

Reforma del Mercat de Sant Antoni, Barcelona.

Angel Sanchez de Dios

Ing. Caminos Canales y Puertos

Sacyr SAU

Ingeniero de proyectos

asanchezd@sacyr.com

Ramón Sánchez Fernández

Ing. Caminos Canales y Puertos

Sacyr SAU

Jefe de Departamento

rsfernandez@sacyr.com

Arnau Teruel Sicart

Ing. Caminos Canales y Puertos

Esteyco S.A.P

Ingeniero de proyectos

arnau.teruel@esteyco.es

Luis Castro Soto

Ing. Caminos Canales y Puertos

Esteyco S.A.P

Ingeniero de proyectos

luis.castro@esteyco.com

RESUMEN

El mercado modernista de San Antoni es uno de los más importantes y grandes de Barcelona. Data del año 1882, presenta planta en forma de cruz griega con una superficie de 5.214 m² y tiene una cúpula central que se eleva hasta una altura máxima de 25 m. La estructura principal es de columnas de fundición gris y cerchas de acero. El proyecto contempla la construcción de cuatro sótanos bajo el edificio existente manteniendo su estructura original. La ejecución se ha realizado mediante un sistema descendente. Destacan las operaciones realizadas para mantener elementos arqueológicos valiosos como la contramuralla medieval de Barcelona o la calzada Vía Augusta.

ABSTRACT

San Antoni market is one of the most important and largest modernist markets in Barcelona. Built in 1882 with an extension of 5.214 m² and a Greek cross plan, also has a 25 m high central dome. The structure consists of cast iron columns and steel girders. The project involves the construction of four basements under the existing market building. Top-down construction techniques were implemented. At construction stage some valuable archaeological elements like the medieval defensive walls or the roman Via Augusta were found, so temporary and permanent structures were designed and built to preserve them.

PALABRAS CLAVE: Reforma, descendente, postesado, apeos, ejecución de sótanos

KEYWORDS: Refurbish, top-down, post-tensioned, shore up, basement construction

1. Reseña histórica

El Mercat de San Antoni forma parte de la amplia red de mercados tradicionales de Barcelona. El mercado se inauguró 24 de septiembre de 1882 convirtiéndose en uno de los edificios públicos más emblemáticos del Ensanche. El diseño original es obra de Antoni Rovira i Trias y Josep M. Cornet i Mas.

El edificio ocupa una isla completa del ensanche. La estructura de fundición está levantada sobre una planta de forma de cruz griega, con una cúpula central octogonal, que reproduce la crujía tipo de la trama definida por el plan Cerdá (figura 1).

Esa zona de Barcelona tiene un alto valor arqueológico. La excavación ha permitido poner en valor y finalmente incorporar al diseño final del edificio, tres elementos de gran valor como son: el baluarte, la contramuralla y una zona de calzada de la Vía Augusta.

Durante su vida útil se han realizado intervenciones menores por lo que se conserva de manera apreciablemente íntegra la estructura original del siglo XIX.

2. Proyecto de remodelación

El edificio está catalogado como patrimonio de la ciudad y por lo tanto debe ser conservado en su totalidad, han de mantenerse los elementos estructurales y cerramientos, con la obligación de devolver los acabados a su estado original. El proyecto surge de la necesidad de integrar el uso habitual del edificio, destinado a la venta de productos alimentarios y pequeño comercio, con una nueva superficie comercial moderna, situada bajo rasante.

El proyecto original fue realizado por RavetllatRibas arquitectes y Esteyco. Las numerosas modificaciones consecuencia del proceso constructivo y de los hallazgos arqueológicos fueron realizados por el mismo equipo con el apoyo de los Servicios Técnicos de Sacyr.

Sobrerasante se actualiza la distribución de puestos del mercado, completando la manzana con una plaza pública, en el que se realizan dos grandes accesos a los niveles inferiores.

El diseño se realiza aprovechando la superficie total de la manzana bajo rasante, se dispone de 4 sótanos, con los siguientes usos (figura 2):

- Sótano -1: destinado a la gran superficie comercial con una altura libre de 5,0 m, en la que se incluye la zona de ventas y servicios. Adicionalmente se dota de un espacio público de usos múltiples delimitado por el baluarte y la contramuralla al que se incorpora el camino romano como parte de un pequeño museo descriptivo de los elementos arqueológicos.
- Sótano -2: se trata de un anillo perimetral destinado a aparcamientos.
- Sótano -3: se dispone de un muelle de carga y las zonas de almacenes y servicios complementarios tanto del mercado como la gran superficie.
- Sótano -4: dedicado íntegramente para aparcamiento.

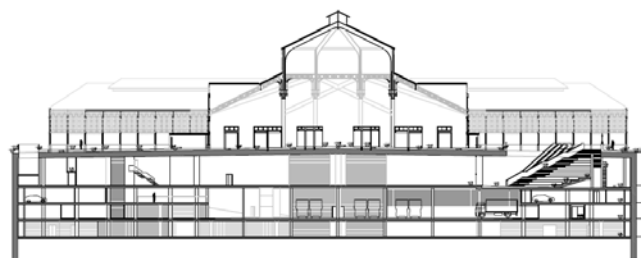


Figura 1. Imagen 3D y sección tipo del edificio

3. Sistema constructivo

El entorno urbano de la obra, impide la ejecución de un sistema convencional de pantallas estabilizadas mediante anclajes provisionales. Debido a esta limitación, se plantea desde el

diseño inicial, la necesidad de realizar la excavación con acodamiento interior. Dadas las dimensiones de la manzana de aproximadamente 120x120 se opta por un sistema descendente.

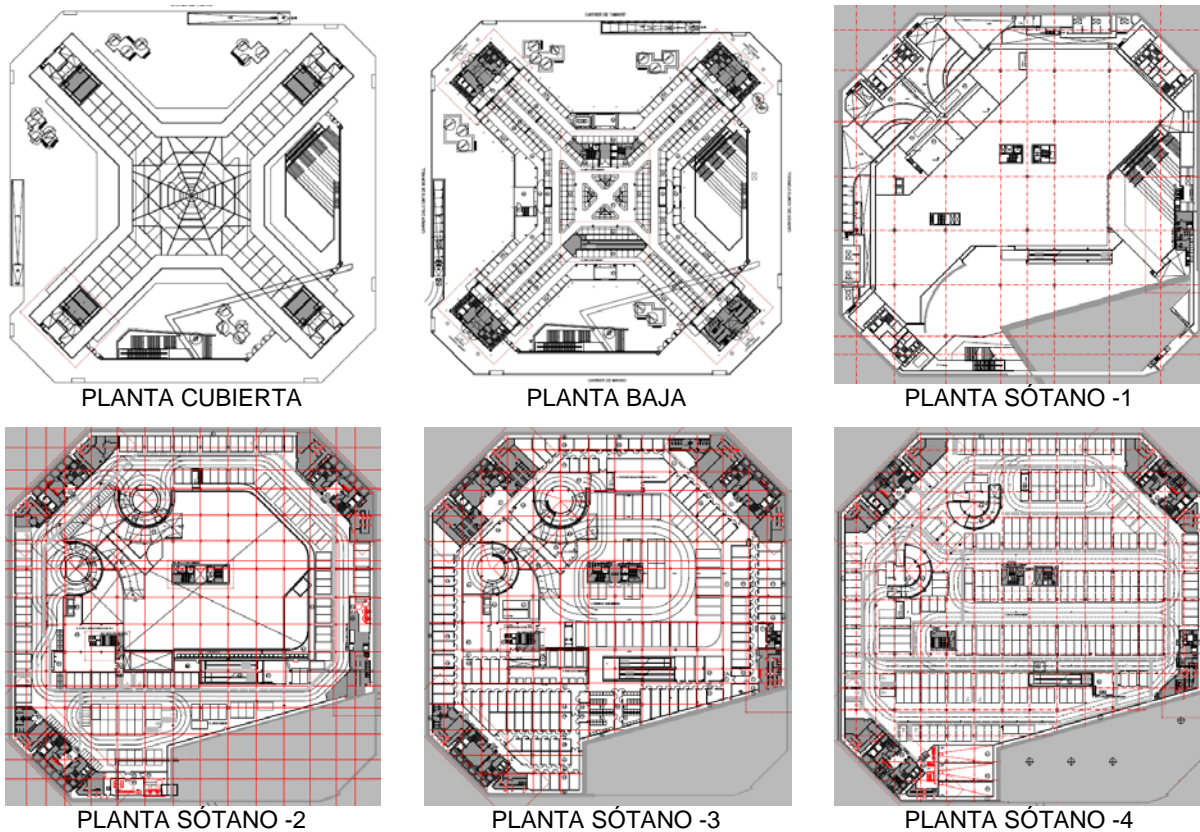


Figura 2. Vistas de planta

.De forma esquemática el proceso constructivo se indica en la figura 3.

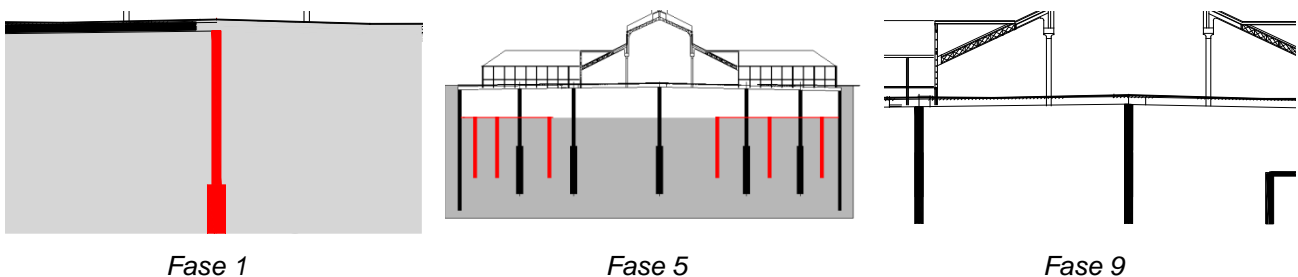


Figura 3. Esquemas de fases

- Fase 1: Ejecución de muro pantalla perimetral y pilas pilotes que soportan el nivel de planta baja.
- Fase 2: Apeo de la estructura del mercado existente mediante micropilotes.
- Fase 3: Ejecución del forjado de nivel 0.
- Fase 4: Excavación hasta el nivel de sótano -2.
- Fase 5: Ejecución de pilas micropilote que soportan en nivel de sótano -2.
- Fase 6: Apeo de camino Romano.
- Fase 7: Apeo de contramuralla.
- Fase 8: Ejecución de nivel de sótano -2
- Fase 9: Excavación hasta el nivel de sótano -4.

- Fase 10: Ejecución de cimentaciones y solera.
- Fase 11: Ejecución de forjado sótano -3.
- Fase 12: Ejecución de forjado sótano -1.

3.1. Fase 1: Pantalla perimetral y pilas pilote

La fase inicial del proceso de ejecución comienza con la realización del muro pantalla perimetral, de 1,0 m de espesor. Debido a que el nivel freático se encuentra aproximadamente en el nivel del sótano -1, se opta por el diseño de un vaso estanco constituido por la propia contención, por lo tanto las pantallas deben empotrarse en el estrato impermeable y las juntas entre batches no deben permitir filtraciones. Los factores de estanqueidad indicados unidos a las estrictas tolerancias de verticalidad, por tratarse de una pantalla de 40,0 m de profundidad, nos animan a la uso de hidrofresa.

Aprovechando la gran profundidad de la pantalla y su gran superficie, se ha incorporado en la pantalla un sistema colector de geotermia que suministrará al futuro edificio energía renovable.

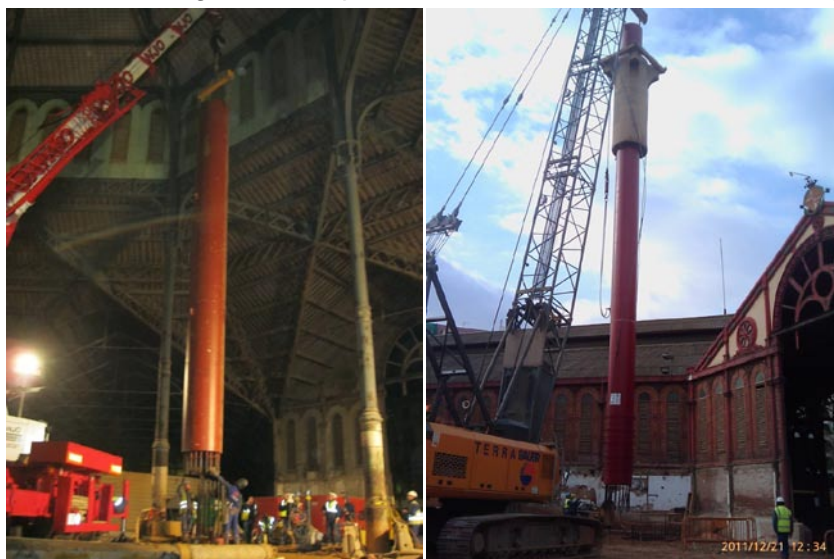


Figura 4. Ejecución de pilas-pilote exteriores e interiores

En paralelo a la ejecución de las pantallas se realizan las 24 pilas-pilote que sirven de soporte a la losa de nivel 0. Se diseñan pilas mixtas circulares con diámetro 1100 mm con camisa de 15 mm de acero S355 y reforzadas interiormente con 30Ø25 de acero B500S, en todas las pilas se ha empleado hormigón fluido HA-50. Las pilas incorporan conectores dúctiles de cortante interiores, dispuestos en zona de anclaje al pilote (en la conexión con la zapata) y en los niveles de los forjados a los que se conectará posteriormente.

Las pilas se embeben en pilotes de diámetro 2000 mm, que alcanzan una profundidad de aproximadamente 35,0 m, desde cota de rasante. Las pilas se montan en una sola pieza de 22 m (ver figura 4) en la zona exterior del edificio. Debido al gálibo interior limitado en la zona del mercado, la ejecución de estas pilas se complica teniendo que realizarse la soldadura de las camisas en tramos de 11,0 m realizándose la soldadura de tramos contiguos durante el proceso de introducción de la camisa en el pilote.

3.2. Fase 2: Apeo de estructura existente

La losa de nivel 0 es un elemento clave ya que servirá de futuro apoyo al mercado existente pero, al mismo tiempo, la presencia física del mercado dificulta la ejecución de la propia losa. Se decidió

apear la estructura del mercado mediante micropilotes y dejarla separada del suelo para facilitar la ejecución de la losa.

El diseño de los elementos de apeo permitió mantener la estructura “en el aire” solo mediante conexiones por rozamiento (figura 5), por lo tanto sin afectar a la estructura histórica, factor a tener muy en cuenta ya que se ha conservado casi la totalidad de la estructura original. El sistema de apeo se diseñó en base a las cargas de viento definidas mediante un modelo CFD, que permitió, en todo momento, determinar los esfuerzos reales de la estructura del mercado y por lo tanto controlar que no se superaran las tensiones admisibles máximas evaluadas en los pilares de fundición, que son el elemento más sensible de la estructura.



Figura 5. Apeo de estructura

3.3. Fase 3: Ejecución de forjado de nivel 0

La losa de planta baja tiene unas dimensiones de 120x120 m, se apoya sobre tan solo 24 pilas pilote ejecutadas en la fase 1, lo que configura distribución de pilares con unas luces máximas de hasta 24 m. La losa debe servir de apoyo definitivo a la estructura del edificio existente, además de permitir las sobrecargas de uso de una plaza pública. Adicionalmente, el diseño requería realizar la losa sin juntas, para mantener el efecto diafragma en su plano, para servir como acodamiento de las pantallas perimetrales. La solución adoptada fue una losa postesada en dos direcciones de canto 1,20 m con aligeramiento interior de porexpan (figura 6). Se estableció una división del hormigonado en 8 pastillas con bandas de tesado entre ellas, para disminuir la retracción inicial y minimizar las pérdidas de tesado.

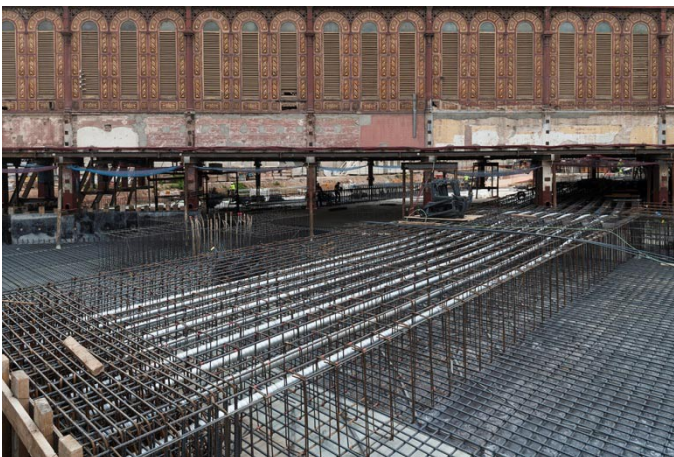


Figura 6. Losa de planta baja

3.4. Fase 4: Excavación hasta nivel sótano -2

La excavación bajo losa de planta baja hasta el nivel de sótano -2 supone unos 10,0 m de vaciado. Aprovechando las rampas definitivas se realiza la excavación con medios convencionales pesados (figura 7) a pesar de no realizarse a cielo abierto. De esta forma se consiguen rendimientos elevados, algo necesario cuando el volumen de tierras a excavar era más de 230.000 m³.



Figura 7. Excavación bajo losa con medios convencionales

3.5. Fase 5: Ejecución de pilas micropilote

La limitación de gálibo entre el nivel inferior del forjado de sótano -2 y el nivel 0, impide la ejecución de las pilas-pilote tipo, ya que no es viable emplear máquinas de ejecución de pilotes convencionales por la limitación de altura de trabajo. Motivado por este condicionante, se ejecutan micropilotes de diámetro 300 mm, con camisas de 220x10 mm (figura 8), que servirán de soportes provisionales para la losa de sótano -2, que constituye el segundo nivel de arriostramiento de la pantalla perimetral. En segunda fase estos micropilotes quedan hormigonados en el interior del pilar de hormigón armado que configura el soporte de manera definitiva. Esta fase se realiza en simultáneo a las operaciones de apeos especiales de los elementos arqueológicos.



Figura 8. Vista general y detalle de pilas-micropilote

3.6. Fase 6: Apeo de la calzada Vía Augusta

Los restos arqueológicos de la Vía Augusta aparecen en una superficie aproximada de 400 m². Debido a su alto valor arqueológico se decide incorporar este espacio al edificio, para que sean accesibles y puedan ser visitados de manera pública.

Se debe integrar el espacio arqueológico con la necesidad de no perder superficie útil bajo los restos, lo que condiciona el sistema de sustentación temporal. El apeo provisional se realiza mediante un sistema de cajones de hincas, de dimensiones 1000x1000 mm, con gatos hidráulicos bajo la calzada. El empuje se ejecuta empleando como apoyo un muro de reacción provisional realizado en paralelo y cercano a los restos (figura 9).

Los cajones se hincan con 1,00 m de resguardo vertical bajo la calzada. La longitud a hincar varía entre los 13,0 m y los 22,0 m. Los cajones se transportan hasta el punto de hincas en tramos de 6,00 m. Con el sistema de gatos se introduce el cajón mediante empuje en tramos de 0,10 m para posteriormente excavar de forma manual y desde dentro del cajón empleando martillos hidráulicos. La retirada de materiales de la excavación se realiza mediante cazos arrastrado con cabrestante en cabeza de cajones.



Figura 9. Ejecución de cajones hincados y vista general del apeo

Una vez ejecutados los cajones se realiza una viga perimetral de hormigón armado que se emplea para colgar los cajones mediante barras. La viga superior de hormigón cumple la doble misión de servir de contención al paquete arqueológico y servir de viga puente. El apeo del conjunto se realiza mediante 8 torres de 3 micropilotes cada una, que se van arriostrando a medida que se realiza la excavación.

3.7. Fase 7: Apeo de contramuralla

La contramuralla medieval presenta una sección trapezoidal con sección variable aproximadamente entre 0,50 en cabeza y 2,00 m en el pie. La longitud a mantener entre el nivel de planta baja y sótano -1 supone unos 70 m, con alturas variables en alzado entre 4,0 y 5,0 m.

La contramuralla está constituida por pequeños sillares, que poseen bastante regularidad, unidos mediante mortero de cal. Debido a esta tipología constructiva resulta imprescindible realizar un

sistema de apeo que no induzca patologías por deformaciones excesivas, ya que se trata de un elemento frágil (figura 10).



Figura 10. Vista general de apeo de contramuralla

Se realizan en fase inicial perforaciones en la base de diámetro 250 mm separadas 400 mm, en dirección perpendicular al eje longitudinal (figura 11). En estas perforaciones se dispone de un perfil HEB-160 que se retaca con mortero sin retracción. Los perfiles HEB-160 se apoyan en perfiles longitudinales tipo HEB-220 que son los que a su vez se apoyan en los micropilotes de apoyo. A medida que se va escavando se van realizando arriostramientos en longitudinal y transversal para dotar al conjunto de estabilidad global y limitar el pandeo de los micropilotes trabajando como soportes metálicos.



Figura 11. Detalles de apeo de contramuralla

3.8. Fase 8 a Fase 11

Se continúa con el proceso de ejecución de manera descendente, la construcción presenta alguna particularidad a destacar, de manera muy esquemática se puede indicar:

- Fase 8: El forjado de sótano -2 se diseñó como una losa postesada de canto 0,30 m y luces tipo de apoyo en pilas micropilotes de 8,50x8,50m. Se realiza sin juntas, encofrando directamente contra el terreno.
- Fase 9: A medida que se excava, se va realizando las rampas definitivas necesarias para poder realizar la salida de materiales.
- Fase 10: Las cimentaciones presentan la particularidad de ser una solución mixta, ya que están compuestos por un elemento de cimentación profunda, pilote o micropilote y una zapata superficial, que se realiza en esta fase.
- Fase 11: El forjado de sótano -3 se realiza de manera convencional apuntalando contra la solera. Se trata de una losa de canto 0,35 m también diseñada sin juntas.

3.9. Fase 12: Ejecución de forjado de sótano -1

Este forjado de sótano -1 sirve de apoyo definitivo al camino romano y a la contramuralla que han estado apeados sobre micropilotes provisionales hasta ahora.

En ambos casos se ha optado por un sistema de desapeo controlado con el siguiente procedimiento:

- Se ejecuta el forjado de sótano -1 de manera convencional apeado sobre los niveles inferiores. En el caso del camino Romano se debe realizar desde dentro de los cajones de hinca mediante hormigón autocompactable para garantizar la idoneidad.
- Se garantiza el perfecto apoyo de los elementos arqueológicos mediante un mortero de nivelación muy fluido que se sitúa entre la cara superior de la losa y la base de apeo.
- El punto crítico de la operación es el corte de los micropilotes de apeo, que se realiza mediante un sistema activo con gatos hidráulicos con control de desplazamientos y de carga.
- Una vez transmitida la carga, se retira la estructura de apeo hasta cimentación.

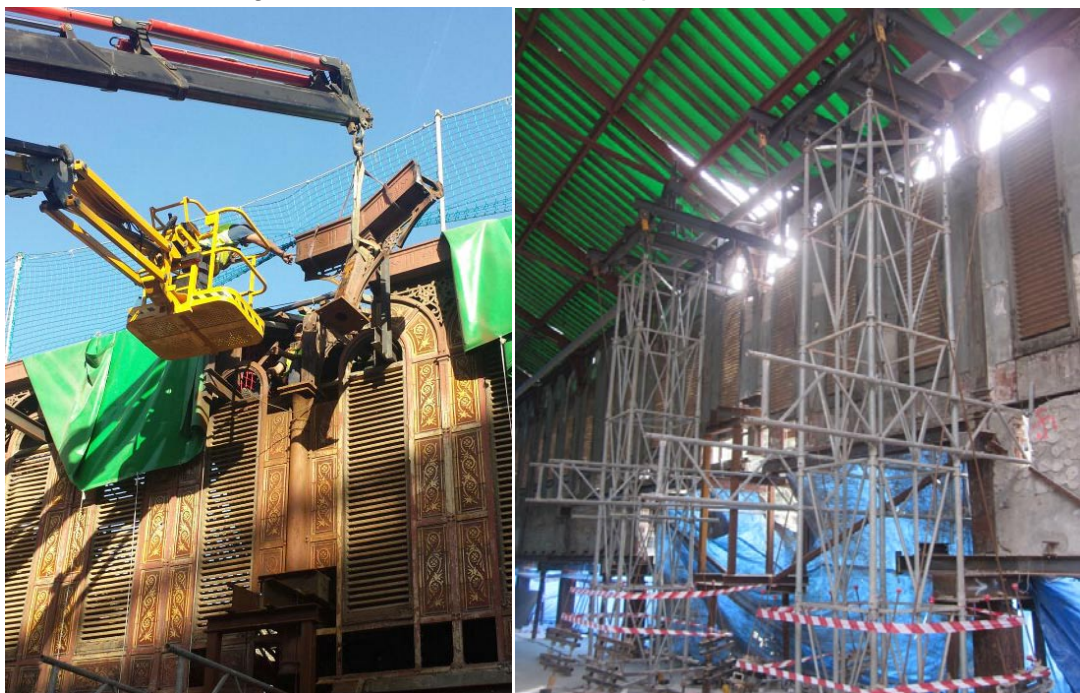


Figura 12. Sustitución de piezas dañadas y torres de apeo

4. Rehabilitación de estructura existente

El sistema descendente-ascendente permite comenzar con las actuaciones de renovación de la estructura original del mercado a medida que se avanza en la ejecución bajo rasante.

La idea de la que se parte como concepto es la de mínima intervención, con el máximo respeto a la estructura existente. Inicialmente se realiza una caracterización exhaustiva mediante toma de datos geométricos y patológicos de todos y cada uno de los elementos que constituyen la estructura. Posteriormente se realiza un análisis estructural con un modelo 3D global. Se efectúan diversas hipótesis sobre el comportamiento de los materiales y uniones así como de las cargas a aplicar, incorporando datos obtenidos del modelo CFD.

Del estudio se concluye que la estructura posee una adecuada capacidad estructural para las cargas a las que va a estar sometido tras la reforma. El elemento en el que se detecta coeficientes de seguridad menores son las columnas de fundición gris, huecas por el interior, funcionando como bajantes de pluviales. La solución que se adopta es conservarlas realizando un refuerzo interior mediante mortero de alta resistencia. De esta manera, el refuerzo se hace compatible con el funcionamiento como bajante de pluviales que se sigue manteniendo por el interior. En el conjunto de los 84 pilares solo ha sido necesario sustituir dos pilares de fundición que estaban rotos por imposibilidad de realizar una reparación con las adecuadas garantías.

Otro de los puntos en los que se han manifestado patologías han sido en las interfase entre los pilares de fundición gris y las cerchas de acero, lo que ha obligado a sustituir todos los elementos dañados, ya que en este caso si había pérdidas apreciables de sección y alguna rotura de elementos (figura 12). La sustitución caso se ha realizado por fases, desmontando solo las piezas dañadas, empleando torres de apeo y empleando gatos para descarga de elementos y retirada de piezas dañadas.



Figura 13. Vista general de la estructura rehabilitada

Las actuaciones sobre la estructura se completan con la sustitución de la cubierta y la fachada (figura 13). En la cubierta se recupera la solución original del mercado sustituyendo la cubierta de fibrocemento por una cubierta de tejas policromadas. En las fachadas se retiran las piezas cerámicas para su restauración y posterior montaje.