

ACONDICIONAMIENTO DEL PUENTE DE O'DONNELL SOBRE LA M-30 (MADRID, ESPAÑA)

O'Donnell Bridge over M-30 refurbishment (Madrid, Spain).

Luis Sopena Corvinos ^a, Juan Jesús Álvarez Andrés ^b, José Enrique Silvo González ^c,
Noemí Corral Moraleda ^d, Tomás Ripa Alonso ^e

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero Estructural. gGravity Engineering. Isopenac@ggravityeng.com.

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Puentes y Estructuras de obra civil. gGravity Engineering. jjalvarez@ggravityeng.com.

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Obra. DRAGADOS S.A. jesilvog@dragados.com.

^dIngeniera de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniera de proyectos. LRA Infraestructuras Consulting SL. noemicorral@lraingenieria.es.

^eDoctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Socio Director. LRA Infraestructuras Consulting SL. tomasripa@lraingenieria.es

RESUMEN

Dentro del plan de mantenimiento de infraestructuras de Calle 30 se plantea el acondicionamiento del puente que resuelve el cruce de la prolongación de la calle O'Donnell (M-23) sobre la M-30, de 1970. La rehabilitación implicó actuaciones en estribos, pilas y tablero, donde fueron necesarias actuaciones más profundas a nivel estructural, entre las que destaca la instalación de nuevos pretiles, pues aplicando la nueva normativa de pretiles y barreras de seguridad, el nivel de contención necesario es H4b. Teniendo en cuenta los criterios de deflexión dinámica y anchura de trabajo, se optó por un pretil metálico anclado químicamente al tablero, previo refuerzo del mismo a base de un sistema de láminas de CFRP.

ABSTRACT

Within Calle 30 infrastructure maintenance plan the refurbishment of the bridge over M-30 for O'Donnell street (M-23), from 1970. The intervention involved abutments, piers and deck, where more deep structural retrofit was necessary, highlighting the upgrade of the barriers, for which a H4b level of protection is required as per the new regulation applicable. Taking into account criteria such as dynamic deflection and working width, a steel barrier anchored chemically to the deck was selected, deck that was previously reinforced with a system of CFRP laminates.

PALABRAS CLAVE: reparación, refuerzo, rehabilitación, hormigón, inyección de fisuras, CFRP.

KEYWORDS: retrofit, upgrade, rehabilitation, concrete, crack repair, CFRP.

1. Introducción

Dentro del plan de mantenimiento de infraestructuras de Calle 30, se plantea la rehabilitación del puente de O'Donnell, puente que resuelve el cruce de la prolongación de calle O'Donnell (M-23) sobre la M-30 a la altura del

P.K.7+600 en ambos sentidos de circulación. La construcción de este puente data aproximadamente de 1970.

El paso superior, está constituido por dos tableros independientes separados aproximadamente 2.60 m entre sí. Los tableros son de hormigón pretensado, y las pilas y los estribos son de hormigón armado. Todos los

elementos de la estructura se construyeron in situ.

2. Descripción de la estructura

La sección transversal de cada tablero, con una anchura total de 20.40 m, está constituida por dos losas aligeradas de hormigón pretensado en forma de artesa, con cantos variables entre 0.95 y 1.20 m, unidas mediante un voladizo central. Cada tablero presenta, además, voladizos laterales. En las zonas próximas a las pilas, la sección transversal es de doble artesa de canto variable desde 1.20 m hasta 1.90 m sobre el eje de las pilas.

Existen 4 dobles pilas de hormigón armado de sección rectangular, siendo variable su lado mayor y manteniendo constante su lado menor, materializándose así 4 líneas de apoyo intermedio, y que dan lugar a la sucesión de 5 vanos. Dichos vanos tienen 15.00+24.00+38.00+24.00+15.00 m de luz.

Alberga cuatro juntas transversales con uniones a media madera, dos sobre los ejes de pilas exteriores (P-1 y P-4), y dos en el vano central. Además existen las juntas estructurales correspondientes que permiten la conexión del tablero con los estribos E-1 y E-2.

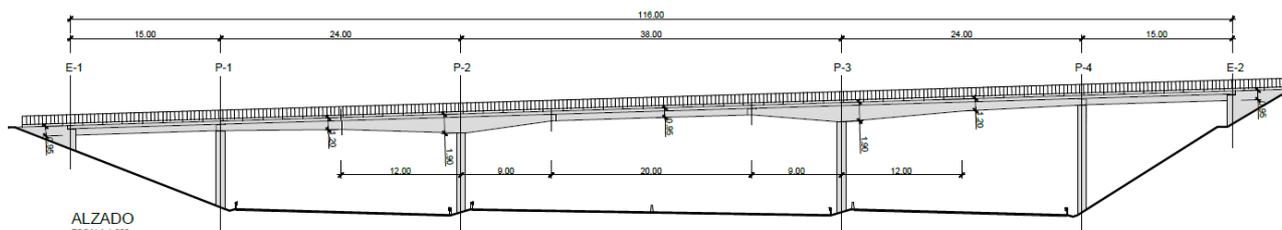


Figura 2. Alzado.

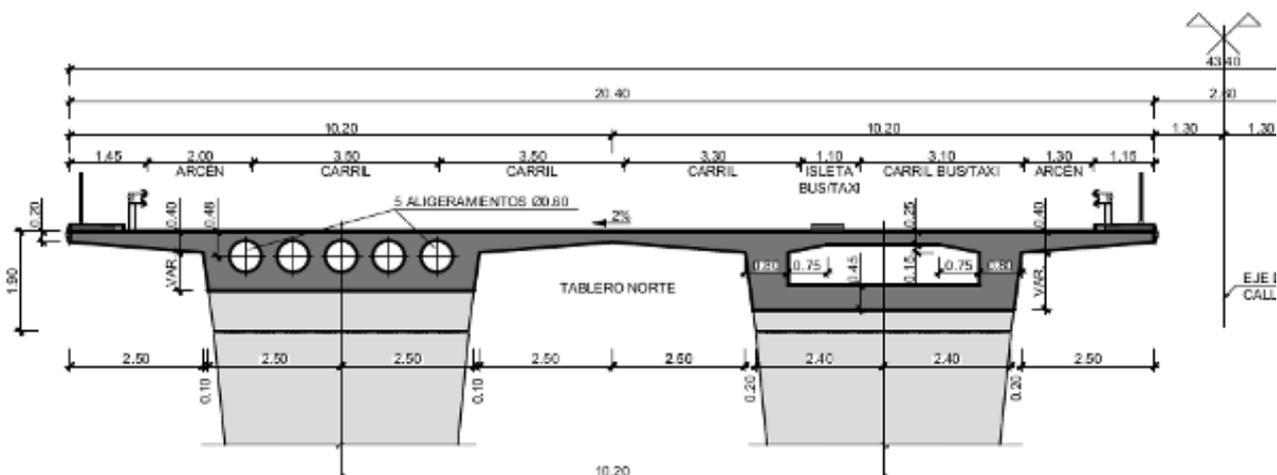


Figura 3. Sección transversal tablero Norte.

Las líneas de apoyo extremas de la estructura constan de estribos cerrados de hormigón armado, formados por un muro frontal común a ambos tableros y aletas en vuelta. Los apoyos en todos los casos son de neopreno zunchado, 8 por cada línea de apoyo y cada tablero.

En el caso de los apoyos a media madera, no ha sido posible realizar la inspección de los aparatos de apoyo, dada la inaccesibilidad de las medias maderas en su estado actual.

Además, existe actualmente una imposta metálica que remata los cuatro bordes de tablero existentes. En ellos, también está dispuesta una barandilla metálica de protección.

En sentido funcional, uno de los tableros presenta tres carriles de entrada a Madrid de aproximadamente 3,5 metros de anchura. Además existe un carril bus/taxi en el extremo sur de este tablero (norte) de unos 3,3m de anchura, separado del resto de los carriles por un bordillo de unos 60 cm. El otro tablero, presenta cuatro carriles de salida de Madrid de aproximadamente 3,5 metros de anchura y arcén tanto izquierdo como derecho de 2 m de anchura.

En los extremos de los dos tableros hay dispuesta una barandilla metálica y la imposta es de chapa metálica.

Entre la calzada y las aceras exteriores hay dispuesta una barrera metálica flexible tipo bionda, que lleva incorporado un sistema de protección para motoristas.

En la parte exterior de ambos tableros hay situados báculos de iluminación separados unos 17 metros entre sí. El anclaje de los báculos consiste en pernos pasantes a través del voladizo y chapa en base inferior del mismo.



Figura 4. Vista inferior previa a la rehabilitación.

3. Rehabilitación de la estructura

La rehabilitación de la estructura implica actuaciones en estribos, pilas y tablero, la mayoría orientadas a reparaciones superficiales (desconchones,...), pero también fueron necesarias actuaciones más profundas a nivel estructural. A continuación se detallan las 3 principales actuaciones de rehabilitación llevadas a cabo:

3.1 Sustitución de apoyos de estribos.

Son 8 apoyos por cada tablero, de dimensiones 200 x 150 x 22 mm. El cálculo de los neoprenos necesarios según normativa actual da como resultado que las dimensiones de los existentes son adecuadas. Sin embargo, en una inspección previa se detectó que habían sufrido una fuerte y rápida degradación debido a varios factores:

- Filtraciones a través de las juntas de dilatación de los estribos, que han acelerado el proceso de deterioro de las mesetas de nivelación, cuñas superiores y el caucho de los apoyos.

- Escaso espesor y dimensiones de los aparatos de apoyo existentes.

- Los efectos provocados por la concentración de esfuerzos de aplastamiento transmitidos por las mesetas y cuñas de nivelación.

La ejecución contó con dos principales condicionantes:

(1) Espacio limitado de trabajo entre la losa y el estribo llegando incluso a los 65 mm en ciertas localizaciones.



Figura 5. Detalle del reducido espacio disponible entre el estribo y el tablero en la zona de apoyos.

(2) La fuerte intensidad de tráfico que soporta la M-23 y la necesidad de interferir lo menos posible en la circulación, dada la importancia de dicha vía.

La principal dificultad es el pequeño espacio disponible para alojar los gatos y poder trabajar bajo el tablero.



Figura 6. Vista de estribo, gatos hidráulicos instalados para maniobra de sustitución de apoyos.

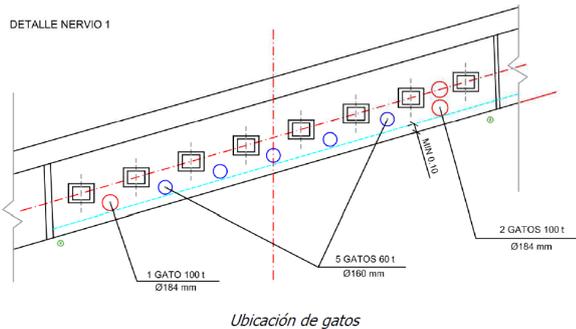


Figura 7. Planta de distribución prevista de los gatos hidráulicos para la maniobra de sustitución de apoyos.

Tras realizar un análisis estructural de deformaciones impuestas en la estructura con concomitancia de cargas de tráfico, se concluyó que los esfuerzos torsores generados en los voladizos interiores de los nervios eran muy elevados y muy sensibles a pequeñas variaciones milimétricas, en caso de izar la estructura nervio a nervio. Se decidió actuar, por tanto, sobre los dos nervios de manera conjunta gateando la estructura en maniobra de iso-desplazamiento.

Las carreras de gateo previstas eran de 5 mm, mínimo suficiente estimado como para apeaar la estructura y poder retirar los neoprenos y demoler las cuñas y mesetas de nivelación.

El equipo contó con un sistema de bloqueo mecánico independiente, materializado por calzos en forma de herradura que se dispusieron alrededor del pistón de los gatos sobre la camisa de los mismos.

El control de la maniobra se planteó mediante la monitorización de desplazamientos y reacciones a través de sensores de desplazamiento y transductores de presión, a través de un autómata programable (PLC) y un

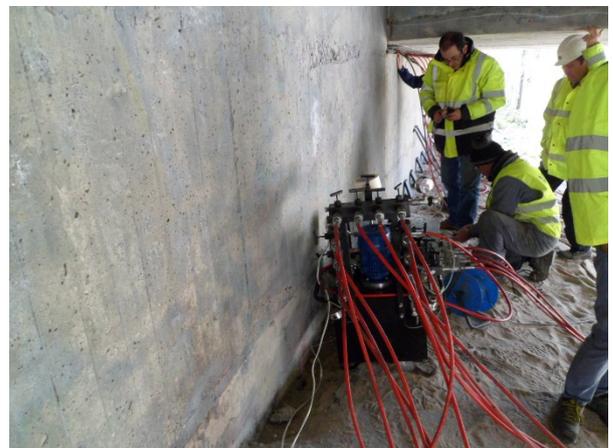
Scada, conectado mediante wifi a un PC o Tablet:

- Desplazamientos: Se monitorizaron mediante los sensores de desplazamiento con precisión de 0.1 mm. Se contó con 4 sensores ubicados en los extremos de cada nervio, de manera que se pudieron controlar los desplazamientos relativos entre sensores que en ningún caso debían superar los 3 mm.



Figura 8. Sensor de desplazamiento instalado para control de la maniobra.

- Presiones: Se colocaron placas de reparto de 250 x 250 mm sobre cada gato para evitar punzonamientos en el hormigón de losa y se nivelarán con arena la base de apoyo de los mismos para absorber las irregularidades de la superficie del estribo. Se monitorizaron las cargas mediante transductores de presión, de manera que la carga de cada gato pudo ser visualizada en kN en el programa de monitorización.



El circuito hidráulico contó con 4 líneas hidráulicas independientes con anti-retorno que alimentan 4 gatos cada una, permitiendo a su vez actuar sobre cada gato individualmente.

El programa de monitorización contó adicionalmente con un sistema de alarmas por desplazamientos relativos y cargas, lo que permitió corregir las carreras durante la maniobra para asegurar el izado paralelo de los dos nervios.

3.2 Inyección de fisuras.

El criterio seguido, diferenciando entre zonas de hormigón armado y hormigón pretensado, fue el siguiente:

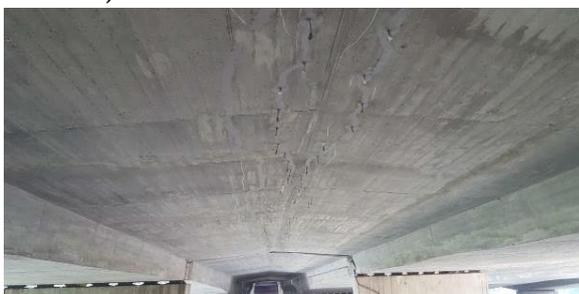
HORMIGÓN ARMADO			HORMIGÓN PRETENSADO				
inf o igual	0,299	PINTAR	inf o igual	0,199	PINTAR		
entre	0,299	0,399	SELLAR	entre	0,199	0,399	SELLAR
superior	0,399	INYECTAR	superior	0,399	INYECTAR		

Tabla 1. Unidades en mm.

En total, tras realizar un exhaustivo mapeo de todas las fisuras, clasificándolas según su apertura y zona donde se ubicaban, se realizaron 925 m de tratamiento de fisuras (203 m pintura elástica anti-carbonatación, 563 m sellar, 159 m inyectar).



Figura 10. Imagen de inyección de fisuras (en corte nocturno).



3.3 Nueva barrera de contención.

Por un lado, está el espacio disponible y la geometría propia de la barrera. Hay que tener en cuenta que no solo la barrera ocupa un espacio físicamente que es necesario que sea compatible con el espacio disponible en la calzada (arcenes, carriles de circulación, etc.) sino que también tienen un determinado ancho de trabajo que también puede entrar en conflicto con las mencionadas áreas destinadas al tráfico.

Por otro, hay que tener en cuenta las condiciones en las que se realizó el ensayo de homologación de la barrera, pues en la aplicación en el tablero deben reproducirse lo más fielmente posible para que esa homologación sea válida. Esto es aplicable a geometría de los zunchos de anclaje, los anclajes de la barrera e incluso el armado del propio zuncho (en principio parte del tablero, pero en la mayoría de los casos ante la duda se acaba considerando como parte del sistema de contención, y por lo tanto parte del sistema homologado).

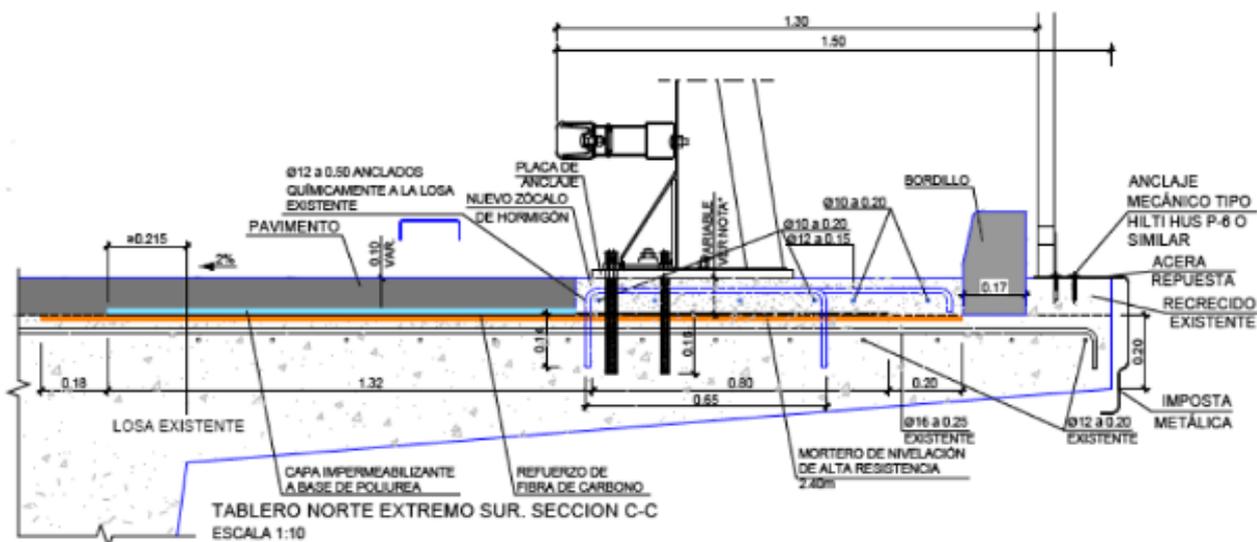


Figura 12. Esquema de solución de refuerzo de tablero e instalación de pretil metálico H4b

Finalmente, hay que tener en cuenta las fuerzas que ese sistema de contención introduce en nuestro tablero, para determinar si el tablero resiste dichas fuerzas o es necesario acometer un refuerzo estructural del tablero para dotarle de la capacidad necesaria de absorber y distribuir las fuerzas provenientes de la situación de impacto de un vehículo sobre la barrera sin que ello implique el colapso de todo o parte del tablero.

más habitual es que sea necesario llevar a cabo alguna actuación de refuerzo estructural del tablero. Este refuerzo podrá definirse de distintas maneras en función del tipo de tablero y de las condiciones en las que se encuentre. Normalmente el refuerzo suele limitarse a la losa (en voladizo en muchas ocasiones), y en función del estado de la misma y del alcance del refuerzo necesario (incremento de capacidad) será más o menos invasiva, y por lo tanto, podrá tener un impacto significativo tanto en coste como en plazo y en cuanto a posibles afecciones al tráfico.

Si las condiciones de la losa existente son las adecuadas existe un método de refuerzo con el que se consigue minimizar la afección a la estructura existente, consiguiendo niveles de productividad de instalación elevados y por lo tanto disminuyendo el plazo total y las posibles afecciones al tráfico. Este sistema es el desarrollado por LRA y aplicado en diferentes proyectos, y consiste en una combinación de refuerzo del zuncho o zócalo de anclaje (geometría y armado) mediante elementos tradicionales (recrecido de hormigón y armado pasivo), cosido a la losa existente también con armadura pasiva, y un refuerzo en la losa

DESIGNACIÓN	PRETIL METÁLICO PMH-38
PARÁMETROS DE COMPORTAMIENTO	
NIVEL DE CONTENCIÓN	H4b
CLASE DE SEVERIDAD	B
ANCHURA DE TRABAJO	W4
DEFLEXIÓN DINÁMICA	0,9 m
CARACTERÍSTICAS DE LA BARRERA	
DISTANCIA ENTRE POSTES	2,50 m
ANCLAJE EN ESTRUCTURA	Postes anclados químicamente a losa existente
CARGAS MÁXIMAS TRANSMISIBLES	
	$F_{x,carretera} = 397 \text{ kN}$
	$F_{y,carretera} = -234 \text{ kN}$
	$F_z = -120/+65,6 \text{ kN}$
	$M_{x,carretera} = -211,5 \text{ m kN}$
	$M_{y,carretera} = -91 \text{ m kN}$

Quando, como el caso que nos ocupa, el nivel de contención de la nueva barrera es el más alto, H4b, y el existente tenía un nivel inferior, lo

mediante bandas de fibra de carbono adheridas en la cara superior.

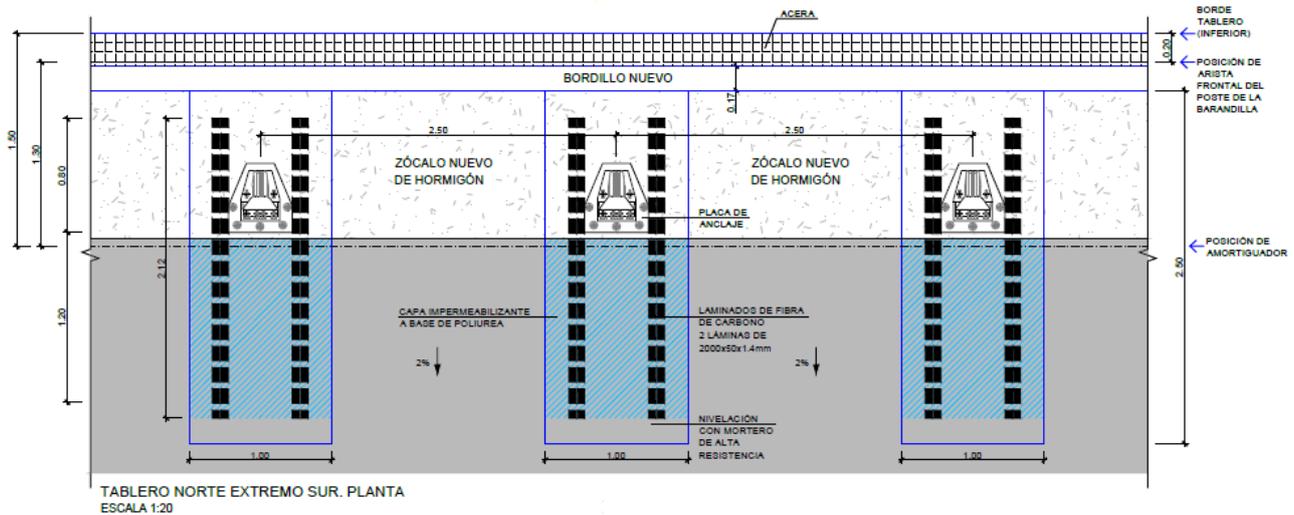


Figura 14. Planta del refuerzo para nueva barrera metálica.

El procedimiento es el siguiente:

(1) Fresado de la superficie del tablero. En un ancho desde borde de tablero de 2.40 m. Retirada del sistema de contención existente (barandilla).



Figura 15. Fresado y demolición de la barandilla existente.

(2) Aplicación de un puente de unión de resina epoxy.

(3) Aplicación de una capa de mortero de nivelación, sin retracción, de alta adherencia. El espesor medio fue de 3-4 cm. Para ello se fabricaron unos moldes con las medidas de 1.00 x 2.20 m, de manera que quedara una superficie lisa y homogénea.



Figura 16. Capa de mortero de nivelación ya ejecutada. Armado para el nuevo zuncho ya colocado.

(4) Colocación de 2 parejas de bandas de fibra de carbono, 50 mm de ancho, 1.4 mm de espesor, y 2000 mm de longitud. CFRP de las siguientes características mecánicas: 170 GPa de Módulo, 3100 MPa de tensión de tracción en rotura, y 2% de elongación en rotura. Tras haber curado la capa de mortero de nivelación (2-3 días), se colocaban las tiras de fibra de carbono, dos tiras juntas a cada lado del poste vertical del pretil. Laminado en fibra de carbono “Drizoro composite”, que se adhería al mortero de nivelación mediante el adhesivo de fijación “Maxepox Carbofix”.



Figura 17. Colocación de las láminas de refuerzo de fibra de carbono.



Figura 18. láminas de refuerzo de fibra de carbono ya instaladas.

(5) Colocación de una capa impermeabilizante a base de poliurea, también para evitar que con la aplicación de la mezcla bituminosa, el calor dañara la fibra, en 2 fases. Primeramente se extendía una imprimación: “Maxepox primer-w”, y a las 12-24 h. se extendía mediante proyección una membrana de poliurea “Maxelastic Poly”. Los rendimientos de aplicación de este producto fue de unos 500 m²/día.



Figura 19. Nuevo zócalo de hormigón para apoyo y anclaje de la nueva barrera ya ejecutado.

(7) Colocación del pavimento.

Los rendimientos de ejecución de este sistema, en parte debido a lo poco invasivo, y en parte debido a la ligereza de los elementos a instalar (fibras), son bastante elevados.

En el caso de O'Donnell, teniendo en cuenta que eran 116 ml, 2 puentes, 2 barreras por puente, los rendimientos fueron los siguientes:

- b) Colocación de la tira de fibra de carbono 2 días por lateral.
- c) Aplicación de poliurea:
 - a. 1ª fase.- 1 día por lateral
 - b. 2ª fase .- ½ día por lateral

4. Apertura definitiva al tráfico

Una vez acabados todos los trabajos de rehabilitación y adecuación, tanto de los elementos estructurales de subestructura y tablero, como de los elementos accesorios como las nuevas barreras de contención, a pesar de que el puente no ha sido cerrado al tráfico por completo, realizando desvíos provisionales de tráfico, la estructura está lista para la apertura definitiva al tráfico, garantizando el uso adecuado, seguro y durable de la misma por los habitantes de la ciudad de Madrid.



Figura 20. Vista lateral de la estructura ya rehabilitada.



Figura 21. Vista de la calzada Norte tras las actuaciones de rehabilitación y adecuación.

Agradecimientos

Calle 30 (Ana Belén Fernández Cañada y Rubén Álvaro Sanz). Dirección de Obra.

Mrs AMAGA (Alejandro Mayor Gamo), Maniobra de sustitución de apoyos.

API (Alberto de la Fuente). Trabajos de reparación en pilas y tablero, incluyendo los trabajos de refuerzo para instalación de nueva barrera de contención.