

El cierre de la M-40. Tramo I del Distribuidor Norte

POR JOSÉ RAMÓN PARAMIO
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

LUIS AZNAR AIMAZÁN
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

Y RICARDO BENGEOA PECHUÁN
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Las calzadas superpuestas han supuesto una buena solución para el problema medioambiental.

Con el tramo I del Distribuidor Norte se ha cerrado la autopista de circunvalación de Madrid M-40, cuya construcción se inició en 1987.

Su puesta en servicio ha producido una esperada redistribución del tráfico en todo el cinturón, consiguiéndose un mejor reparto entre todos los tramos que lo componen, con la consiguiente disminución de la congestión en horas punta en el arco sureste.

Además, el cierre de la M-40 ha significado una importante

mejora en las condiciones de explotación de otros ejes viarios, especialmente, de la carretera de La Coruña (A-6), entre el enlace de El Barrial y Moncloa, de la carretera de Castilla y de la carretera de Extremadura (N-V), entre sus enlaces con la M-40 y la M-30.

En efecto, en lo que se refiere a la carretera de La Coruña, todo el tráfico de penetración a Madrid por esta vía con destino a la zona norte de la capital puede tomar la M-40, en el enlace de El

Barrial, situado en el p.k. 10,5 de la N-VI y, al final del nuevo tramo, optar entre continuar por la M-40 o desprenderse hacia la M-30 (Avenida de la Ilustración) hacia el norte. Esta última vía se vio ya notablemente descongestionada al ponerse en servicio el tramo II del Cierre Norte de la M-40 en marzo de 1996.

En cuanto a la carretera de Castilla, el efecto del cierre de la M-40 se acusa en sus dos sentidos. Para el tráfico hacia la carretera de La Coruña, el acceso

Ahora todo el tráfico de penetración a Madrid por la A-6, con destino a la zona norte de la capital, puede tomar la M-40

a esta vía se hace fluido, al haberse eliminado la congestión en ella; y el tráfico hacia el Puente de Los Franceses ha disminuido su intensidad reduciendo el nivel de conflictividad en este punto.

Por último, respecto a la carretera de Extremadura, antes del cierre de la M-40, los vehículos que penetraban por ella con destino a la zona norte de Madrid te-

nían tres opciones: continuar hasta la M-30, desprenderse en la M-40 en sentido al sur o en sentido al norte para tomar la N-VI. Las dos últimas conllevaban asumir las retenciones del arco sureste de la M-40 o de la N-VI, respectivamente; por lo que muchos vehículos optaban por elegir un itinerario a través de la M-30. La garantía de una circulación rápida a través del arco norte de la M-40 ha reducido notablemente el tráfico que optaba por la primera de las opciones indicadas.

Descripción de la obra

La longitud del tramo es de 3 677 m, limitados entre las carreteras de La Coruña (A-6) y de El Pardo (M-605).

El trazado se inicia en el enlace de El Barrial (conexión A-6/M-40), discurriendo a partir de este punto en dirección noreste hasta encontrarse con la tapia del monte de El Pardo, en donde se incurva hacia el este, situándose paralela a esta tapia en una longitud de poco más de un kilómetro, para incurvarse nuevamente hacia el norte, penetrando ya en el área cerrada de ese monte, buscando el enlace de La Zarzuela (conexión M-40/M-30) y los viaductos de paso de la M-40 sobre el río Manzanares, que fueron ejecutados con el tramo II del Cierre Norte.

Los especiales condicionantes medioambientales de la zona por la que discurre la traza obligaron a la adopción de una solución muy particular para respetarlos. El trazado adopta para ello una traza deprimida en todo su recorrido, caracterizándose claramente tres zonas.

La primera, desde el origen hasta el inicio de las calzadas superpuestas, está limitada lateralmente por unos muros escalonados para reducir la afección a la zona urbana adyacente y los impactos acústico y visual. La coronación de estos muros se adapta sensiblemente al terreno existente, aprovechándose los escalones entre ellos para un ajardinamiento.

En esta zona también se han visto afectados cinco viales urbanos, que se han repuesto mediante unos pasos elevados para respetar (tanto en planta como en alzado) su trazado original y no alterar las condiciones de circulación en la zona. Algunos de estos pasos han sido objeto de unas soluciones estructurales realmente originales en su diseño y concepción (pérgolas con losa postesada con aligeramientos), como es el caso de los cruces con la avenida de Valdemarín y las calles de Casiopea (E1-2) y Cabellera de Berenice (E5).

En la segunda zona, el trazado discurre paralelo a la tapia del monte de El Pardo. Los condicionantes de esta zona (no afectar a la tapia ni a las edificaciones) se respetaron con la solución de superponer las calzadas, lo que permitió pasar la autopista por la franja delimitada por dicha tapia



Punto de encuentro en donde las dos calzadas se superponen.



Distribuidor Norte M-40: Carretera N-VI - Enlace de la Zarzuela (Madrid) en su fase final de construcción.

y las edificaciones existentes.

Desde el punto de vista del trazado, se llega a esta situación separando en alzado ambas calzadas, para lo que se dispone de un muro de contención en la mediana. Donde la diferencia de cotas entre ellas es ya suficiente, comienza el desplazamiento de una sobre la otra hasta la superposición total, de forma que la calzada izquierda, ascendente en el sentido este-oeste, discorra al aire libre sobre la calzada derecha, descendente en el sentido oeste-este, que queda en túnel. Al final de este tramo comienza

un proceso inverso para conseguir que las calzadas vuelvan a ser coplanarias.

Desde el punto de vista estructural, los tramos de transición se resuelven con unas estructuras mixtas de acero y hormigón, del tipo pérgola, con una longitud aproximada de 400 m cada una. El tramo de calzadas superpuestas, de 1 006 m de longitud, se resuelve con dos filas de pantallas arriostradas mediante una losa de hormigón armado con canto de 90 cm, que sirve de soporte a la calzada superior. Donde la profundidad de esta última res-

pecto al terreno natural es superior a siete metros, se dispone de un arriostramiento adicional a una altura de cinco metros sobre ella, constituido por una celosía de vigas metálicas del tipo cajón.

La tercera zona incluye el paso por el recinto cerrado del monte de El Pardo y las conexiones con la M-30; y en ella, la plataforma de la autopista queda limitada por unos muros escalonados en la margen derecha y unos suaves taludes abancalados en su margen izquierda, tratando de lograr la máxima integración posible con el entorno.

Para reponer la carretera de acceso al palacio de La Zarzuela y la pista de carreras del hipódromo, se ejecutó a cielo abierto un túnel de 230 m de longitud. Estructuralmente, el túnel está resuelto mediante unos hastiales constituidos por muros pantalla, un apoyo intermedio formado por pilas-pilote y un tablero de hormigón postesado aligerado de 1,30 m de canto. A los efectos de aligerar las cargas sobre la losa, el túnel está cubierto por un relleno ligero (porexpan y arlita) y una capa de 1,50 m de tierra vegetal para permitir la reposición de la vegetación.

El enlace con la M-30 comprende los cinco movimientos siguientes: M-40 oeste/M-30 norte; M-40 oeste/M-30 sur; M-30 norte/M-40 oeste; M-40 norte/M-30 sur y M-30 sur/M-40 norte, de los que los dos últimos corresponden al tramo II del Distribuidor Norte. Los otros tres se han solucionado con la construcción de cuatro estructuras, tres de ellas son tableros aligerados de hormigón postesado sobre unas pilas circulares, con una longitud total de, aproximadamente, 2 000 m, y una cuarta, con una losa maciza de hormigón armado sobre la avenida de la Ilustración.

Proceso constructivo

La zona con las calzadas superpuestas, a pesar de su complejidad, fue ejecutada en un plazo de 10 meses: su proceso constructivo fue cuidadosamente

analizado para conseguir el máximo aprovechamiento de todos los medios necesarios, humanos y materiales.

La ejecución de las obras en las calzadas superpuestas se plantea con un avance horizontal desde los extremos hacia el centro, más un tercer frente que, por razones de plazo, fue necesario abrir en un punto intermedio con avance hacia el oeste. El avance vertical es descendente. Con estos planteamientos generales vamos a ver el proceso paso a paso.

El proceso descendente, en líneas generales, es el siguiente: en primer lugar, se realizan los elementos de contención lateral del terreno (las pantallas), que se ejecutan en dos alineaciones, una izquierda con unos 1 100 m de longitud y una derecha con 1 000 m de longitud y tres retranqueos de tres metros hacia la derecha. La separación entre ellas es de 20 m donde no hay retranqueos. La anchura de las pantallas es de 60 u 80 cm según las zonas, y su profundidad varía entre los 14 y los 25 m.

Tras la realización de las pantallas se vacía el terreno entre ambas alineaciones hasta la cota de los arriostramientos metálicos adicionales donde están previstos, o hasta la cota de la calzada superior en los lugares donde no se disponen estos arriostramientos. El proceso se realiza, según el avance lineal en planta, dejando un margen de seguridad de 25 m con respecto a la zona donde se ejecutan las pantallas. Alcanzadas aquellas cotas, se ejecutan los pilotes que en los tramos arriostrados por puntales metálicos conllevan una sobreexcavación de 6 m por el obstáculo que ellos mismos suponen.

Tras los pilotes se montan, donde es necesario, los arriostramientos metálicos formados por piezas metálicas que se realizan en taller, de tal forma que en su montaje definitivo se realicen las mínimas operaciones posibles; para, a continuación, realizar la excavación hasta la cota de la losa.

La siguiente fase es la ejecución de la losa de apoyo de la calzada superior. La superficie del terreno, sobre la cual se va a hor-



La iluminación es un factor importante en una obra de estas características.

migonar dicha losa, se prepara extendiendo una capa de aglomerado de 6 cm de espesor, previa su nivelación. Al mismo tiempo, se colocan los aparatos de apoyo de la losa tanto sobre los pilotes como sobre las ménsulas metálicas fijadas a las pantallas, que son unos elementos aislados para permitir los movimientos longitudinales de la losa. Los contactos laterales entre la losa y las pantallas en las zonas de los pilares se resuelven colocando unos pequeños aparatos de apoyo para que la transmisión de esfuerzos sea exclusivamente horizontal.

El hormigonado, que se efectúa con doble bombeo desde el frente de avance para evitar el trabajo sobre losas de poca edad, se realiza por módulos de 28 m de longitud, salvo en zonas puntuales donde los módulos son de 35 m. Entre módulo y módulo se deja una junta de hormigonado, prolongando la colocación de las armaduras entre 7 y 10 m más allá de la posición de la junta, excepto cada 140 m aproximadamente, donde se realiza la junta de dilatación. El ciclo completo de cada módulo entre las juntas de hormigonado tiene una duración de dos días.

Tras el hormigonado de la losa se realiza la excavación bajo ella, para lo que se instala un sis-

tema provisional de ventilación. Simultáneamente a esta excavación, se trabaja sobre la losa en el extendido de las capas de firme, la colocación de los paneles fonoabsorbentes, ejecución de barreras, jardineras, señalización y otros detalles de terminación.

En la calzada inferior, tras la excavación, se realizan las operaciones homólogas a las de la calzada superior, a las que se suman la ejecución del tabique para separar el conducto de ventilación y la instalación de las escaleras de emergencia. Estas operaciones se alternan con el tendido de líneas para iluminación y dispositivos de control, acabando con la instalación de estos dispositivos, la pintura y la colocación de los aparatos de juntas de dilatación.

En cuanto al túnel bajo la pista de carreras del hipódromo y la carretera de acceso al Palacio de la Zarzuela, se utilizó un proceso constructivo similar al de las calzadas superpuestas con algunas variaciones.

En primer lugar se realizó la excavación hasta la cota de la losa; después se ejecutaron los muros pantalla correspondientes a los estribos y las pilas-pilote de apoyo intermedio; a continuación, se construyó la losa, para terminar



El tratamiento medioambiental también implica la colocación de pantallas fonoabsorbentes.

con la excavación bajo ella hasta la cota de la calzada.

Sección transversal y firmes

La sección transversal está compuesta por dos calzadas con tres carriles cada una, de 3,50 m, y arcenes exteriores e interiores de 2,50 m y 1 m, respectivamente. La plataforma ejecutada tiene unas dimensiones que permite una fácil ampliación de ambas calzadas a cuatro carriles cada una, igual que todo el arco noroeste de la M-40.

El firme construido ha sido el 023 de la Instrucción de Firmes, compuesto por explanada tipo E-2, una capa de suelocemento de 20 cm, sobre la que apoyan las mezclas bituminosas con espesor total de 30 cm, siendo la superior del tipo drenante.

Ventilación

La obra consta de dos túneles. Uno por el que discurre la calzada inferior de las superpuestas, de 1 006 m, donde la ventilación adoptada ha sido semitransversal, con dos centrales subterráneas de impulsión y aspiración de aire, y un conducto longitudinal de ventilación a lo largo de todo el túnel; y este conducto se encuentra dividido mediante un portón automatizado que permite di-

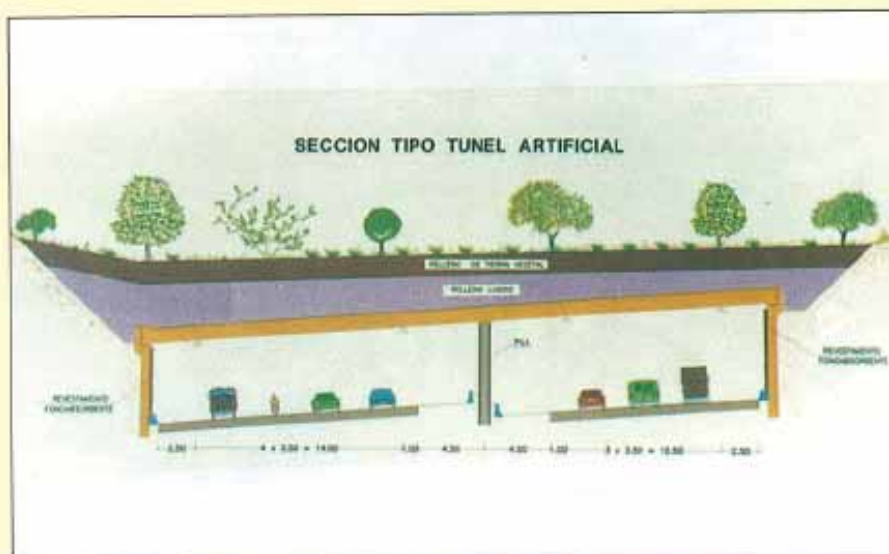
ferentes variantes en la explotación de la ventilación, que podrían ser necesarias en caso de incendio o de avería de una de las centrales. Son de destacar los sistemas silenciadores del ruido que poseen ambas centrales para reducir el impacto acústico.

El otro túnel está situado bajo la pista del hipódromo, de 231 m de longitud, en el que, dada su sección transversal y su longitud, se adoptó una ventilación longitudinal, mediante seis ventiladores (tres por sentido) del tipo torpedo, adosados al techo.

La zona con las calzadas superpuestas, a pesar de su complejidad, fue ejecutada en un plazo de 10 meses

Instalaciones complementarias para la explotación

El tramo consta de una serie de instalaciones complementarias de seguridad y explotación, diseñadas para dar una adecua-



Sección del túnel artificial bajo el monte de El Pardo.

da respuesta a las exigencias de una vía de alta velocidad e intensidad circulatoria como la que nos ocupa. Los siguientes criterios básicos de diseño de estos sistemas fueron los mismos que los utilizados en los túneles bajo el monte de El Pardo, en el tramo II del Cierre Norte:

- Información constante al usuario de las condiciones de la circulación.
 - Posibilidad de funcionamiento en ambos sentidos en cada una de las calzadas superpuestas y en el túnel bajo el hipódromo de La Zarzuela.
 - Fácil acceso del usuario a teléfonos de emergencia.
 - Control visual de todo el tramo.
 - Detección de incidencias.
 - Detección continua de incendios en la calzada inferior.
 - Control automático de la ventilación.
 - Control de iluminación en la calzada en túnel en función de la exterior.
 - Máximo automatismo en las respuestas frente a las incidencias.
 - Redundancia en las comunicaciones y equipos informáticos.
 - Control centralizado.
- Consecuencia de todo ello fue la implantación de las siguientes instalaciones:

- Señalización dinámica con paneles alfanuméricos de mensaje variable y señales con tec-

nología LED*, indicadores del estado de los carriles.

- Semaforización en los accesos a los túneles.
- Detectores de gálibos.
- Circuito cerrado de televisión, con cámaras fijas y motorizadas.
- Postes de auxilio con extintores manuales de incendio y teléfono.
- Estaciones de aforo e incidencias, con espiras inductoras bajo el pavimento.
- Detectores de monóxido de carbono, opacidad y velocidad del aire para el control automático de la ventilación.
- Hilo fibroláser para la detección de incendios.
- Células fotoeléctricas que fijan la iluminación de los túneles

El hormigonado de las calzadas superpuestas se efectuó con doble bombeo desde el frente de avance, para evitar el trabajo sobre losas de poca edad

(calzadas superpuestas y paso bajo el hipódromo) en función de la exterior.

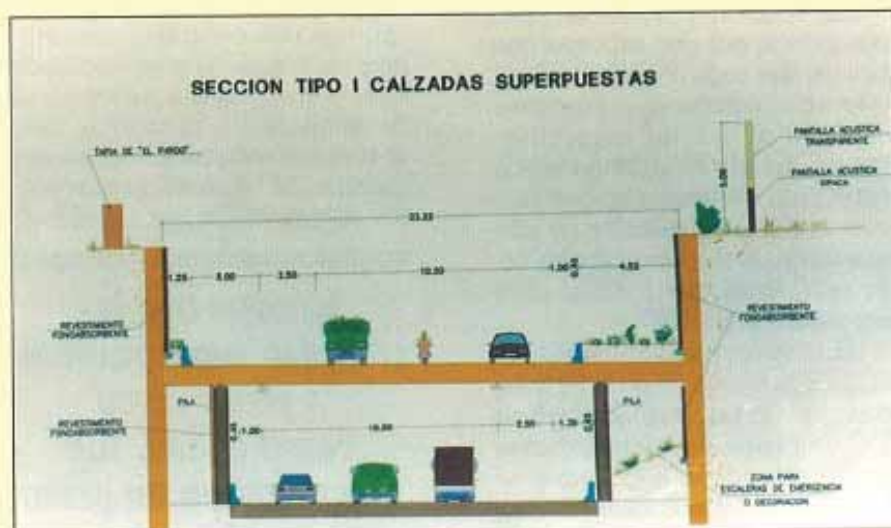
- Centro de control con unos equipos informáticos que permiten la centralización, automatización y coordinación de todos los subsistemas.

Por último, cabe destacar las siete salidas de emergencia para peatones previstas para la calzada inferior de las superpuestas, que permiten una rápida evacuación, en caso de incidencia grave, de los ocupantes de los vehículos.

Aspecto medioambiental

En el aspecto medioambiental, además de las medidas antes mencionadas integradas en el diseño, se han incorporado otras actuaciones tendientes a paliar los impactos negativos en el entorno. De ellas, caben destacar las rela-

* Diodo emisor de luz.



Sección de las calzadas superpuestas en su tramo central.

tivas al impacto acústico y a la restauración e integración paisajística.

En cuanto al impacto acústico, han sido cuatro las actuaciones realizadas para conseguir unos valores finales inferiores a los máximos fijados en la Declaración de impacto ambiental:

- Empleo de una mezcla bituminosa drenante como capa de rodadura.
- Revestimiento de todos los muros con unos paneles fonoabsorbentes.
- Colocación de unas pantallas acústicas en los bordes de la plataforma.
- Implantación de una cobertura parcial en dos zonas de la calzada superior de las superpuestas, por la especial cercanía a ella de edificaciones existentes.

Respecto a la restauración e integración paisajística, se ha efectuado una importante labor de plantación, tendente, por un lado, a recuperar el paisaje afec-



Se ha cuidado el aspecto estético de todos los componentes del tramo.

tado en el monte de El Pardo; y, por otra, a conseguir la mejor integración de la obra en el paisaje, tanto desde el punto de vista del usuario de la vía como desde una perspectiva exterior a ella. ■

José Ramón Paramio Fernández, Director de la obra, **Demarcación de Carreteras del Estado en Madrid**; **Luis Aznar Almazán**, Jefe de obra de **Dragados y Construcciones, S.A.**; **Ricardo Bengoa Pechuán**, Jefe de la Unidad A. Técnica de **Vigiconsult, S.A.**

