutados en la fase 1.
 - 2.b. Colocación de las vigas de apeo provisional por encima del nivel de planta tercera (P_3) (ver **figura 6**). Dichas vigas de apeo provisional fueron calculadas para que la flecha asociada al momento de desapeo no produjera daños estéticos en el mismo y, por tanto, no fue necesario, en ningún caso, la transferencia activa de carga mediante gatos hidráulicos.

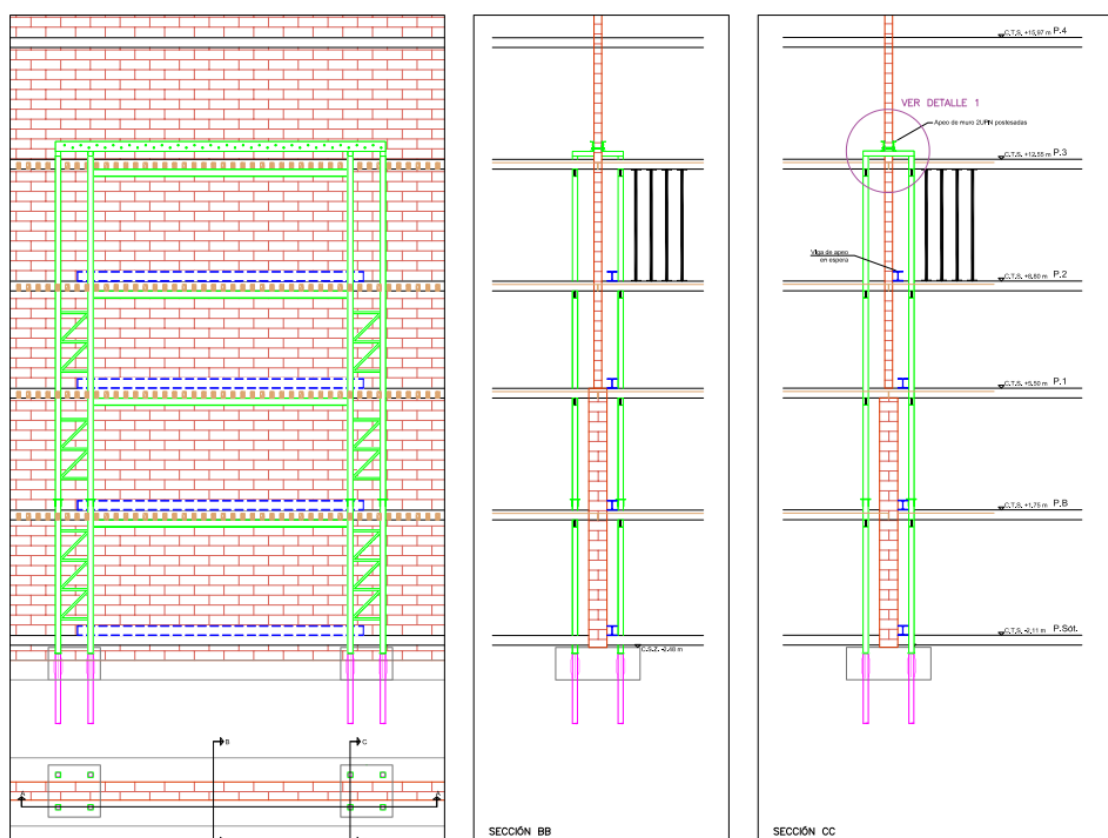


Figura 5. Apeo del muro a nivel de planta tercera.

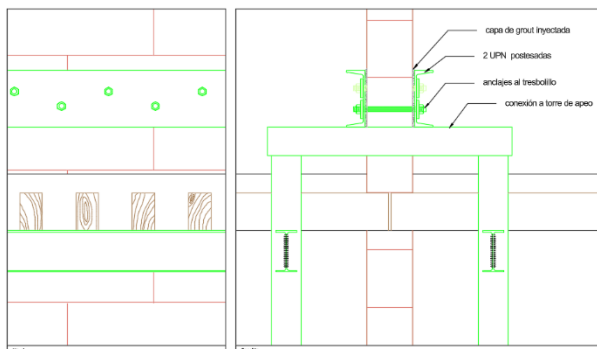


Figura 6. Detalle de pareja de UPN de Fase 2 del procedimiento de ejecución.

- 2.c. Conexión de dichas vigas tipo UPN (en forma de C) dispuestas en ambas caras del muro mediante inyección y tesado a muro existente.
- 2.d. Apuntalamiento del forjado existente a nivel de planta tercera (P_i), el cual se apoya en el muro que se va a demoler.
- 2.e. Corte de las viguetas del forjado existente a nivel de planta tercera (P_i) para desconectarlas del tramo de muro existente de planta segunda (P_{i-1}).
- 2.f. Demolición de la fábrica del tramo de planta segunda (P_{i-1}) a planta tercera (P_i) (ver figura 7).
- 2.g. Colocación del tramo de pilar definitivo de planta segunda (P_{i-1}) a planta tercera (P_i) (ver figura 8) y de la viga de apeo definitivo en el nivel de planta tercera (P_i) coincidente con el muro.

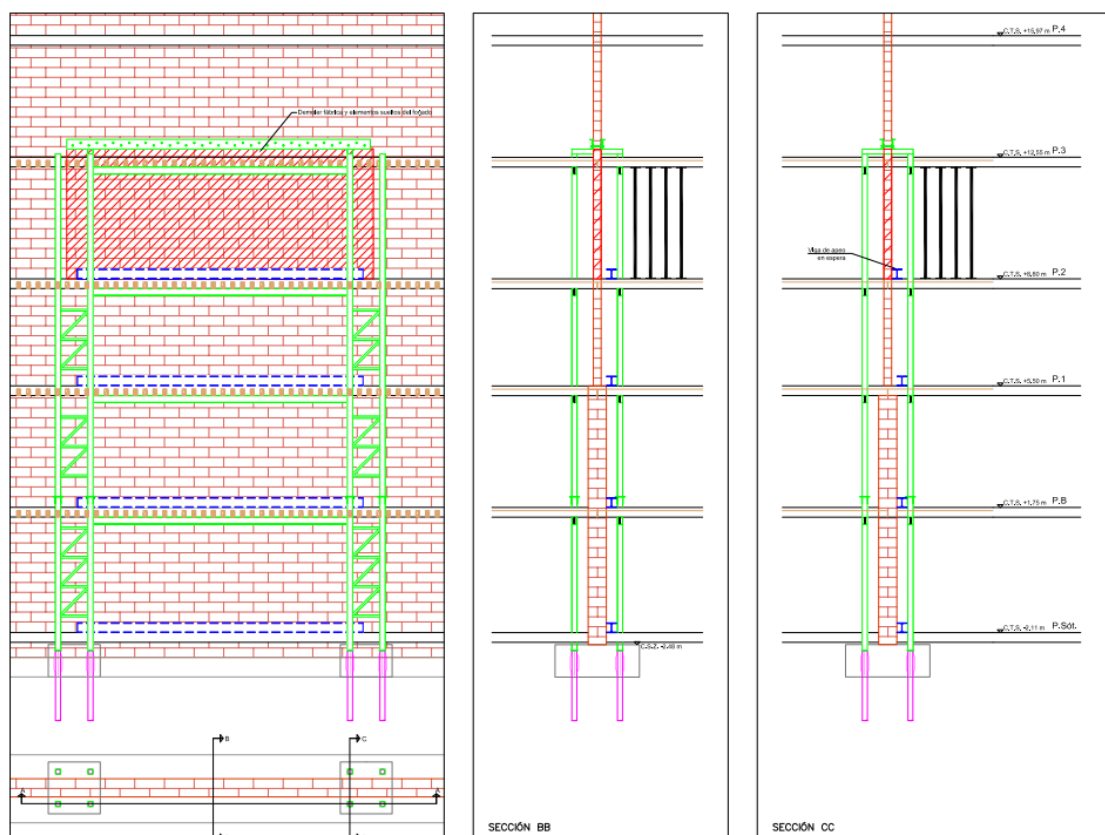


Figura 7. Fase 2.f del procedimiento de ejecución.

- Fase 3. Refuerzo del forjado de planta tercera (P_i). Una vez dispuesta la viga cargadero definitiva, se pudo disponer la estructura de refuerzos del forjado apoyada directamente sobre esa viga cargadero (ver **figura 8**):
 - 3.a. Colocación de nuevas viguetas metálicas.
 - 3.b. Colocación de pernos Nelson en viga y viguetas y de tirafondos de conexión de viguetas de madera (ver **figura 9**).
 - 3.c. Vertido de hormigón de recrecido colaborante con las viguetas metálicas ya dispuestas.
- Fase 4. Una vez ejecutada la planta tercera (P_i) del nivel de apeo, se pudo avanzar de manera simultánea con la ejecución de las actuaciones estructurales en las plantas por encima y por debajo de dicho nivel de planta tercera (P_i).
 - 4.a. Ejecución de las plantas superiores y siguientes con un sistema

convencional de disposición de pilar y vigas de refuerzo de forjado sin afectar a la estructura existente.

- 4.b. Ejecución de las plantas inferiores a planta tercera (P_i) avanzando progresivamente en sentido descendente con las demoliciones de muro y refuerzos de forjados:
 - Apuntalamiento del forjado existente del nivel de planta segunda (P_{i-1}).
 - Demolición de la fábrica del tramo de planta primera (P_{i-2}) a planta segunda (P_{i-1}).
 - Colocación del tramo de pilar definitivo de planta primera (P_{i-2}) a planta segunda (P_{i-1}) y de la viga de apeo definitivo en el nivel de planta segunda (P_{i-1}). Dicho pilar queda efectivamente conectado a las torres de apeo, de las que se cuelga durante la fase de ejecución.

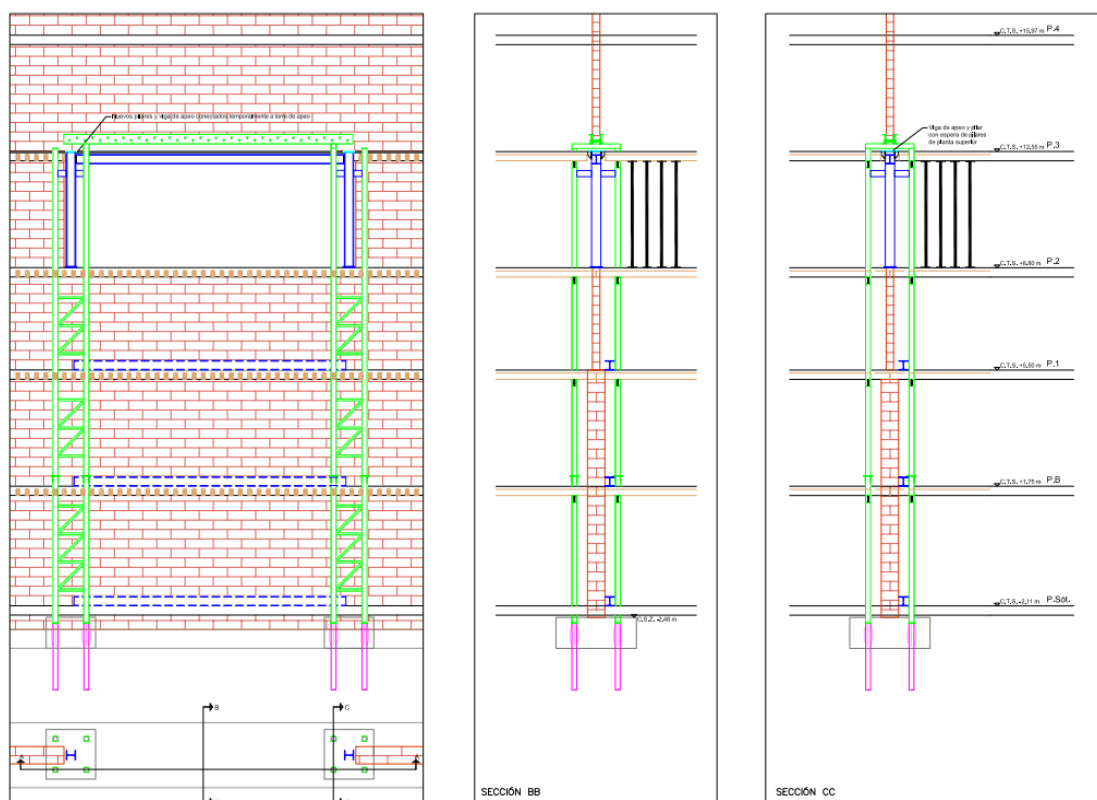


Figura 8. Fase 2.g del procedimiento de ejecución.

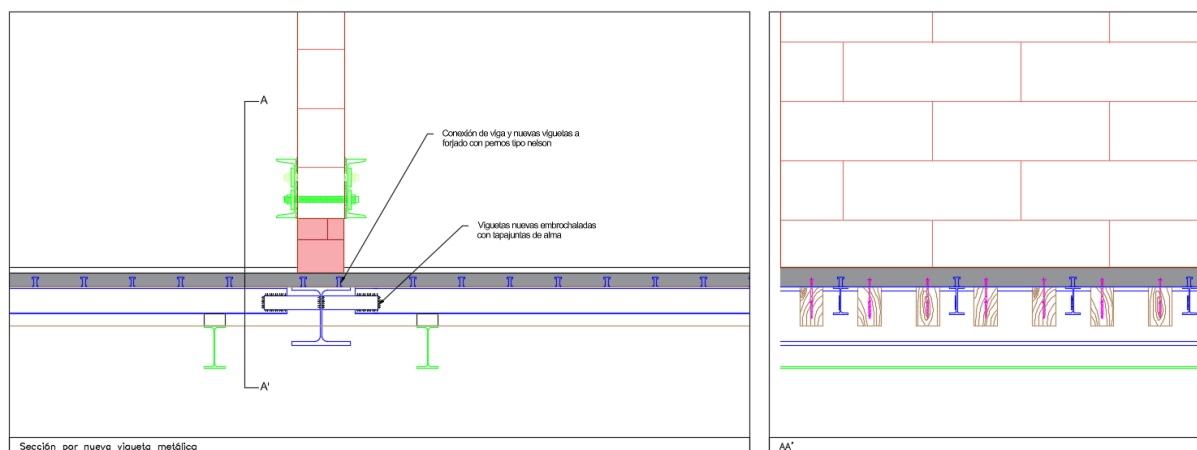


Figura 9. Disposición de viguetas metálicas y material de madera.

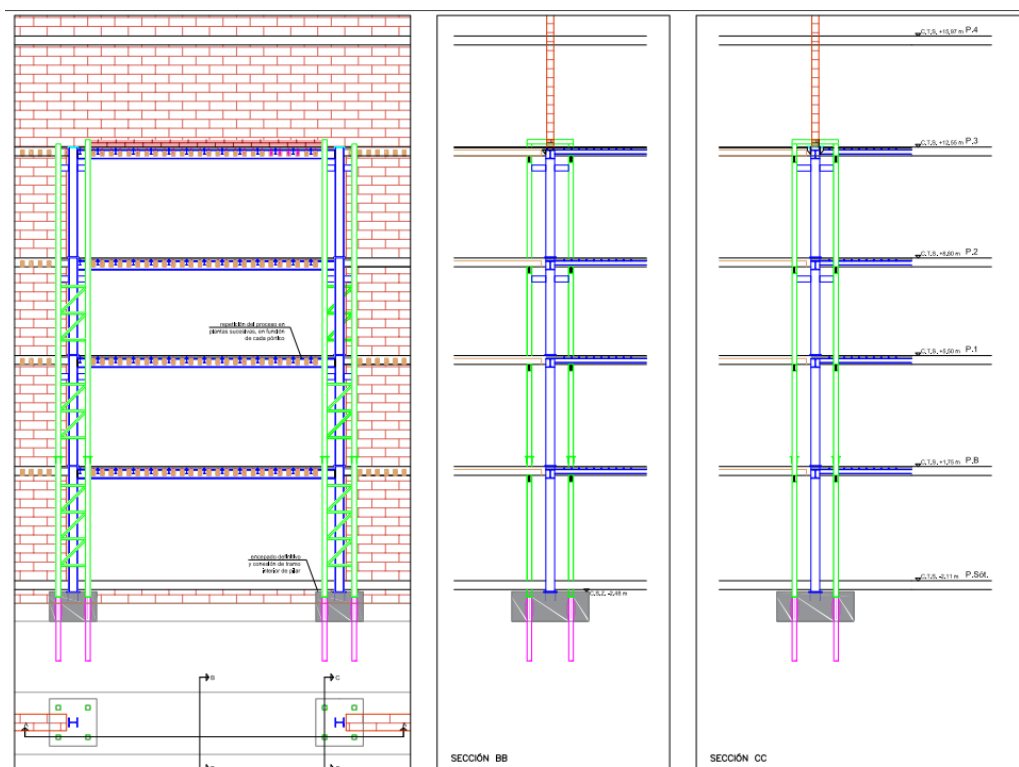


Figura 10. Fase 4b.

- Ejecución de las plantas inferiores a la planta P_{i-1} , inmediatamente inferior a P_i , con la repetición sucesiva de las actuaciones descritas de apuntalamiento, demolición, colocación de pilar definitivo y ejecución de las plantas inferiores a P_{i-2} hasta planta sótano (P_{i-4}) (ver **figura 10**).
- Fase 5. Una vez que los pilares definitivos llegan a cimentación, y ya no existe carga en el muro existente, este se puede demoler y ejecutar libremente la cimentación definitiva.
- Fase 6. Retirada de la torre de apeo y entrada en carga de la estructura definitiva.

6. Elementos provisionales.

La propuesta para resolver el apeo provisional de los muros de la fase 2 mediante una doble viga consistió en perfiles armados con forma de C conectados al muro mediante barras pretensadas de pequeña entidad. En realidad, se optó por una viga armada con la que se pudieran conseguir grandes cantos, para mejorar la respuesta en deformaciones y en resistencia, pero hubo que reducir el peso de estas vigas empleando espesores reducidos. La reducción de peso fue fundamental para garantizar la manejabilidad en obra. Para cumplir con las normativas y evitar la abolladura de la sección de espesor reducido, se diseñó un giro del ala comprimida (ver **figura 11**).

Se realizó el dimensionamiento de estas vigas de apeo para el caso pésimo, considerando la distancia libre entre las torres de apeo como luz de cálculo, al situarse estas torres a 0.5 m del eje del pilar definitivo (torres de 1 m x 1 m centradas en el pilar). El límite de la flecha impuesto para garantizar que los movimientos en el momento de desapeo no produjeran daños estéticos en los muros existentes fue de $L/700$ con un valor límite de 1 cm, siendo L la luz libre entre apoyos.



Figura 11. Diseño de doble viga y castilletes.

Las solicitaciones que fueron tenidas en cuenta para el diseño de cada una de las vigas armadas en forma de C fueron:

- o $M_d = 200 \text{ KN}\cdot\text{m/viga}$.
- o $V_d = 203 \text{ KN/viga}$.
- o **Inercia** $> 15122 \text{ cm}^4$.

La conexión continua al muro se realizó de manera continua al tresbolillo con varillas de diámetro igual a 16 mm, calidad 8.8 y separadas 250 mm (pretensadas a 85 KN/varilla caso pésimo).

La fuerza de pretensado se consideró que actuaba sobre el ladrillo del muro, y no sobre la resistencia reducida de la fábrica, ya que al tratarse de muros de un pie de ladrillo no había ninguna capa de mortero entre ladrillos en la dirección de trabajo de la fuerza de pretensado.

Por tanto, hubo que garantizar, antes de llevar a cabo las labores de montaje de las vigas

de apeo, que las fábricas a las que se van a conectar estuvieran formadas por ladrillos macizos sin la existencia de ladrillos huecos alternados.

La conexión puntual de la viga de apeo a los pies de madera situados al borde de huecos se realizó mediante al menos una varilla de diámetro igual a 20 mm, calidad 8.8 y separadas 250 mm (pretensadas a 135 KN/varilla). Estas conexiones, para que fueran genéricas para todos los casos y no variaran de dónde estuviera la puerta en cada caso, se realizó por encima de las vigas de apeo.

Partiendo de la bajada de cargas en situación provisional, se realizó un reparto de carga a los castilletes definidos para el proceso constructivo, cuya ejecución se tuvo en cuenta en fase 1. Dichos castilletes se definieron como un conjunto de cuatro tubos cuadrados metálicos que formaran una torre de apeo.

Cada uno de estos tubos se calcularon a pandeo entre plantas, sin considerar ningún arriostramiento o triangulación adicional entre niveles de forjado.

Dichos castilletes, en general, arrancaban sobre los micropilotes definitivos mediante un detalle de apoyo directo (ver **figura 1**).

7. Conclusiones.

Para muros en mal estado, usar elementos provisionales que se puedan reutilizar, de poco peso para la ejecución de una operación singular de apeo, permite también mejorar ritmos de ejecución al poder avanzar de manera simultánea ejecutando estructura por encima y por abajo del nivel de apeo.

En definitiva, se ha descrito un procedimiento constructivo en un edificio existente en Madrid que, con independencia de las particularidades descritas, debiera, al menos, ser considerada como una alternativa de actuación en futuras actuaciones de rehabilitación que impliquen conservación de

material y sustitución de estructura vertical portante.

Referencias

- [1] Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. Código Estructural. Madrid, 2021.
- [2] CEN, EN 1992-1-1:2004, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, 2004.