

# Rehabilitación del Puente de la Paz (Parque Avenidas a Tanatorio) (M-30, Madrid)

*Restoration of La Paz Bridge (Parque Avenidas – Tanatorio) (M-30, Madrid)*

Tomás Ripa Alonso<sup>a</sup>, Noemí Corral Moraleda<sup>b</sup>, Miguel Ángel Delgado Núñez<sup>c</sup>,

Rubén Álvaro Sanz<sup>d</sup>, Ana Belén Fernández Cañada<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infraestructuras Consulting. Socio-Director. [tomasripa@lraingenieria.es](mailto:tomasripa@lraingenieria.es)

<sup>b</sup> Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infraestructuras Consulting. Responsable Área de Rehabilitación [noemicorral@lraingenieria.es](mailto:noemicorral@lraingenieria.es)

<sup>c</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Tecyrsa Director Técnico. [madelgado@tecyrsa.com](mailto:madelgado@tecyrsa.com)

<sup>d</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Madrid Calle 30. Responsable de Estructuras y Obras. [alvarosr@mc30.es](mailto:alvarosr@mc30.es)

<sup>e</sup> Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Madrid Calle 30. Responsable de Estructuras y Obras. [fernandezca@mc30.es](mailto:fernandezca@mc30.es)

## RESUMEN

Las obras de rehabilitación del Puente de La Paz constituyen un trabajo singular desde la perspectiva de la rehabilitación de una estructura existente, integrando obra nueva y conservación. En el presente artículo se recoge el desarrollo de los trabajos desde su concepción inicial en el proyecto de rehabilitación, hasta su exitosa ejecución en el año 2017, destacando los principales retos afrontados a lo largo del proyecto e intentando transmitir al lector la envergadura de las operaciones realizadas y los retos afrontados al tratarse de una estructura ubicada en el eje básico de movilidad de la ciudad de Madrid, la M-30.

## ABSTRACT

The restorations made in “Puente de La Paz” shows a unique work that integrates new jobs and conservation in the same structure. This article shows the development of the works from its initial conception in the rehabilitation project, until its successful execution in 2017. Main challenges faced throughout the project are showed, trying to transmit the magnitude of the operations carried out and the challenges faced. We will explain how we solved them without be detrimental of this key structure for the mobility of Madrid, the M-30.

**PALABRAS CLAVE:** rehabilitación, carretones, puente, sustitución.

**KEYWORDS:** restoration, SPMT, bridge, replacement

## 1. Introducción

La construcción del Puente de La Paz data, aproximadamente, del año 1970, cuando la creciente motorización demandaba la construcción de un nuevo viario capaz de asumir el tráfico de la ciudad de Madrid. En este contexto nace la M-30 y, ligados a su

construcción, una serie de puentes que permitían el paso de un lado a otro de la circunvalación, entre ellos, el Puente de La Paz.



**Figura 1: Localización del Puente de La Paz (M-30, Madrid).**

Se trata de un paso superior con dos tableros paralelos, de planta recta de cinco (5) vanos, resueltos mediante dos losas tipo cajón de hormigón pretensado de luces 10,00 + 30,00 + 41,00 + 30,00 + 10,00 m. Todos los vanos son isostáticos, aunque el vano central, en lugar de apoyar en las pilas, tiene dos apoyos a media madera intermedios que se traducen en un vano de 25,00 m de luz efectiva y dos semi-vanos laterales en ménsula de 8,00 m desde las pilas P-2 y P-3, en cuyos extremos apoya el vano central.

Figura 2).

En virtud de lo anterior, Madrid Calle 30 encarga a LRA la redacción de un Proyecto de Rehabilitación de la estructura, cuyo objeto principal será la sustitución del vano central de hormigón de ambos tableros por otro mixto.



**Figura 2: Estado de las medias maderas en la inspección realizada por LRA en 2014**

Todo lo anterior da lugar a un proyecto muy ambicioso que culminará con la ejecución de las obras en el año 2017 y, más tarde, será reconocida con el “Premio Demarcación de Madrid a la mejor Obra Pública 2018”.

## 2. Condicionantes del Proyecto de Rehabilitación

La concepción de la rehabilitación de una estructura existente debe dar una solución global que tenga en cuenta los condicionantes técnico-económicos de la actuación pero también, una serie de condicionantes funcionales como laafección o el impacto que puedan generar las obras a los usuarios y al entorno.

En el caso de la rehabilitación del Puente de La Paz, el ámbito de actuación, la M-30, constituye el eje básico de movilidad de la ciudad de Madrid, con un número total de usuarios en

el tramo correspondiente a la zona de actuación de, aproximadamente, 230.000 vehículos al día en ambos sentidos de circulación. En este contexto, la viabilidad de la solución técnica y los procedimientos constructivos están estrechamente ligados y condicionados, en gran medida, al grado de afección a los usuarios del tramo.

Ante la problemática detectada en la estructura, asociada al deterioro avanzado de las medias maderas e indicios de descenso del vano central que ha generado solicitudes excesivas en los apoyos, **el proyecto desarrolla una solución consistente en la demolición del vano central de hormigón y su sustitución por un nuevo vano central mixto.** Esta solución supone una mejora prestacional significativa de la estructura que permite la correcta reparación de las medias maderas y su refuerzo, así como la sustitución de los aparatos de apoyo, que se diseñan para que sean visitables y sustituibles con facilidad en el futuro.

La solución propuesta en proyecto resuelve, por tanto, la problemática principal existente en la estructura: por un lado, al retirar el vano central de hormigón existente, las medias maderas quedan completamente accesibles para llevar a cabo los trabajos de reconstrucción y refuerzo de las mismas; además, al dejar las medias maderas vistas es posible sustituir los aparatos de apoyo existentes, adaptando su diseño para que sean fácilmente sustituibles e inspeccionables en el futuro. Por último, la solución planteada reduce significativamente el peso del vano central y, consecuentemente, las solicitudes excesivas detectadas en los apoyos a media madera.

Si bien la solución anterior resuelve la problemática detectada en la estructura, su viabilidad está supeditada, como se indicaba al comienzo del epígrafe, a una serie de condicionantes asociados al emplazamiento de la estructura. Por ello, la elección de los medios y el procedimiento constructivo para materializar la solución prevista es un factor clave para

garantizar el éxito de la rehabilitación. Los principales condicionantes que se tuvieron en cuenta para la redacción del proyecto fueron, fundamentalmente, los siguientes:

- Minimizar cualquier afección a la movilidad de los usuarios del tramo.
- Emplazamiento en las inmediaciones del puente para la ejecución del nuevo vano mixto y demolición del existente.

- **Afección a la movilidad**

La afección a la movilidad de los usuarios es un aspecto de gran relevancia al ubicarse la estructura sobre la M-30. En este sentido, los trabajos de rehabilitación que se llevan a cabo en este tipo de vías y que requieren la ocupación parcial de calzada se realizan en horario nocturno y en franjas de trabajo reducidas, generalmente de 23:00pm a 6:00am, para minimizar la afección a la movilidad.

En el caso particular del Puente de La Paz, **la operación de retirada del vano central existente de 25 metros de longitud y la posterior colocación del nuevo vano mixto requerían el corte total de las dos calzadas principales** (sentido A-4 y sentido A-1), **debiendo canalizar el tráfico por las vías laterales en el transcurso de la operación.** No obstante, esta situación de cortes de tráfico es asumible, únicamente, en horario nocturno, ya que el corte total de las calzadas principales durante el día generaría graves colapsos en la circunvalación.

Asimismo, se debe contemplar también la mínima interferencia al tráfico de la calzada superior, la Avenida de Badajoz, reduciendo en la medida de lo posible los plazos de corte permanente en ella y concentrando el mayor número de operaciones posibles en horario nocturno, de modo que se puedan establecer desvíos que no alteren sustancialmente el flujo de circulación.

Al tratarse de una estructura de doble configuración, se define un proceso en fases que permite sustituir la estructura existente de forma alterna, permitiendo el tránsito en todo

momento por la parte superior y con una afección mínima al tráfico inferior, M-30, al reducirse las intervenciones que la afectan a periodos nocturnos con densidades mínimas que permitan utilizar las vías laterales existentes.

En cuanto al procedimiento constructivo, para llevar a cabo las operaciones necesarias para la sustitución del vano central (retirada del vano de hormigón existente y colocación del nuevo vano mixto) en los tiempos ajustados de los que se dispone, **se propone la utilización de una tecnología de carretones modulares autopropulsados**, tanto para la retirada del vano existente como para la colocación del nuevo vano central en su posición definitiva. Este **sistema constructivo permite**, por un lado, la **ejecución de cada una de las operaciones de sustitución en el plazo ajustado disponible (12 horas)** y, al mismo tiempo, reduce la afección de corte permanente en la Avenida de Badajoz a dos semanas en cada tablero (tiempo que transcurre desde la retirada del vano de hormigón existente y la colocación del nuevo vano mixto).

- **Emplazamiento para la ejecución de la nueva estructura y demolición de la existente**

Asimismo, otro de los aspectos fundamentales de la tarea de proyecto fue la elección del emplazamiento para la ejecución del nuevo vano mixto y la demolición del vano de hormigón retirado, compatible con el método constructivo propuesto. Por ello, tras realizar un estudio de la zona, **se previó la ocupación del aparcamiento en superficie existente en la Calle Virgen de Lourdes**, a 500 metros al sur del Puente de La Paz.



**Figura 3. Ubicación de la zona de acopio provisional utilizada durante las obras**

Asimismo, para llevar a cabo las operaciones de rehabilitación previstas, se realizan una **serie de actuaciones de adecuación en el itinerario previsto para la circulación de los carretones**.

### **3. Ejecución de las obras**

Las obras de rehabilitación del Puente de La Paz comienzan el día 7 de julio de 2017. El objeto principal de dicha rehabilitación fue la restitución de las prestaciones de la estructura mediante la reparación de todos los deterioros con afección a la durabilidad de la misma pero, sobre todo, mediante la corrección del deterioro acusado de las medias maderas y la sustitución del vano central. Así pues, los trabajos realizados en el ámbito de la rehabilitación se pueden agrupar en: *sustitución del vano central, reparación y refuerzo de las medias maderas y reparación de los deterioros con afección a la durabilidad*.

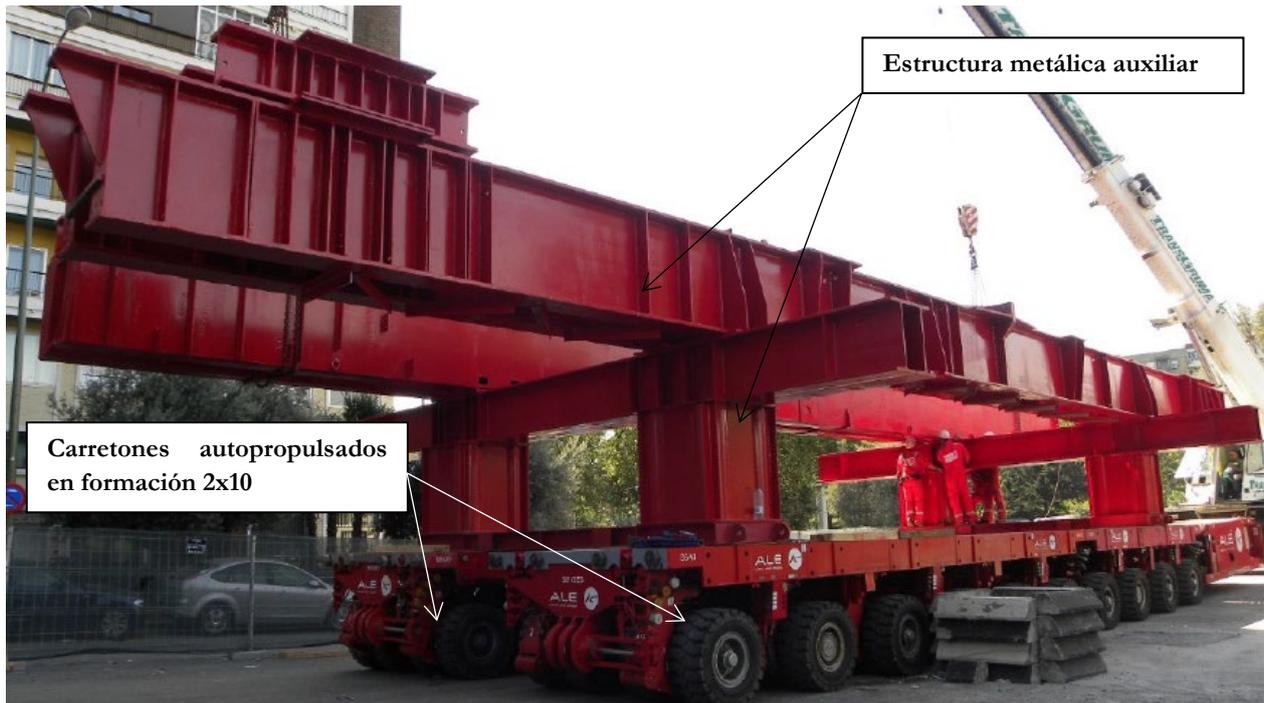
En los siguientes apartados se realiza una descripción técnica de las operaciones anteriores, las cuales constituyen operaciones de gran relevancia desde la perspectiva de la rehabilitación de una estructura existente.

#### **3.1. Sustitución del vano central de hormigón**

Las operaciones de retirada del vano central de hormigón y colocación del nuevo

vano mixto, se llevaron a cabo en un total de 4 noches:

- Noche 6-7/10/2017: retirada de vano de hormigón existente en tablero sur
- Noche 28-29/10/2017: colocación de nuevo vano mixto en tablero sur.
- Noche 11-12/11/2017: retirada de vano de hormigón existente en tablero norte.
- Noche 25-26/11/2017: colocación de nuevo vano mixto en tablero norte.



**Figura 4: Sistema de carretones autopropulsados SPMT para operaciones de sustitución del vano central**

Asimismo, es necesario realizar, previamente al transporte hasta la zona del puente, un *lashing básico* de la estructura metálica disponiendo dos cadenas longitudinales en cada sentido y dos transversales para contrarrestar los movimientos que se producen durante el desplazamiento.

Una vez completadas las operaciones anteriores, **se procede al transporte en vacío de los carros SPMT desde la zona de acopio hasta la estructura**, con la estructura metálica auxiliar montada sobre los carretones autopropulsados. Dado que el transporte de los SPMT se realiza por la M-30, **esta operación requiere cortes de tráfico permanentes en las calzadas centrales y un corte de tráfico puntual en la vía lateral sentido norte para el**

#### ▪ **Operación de retirada de vano de hormigón existente.**

La **operación de retirada** del vano de hormigón existente, comienza montando los SPMT en formación 2x10 con separadores 1140 mm y, a continuación, se procede al montaje de la estructura metálica auxiliar, la cual se monta sobre el carro como muestra la siguiente figura:

**paso de los carretones desde la zona de acopio hasta la calzada central sentido norte**, por la que circulará hasta la estructura

Al llegar a la estructura se posiciona el carro bajo la *sombra* del puente, de manera que el CDG del vano sea coincidente con el centro de simetría del SPMT para comenzar la operación de gateo en ascenso. Este gateo consiste en el *auto-izado* de los gatos hidráulicos que incorpora el SPMT hasta hacer contacto con el vano de hormigón a retirar. En el momento del contacto, se realiza un apeo externo y se inicia la toma de carga de vano con la mínima carrera de los gatos SPMT.



**Figura 5: Operación de gateo en ascenso de vano de hormigón existente para su retirada y transporte a zona de acopio.**



**Figura 6: Movimiento transversal de los SPMT para la retirada del vano de hormigón existente**



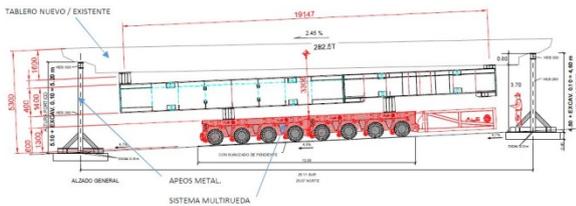
**Figura 7: Vista del vano de hormigón retirado del lado sur sobre SPMT**

Una vez alcanzada la cota necesaria para salvar la pasarela peatonal, el SPMT realiza un giro de 90° para entrar en la calzada central de la M-30 y dirigirse en dirección sur hasta la zona de

acopio, en la que se realiza la operación de descenso del vano para, posteriormente, proceder a su demolición.

- **Operación de colocación del nuevo vano mixto**

En cuanto a la **colocación del nuevo vano mixto** el proceso de montaje del vano es similar al anterior. En primer lugar se procede al montaje de la estructura metálica auxiliar sobre el SPMT para, a continuación, **proceder a la toma de carga del vano nuevo en la zona de acopio, ubicado sobre los apeos provisionales.**



**Figura 8: Esquema de los carretones autopropulsados posicionados bajo el nuevo vano mixto en zona de acopio**

Para ello, se posiciona el SPMT bajo la *sombra* del vano nuevo y se inicia el gateo en ascenso hasta la toma de carga del vano. Al igual que ocurría en la operación de retirada del vano existente, antes de comenzar cualquier movimiento transversal se amarra la pieza en los puntos de amarre previamente ejecutados en las prelosas del tablero.



El transporte del nuevo vano mixto hasta la estructura se realiza en horario nocturno, con la misma secuencia de cortes de tráfico que para la operación de retirada. El conjunto *carro-estructura metálica auxiliar- vano mixto* se transporta

desde la zona de acopio hasta la estructura con una altura menor a los 7 metros de gálibo libre bajo la pasarela peatonal existente entre la zona de acopio y la estructura.

Cuando el SPMT alcanza la estructura se posiciona paralelo a la misma y se inicia el gateo en ascenso hasta la altura necesaria para realizar el movimiento transversal sin que se produzcan interferencias con las medias maderas. Para alcanzar dicha cota resultaron necesarias 3 fases de gateo



**Figura 10: Fase de movimiento transversal del tablero durante la operación de colocación del nuevo vano mixto**

Cuando el tablero se posiciona sobre la estructura se inicia el gateo en descenso del tablero; se trata de una operación muy delicada en la que todos los apoyos ejecutados previamente en la ménsula de las medias maderas deben hacer contacto con las cuñas metálicas ejecutadas en cada una de las 5 vigas del nuevo vano mixto. Se trata por tanto, de una operación de precisión milimétrica.



En este sentido, se previó la aplicación de resina sobre los aparatos de apoyo de las medias

maderas para asegurar el correcto apoyo de las vigas metálicas en los aparatos de apoyo de medias maderas, y absorber, de esta forma, las

pequeñas variaciones milimétricas que pueden producirse en operaciones de esta naturaleza.



**Figura 12: Vista del nuevo vano mixto del lado sur colocado sobre los apoyos a media madera**

Las operaciones de retirada del vano de hormigón existente se realizaron de manera coordinada con las de montaje del nuevo vano mixto.

- **Ejecución del nuevo vano mixto**

Para llevar a cabo el montaje de los vanos mixtos en la zona de acopio fue necesario, en primer lugar, la realización de dos estructuras para el apeo provisional de los tableros, de manera que se pudieran ejecutar con altura suficiente para su posterior traslado hasta el puente.



**Figura 13: Apeos provisionales ejecutados en la zona de acopio para el montaje de los tableros mixtos**

Una vez ejecutados los apeos provisionales, el proceso de montaje de los vanos mixtos fue el siguiente:

- **Montaje de las vigas metálicas**

Una vez recibidas las vigas metálicas en obra se procedió a su izado y colocación definitiva sobre los puntos de apoyo preparados en las vigas de reparto de los apeos provisionales. A continuación se ejecutaron las soldaduras in situ de la riostra transversal de las vigas en apoyos.



Figura 14: Montaje de las vigas metálicas en zona de acopio sobre apeos provisionales

- **Colocación de prelasas prefabricadas**

A continuación se colocaron las prelasas prefabricadas sobre la estructura metálica



### 1) Hormigonado de losa superior

Una vez colocadas las prelasas se realizó el ferrallado de la losa superior y el hormigonado de la misma en dos fases.



### 3.2. Reparación y refuerzo de las medias maderas

En el periodo transcurrido entre las operaciones de retirada del vano existente y colocación del nuevo vano mixto se realizaron los trabajos de reparación y refuerzo de las medias maderas.

El refuerzo consistió, por un lado, en el refuerzo localizado de la zona de apoyos mediante la disposición de barras de acero: en el caso de los apoyos extremos se emplearon barras de acero especiales para pretensar de diámetro

47mm, mientras que en el caso de los apoyos intermedios se emplearon barras de acero pasivas de diámetro 32mm. Para llevar a cabo este refuerzo localizado se ejecutaron una serie de taladros en los que se introdujeron las barras de acero que posteriormente se inyectaron con mortero fibrorreforzado. Para el tesado de las barras activas se ejecutaron previamente, tacones de mortero fibrorreforzado en la cara inferior de la losa para, después, proceder al tesado de las barras al 25% e inyección de mortero fluido.

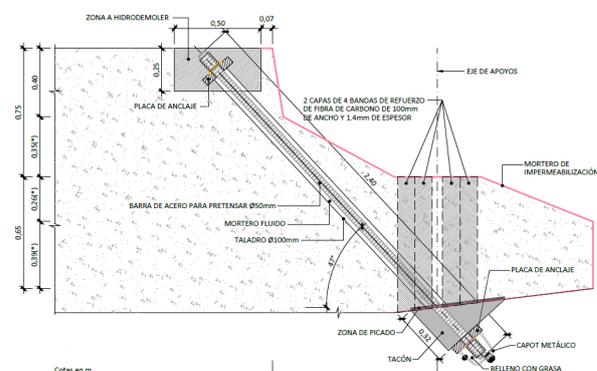


Figura 17: Esquema del refuerzo ejecutado en las medias maderas de la estructura



Figura 18: Trabajos de refuerzo de medias maderas



El esquema de los nuevos aparatos de apoyo consistió en la colocación inferior de una chapa metálica con pernos anclados sobre las

mesetas de reparto realizadas con grout, a la que se soldó, mediante puntos de soldadura localizados y en la parte accesible, el nuevo aparato de apoyo, siendo este el que recibe la viga metálica del nuevo vano mixto por medio de la cuña metálica soldada a esta última. Entre esta cuña y la chapa superior galvanizada del propio apoyo, se dispuso una pintura rugosa antideslizante. De esta forma, se configura un apoyo fácilmente sustituible, al no estar soldado en su parte superior y disponer, únicamente, de algunos puntos de soldadura en la parte accesible inferior.

Las medias maderas resultan, por tanto, un elemento inspeccionable gracias al diseño del nuevo vano mixto, que permite el acceso a las medias maderas y a los aparatos de apoyo desde los huecos existentes entre las vigas metálicas doble-T.

### ***3.3. Reparación de deterioros con afección a la durabilidad***

Aunque las actuaciones anteriores conforman el objeto fundamental de la rehabilitación de la estructura, el puente presentaba deterioros generalizados con afección a la durabilidad como desconchones de la masa de hormigón, corrosión de armaduras localizada o humedades y filtraciones generalizadas a través de juntas y por los voladizos. Se realizaron, por tanto, las operaciones habituales de saneo y reconstrucción del hormigón con morteros de reparación estructural en las zonas afectadas, inyección de fisuras con resina epoxi para restaurar el monolitismo estructural o pasivación de armaduras entre otras, previo chorreado de la superficie de hormigón con abrasivo para eliminar restos de suciedad, pinturas o cualquier partícula adherida a la superficie que penalizara la adherencia de los tratamientos posteriores.

Si bien se repararon todos los defectos existentes en los paramentos de hormigón de la estructura, también se llevó a cabo una adecuación del sistema de drenaje e

impermeabilización de la estructura a tenor de las deficiencias observadas. Para ello, se colocó una lámina asfáltica autoprottegida de betún elastomérico SBS, que mejora sustancialmente las prestaciones frente a otro tipo de materiales de impermeabilización como los másticos bituminosos, conformando una superficie de tablero completamente estanca frente a la entrada de agua y agresivos a la estructura.

Asimismo, se llevó a cabo una adecuación de los sumideros existentes y se aplicó un tratamiento de hidrofugación para la mejora general de la durabilidad de la estructura. Las zonas con mayor exposición a posibles escurrimientos de agua desde la calzada se protegieron adicionalmente mediante la aplicación de poliurea.

## **3. Conclusiones**

En el presente artículo se han desarrollado los trabajos realizados para la rehabilitación del Puente de la Paz. Con ello, pretendemos transmitir la ilusión y la enorme dedicación de todo el equipo interviniente en el trabajo realizado en un entorno tan complejo y populoso, como es la M-30 de Madrid.

*“La rehabilitación es el arte de integrar lo existente y lo nuevo; cuidando de lo viejo, dando paso a lo nuevo para que, juntos, tengan la oportunidad de permanecer en el tiempo”.*

### ***Agradecimientos***

Quisiéramos mostrar nuestro más sincero agradecimiento a todos los profesionales que han formado parte, de alguna manera, en el desarrollo de este proyecto: al equipo de Madrid Calle 30 por su implicación y apoyo constante durante la realización de los trabajos, al equipo de Tecyrsa y Torrecámara por su profesionalidad y el riguroso trabajo desarrollado y al equipo de LRA por su dedicación y entrega incondicional.