

REHABILITACION DE LA PASARELA ATIRANTADA DE MARQUES DE ZAFRA, SOBRE LA M-30, EN MADRID

Title Repair of the stay cabled footbridge of Marques de Zafra over the M30 in Madrid

Luis Benito Olmeda^a, Patrick Ladret^b, Borja Martín Martínez^c, Miguel Ángel
Delgado Núñez^d

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Madrid Calle 30. Departamento de Estructuras, DO. benitool@mc30.es

^b Ing. de l'Ecole National des Travaux Publics de l'Etat. Freyssinet SA Director desarrollo internacional. pladret@freyssinet-es.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L., ATDO. bmartin@cfcsl.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Imesapi S.A. Director técnico del área de rehabilitación. madelgadon@imesapi.es

RESUMEN

Se trata de la sustitución de los tirantes y de la reparación integral de la pasarela atirantada de Marqués de Zafra sobre la M30 en Madrid. Construida en 1976, el tablero es una viga cajón de hormigón pretensado de 127,80 m de longitud, prefabricado en tramos unidos en obra. El vano central con luz de 85,80 m cuelga de los pilonos mediante 8 tirantes inclinados y 4 tirantes verticales. El equilibrio estructural se resuelve con 4 tirantes de retenida por pilono conectados a la culata del tablero. Los tirantes antiguos de hilos paralelos rellenos con lechada de cemento se sustituyen por tirantes de cordones paralelos con terminal de horquilla. Además, se disponen nuevos pretensados verticales de retenida.

ABSTRACT

This article addresses the replacement of the stay cables and the comprehensive repair of the cable-stayed footbridge of Marqués de Zafra over the M30 in Madrid. Built in 1976, the deck consists of prestressed concrete box girders measuring 127.80 m in length, precast in sections joined in site. The central span, with a length of 85.80 m, is suspended from the pylons by 8 inclined stay cables and 4 vertical stay cables. The structural balance is achieved through 4 back stays each pylon connected to the rear of the deck. The old stay cables, composed of wires injected with cement grout, are being replaced with parallel strand stay cables with fork terminals. Additionally, new prestressed vertical anchorages are disposed.

PALABRAS CLAVE: Sustitución de tirante, Rehabilitación, pasarela atirantada, M-30.

KEYWORDS: stay cable replacement, repair, stay cabled footbridge, M-30.

1. Descripción de la estructura

Se trata de la primera pasarela peatonal atirantada de Madrid, de hormigón, proyectada por la oficina de Carlos Fernandez Casado y construida en el año 1976, que cruza la calle 30 desde el Paseo de Marqués de Zafra y el parque de la fuente del berro a la calle de Ricardo Ortiz en el barrio de La Elipa.

El tablero es una viga continua de 127,8 m de longitud está totalmente suspendido, cuelga de los pilonos con 6 parejas de tirantes, dos verticales en el plano de las pilas y 4 en el vano principal. Así la estructura se divide en 3 luces de 21 - 85,8 - 21 metros (Fig. 1).

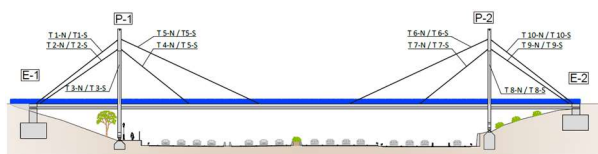


Figura 1. Alzado de la pasarela con numeración de los tirantes

El tablero está formado por una sección cajón hueca de 1,2 m de canto constante. La anchura total es de 2,60 m y la libre de 2,00 m (Fig. 2).

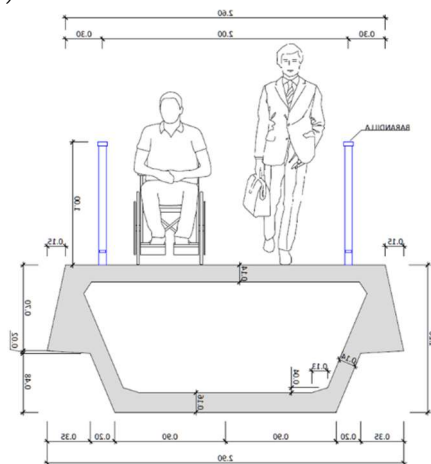


Figura 2. Sección del tablero

Los pilonos de 25 m de altura son de forma triangular de “V” invertida, con una cabeza macizada en la unión de sus dos brazos y en la cual se anclan los tirantes. La base rotulada del pilono está cerrada por una viga riostra. El tablero cruza los pilonos sin apoyo vertical pero cuenta con guías laterales para absorber las fuerzas horizontales transversales del tablero.

La cabeza del pilono está revestida con una chapa metálica de 8 mm que sirve de piel y ha sido colocada posteriormente a la construcción. Esta chapa permite absorber los empujes al vacío que ejercen los tirantes por error de geometría de implantación en su unión con el pilono (Fig. 3).

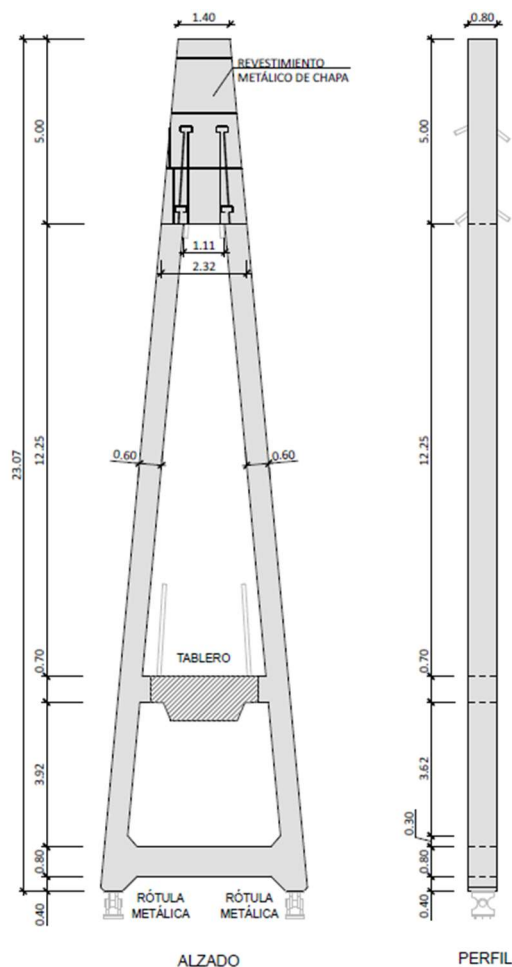


Figura 3. Sección del pilono

2. Estado de la estructura y motivos de la reparación

Durante una inspección Principal periódica realizada por Madrid Calle 30 en 2020, se detectó una rotura de la vaina del cable de mayor longitud del vano central (T6S) con una pérdida de sección de casi el 30% en el cable dañado (Fig. 4).





Figura 4. Cable T6S con la rotura de vaina y posterior reconstrucción temporal

Se acometió entonces una Inspección Especial de todos los tirantes de la estructura y Freyssinet llevó a cabo una reparación temporal de la vaina y se realizó una inyección de lechada. Además, durante la inspección detallada descubrieron vacíos en ese y otros tirantes a nivel de la unión con el pilono, mediante un endoscopio, que manifestaba evidencia de corrosión. También se detectó agua circulando dentro del cable debido a la falta de estanqueidad en el nivel del pilono. Se midieron las fuerzas en los tirantes con el método de cuerda vibrante y se realizó un levantamiento topográfico completo del tablero. En esta etapa no se observaron anomalías estructurales graves, excepto que las condiciones de los apoyos entre el pilono y el tablero no funcionaban correctamente.

3. El proyecto y sus alternativas

Madrid Calle 30 dirigió el proyecto de reparación con el objetivo de rehabilitar y restablecer la condición del puente peatonal, que fue redactado por LRA Infrastructures Consulting. En 2023 se asignaron los fondos financieros al proyecto a través del programa Next Generation, que promueve la innovación en los proyectos.

Inicialmente se estudiaron tres alternativas:

- Demolición y reconstrucción: Fue descartada por su impacto en el patrimonio de la ciudad.

- Apuntalamiento del tablero para sustituir los tirantes: Fue rechazada debido a su gran impacto en la circunvalación Calle 30, que habría reducido el ancho de los carriles durante toda la duración del proyecto.
- Reemplazo de los tirantes de forma escalonada, sin apeo y con ayuda de atirantamiento provisional: Esta alternativa fue la seleccionada y desarrollada.

El proyecto consiste en:

- Sustitución completa de los tirantes, lo que requiere adaptación del estribo que sirve para anclar los cables de retenida mediante cables verticales pretensados uniendo el tablero a la zapata del estribo.
- Reemplazo de las guías elastoméricas entre el tablero y el pilono.
- Instrumentación durante la reparación y en servicio.
- Eliminación del pavimento existente, corrección del nivel transversal de la pendiente para drenaje y colocación de un nuevo pavimento impermeabilizante.
- Reemplazo de la barandilla de seguridad.
- Iluminación ornamental de la estructura.
- Reparaciones para mejora de la durabilidad en toda la estructura.

La solución del proyecto busca aumentar la redundancia del sistema estructural colocando tirantes adicionales antes de cortar y retirar los existentes. Estos tirantes podrían ser nuevos o temporales.

Por esta razón, el proyecto comienza por el vano de retenida, los tirantes se colocaban primero sin carga antes de retirar los existentes. Los tirantes existentes se destesaban por pares, y al mismo tiempo se activaban los nuevos para mantener la rigidez del elemento estructural en todo momento.

En el vano principal, los tirantes temporales se activaban antes de cortar y retirar

un par de cables existentes, y una vez activados, los cables temporales se destensaban para evitar sobrecargar y deformar el tablero excesivamente bajo esfuerzos de flexión.

Para controlar este proceso constructivo evolutivo, Madrid Calle 30 decidió monitorizar el comportamiento de la estructura mediante un completo sistema de instrumentación y control, que después se mantendría durante el servicio de la estructura y se incluyó en el proyecto.

4. Instrumentación y monitorización

La monitorización permanente de la estructura se planteó desde la dirección del proyecto a partir de los resultados de un análisis dinámico de vibraciones que realizó el GIE de la UPM en 2020, que mostró la posible inestabilidad en el tablero para vibración horizontal, como ocurrió en la Pasarela del Milenio de Londres. Los objetivos del monitoreo son:

1. Apoyo durante la construcción para garantizar las operaciones evolutivas de transferencia de carga tirante antiguo – tirante nuevo.
2. Realizar pruebas de carga dinámicas de servicio una vez finalizada la obra.
3. Monitorización continua de la estructura en servicio para detectar variaciones en los parámetros estructurales, facilitar la conservación preventiva y emitir alertas ante posibles fenómenos vibratorios.

Se miden parámetros como fuerzas en los tirantes existentes (Fig. 14), los cables temporales y los nuevos tirantes tan pronto como se tesan. La deformación de los pilonos se controló con inclinómetros y medidores de deformación relativa con el tablero, mientras que la deformación vertical del tablero se controla con medidores laser conectados entre el tablero y el suelo.

Se realizan dos tipos de mediciones: denominadas medición dinámica o estática dependiendo de la velocidad de adquisición y la

integración de los valores obtenidos, se obtienen valores instantáneos o periódicos.

Durante la operación de rehabilitación, la monitorización se complementa con un levantamiento geométrico del estribo, las cimentaciones, el tablero y el pilono antes y después de las fases críticas. Este levantamiento, basado en valores absolutos, permite mostrar las diferencias de geometría entre la estructura antes y después de la rehabilitación.

El objetivo es restablecer el nivel del tablero que se tenía justo antes de la rehabilitación, ya que el asentamiento y la deformación por fluencia no pueden corregirse en este tipo de modelo estructural con los pocos tirantes que sujetan el tablero.

5. El proceso constructivo

Las fases principales de la secuencia son:

1. Instalación de la obra.
2. Montaje de estructuras de apuntalamiento y andamios.
3. Excavación y reparación de estribos
4. Reemplazo de apoyos deslizantes.
5. Taladro y colocación de las orejetas del pilono.
6. Construcción del recrecido de cimentación con los cables de pretensado vertical, construcción de la viga riostra de estribo
7. Sustitución de los tirantes verticales
8. Instalación y tesado de los tirantes provisionales
9. Instalación de plataformas temporales en el vano central
10. Sustitución sincronizada de los tirantes de retenida por pares,
11. Instalación de las conexiones de los nuevos tirantes en el tablero del vano central,
12. Instalación de los tirantes nuevos sin tensión,
13. Sustitución de los tirantes del vano principal por pares
14. Retirada de pavimento existente

15. Monitorización y ajuste continuo durante las fases críticas.
16. Retirada de los tirantes provisionales.
17. Colocación del nuevo pavimento e impermeabilización del tablero,
18. Colocación de las nuevas barandillas,
19. Hormigonado de los cuartos técnicos
20. Sellado de muros de hormigón
21. Pintura de la cabeza del pilono,
22. Hidro limpieza del tablero y superficie del pilono, regeneración y enfoscado del hormigón mediante mortero R4, sellado mediante mortero cementoso flexible.
23. Retirada de andamio de pilono, ensanchamiento del tablero y plataformas.

6. La solución adjudicada y sus mejoras

La UTE Marqués de Zafra planteó un conjunto de actuaciones que optimizan el proceso constructivo de las operaciones previstas en el proyecto original con objeto de limitar las afecciones al tráfico de la M-30 y reducir el número de cortes de tráfico. Todo ello, se consigue mediante la disposición de medios auxiliares que independizan los trabajos de sustitución de los tirantes ejecutándolos desde la propia pasarela de acuerdo a las técnicas constructivas que ofrece el Contratista.

El objeto de la modificación planteada es adoptar medidas y mejoras adicionales a las del proyecto original considerando los nuevos aspectos identificados en la fase inicial de la obra y de esta manera adaptar las actuaciones a las circunstancias reales de la estructura. Estas medidas y mejoras mantienen el sistema de tirantes adoptado en proyecto y su funcionamiento, pero aumentan la redundancia de las conexiones de los distintos elementos, lo que incrementa la seguridad del proceso constructivo y facilita la inspección y la sustitución de elementos en el futuro sin que estas operaciones conlleven afecciones de importancia al tráfico de la M-30.

7. La justificación estructural

Carlos Fernández Casado S.L. (CFC) como Asistencia a la Dirección de Obra, realizó el desarrollo del Proyecto Modificado, y en particular el análisis de la estructura, tanto en todas las fases de ejecución como en la situación de Servicio, verificando la seguridad de todos los elementos estructurales. Para asegurar la validez del pilono y evitar cortantes y flexiones excesivas, es necesario actualizar el modelo de cálculo en ese momento para poder dar la carga de tesado objetivo de los nuevos tirantes, que a su vez sea compatible con alcanzar la situación que se busca para la pasarela al final de la ejecución.

Para ello se empleó un modelo evolutivo en el cual se consideran todas las situaciones previstas en obra, tanto en lo que respecta a las tareas de sustitución de tirantes, como al resto de fases de reparación de la estructura, incluyendo todas las afecciones producidas en cada momento debido a los elementos auxiliares.

En dicho modelo la principal incertidumbre es el valor real de la fuerza de los tirantes existentes, la cual no es posible conocer con exactitud antes de la transferencia de cargas. En el caso de los tirantes de vano principal, se realiza una estimación por carga tributaria actuando como viga continua. Para la estimación de la carga objetivo en los tirantes de retenida las posibilidades planteadas fueron:

- Dar la misma fuerza a ambos tirantes T1 y T2 (proyecto original).
- Misma fuerza que la del tirante existente. Como no estamos anclados en la misma posición no se va a mantener la posición del pilono (salvo si corregimos la fuerza para el equilibrio de las Fh, es decir aplicar Fh del tirante antiguo).
- Mantener la posición del pilono, controlar la posición del pilono
- Mantener la posición del pilono (equilibrio de las Fh) redistribuyendo al máximo la carga entre ambos tirantes.

- Equilibrio de la resultante en el pilono en cada punto una vez que se haya acometido todo el cambio (nudo T1/T5 y nudo T2/T4).

A partir de estos planteamientos iniciales, se definen las premisas:

- Plantear un equilibrio de cortante en pilonos (equilibrio de fuerza por nivel).
- Considerar una limitación conservadora de $F_{max} < 0,45 GUTS$ en ULS en todos los tirantes, tanto en Situación de Construcción como de Servicio.
- Devolver el tablero a nivel inicial al final de proceso incluyendo carga muerta.
- En caso de tener discrepancia de fuerza entre tirantes en un mismo eje, se aplicará el valor medio de la medición en cada tirante nuevo para anular la asimetría transversal.

Se persigue el principio de no sobrepasar umbrales que la pasarela ya ha vivido. En el caso del tablero, se sobrepasan inevitablemente en algunas fases de transferencia de cargas entre tirantes los valores de carga permanente que ya ha vivido la pasarela, pero se verifica siempre su validez. Se ha de tener en cuenta que, por norma general, el tablero tiene una mayor reserva resistente que el resto de los elementos (pilonos y tirantes).

A partir del modelo evolutivo de cálculo, se ponen a disposición de la UTE los siguientes datos, esenciales para el desarrollo de los trabajos:

- Cargas estimadas en todos los tirantes, existentes y nuevos, durante todas las fases del proceso constructivo incluyendo cargas de tesado, cargas pésimas alcanzadas durante el proceso y carga objetivo al final del proceso.
- Desplazamientos producidos en los anclajes de los tirantes nuevos en pilono y tablero al aplicar las cargas en las fases de tesado.

Se describen a continuación las medidas de control a realizar a cada fase:

- Se realiza el pesaje de los tirantes existentes usando las mordazas. El método consiste en destesar un tramo de hilo de longitud determinada. La fuerza de pesaje es la fuerza de inicio de comba de los hilos (cuando pasan del estado de tracción al de compresión).
- Se acuerda que al final de cada fase se hará lectura y análisis de: la instrumentación, la topografía, la fuerza en las retenidas verticales.
- Adicionalmente para calibrar la frecuencia de los tirantes nuevos activados, se medirá la fuerza del tirante con los gatos justo antes de desmontar el equipo y medirá la frecuencia con el método de la cuerda vibrante justo después de desmontar. Eso permitirá determinar una relación entre fuerza directa y frecuencia.

8. Causas sobrevenidas durante la reparación

Al excavar el estribo E-1 se detectaron grietas tipo “piel de cocodrilo” en las paredes. Se realizaron análisis con el Instituto Eduardo Torroja y se confirmó una reacción álcali-agregado (Fig. 5). La solución incluyó inyección de grietas y protección con mortero.



Figura 5. Reacción álcali

Además, se descubrió que los apoyos de los estribos tenían el movimiento longitudinal cambiado respecto a lo esperado, lo que requirió el rediseño de los apoyos y el sistemas de anclaje de los nuevos pretensados verticales. Todo ello obligó a realizar un proyecto modificado por causas sobrevenidas con el consiguiente impacto sobre el planning de ejecución de la obra.

9. Los medios auxiliares

Como se ha indicado en el punto 5 *Proceso Constructivo*, los medios auxiliares consisten en el Montaje de estructuras de apuntalamiento y andamios (2) en los pilonos, y la Instalación de plataformas temporales en el tablero del vano central (9) (Fig. 6), para independizar los trabajos de la afección de las calzadas de la M-30. Además del atirantamiento provisional del tablero



Figura 6. Plataformas auxiliares en tablero

10. Nuevo sistema de conexión del tirante a la pasarela

Los sistemas desarrollados permiten el montaje de todos los tirantes nuevos antes de desmontar los antiguos. Las conexiones ejecutadas visan a mejorar la inspección y el mantenimiento.

La modificación principal proviene de la necesidad de definir un nuevo sistema de anclaje de los tirantes de retenida en los estribos de la pasarela.

La premisa esencial considerada a la hora de plantear una propuesta alternativa es la de realizar una actuación que afecte lo mínimo posible a la estructura existente, lo cual se consigue anclando los tirantes de retenida fuera de la misma y de modo independiente a ella. Del mismo modo, se busca introducir la compresión producida por la componente horizontal de los tirantes de retenida directamente en el centro de gravedad del tablero, de modo que se mantenga la misma situación de estructura autoanclada con la que la pasarela fue concebida originalmente.

Para ello, se propone disponer una viga trasera de hormigón pretensado apoyada sobre

dos pilares la cual, en sus extremos, recibe los anclajes de los tirantes de retenida (Fig. 7). Dicha viga tendrá una doble función:

- La componente vertical de la carga de tirantes de retenida se transmite a dos pilares con pretensado vertical.

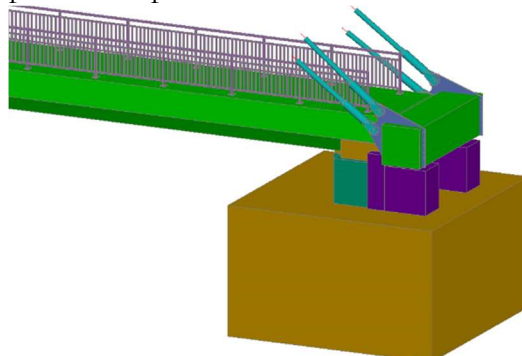


Figura 7. Esquema de conexión en estribo

- La componente horizontal de la carga de tirantes de retenida se introduce como compresión directa en el tablero mediante dos parejas de apoyos dispuestos con su resultante a la altura del centro de gravedad de la sección, y en una ubicación en transversal cercana a las almas y a la zona de cercos de los anclajes de pretensado de la culata del tablero (Fig. 8).

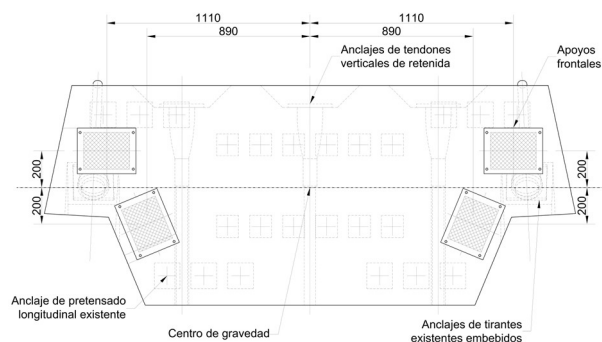


Figura 8. Apoyos contra viga existente

Las condiciones de estribo fijo y estribo móvil se materializan de modo similar al proyecto de rehabilitación mediante la disposición de cordones de pretensado vertical en cada caso.

Se indican a continuación el resto de elementos que configuran el nuevo sistema de conexión de la pasarela:

- En cuanto a las conexiones de los tirantes con el pilono, se han instalado 8 orejetas por pilono, cada una fijada mediante cuatro barras de pretensado insertadas en 4 agujeros previamente perforados. Se han colocado de manera que las mismas barras puedan usarse para una orejeta en el vano de retenida y otra en el vano principal. Las barras permiten resistir la carga horizontal introducida por los nuevos tirantes, mientras que la componente vertical es resistida por 4 tubos de fuerte espesor insertados en los agujeros perforados, que funcionan como llaves de cortante para ambas ménsulas (Fig. 9).

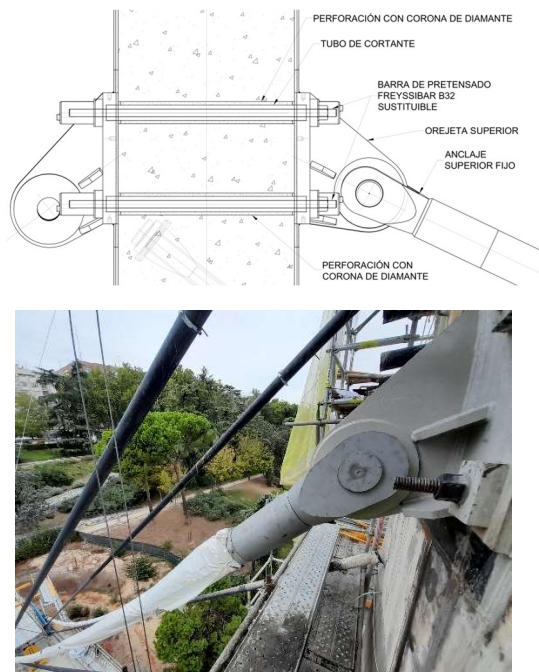


Figura 9. Conexión de los nuevos tirantes al pilono

- En el vano principal, la conexión con el tablero se ha diseñado de manera que la carga del nuevo tirante se transfiera realmente a la placa de apoyo del anclaje

existente, mientras que el tirante existente aún está activo. El principal desafío con respecto al diseño de este componente fue la geometría del tablero, que provoca cargas excéntricas en esta nueva estructura de acero. Para equilibrar la carga transversal horizontal creada por la excentricidad de la ménsula, las dos ménsulas del mismo par de tirantes (norte y sur) están conectadas por dos barras de pretensado de 36 mm que atraviesan el tablero

11. Equipos especiales y ciclo de transferencia de carga

Las dos herramientas principales necesarias para ejecutar esta operación fueron una herramienta para destensar los tirantes existentes y otra para tensar los nuevos.

- La herramienta de destensado, también conocida como sistema de by-pass, consiste en dos mordazas conectadas por dos barras de pretensado (Fig. 10).

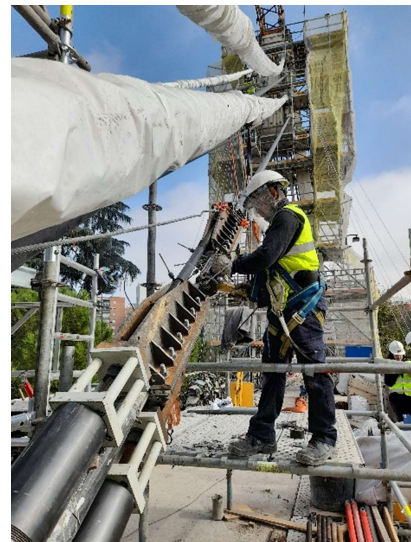


Figura 10. Mordazas By-pass

- La herramienta de tesado para los nuevos tirantes ha sido adaptada para tensar ambos tamaños de tirantes de la obra (anclajes de 7 y 12 cordones). Es un sistema de by-pass cuyo objetivo es liberar la cabeza de la horquilla regulable y su conector roscado para poder apretar

o aflojar, independientemente de la carga actual en el tirante (Fig. 11).

En cada etapa de la transferencia se ha trabajado en estrecha colaboración con el diseñador utilizando un plan de inspección con puntos de parada para asegurar y validar conjuntamente cada paso antes de pasar al siguiente.



Figura 11. Tesado nuevos tirantes

La transferencia de fuerza del tirante se realiza en 4 pasos sucesivos:

- Primero medimos la fuerza del tirante existente utilizando el sistema de mordaza, para confirmar la fuerza que se instalará y ajustar así los parámetros de conversión de la frecuencia medida en la monitorización a fuerza,
- Luego activamos el nuevo tirante al 30% de la fuerza de servicio de diseño,
- Cortamos y destesamos el tirante existente al 50% de su fuerza inicial,
- Tensamos el nuevo tirante al 50%/60% aproximadamente. de su fuerza final
- Y finalmente, destesamos el tirante existente, la fuerza del nuevo tirante se incrementa hasta su fuerza final indirectamente,
- Medimos la fuerza del nuevo tirante y la ajustamos a la fuerza de diseño.

Durante toda esta operación, la flecha del tablero, la inclinación del pilono y el movimiento relativo entre el tablero y el pilono son medidos con la instrumentación así como el aumento de fuerza en los tirantes adyacentes. Todos los valores medidos están dentro del 10% respecto de los valores teóricos del modelo de cálculo, resultando un excelente ajuste del mismo. La monitorización durante la construcción ha

resultado, en el caso de una estructura tan esbelta y compleja, una herramienta fundamental que permite minimizar los riesgos de daños estructurales.

12. Nuevo sistema de tirante

El sistema de tirantes es de la gama CE de Freyssinet con unidades para 7 y 12 cordones, instalados de acuerdo con la memoria de cálculo que resumimos a continuación.

Tabla 1. Nº de cordones del tirante CE.

	Nº cordones	Unidad
Tirantes 1, 2, 9, 10	9	Sup: 12 CEF / Inf: 12 CEA
Tirantes 3, 4, 7, 8	7	Sup: 7 CEF / Inf: 7 CEA
Tirantes 5 y 6	10	Sup: 12 CEF / Inf: 12 CEA

El anclaje superior es del tipo terminal fijo con horquilla y pasador, el anclaje de cada cordón se realiza mediante un manguito de extrusión encapsulado en el interior del anclaje, la cámara que contiene los manguitos de extrusión está inyectada con cera mineral. El anclaje inferior es del tipo terminal regulable con horquilla y pasador (Fig. 12). El anclaje de cada cordón se realiza de la misma forma que para el anclaje superior. Consiste en un tensor con una carrera de 200 mm. El orificio del pasador tiene forma oblonga (con una holgura de 20 mm) que permite controlar la fuerza del tensor como se explica a continuación.



Figura 12. Anclaje regulable

Los anclajes están protegidos mediante metalización Zn/Al y pintura (con un mínimo de

150 micras). El anclaje inferior está recubierto por un tubo antivandálico formado por una chapa metálica de 3 mm de espesor galvanizada en caliente y recubierta de pintura.



Cordón y manguito de extrusión *Anclaje fijo* *Anclaje regulable*

Figura 13. Prefabricación del tirante

La vaina exterior tiene un diámetro de 110 y 125 mm y un espesor de 6 mm respectivamente. Está fabricada en polietileno de alta densidad (PE80 o PE100) protegido contra los rayos UV coextruido con una capa externa de color blanco. T (Fig. 13).

El cordón es de tipo galvanizado, recubierto de una vaina de polietileno de 1,5 mm de espesor mínimo extruido sobre el acero bañado en cera mineral. El torón es del tipo de 15,7 mm de diámetro (Y1860S7+Z-15.7) según NF A 35-035 con una carga de rotura de 279 KN por unidad y con un alto rendimiento a la fatiga.

13. Mejora de la durabilidad

El tratamiento de las superficies de hormigón, para mejora de la durabilidad, ha consistido en hidro limpieza a presión del tablero y del pilono para eliminar pintura epoxi, regeneración y enfoscado del hormigón mediante mortero R4 para nidos y cavidades, inyección de epoxi de fisuras, protección y sellado mediante mortero cementoso flexible y pintura anticarbonatación y acabado.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de los distintos intervinientes en el proyecto y en la obra:

Ayto Madrid, MC30, LRA, CFCSL, UTE Freyssinet y Imes Api- Construc, GIE (UPM).



Figura 14. Acelerómetros en tirantes antiguos



Figura 15. Descenso de tirantes de retenida antiguos



Figura 16. Vista lado La Elipa



Figura 17. Vista general de la obra