

Adecuación estructural para nuevos usos: paso superior de la Cuesta de San Vicente y cubierta del aparcamiento de la Plaza de España de Madrid

Structural adaptation for new uses of the overpass at Cuesta de San Vicente and the parking lot roof at Plaza de España, Madrid

Cristina Cabezas Moreno^a, Igor San Dámaso Martín^b

^aIngeniera Industrial. Jefe del Depto. Estructuras Obra Civil de los SSTT de FCC Construcción, Madrid, España, ccabezas@fcc.es

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero del Depto. Estructuras Obra Civil de los SSTT FCC Construcción, Madrid, España, ISanDamasoM@fcc.es

RESUMEN

La remodelación de la Plaza de España en Madrid logró reducir la presencia de automóviles y aumentar los espacios para peatones, no solo con la prolongación del túnel Bailén-Ferraz sino, con la reutilización de dos estructuras que pasan desapercibidas: el paso elevado de la Cuesta de San Vicente y la cubierta del aparcamiento de la plaza. Se realizaron intervenciones estructurales como refuerzos con fibras y recrecidos estructurales e incluso modificaciones en su esquema estructural. Además, se diseñaron secciones constructivas para las nuevas rasantes adaptadas a los nuevos usos requeridos empleando materiales ligeros para optimizar su capacidad y prolongar su vida útil.

ABSTRACT

The renovation of Plaza de España in Madrid successfully reduced car presence and increased spaces for pedestrians, not only with the extension of the Bailén-Ferraz tunnel, but also by repurposing two unnoticed structures: the Cuesta de San Vicente overpass and the roof of the Plaza's parking lot. Structural interventions were carried out, such as fiber reinforcements and structural thickening, as well as modifications to their structural scheme. This was combined with the design of construction sections for the new elevations adapted to the new required uses, using lightweight materials to optimize their capacity and extend their service life.

PALABRAS CLAVE: Plaza de España, nuevos usos, incremento de cargas, evaluación estructural, apeo.

KEYWORDS: s Plaza de España, new uses, load increases, structural evaluation, hydraulic jacks.

1. Introducción

La remodelación de la Plaza de España de Madrid y su entorno, acabada en 2021 por la UTE FCC-PACSA, consiguió el objetivo de desocupación progresiva del espacio público por parte del automóvil, aumentando los espacios exclusivos para personas y vehículos no motorizados. En este marco, destaca el

acondicionamiento de dos estructuras que pasan desapercibidas al ciudadano: el paso elevado de la Cuesta de San Vicente (1972) y la cubierta del aparcamiento de la Plaza de España (1968).

2. Adecuación estructural para nuevos usos del Paso Superior de la Cuesta de San Vicente

El paso elevado, nudo de conexión entre el centro de la ciudad y la vía de circunvalación Calle-30, se transformó en superficie definiendo nuevos usos peatonal, ciclista e institucional. Bajo superficie, se redistribuye el espacio y se desplaza una pila, para integrar un nuevo carril bici con el transporte público y el cruce de los ejes citados anteriormente.

Desde el punto de vista estructural, el tablero del paso inferior es un elemento hiperestático constituido por una losa de hormigón armado apoyada en múltiples pilas con una geometría compleja, que se completa con zonas cubiertas con vigas prefabricadas isostáticas (Figura 1).

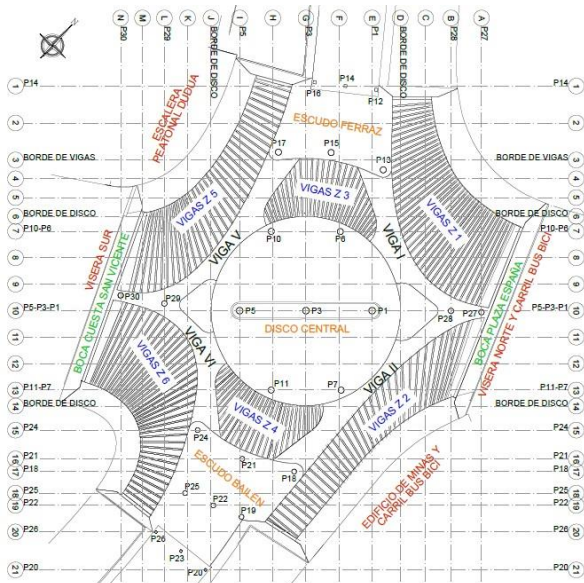


Figura 1. Planta de estructura original del paso.

2.1 Nuevos usos en superficie

Originariamente (Figura 2), el paso tenía una configuración mixta con unos jardines laterales con rellenos de 50 cm y una plataforma para el tráfico en la zona central, con un pavimento de 10cm de espesor para cuatro carriles, atravesada por un paso de peatones regulado con semáforos.

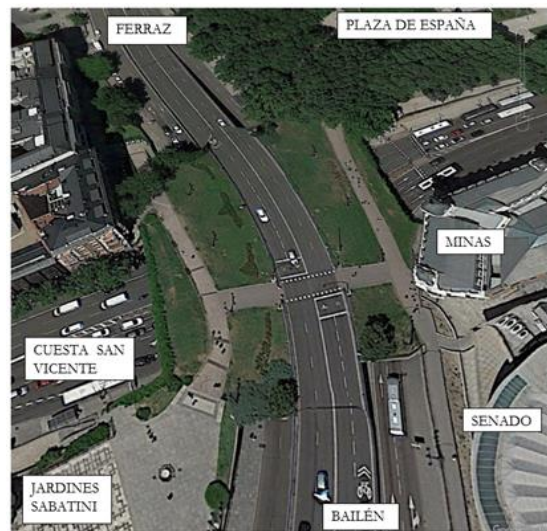


Figura 2. Configuración inicial en superficie.



Figura 3. Configuración final en superficie.

La configuración final (Figura 3) es el resultado de compatibilizar el objetivo de peatonalización y naturalización del espacio, la necesidad de habilitar el paso eventual de vehículos oficiales por el denominado caminito del Rey y el paso habitual de vehículos de vigilancia y mantenimiento; con el criterio de sostenibilidad del proyecto adjudicado fijado por el Ayuntamiento de Madrid basado en la reutilización de la estructura existente.

Para ello, hubo que adaptarse a su capacidad resistente buscando una optimización del refuerzo necesario para adecuarlo a los requisitos de seguridad de las normativas actuales que permitiesen prolongar su vida útil otros 50 años. A tal fin se ajustaron las cargas

mueras asociadas a las nuevas rasantes, con incrementos de altura de más de 1m respecto de las iniciales, con el empleo de materiales ligeros.

Como punto de partida se consideró imprescindible realizar una evaluación estructural que se basó en la Monografía “Evaluación de estructuras de hormigón armado” [1] dado que, los cambios de uso inicialmente previstos implicaban una evidente modificación de las cargas actuantes, tanto en la parte *in situ* como en la parte prefabricada.

2.1.1. Evaluación estructural: bases de partida

Dada la escasez de información sobre el proyecto original ejecutado en los años 60-70 del siglo pasado, y aunque se encontró el denominado “proyecto complementario”, la información era incompleta y con variable grado de definición. Esto determinó la necesidad de realizar investigaciones sobre la estructura existente. Se llevó a cabo una campaña de ensayos no destructivos y destructivos, con objeto de evaluar el estado actual de la estructura y su similitud con el proyecto, tanto en calidad de los materiales como en los armados dispuestos.

Actuar sobre una estructura proyectada y ejecutada hace casi 50 años, con una normativa de acciones y criterios de dimensionamiento que han evolucionado notablemente desde entonces, unido a la necesidad de prolongar su vida útil, determinó la decisión de actualizar la estructura a la EHE-08 entonces vigente, lo que afectó a tres aspectos especialmente.

Las longitudes de anclaje y de solape han aumentado notablemente por lo que, aun verificándose las cuantías de armado necesarias en las zonas de máxima solicitación, la comprobación de secciones más alejadas no era satisfactoria.

El desconocimiento del número real de barras dispuestas, sobre todo en las vigas *in situ* de planta curva, obligó a ser muy conservador en los valores de capacidad de la armadura

longitudinal dispuesta y en la cantidad de refuerzo de fibras necesario en estos elementos.

Las comprobaciones de punzonamiento vigentes son mucho más restrictivas de modo que, para los mismos esfuerzos de diseño, se obtienen incrementos tanto de los armados necesarios como de las zonas en las que disponer dicho armado.

Finalmente, se aplicó el criterio de no tener que reforzar pilares ni su cimentación, y así no afectar ni a los servicios existentes ni al plazo de ejecución. Para ello, se modelizó la estructura y sus condiciones de contorno y se estimaron las cargas del diseño inicial que permitieron obtener una carga muerta equivalente que igualaba esfuerzos y reacciones en pilares y proporcionó el rango de sobrecargas admisible por la estructura.

2.1.2. Evaluación estructural: conclusiones

Resultó que para las cargas iniciales transmitidas por la Fuente del Cielo sobre la “nariz” sur, la densa arboleda sobre la calzada original y los caminos para paso de vehículos pesados (Figura 4), había zonas con coeficientes adicionales de seguridad (capacidad resistente última / esfuerzo actuante mayorado) inferiores a la unidad y, por tanto, no admisibles que requerían intervenciones de refuerzo para satisfacer los criterios vigentes de seguridad.



Figura 4. Cargas inicialmente previstas.

La primera decisión fue limitar las cargas que afectan a la estructura del paso, reubicando

la Fuente del Cielo apoyándola en terreno, reduciendo la carga muerta a 5.5 kN/m^2 para toda la estructura, definiendo secciones constructivas resueltas con materiales ligeros para alcanzar las nuevas rasantes y limitando y señalizando los caminos por los que podrían pasar los vehículos pesados (Figura 5).

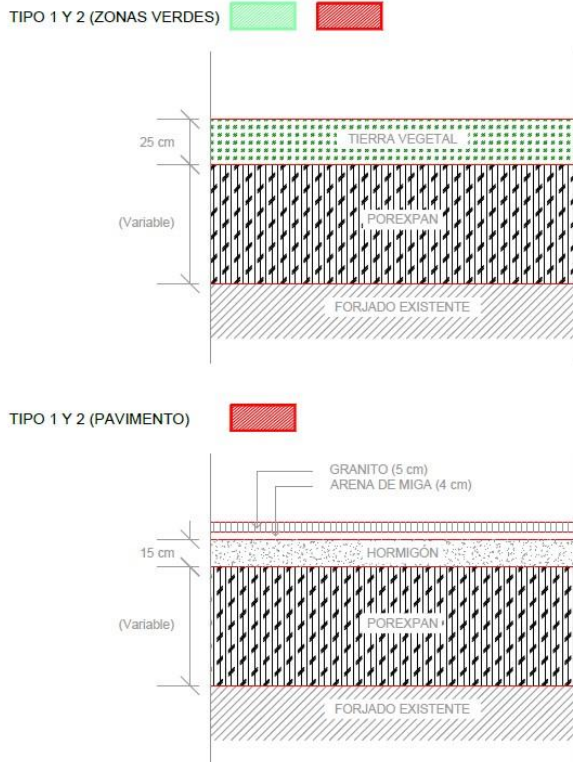


Figura 5. Secciones constructivas tipo sobre el paso.

2.1.3. Solución de intervención

Se realizó un recredido de 15cm de hormigón armado HA-30 conectado a rasante sobre una interfaz muy rugosa entre hormigones sobre las zonas in situ. (Figura 6)



Figura 6. Conexión a rasante en cara superior.

Este recredido supone disponer de un mayor canto útil para las cargas adicionales al peso propio. Así se resuelven tanto los problemas de falta de longitud de la armadura de negativos del disco y vigas sobre los pilares, como la verificación del estado límite último de punzonamiento.

Para resolver las deficiencias de armado, tanto de cuantía como de anclaje en cara inferior, se disponen fibras de carbono adheridas [2-4] en dirección E-O en el disco central y en direcciones longitudinal y transversal en las vigas in situ (Figura 7).



Figura 7. Fibras de carbono adheridas en cara inferior.

Las vigas son elementos especialmente complicados en forma y comportamiento. Para acomodarse lo más posible a su geometría, hubo que cruzar varias alineaciones de fibras longitudinales ya que solo permiten replanteos rectos. El refuerzo transversal se completó, donde fue necesario, con conectores preformados compuestos por un vástago rígido y un extremo libre no impregnado que se deshilacha en el exterior y se adhiere al soporte.

2.2 Nuevos usos bajo superficie

La pila P28 original interfiere con la nueva distribución viaria bajo el paso que integra los carriles principales de circulación con los nuevos carriles bici y bus. Para resolver dicha interferencia, se llevó a cabo una compleja actuación estructural.

2.2.1. Solución estructural

La hiperestaticidad del tablero del paso inferior y la rigidez de su cimentación semiprofunda mediante pozos de hormigón en masa, hace que cualquier modificación en la rigidez de sus apoyos actuales pueda producir asientos diferenciales que, a su vez, generarán esfuerzos importantes en la losa.

La actuación para “desplazar” la pila se basó en mantener inalterado el comportamiento de la estructura actual mediante un conjunto estructural diseñado por rigidez que mantiene tanto la distribución de rigideces como de deformaciones, en el entorno de la ubicación inicial de la pila que se elimina (Tabla 1).

Tabla 1. Movimientos teóricos (mm) con configuración inicial (I) y final (F).

Hipótesis de carga	P1,I	P28,I	P1,F	P28,F
Carga muerta	2.93	2.52	3.09	2.28
Sobrecarga	2.80	2.20	3.20	2.20

Este conjunto está formado por una nueva pila de fuste circular, situada en una isleta lo más próxima posible a la pila P28 a eliminar, que permitió trasladar la carga al nuevo soporte a través de una ménsula de 1.90 m de luz (Figura 8).



Figura 8. Planta viga de cuelgue y pilas.

Para equilibrar esta ménsula, se ejecutó un vano de compensación sobre los nuevos carriles bus y bici, que se empotró en un muro de equilibrio que se ancló al terreno mediante micropilotes.

El conjunto ménsula-vano de compensación se denominó viga de cuelgue y se ejecutó en dos fases: la primera, hasta el carril bici con el tesado de los tirantes horizontales y la segunda, sobre el carril bici con canto variable y con el tesado de los tirantes verticales (Figuras 9 y 10).

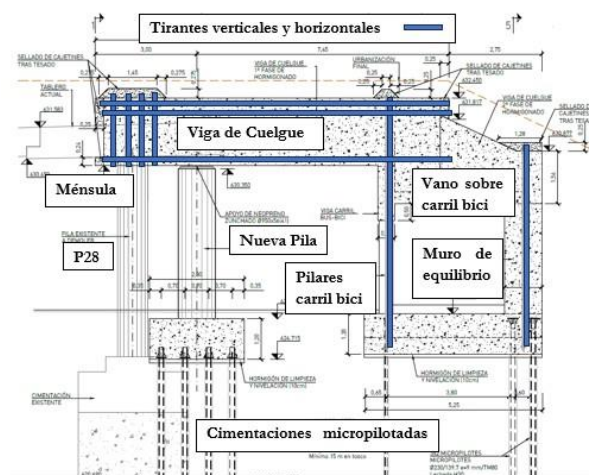


Figura 9. Estructura para eliminación de pila P28.



Figura 10. Detalle de armado de viga de cuelgue.

2.2.2. Los apeos provisionales

El conjunto respeta el gálibo vertical inferior mínimo de 4.20 m y para minimizar la interferencia con la urbanización final, la altura de la viga de cuelgue sobre la cota actual del tablero quedó absorbida en las nuevas rasantes de la urbanización ya que el canto del tablero actual se integró en el canto total de la viga de cuelgue. Resultó entonces necesario eliminar el hormigón del tablero coincidente con la viga de cuelgue, manteniendo intacta toda la armadura existente en la losa del paso, y demoler después la pila hasta el arranque en su cimentación, para proceder con la ejecución de las nuevas estructuras. Con ese fin, se colocaron cuatro torres metálicas denominadas apeos 1 y 2 bajo

las vigas I y II respectivamente, apeo 3 próximo a la pila existente P27 en la “nariz” de la estructura y apeo 4 bajo la ménsula de las vigas prefabricadas de la zona I (Figura 11).

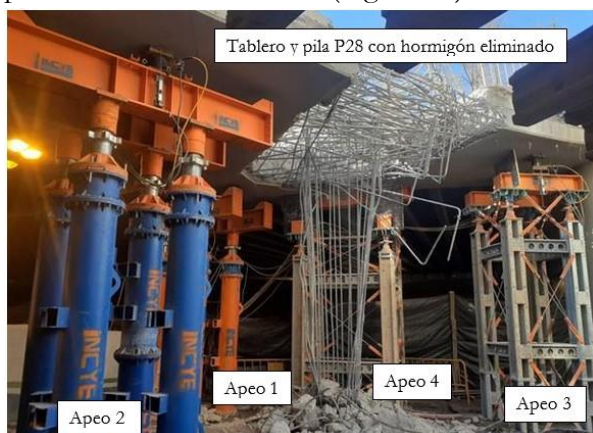


Figura 11. Losa sobre apeos y demoliciones de pila y tablero completadas

Para minimizar los asientos diferenciales entre la cimentación de la nueva pila y las cimentaciones existentes, se decidió precargar la nueva cimentación para provocar los asientos antes de que la nueva pila recibiese las cargas de la que se eliminaba y se empleó otro apeo provisional ejecutado sobre la misma cimentación, el denominado apeo 5, formado por una estructura metálica diseñada *ad hoc* alrededor de la pila nueva (Figura 12).



Figura 12. Apeo 5 alrededor de la nueva pila.

Todas estas cimentaciones se diseñaron poniendo el foco en conseguir una elevada rigidez para reducir el asiento absoluto lo máximo posible. La implantación estuvo condicionada por las dificultades propias del trabajo en entornos urbanos y con estructuras existentes como galerías de servicios, redes de

saneamiento y cimentaciones. Además, se compatibilizó la actuación con los desvíos de tráfico requeridos.

2.2.3. El procedimiento de control de movimientos y asientos

Una vez colocados los apeos y ejecutadas las cimentaciones, el proceso constructivo seguido fue: demolición de tablero y pila existente, ejecución de nuevas estructuras, transferencia de carga de apeos 1 a 4 al 5, ejecución de los refuerzos de la estructura (primero las fibras de carbono adheridas en la cara inferior y después el recrecido armado anclado a rasante en cara superior), precarga de la cimentación de la nueva pila, inyección del mortero de nivelación entre cara inferior de viga de cuelgue y el neopreno para materializar el apoyo, transferencia de carga del apeo 5 a la nueva pila, ejecución de cargas muertas y estabilización.

Para controlar y compensar los movimientos relativos entre las estructuras existentes, apeos provisionales y estructuras definitivas, en cada fase se definió un detallado procedimiento para operar los gatos hidráulicos y su capacidad (carrera y carga) de un modo sincronizado y coordinado con la medida topográfica de movimientos; todo realizado con medios propios.

Los gatos empleados fueron 8 unidades de 2200 kN, 2 para cada apeo 1 y 2 y 4 para el apeo 5 y 4 unidades de 900 kN, 2 para cada apeo 3 y 4. Tenían una carrera máxima de 50 mm, que dejaba una carrera efectiva de entre 26 y 28 mm, más del doble del asiento máximo de 10 mm obtenido en los cálculos teóricos (Tabla 2).

Para su operación, se programaron para cada fase los parámetros de carga máxima, estimada y carga a mantener por cilindro y totales por apeo; y los parámetros de control del proceso: desplazamiento del émbolo para señal de aviso y paro, histéresis para el mantenimiento de carga, porcentaje de sobrecarga por cilindro y apeo. Finalizada cada fase y para señal de aviso o paro, se obtenía la “foto fija” de dicho momento

formada por los datos de carga y desplazamiento de cada gato indicando cuales dieron lugar a la señal y gráficos en el tiempo de dichos parámetros en la última media hora, referenciando la situación del proceso de ejecución y las últimas medidas de topografía.

Tabla 2. Carga y asientos teóricos en la pila nueva.

Hipótesis de carga	PN (kN)	Asiento (mm)
PP Sin Recrecido	4256	5.96
PP Con Recrecido	4550	6.37
Carga Permanente	5856	8.20
Carga Total	6986	9.74

Con relación a la topografía se establecieron un total de 31 puntos de medida cuya accesibilidad se aseguró durante todo el proceso constructivo. En cara superior se identificaron 7 puntos de control en pilares, 4 en los ejes de cada apeo 1 al 4 y 3 en centros de vano de vigas I y II y disco central. En cara superior de los encepados de las cimentaciones se identificaron los ejes de los apeos 1 a 4, las esquinas del encepado del apeo 5 y pila nueva, 3 puntos en la base de los pilares prefabricados y 2 en la base del muro de equilibrio. Los puntos de

control en la cara superior de la viga de cuelgue fueron 4 en las verticales de: la pila P28, la pila nueva, los pilares prefabricados y el muro de equilibrio.

Para cada etapa se diferenciaron los puntos de control general y los específicos. La frecuencia de lecturas era mayor en estos últimos, pues debían controlar las fases activas de puesta en carga o transferencia de carga y guiaron la toma de decisiones durante el proceso. Durante los 11 meses que duró el proceso completo, en cada medición se registró la hora y la temperatura para tener en cuenta su influencia en los movimientos medidos

2.2.4. Éxito del proceso: comportamiento de las nuevas estructuras y bondad de los estudios teóricos

Para las nuevas estructuras (Figura 13), la correlación entre los resultados de los modelos de cálculo teóricos y la auscultación fue el esperado en todas ellas. Si bien, mientras que la losa se comportó replicando las modelizaciones, los asientos medidos en las cimentaciones fueron mucho menores que los previstos, lo que, unido a la reducción de cargas finales, supuso una menor necesidad de precargar la cimentación definitiva.

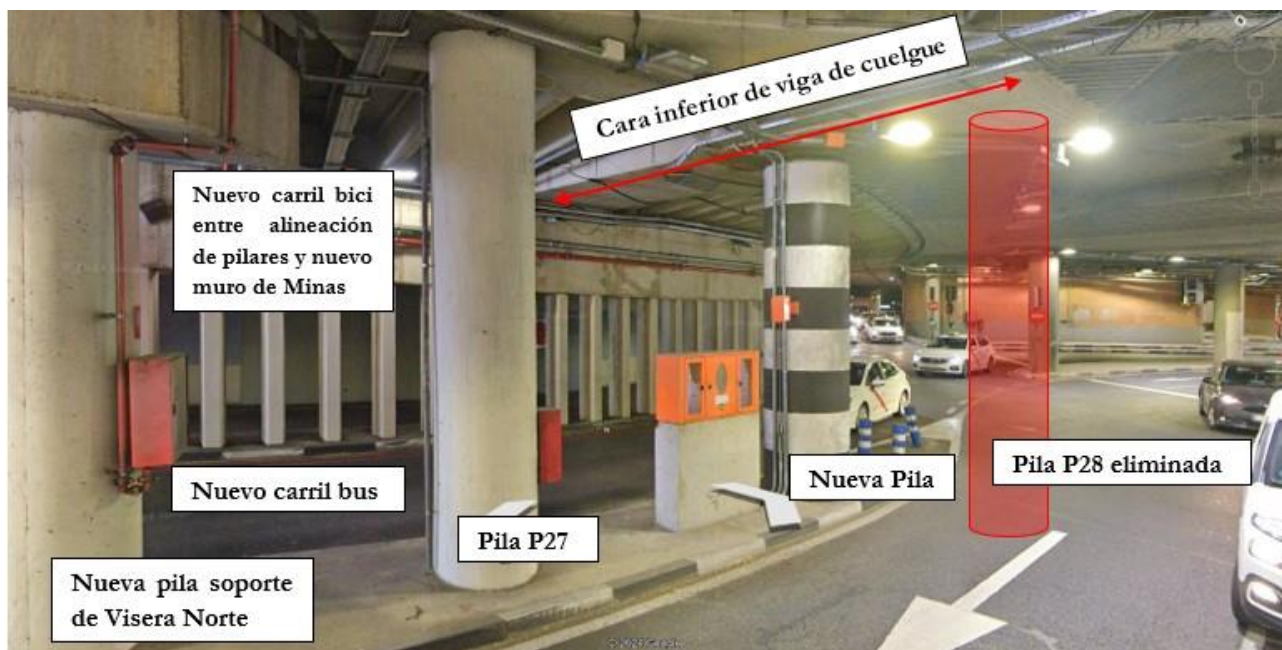


Figura 13. Nuevo conjunto estructural ejecutado para eliminar la pila P28.

Por ello, aunque inicialmente se consideró introducir en esta fase también las cargas muertas, finalmente se procedió a la transferencia de cargas a la pila definitiva solo con el peso propio total.

Una vez estabilizada la losa después de la demolición del tablero y la pila, el asiento observado en las cimentaciones de los apeos 1 a 4 no superó 1mm cuando se había estimado en 4-5 mm; el objetivo de conseguir cimentaciones rígidas se había logrado.

Finalizadas las nuevas estructuras y después de transferir la carga de los apeos 1 a 4 al apeo 5, el asiento medido en su cimentación una vez estabilizado fue de unos 2.0mm, del orden de un tercio del asiento teórico estimado en 6.0 mm. Los movimientos en la vertical del eje de la pila demolida P28 fueron menores de 1mm, acorde a lo proyectado.

Completado el refuerzo de fibras, el recrecido y la inyección del mortero de nivelación, y después de la transferencia del peso propio total de la estructura del apeo 5 a la nueva pila, la cimentación no experimentó ningún asiento. De igual forma, el punto donde la viga de cuelgue sujeta la losa se comportó según lo diseñado moviéndose mínimamente con relación a la nueva pila. La losa experimentó los descensos esperados en los centros de vano entre apoyos.

Los controles de movimientos una vez desmontados los apeos y completadas las cargas muertas en la zona de influencia de la nueva pila, corroboraron el adecuado comportamiento del nuevo conjunto estructural con movimientos del orden de magnitud de los estimados teóricamente, lo que permitió finalizar el control topográfico. Realizada la exitosa prueba de carga en la zona del caminito del Rey, la estructura quedó preparada para su apertura al público.

3. Nueva configuración de la Plaza de España sobre la cubierta del aparcamiento subterráneo

La Plaza de España de Madrid, situada entre el Templo de Debod y el conjunto Palacio Real-Jardines de Sabatini constituye uno de los espacios emblemáticos y estratégicos del centro de la capital. Gran encrucijada en la que confluyen algunos de los ejes viarios más importantes, como Gran Vía-Princesa y Bailén-Ferraz, es nudo relevante dentro de la red de Metro de Madrid y conexión del centro urbano con el Río Manzanares. Todas estas servidumbres urbanas la habían convertido en un lugar incómodo, inaccesible y poco idóneo tanto para el tránsito peatonal como para el uso cívico del espacio, con un evidente desequilibrio entre la circulación rodada y peatonal.

El Proyecto de Remodelación de la Plaza de España resolvió esta situación creando sobre la cubierta del aparcamiento subterráneo una gran plaza urbana en forma circular, universalmente accesible, diseñada para organizar todo tipo de eventos. Se eliminaron los desniveles preexistentes y se protegió del viario con parterres que conforman las entradas a la plaza. En definitiva, se consigue aprovechar su inmenso potencial como espacio ciudadano activo (Figura 14).

Esta nueva configuración implica diversas acciones, siendo la más destacable la necesidad de incrementar en más de 5 veces la sobrecarga de uso hasta 20 kN/m² y garantizar la extensión de la vida útil de la estructura 50 años. Ello condicionó la definición de secciones constructivas que dieron respuesta a las nuevas rasantes para que fueran compatibles y admisibles para la estructura de la cubierta según la evaluación estructural [1] realizada.



Figura 14. Plaza de España de Madrid antes, durante y después de la remodelación finalizada en 2021.

3.1 Evaluación estructural

El aparcamiento, enterrado bajo la plaza, consta de tres niveles de sótano destinados al estacionamiento de turismos y un nivel de cubierta que soporta la carga de tierras y las sobrecargas de uso de la plaza.

Se estudió minuciosamente una amplia variedad de documentos y datos históricos incluyendo planos del proyecto original y el detalle de las cargas de diseño del proyecto de 1966 (en kN/m^2 , peso propio 5.7, relleno de tierras 23.4, impermeabilización 0.5 y sobrecarga de uso 3.5). Adicionalmente, se desarrollaron trabajos de inspección visual donde se observaron algunos daños. Se realizó una campaña de ensayos no destructivos y destructivos tales como ultrasonidos, profundidad de carbonatación y catas; para evaluar la durabilidad de los elementos estructurales. Se analizó también la vida útil residual mediante un análisis probabilista, y se evaluó el estado de cumplimiento de los requisitos de resistencia al fuego.

Desde el punto de vista estructural, el aparcamiento se compone de pórticos de hormigón armado in situ formado por vigas en T invertidas y pilares rectangulares, separados entre sí 8.0m y dispuestos perpendicularmente a

la calle Princesa, sobre los que apoya un forjado de placas 'PI' de hormigón pretensado, con luces de 7.5 m en los vanos centrales y de 4.32 m en los vanos extremos. Está cimentado mediante zapatas superficiales sobre pozos, y tiene una solera sobre el terreno que sirve de base al último nivel de sótano.

Se dispuso de información de la geometría de los forjados de todas las plantas y la cimentación, así como de los materiales utilizados en la construcción original y de los armados dispuestos, típicos de la época.

Con todos estos datos se fijaron las bases para las comprobaciones estructurales. Se consideraron los coeficientes de mayoración de la normativa en vigor, para determinar las capacidades a flexión, cortante y rasante de los elementos estructurales de la cubierta para la situación original de construcción y para las nuevas cargas previstas.

3.2 Hallazgos y solución de intervención

Con relación a la durabilidad se concluyó que había que actuar en el medio plazo y realizar una rehabilitación integral de la estructura del aparcamiento, actualmente en ejecución. Solo la impermeabilización de la cubierta se llevó a cabo en este proyecto de remodelación.

Con relación a la capacidad estructural se concluyó que el elemento que la limitaba era el armado a cortante para subir la carga de la ménsula de la viga en T invertida en el centro de vano. Por tanto, si las cargas entraban al forjado directamente desde la cara superior de las vigas, se evitaba dicha restricción. (Figura 15)

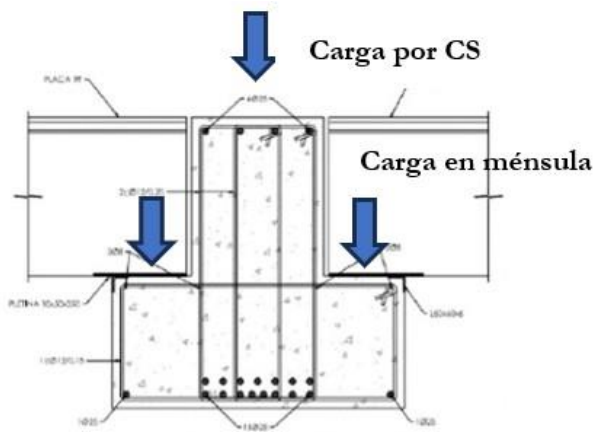


Figura 15. Cargas en viga en T invertida.

Para los dos casos de carga por ménsula y por cara superior de la viga, en la Tabla 3 se muestra la máxima carga muerta característica admisible adicional al peso propio de la cubierta (CMk) para varios valores de sobrecarga de uso (SBk) y la carga máxima total última (CTu).

Tabla 3. Cargas máximas en kN/m².

Carga		Ménsula	CS viga
CTu		48.46	68.41
SBk		CMk	CMk
Vehículos pesados	20	7.95	22.75
Vehículos pesados	18	10.19	24.97
Vehículos ligeros	10	19.05	32.75
Jardines	5	24.55	37.75

Con estos datos, se estudiaron las nuevas rasantes definidas para la plaza y asociando la capacidad estructural y las zonas de uso, se configuraron unas secciones constructivas optimizadas que cumplieran con la exigencia de sostenibilidad de reutilizar la estructura existente. Los dos acabados básicos son: en los parterres 1.1 m de tierra vegetal y para el resto de las zonas de tránsito de peatones y de vehículos

ligeros y pesados un acabado de 29 cm formado por una losa de reparto de hormigón armado de 15 cm de espesor y una cama de arena para recibir la baldosa de granito de 10cm. Las rasantes hasta 3.35 m de los parterres se alcanzaron con poliestireno expandido bajo las tierras [5]. En las zonas pavimentadas se completaron las secciones disponiendo Arlita [6], si bien, en las destinadas al paso de vehículos pesados y para rasantes entre 1.30 m y 1.90 m, se construyó un forjado alveolar 40+6 apoyado en muretes de hasta 30 cm de altura ejecutados sobre la cara superior de las vigas.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a todas las partes implicadas en este proyecto su colaboración imprescindible para llevarlo a cabo, en especial al equipo de obra de la UTE FCC-PACSA, Ayuntamiento de Madrid, Ingeniería ATOP, Fhecor Ingenieros Consultores y los Servicios Técnicos de FCC.

Referencias

- [1] Grupo de Trabajo G.T. IV/1 Evaluación de estructuras de hormigón armado, Monografía 33, ACHE, 2019.
- [2] TR55 Design Guidance For Strengthening Concrete Structures Using Fibre Composite Materials, Concrete Society, 2013.
- [3] La Fibra de Carbono en Refuerzo de Estructuras de Hormigón, Monografía 1, IEE, 2021.
- [4] C. Cabezas, Plaza de España, Refuerzo de la Estructura del Paso Superior de la Cuesta de San Vicente con Fibras de Carbono Adheridas, Orion Magazine nº3 (2021) 11-14.
- [5] Información Técnica de los Aligeramientos de EPS, ANAPE, <https://anape.es/>
- [6] Guía Técnica ARLITA en proyectos de Infraestructuras y Geotecnia, Características, Diseño y Puesta en obra, Saint-Gobain, 2017.