

EJECUCIÓN DE LA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DEL CONVENTO DE STA. M^a DE LOS REYES. SEVILLA (ESPAÑA)

Luis Díaz de la Cruz

Arquitecto Técnico

Freyssinet S.A.

Jefe de obra

luis_d@freyssinet-es.com

Luis Cosano

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

Freyssinet S.A.

Responsable de Explotación y Marketing

luis_c@freyssinet-es.com

Ángel Rozas

Ingeniero Industrial

Freyssinet S.A.

Ingeniero Departamento Técnico

angel_r@freyssinet-es.com

Pablo Vilchez

Ingeniero Industrial

Freyssinet S.A.

Director Técnico

pablo_v@freyssinet-es.com

RESUMEN

El antiguo convento de Sta. M^a de los Reyes se ubica dentro del casco histórico de Sevilla. Se trata de un conjunto arquitectónico de estilos mudéjar y manierista. Consta de 4 volúmenes: Cuerpo principal que conforma el Claustro, Iglesia Nueva, Celdas de las Novicias y Casa del Cura. Esta restauración es un ejemplo claro de intervención adecuada y respetuosa sobre un conjunto histórico. Por tratarse de un entorno urbano de gran interés arquitectónico, el grado de protección estructural de todo el conjunto ha sido elevado, lo que ha propiciado la concurrencia de numerosas técnicas de rehabilitación estructural para el cumplimiento de todos los objetivos.

ABSTRACT

Santa María de los Reyes Convent is located in the heart of the historical center in Sevilla. This building is an architectural example of mudéjar and mannerist style. It consist of 4 clearly defined structures: Main building surrounding the cloister, New Church (XVIII Century), Novices chambers and Priest's house. This is a clear example of right and respectful intervention. The level of the structural protection has been high, which has led to define a great amount of different rehab technics to achieve the objectives.

PALABRAS CLAVE: Rehabilitación estructural, composites, inyecciones, postesado, patrimonio

KEYWORDS: Structural repair works, composites, grouting, PT, architectural heritage

1. Introducción.

1.1. Conjunto Histórico

El antiguo Convento de Sta. M^a de los Reyes de Sevilla, actualmente propiedad de la Consejería de Fomento y Vivienda, está ubicado dentro de lo que fue el casco intramuros e histórico de Sevilla, junto a la antigua Puerta Osario, en la c/ Santiago nº33 y parcelas contiguas, c/ Santiago nº35, c/ Ceniceros nº3 y 4, Muro de los Navarros nº47. El antiguo Palacio de Villapanés, convertido actualmente en hotel, está situado junto a la medianera adyacente al refectorio del convento.

Como se puede observar en la Figura 1, la planta tiene geometría irregular y se compone de un conjunto de solares rectangulares. Pueden observarse también las diferentes etapas constructivas de los inmuebles del conjunto, que han sido desarrolladas entre los siglos XVI-XIX.

Alrededor del Claustro principal se articula una serie de inmueble con la siguiente distribución: Sala Capitular y Refectorio en el ala NO, Lavaderos y Sala de Labores en el ala NE, y Torno y Coro Bajo al SO. Anexa a este último se encuentra la Iglesia Nueva. La Casa del Cura es una edificación independiente situada al Sur, cuya fachada principal da a la C/ Santiago. El pabellón de Celdas está anexo a la Sala de Labores por el Este.



Figura 1. Etapas constructivas y organización del convento

El conjunto de inmuebles consta de Planta Baja, Planta Primera, y en ciertos inmuebles (Lavaderos, Sala Capitular y Casa del Cura), también Bajo Cubierta.

Respecto a la arquitectura del antiguo convento, cabe destacar la mezcla de estilos mudéjar y manierista. El claustro, de gran tinte mudéjar, se levantó sobre los restos de un patio palaciego del siglo VI. En él destacan los variados capiteles renacentistas de las columnas de mármol que conforman su galería de arcos de medio punto (en Planta Baja) y rebajados (en Planta Primera). El lado de la galería colindante con la huerta (ala SO) se encuentra incompleto y muy modificado con respecto al resto de lados del Claustro. En el centro del claustro se ubica una fuente en forma de estrella de ocho puntas. En los muros del patio existen multitud de hornacinas, añadiéndose en el siglo XIX las yeserías platerescas que enmarcan hoy sus huecos.

Los inmuebles que se encuentran en torno al claustro son los de mayor valor arquitectónico; su estructura se resuelve con forjados de madera sobre muros de fábrica de ladrillo tosco y tapial, en los que se aprecian juntas, probablemente debidas a diferentes procesos y fases constructivas.

El conjunto, parcialmente rehabilitado antes de la intervención, mantenía en uso tan solo una pequeña proporción de sus espacios (Iglesia, Compás, Coro Bajo y Sala de Labores). La superficie en uso, ya rehabilitada y consolidada antes de realizar esta fase de rehabilitación, era de 1673 m².

La superficie a consolidar de forma permanente en esta fase ha sido de 1056 m² (Sala Capitular, Refectorio, Sala de Labores, Claustro y Casa del Cura).

La superficie a consolidar provisionalmente en esta misma fase (a la espera de un futuro nuevo proyecto específico) ha sido de 809 m² (Cuerpo de las antiguas Celdas y nave anexa a la Sala de Labores).

Por la ubicación donde se inserta este conjunto patrimonial y por sus características arquitectónicas, los nuevos usos propuestos para el futuro complejo pasan por la creación de un espacio cultural, patrimonial y lúdico activo.

1.2. Incidentes y patologías

Cabe destacar un incidente de gran importancia a nivel de afección sobre el patrimonio, que tuvo lugar recientemente, en el año 2007, durante las obras de rehabilitación y adecuación a hotel del antiguo Palacio de Villapanés que, como se ha dicho, tiene medianería con el Refectorio del convento.

En este lugar se estuvieron realizando inyecciones armadas de consolidación del terreno incorrectamente dimensionadas (presión, volumen) desde las obras vecinas, previamente a la ejecución de varias plantas de sótano. Dicha actuación desembocó en un levantamiento diferencial del suelo (hinchamientos conocidos como quebrantos) en todo el ala oeste del claustro. La integridad estructural de varios muros, en el mismo Refectorio y en los Antiguos Lavaderos, se vio comprometida por la aparición de fisuras y grietas cuya fisonomía revelaba un origen inequívoco.

Debido a la falta de tratamiento de las zonas exteriores y a la naturaleza de los muros (tapial y ladrillo), se producía una gran capilaridad del agua del terreno hacia el interior y la parte superior de los muros.

Otra patología detectada, propia de este tipo de construcciones, era la presencia de insectos xilófagos (termitas) en determinadas áreas del inmueble, que afectaban fundamentalmente a los forjados de Planta Primera (sobre Refectorio y Sala Capitular).

Igualmente se observó en todos los espacios del claustro afección por la meteorización de los morteros con los que estaban compuestas las paredes.

Existían muros con desplomes importantes (en el límite Normativo s/CTE, 1/250 desplome local), fundamentalmente en la Casa del Cura, que ponían en riesgo la estabilidad del inmueble.



Figura 2. Vista general del claustro

Otros edificios, como las Celdas o los Lavaderos, se encontraban en estado ruinoso, con riesgo potencial de derrumbe.

1.3. Proyecto de Rehabilitación

En noviembre 2013 se desarrolla el proyecto de ejecución con algunas diferencias con respecto al proyecto básico aprobado, que consistían fundamentalmente en la simplificación de la actuación sobre las cimentaciones, y consecuentemente en una probable menor afección al sustrato arqueológico.

El 19 de febrero de 2014 este proyecto básico y de ejecución obtiene la licencia de obras correspondiente, otorgada por la Gerencia de Urbanismo de Sevilla.

La definición del proyecto recayó en la sociedad proyectista formada por: UTE José Morales, Sara de Giles, Juan González, Carlos Morales.

El proyecto de Estructuras lo realizó el Estudio Duarte y Asociados S.L.P., y la ejecución recayó en Freyssinet S.A.

El objeto fundamental y prioritario del encargo pasaba por realizar una primera fase de actuación en la que se priorizara la consolidación estructural y de la cimentación de los inmuebles situados en torno al Claustro, así como la consolidación y rehabilitación de sus cubiertas. Finalmente se consolidaron todas las edificaciones del conjunto que no habían sido rehabilitadas con anterioridad. Dos de ellas (el cuerpo de las antiguas Celdas y la nave anexa a la Sala de Labores) se consolidaron estructuralmente de manera provisional, a la espera del desarrollo, en una fase posterior, de un proyecto que contemple su integración en el futuro jardín urbano que se quiere desarrollar en el área de las antiguas huertas del convento, logrando así el objetivo de abrir a los ciudadanos este espacio de recorrido exterior del antiguo convento.

Los métodos de reparación empleados se escogieron para tratar de respetar al máximo el valor arquitectónico de los elementos rehabilitados, evitando su sustitución por otros de nueva ejecución y utilizando técnicas que minimizaran el impacto visual en el conjunto patrimonial.

A continuación se describen las principales actuaciones llevadas a cabo en el estricto ámbito estructural:

CIMENTACIONES

- Ejecución de inyecciones armadas en el terreno para incrementar la capacidad de trabajo del relleno histórico.
- Vigas de cimentación bajo la arcada del claustro para lograr una mejor y mayor distribución de las tensiones en el terreno así como el arriostramiento entre las cimentaciones existentes.
- Cimentación profunda mediante micropilotes para apoyar la nueva estructura (3 plantas) de la Casa del Cura, trasladando sus cargas a un nivel de terreno competente.

ARCADA CLAUSTRRO

- Cosido de planos de rotura de las columnas, identificadas por la propia disposición de las vetas del material, debido al incremento de cargas asociado al cambio de uso.
- Colocación de nuevos capiteles en caso de deterioros extremos.

MUROS

- Conexión entre muros para mejorar el trabado en esquinas.
- Ejecución de nuevos dinteles metálicos para sustituir los dinteles existentes deteriorados.
- Atado del muro medianero (Refectorio/Palacio de Villapanés) para asegurar su estabilidad.
- Cosido e inyección de fisuras en muros existentes.

FORJADOS

- Refuerzo de forjado de madera mediante conectores y capa de compresión de hormigón (forjado mixto).
- Nuevos forjados y escaleras en losa armada en sustitución de elementos en estado ruinoso.
- Nueva losa maciza sobre micropilotes en la Casa del Cura para soporte de la nueva estructura de 3 niveles (Primera, Bajo Cubierta y Cubierta), a conectar con las fachadas existentes.

CUBIERTAS

- Nueva cubierta a dos aguas en Sala de Labores y caja de escalera para sustituir la existente.

En resumen, se ha realizado una rehabilitación que ha consistido en el mantenimiento, en la medida de lo posible, del conjunto histórico, adecuándolo para soportar las nuevas sobrecargas asociadas al cambio de uso.

2. Ejecución de las obras

Freyssinet S.A. ha llevado a cabo la ejecución de los trabajos de rehabilitación estructural del Convento de Santa María de los Reyes en Sevilla, colaborando asimismo en la optimización de la solución planteada, fundamentalmente en lo que compete a la ejecución.

2.1. Vigas de cimentación y consolidación del terreno

De acuerdo con lo indicado en el Estudio Geotécnico, el terreno no tenía capacidad suficiente como para que se utilizase cimentación directa sin antes realizar una mejora del mismo. La cimentación original de las columnas de la arcada eran dados de fábrica; antes de realizar la mejora del terreno se procedió a la ampliación y atado de la base de apoyo de estas columnas mediante la ejecución de una viga flotante perimetral de hormigón para que hubiera un mejor reparto de cargas. La nueva viga, de mayor ancho que las bases de apoyo actuales, se conectaba a éstas mediante barras de acero de alto límite elástico. La vinculación se realizó mediante el postesado de estas barras, dispuestas a cada lado de la cimentación existente sin tocarla, lo cual permitía la transferencia de esfuerzos mediante un mecanismo de rasante sin dañar el elemento de fábrica con perforaciones que pudieran suponer un riesgo de rotura.

Se recuerda el incidente provocado por las inyecciones de consolidación realizadas en el edificio medianero (Palacio de Villapanés), ya comentado en el punto 1.2, que se tradujo en un movimiento ascendente del suelo con distribución irregular que provocó el levantamiento de alguno de los muros más próximos. El convento se asienta sobre rellenos antrópicos que, aunque compactados a lo largo de más de tres siglos, conforman un terreno bastante heterogéneo. Las bolsas de cemento inyectado bajo el antiguo convento convirtieron en “zonas duras” lo que anteriormente habían sido “zonas blandas”. Por ello, se realizó una inyección de impregnación fluida con cemento-bentonita para consolidar y homogeneizar el terreno hasta una profundidad

aproximada de unos 7 m, y así conseguir anular la inestabilidad estructural que suponía la existencia de las bolsas de cemento que se inyectaron inicialmente sin control. Además, estas inyecciones materializaron la mejora del terreno que se apuntaba al inicio de este apartado y que era requerida en todos los espacios ubicados en torno al Claustro. Esta operación era bastante delicada por lo heterogéneo del terreno y por los antecedentes existentes en el muro medianero (Palacio de Villapanés). Para reducir al mínimo los riesgos, la inyección se llevó a cabo en varias fases, inyectando en todo momento a presiones en torno a los 2 kp/cm², y llevando un control de instrumentación exhaustivo de todos los elementos de carga del edificio, así como una monitorización de éste durante las inyecciones.

Una vez finalizado el proceso de inyección, y con objeto de verificar la inyección realizada, se llevó a cabo un estudio geofísico mediante Sísmica en sondeos, con dispositivo "Cross hole". Se observó que entre los metros 1 a 6 se había pasado de un suelo en el límite suelo blando-suelo denso tipo E-D, antes de la inyección, a un suelo muy denso tipo C tras la inyección (criterio y denominación s/ Tabla 1615.1.1 del International Building Code (IBC)).



Figura 3. Viga flotante de cimentación y consolidación del terreno mediante inyecciones de impregnación

2.2. Cosido/conexión, sellado e inyección de fisuras en muros

Para mejorar el trabado de las hojas de los muros afectados por las inyecciones armadas se procedió al cosido de sus esquinas por medio de varillas de fibra de vidrio, dispuestas en ángulo y al tresbolillo para no crear nuevas líneas de fractura. Posteriormente se realizó una inyección mediante lechada de cal. En los paños de los muros se procedió a la inyección o el calafateo de las fisuras existentes, dependiendo de sus características. La inyección se realizó en el desarrollo de fisuras verticales, de abajo a arriba y a bajas presiones (<1.8 bar), debido a la inestabilidad inicial del muro. Previamente se llevó a cabo una inyección con una disolución de agua con cal, para arrastre inicial de las partículas sueltas, y fundamentalmente para evitar la absorción por parte del muro del agua de la lechada, evitando así la obturación prematura de la fisura, que impediría el completo relleno de la misma.



Figura 4. Inyección de fisuras en muros y conexión/cosido de esquinas

2.3. Refuerzo de forjados de madera

Se llevaron a cabo en Sala Capitular, Sala de Labores, y Refectorio. Se realizó en primer lugar el desmontaje de la solería, además de la eliminación del relleno existente hasta el entablado. Posteriormente se instalaron conectores madera/hormigón a 45° mediante adhesivo epoxi, se realizaron rozas perimetrales en los muros de la estancia para embeber en los mismos un zuncho de borde, y por último se procedió a la disposición del armado superior y al vertido de la capa de compresión de hormigón. Todo este proceso se llevó a cabo previo apuntalamiento de cada uno de los forjados a reforzar, para garantizar de esta manera el comportamiento como estructura mixta de la sección completa (madera + hormigón) para la práctica totalidad de las cargas.

Pese a que los muros de la Sala Capitular y de Labores tenían presencia de numerosas grietas y fisuras, tras una evaluación inicial se observó que por la tipología y patrón de las mismas, su origen era debido a las inyecciones realizadas en el edificio medianero, descartando que su origen fuera por capacidad.

Se tuvieron en cuenta las cargas existentes de relleno y solería previas a la reparación y refuerzo para que la disposición de la nueva capa de compresión ($e=12$ cm) no supusiera un incremento en las sollicitaciones sobre la estructura con respecto al estado anterior a la intervención.



Figura 5. Detalle de ejecución forjado mixto madera/capa de compresión hormigón

2.4. Nueva cubierta metálica en Sala de Labores

Se realizó la sustitución de la cubierta existente por una nueva a dos aguas, mediante la colocación sobre zunchos de hormigón de zunchos metálicos, que servían de soporte a los pórticos de cubierta con sus correas. Para anular la transmisión de esfuerzos horizontales de la nueva cubierta sobre los muros, se colocaron tendones interiores postesados (2 unidades 1F15 por zuncho) para equilibrar esfuerzos horizontales a transmitir por la nueva cubierta. La cubierta se completaba con la colocación de paneles tipo sándwich y teja.

La operación más delicada y que requería un control más exhaustivo fue la de tesado de los tendones, puesto que al ser un refuerzo activo, cualquier exceso en las fuerzas introducidas podría resultar fatal para la estructura existente. En diseño se realizó un modelo de cálculo para intentar reducir al mínimo necesario la fuerza de tesado, y durante la ejecución se definieron diferentes escalones de tesado para el control de deformaciones, además de tomarse medidas adicionales de seguridad mediante elementos provisionales, para evitar así cualquier tipo de incidente.

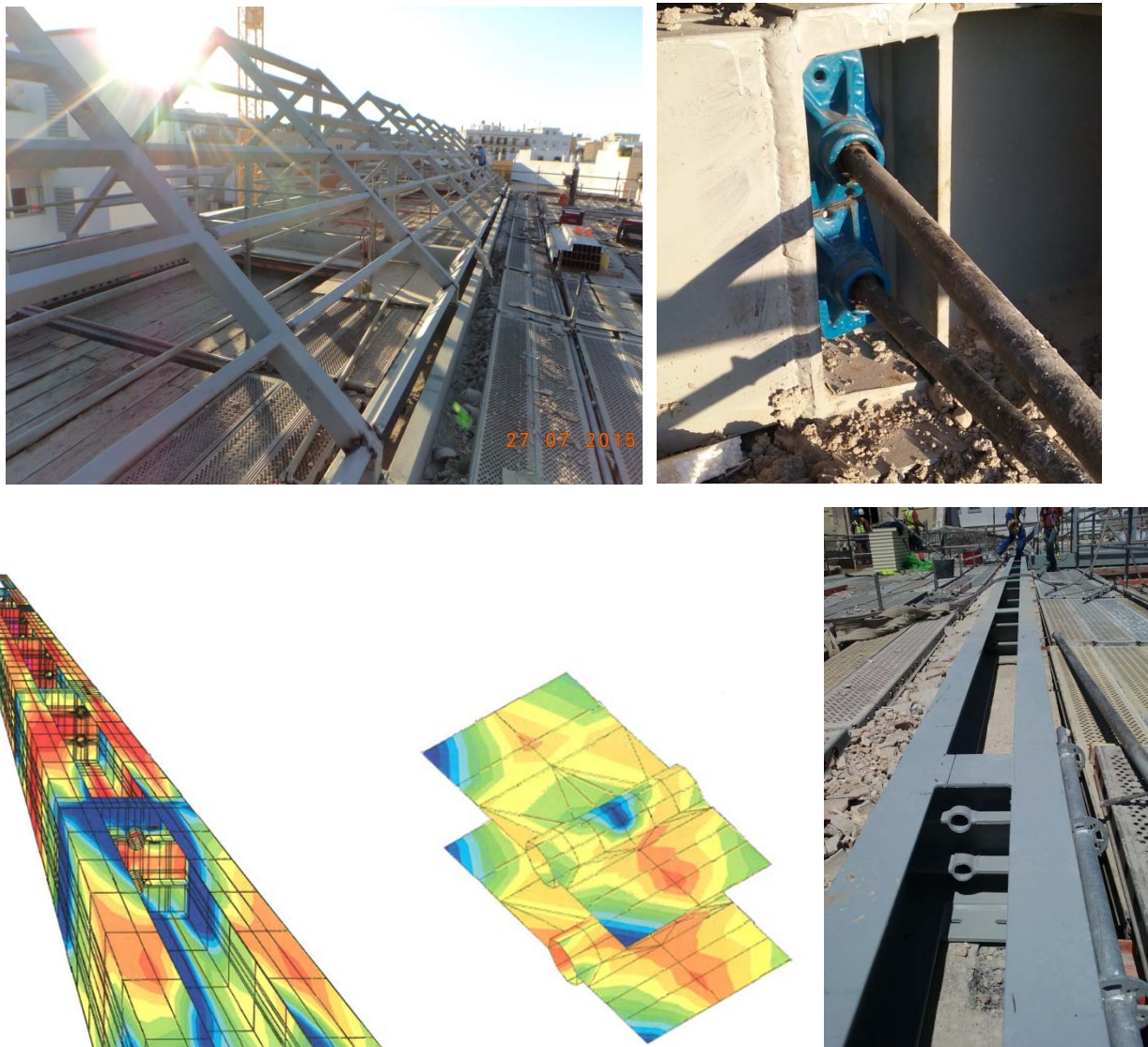


Figura 6. Detalle de cubierta y cajón metálico PT para compensar la transmisión de empujes a muro

2.5. Casa del Cura

Es un edificio independiente del resto de inmuebles. Se realizó un vaciado de las plantas interiores debido al estado ruinoso que presentaban, manteniendo la fachada principal e incluso el muro posterior pese al dudoso valor arquitectónico del mismo. El sistema de estabilización y arriostramiento interior consistía en vigas metálicas aligeradas con uniones atornilladas que conectaban de manera rígida las 2 fachadas. No se requirió de la necesidad de contrapesar el arriostramiento desde la parte posterior del edificio por tratarse de una planta rectangular con un frontal inferior a los 10 m, arriostrado por muros ortogonales a las fachadas en sus extremos. Una vez estabilizados los muros, se procedió al vaciado y la ejecución de una losa maciza sobre micropilotes (perforados mediante rotación con agua para evitar la transmisión de vibraciones a los muros existentes). Sobre ella se levantaron pilares metálicos enrasados a cara de muro, tras descartar ejecutar rozas para embeberlos en los mismos, debido al delicado estado que presentaban. Se realizaron conexiones pasantes mediante placas individuales y varillas roscadas para la unión de los forjados a los muros, dejando posteriormente embebidas dichas placas en las fachadas. El extremo de las varillas que daba al interior del edificio quedaría anclado en los forjados tras el hormigonado de cada una de las plantas. Estas varillas trabajan fundamentalmente a tracción pese a que toman cortante residual que transmitirán al muro por reparto de rigideces.



Figura 7. Estabilización de fachadas y detalle de conexión de nuevo forjado con muro existente

2.6. Cosido del plano de rotura de las columnas del claustro

En la inspección visual realizada se observó que en las columnas de mármol aparecían superficies de fractura oblicuas dispuestas aproximadamente paralelas entre ellas. En algunas se observaba un depósito mineral oscuro que las tapizaba. Estas mineralizaciones indicarían que dichas fracturas son originarias de la roca metamórfica. Al tratarse de mármol, las rocas de las cuales se extrajeron las columnas deben de estar completamente recristalizadas por procesos metamórficos de tal forma que no cabría esperar ninguna porosidad original. Los fustes de mármol no presentaban fisuras o patologías propias de fallo por capacidad. Existían por otro lado capiteles rotos que requerían una restauración de carácter no estructural.

Pese a lo comentado se habían realizado con anterioridad unos ensayos de ultrasonidos llevados a cabo por el Laboratorio de Control de Calidad de la Delegación Provincial de Sevilla de la Consejería de Fomento y Vivienda, que arrojaban unos resultados muy heterogéneos, en algunos casos por debajo de los niveles de velocidad de propagación (<3.0 km/s) considerados como válidos para este medio. Pese a que hay numerosos factores que pueden afectar a los resultados, y que el hecho de estar por debajo del umbral definido no implicaba necesariamente que hubiera riesgo de rotura por deslizamiento de cuña por defectos del diaclasado (vetas) en columnas con más de 3 siglos, finalmente se optó por reforzar algunas de las columnas de mármol del Claustro, fundamentalmente por la dificultad de poder caracterizar su capacidad resistente ante la propia heterogeneidad que presentaban, y frente al incremento de cargas al que se verían sometidas por el cambio de uso del conjunto rehabilitado.

En un primer momento se intentó evitar el apeo y la extracción de las columnas para su posterior refuerzo axial mediante la realización de un taladro en su eje, en base a la más que probable excentricidad por defecto de forma de las propias columnas, y por tanto por el riesgo que entrañaba la operación.

Por ello se presentaron propuestas alternativas de consolidación mediante inyecciones con resinas muy fluidas a presiones prácticamente nulas para evitar transmitir presiones al mármol, cosidos in situ mediante FRP previo apuntalamiento de seguridad de la estructura, e incluso la realización de una prueba de carga con control de deformaciones y apuntalamiento de seguridad (tras superar el umbral de deformaciones definido).

Finalmente se descartaron estas propuestas y se realizó la solución de apeo, extracción, refuerzo y recolocación de las columnas como estaba definida en proyecto, con un resultado impecable tanto de las operaciones como del resultado final. El refuerzo consistió en una barra roscada de acero introducida en taladro relleno por gravedad/vertido mediante resina epoxi. No se utilizaron en el refuerzo materiales compuestos con módulos de elasticidad más próximos al del elemento a reforzar puesto que la función fundamental del refuerzo era la de cosido de las diaclasas, y así evitar deslizamientos entre las mismas (i.e. refuerzo a rasante).



Figura 8. Estructura auxiliar de apeo y detalle de ejecución de taladro axial en columnas de mármol

Agradecimientos

Junta de Andalucía. Consejería de Fomento y Vivienda: María Dolores Gil.

Sociedad proyectista: UTE José Morales, Sara de Giles, Juan González, Carlos Morales.

Proyecto de Estructuras: Estudio Duarte Asociados S.L.P.

Dirección de Obra: José Morales y Sara de Giles.

Dirección de Obra de Estructuras: Paco Duarte.

Dirección de Ejecución de Obra: Francisco Alcoba.