

# Intercambiador de transportes de Plaza de Castilla. Apeo definitivo galería de servicios.

*J. Alberto Cerezo Macías, María Gómez Irigaray y Alexander Domínguez Marquina; PROES Consultores S.A.*

En febrero de 2008 fué inaugurado un nuevo Intercambiador de Transportes en la ciudad de Madrid, en concreto el Intercambiador de Plaza de Castilla, que permite conectar las cuarenta líneas de autobuses interurbanos procedentes de las autovías A1 y M-607 con tres líneas del Metro de Madrid (1, 9 y 10) y con diecinueve líneas de autobuses urbanos.



El Intercambiador, que ha sido construido por la Comunidad de Madrid y requirió una inversión de más de cien millones de euros, consta de un edificio enterrado de aproximadamente 75.000 metros cuadrados, desarrollados en tres niveles de sótanos, donde además de las 29 dársenas para los autobuses, cuenta con 400 plazas de garaje y con accesos contruidos en falso túnel, el mayor con una longitud del orden de 1.250 metros, que permiten evitar el tráfico en superficie de los autobuses.

Las obras se sitúan en un lugar sumamente complicado, ya que el emplazamiento de las mismas se encuentra en la confluencia de varias de las avenidas de mayor tráfico de Madrid, a lo que se suma la existencia de las líneas de Metro y una importante cantidad de servicios que discurren por la zona. Las empresas constructoras han sido Dragados y el Grupo Cobra.

El proyecto de la obra civil del Intercambiador y la asistencia técnica al constructor durante las obras han sido desarrollados por PROES Consultores.

Dentro de las numerosas actuaciones singulares que se han ejecutado durante la construcción del Nuevo Intercambiador de Transportes de Plaza de Castilla destaca la que se desarrollará en este artículo, la obra realizada para apea definitivamente una galería de servicios del Canal de Isabel II.

## Descripción de la situación original

El falso túnel de mayor longitud, ya mencionado en la Introducción, previamente a su salida a superficie, se bifurca para separar los

ramales de entrada y salida. Los trazados de este túnel, tanto en planta como en alzado, están seriamente condicionados, debido a que se desarrollan coincidiendo con el lugar donde discurre el Paseo de Castellana, con sus carriles principales y sus carriles laterales.

La galería de servicios que se apeó atraviesa justamente la zona en que se produce la bifurcación de los carriles del túnel, razón por la que su desvío era sumamente complicado. A esta situación se sumaba que la galería aloja dos de las principales tuberías de abastecimiento del Canal de Isabel II, empresa que abastece y distribuye el agua potable a la ciudad de Madrid.

Por la suma de la necesidad de no interrumpir el servicio de abastecimiento de agua potable, las dificultades técnicas de realizar un desvío del servicio y también por limitaciones de plazo para ejecutar las obras, fue necesario proyectar y ejecutar el apeo definitivo de la galería de servicios del Canal de Isabel II, manteniendo en funcionamiento en todo momento el abastecimiento de agua.

El desvío de las tuberías hubiera sido una solución mucho más sencilla, ya que la solución planteada ha requerido salvar una luz de treinta metros, soportando una carga total del orden de las mil toneladas, con la condición adicional de limitar las deformaciones de la estructura de apeo para garantizar que no se afectara a las tuberías.

La información disponible, tanto de la situación como de las características de la galería de servicios, resultó no corresponder

con la estructura existente, lo que requirió diversos ajustes tanto al proyecto de la estructura de apeo definitivo como al resto de las obras de la zona: pantallas, soleras, forjados y losas de cubierta de los túneles de acceso, dentro de los cuales se sitúa la galería.

### Descripción de la galería y de la estructura de apeo

La galería existente enterrada tiene sección con solera plana y cubierta abovedada de 0.50 m de espesor, con un ancho exterior aproximado de 6.80 m y una altura del orden de los 3.00 m, los hastiales eran en teoría del orden de 1.35 m, mientras que el espacio interior tiene un gálibo libre de aproximadamente 4.00 m en horizontal y 2.00 m en vertical en la parte central abovedada. Dentro de la misma se alojan una tubería de diámetro 1200 mm y otra de diámetro 900 mm. La galería es de hormigón en masa y fue construida hormigonando sus hastiales contra el terreno, por lo que sus paredes exteriores son de forma y espesores irregulares.

La estructura diseñada para soportar la galería de forma definitiva constaba de cuatro pilotes de diámetro 1200 mm, situados en cada extremo y lado de la galería a apear. Sobre estos pilotes apoyaban dos vigas de hormigón armado, una a cada lado de la galería, de un ancho mínimo de 0.70 metros y una altura de 3.00 metros, que se hormigonan contra las paredes exteriores de la galería. Se completa el apeo con una serie de perfiles laminados HEB260 que se empotraban en la parte inferior de las vigas, a ambos lados de la galería, y que se

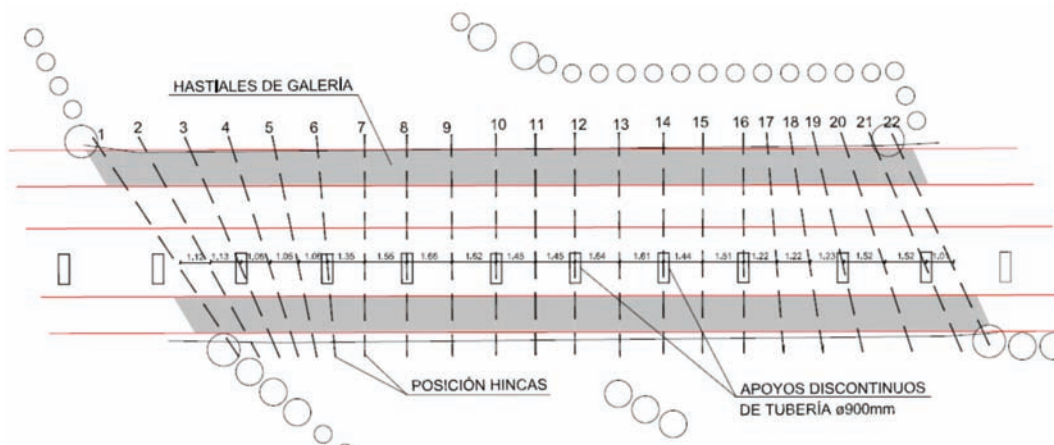


Figura 1: Distribución en planta de los perfiles transversales de apeo.



Fotos  
1, 2 y 3.  
Excavaciones.

disponían alojados en unos tubos de acero de diámetro 400 mm, hincados previamente en dirección transversal a la de la galería, bajo la solera de la misma, con una separación máxima de 1.60 m entre tubos.

Dado que la zona de la galería a apear presentaba en planta una forma trapezoidal, la disposición de los perfiles fue necesario adaptarla a esta situación abanicándolos de forma que se respetaran las separaciones máximas previstas en proyecto entre los perfiles.

### Proceso constructivo

Se iniciaron las obras ejecutando los cuatro pilotes de hormigón armado perforados de diámetro 1200 mm, uno en cada extremo y lado de la zona de la galería a apear, que constituirían los futuros apoyos de las vigas de apeo. A continuación se excavó a cielo abierto a ambos lados de la galería hasta una cota aproximada de 0.50 metros por debajo de la cota inferior de la solera de la misma, dejando la galería al descubierto (**Fotos 1, 2 y 3**).

A continuación, debido a la irregularidad de espesor que presentaban los hastiales de la galería existente en razón de que habían sido construidos aparentemente hormigonando contra el terreno excavado y, por tanto, también los espesores reales (del orden de 1.60 m) aumentaban considerablemente el peso de la

galería que debía ser apeado, se procedió a rebajar el espesor de los hastiales hasta dejarlos de un espesor similar al teórico (1.35 m) que se habían considerado en el proyecto del apeo. Además, de esta forma se mejoraba la rugosidad de las paredes de la galería contra las que se hormigonarían las vigas de apeo (**Fotos 4 y 5**).

A continuación, se hincaron bajo la solera de la galería y en teoría tangentes a la cara inferior de la misma, en dirección transversal a su eje, y con una disposición abanicada en planta en las zonas extremas, unos tubos camisa de diámetro 400 mm, de espesor 5 mm y que tienen en la generatriz superior una serie de taladros de 25 mm de diámetro separados 300 mm entre sí, preparados para poder realizar una inyección de mortero a través de los mismos, con una separación máxima entre tubos de 1.60 m. Los tubos se dispusieron de forma que se apeara la solera bajo la tubería de diámetro 900 mm, que tenía apoyos discontinuos sobre la misma, en coincidencia con estos apoyos, mientras que la otra tubería tenía una cuna continua de apoyo en la solera y, por tanto, no condicionaba la posición de los perfiles de apeo. La hinca se realizó del lado de la tubería de diámetro 900 mm, para garantizar que los perfiles apearían correctamente a la misma.

Posteriormente, se dispusieron en el interior de los tubos camisas unos perfiles laminados HEB 260 de acero S-355JR, de forma que el ala superior de los mismos quedará en contacto con el tubo camisa. Tanto los tubos camisa



Fotos 4 y 5.  
Rebaje del  
espesor de los  
hastiales y  
colocación de los  
perfiles en los  
tubos.



**Fotos 6, 7 y 8. Detalle de los tubos hincados y los perfiles colocados transversalmente bajo la solera.**

como los perfiles debieron ser conformados soldando dos trozos de 4 metros de estos elementos, y en algún caso algún trozo adicional, ya que por razones de espacio no podían disponerse estos elementos de una sola vez. Todas las soldaduras fueron ensayadas con líquidos penetrantes dando resultados correctos.

Estos perfiles se dejaron salientes en una longitud del orden de los 50 cm respecto a la cara exterior de la galería. A continuación, se relleno la parte inferior del tubo camisa con un microhormigón, para ello se dispuso un cierre de ladrillo en los extremos del tubo para contener el microhormigón. El espacio superior comprendido entre el tubo camisa y el ala superior del perfil se inyectó con una lechada de mortero de cemento a una presión de entre 6 y 8 bares, de forma que la misma penetrase en el espacio entre el tubo camisa y la solera de la galería para garantizar el contacto entre ambos **(Fotos 6, 7 y 8)**.

A continuación se realizó el descabezado de los pilotes que sirven de apoyos a las vigas de apeo, construyéndose un capitel de forma prismática en cada uno de ellos, de 0.50 m de altura. Luego se ejecutó a ambos lados de la galería, un hormigón de limpieza sobre el cual construir las vigas de apeo **(Fotos 9 y 10)**.

Una vez realizado éste, se ejecutó el montaje de las armaduras de ambas vigas de apeo, una a

cada lado de la galería. Las vigas de apeo se construyeron de hormigón armado HA-35 y se utilizaron barras de acero para armar B500S, utilizándose para los empalmes de las barras, tanto la solución de solape, como mediante la utilización de manguitos, debido a la importante armadura que se requería (42 barras de diámetro 32 mm dispuestas en 7 capas de armadura).



**Fotos 11, 12 y 13. Detalles del armado y del apoyo de las vigas de apeo.**

A continuación, se dispusieron los encofrados laterales exteriores de ambas vigas, los interiores los constituyen en la mayor parte de su altura las caras exteriores de los hastiales de la propia galería, y se procedió a realizar el hormigonado de las vigas de apeo con un hormigón autocompactante, capaz de fluir sin ningún tipo de compactación, simplemente por la acción de su propio peso, y recubrir cualquier rincón del encofrado a través de las armaduras sin que se produzca segregación ni bloqueo.



**Fotos 9 y 10. Colocación de las armaduras de las vigas de apeo.**



Las paredes de la galería fueron previamente humedecidas para evitar que absorbieran el agua del hormigón. Debido a que las vigas se hormigonaron contra los hastiales de la galería algunas zonas presentaron un espesor mayor que el previsto, aumentando algo el peso propio de las vigas de apeo, pero también la inercia de las mismas.



**Fotos 14 y 15. Encofrado y hormigonado de las vigas de apeo.**

Una vez que el hormigón de las vigas de apeo adquirió una resistencia de  $30 \text{ N/mm}^2$  (a los tres días), se desencofraron los laterales.



**Fotos 16, 17 y 18. Vigas de apeo ya hormigonadas y desencofradas.**



Para completar la construcción de la losa de cubierta del túnel, que cubría el espacio ocupado en planta por la galería, se procedió a realizar unos muros de ladrillo en continuación del alzado de las vigas de apeo y rellenar el espacio entre estos muros por encima de la bóveda, con arcilla expandida de bajo peso. Debido a las dificultades para rellenar con arcilla

expandida la zona de clave de la bóveda se dispuso una capa de espuma de poliuretano de unos 5 cm sobre esta zona, de forma de garantizar que existiera una capa deformable que evitara la transmisión de cargas de la losa de cubierta a la bóveda y la estructura de apeo. Sobre éstas se dispuso una lámina de PVC para conformar el encofrado que diera forma a la cara inferior de la losa de cubierta en esta zona. Alrededor de la vigas de apeo de la galería se rellenó la excavación con tierras compactadas hasta la cota de la cara inferior de la losa de cubierta a construir, para evitar cimbrar y encofrar la misma.



**Fotos 19, 20 y 21. Colocación de arcilla expandida sobre la galería.**



Posteriormente a la ejecución de las losas de cubierta del túnel, se retiró la arcilla expandida y se demolieron las hiladas superiores de los muros de ladrillo, para evitar que la losa de cubierta, cuando estuviera en servicio (sobre la que circulará el tráfico), pudiera apoyarse sobre la galería o sobre las vigas de apeo (**Fotos 22, 23 y 24**).

Una vez construida la losa de cubierta de la zona de los túneles afectados por la galería, se realizó desde el interior la excavación bajo la galería, accediendo por uno de los lados del túnel, el más cercano al Intercambiador, y poniendo en carga la estructura (**Fotos 25, 26 y 27**).

Durante todo el proceso de excavación, se realizó un seguimiento topográfico de la nivelación de las vigas de apeo y de la solera de



Fotos 22, 23 y 24. Retirada de la arcilla expandida y ejecución de losa de cubierta sobre la galería.



Fotos 25,26 y 27. Excavación bajo la galería.



Fotos 28,29 y 30. Vistas generales de la galería apeada desde los túneles.



Fotos 31 y 32. Armadura de los muros de cierre y el muro ya terminado.

la galería, desde el interior de la misma, de forma de tener controladas las deformaciones que se produjeran (**Fotos 28, 29 y 30**).

Debido a que no todos los tubos camisa hincados, y por tanto los perfiles transversales, se encontraban en contacto con la solera de la galería, en razón de desvíos de los mismos durante la hinca y de la variabilidad del espesor de la solera, de hormigón en masa ejecutada directamente sobre el terreno, fue necesario disponer algunas placas y elementos metálicos

entre la cara superior de los tubos y la solera para garantizar el contacto entre ambos, lo que se realizó en tres zonas de los tubos, en coincidencia con los hastiales de la galería y en el centro de la misma.

En ambos extremos de la galería, bajo la misma, dado que no era posible ejecutar la pantalla que conformaba el recinto del túnel, por no poder atravesar la propia galería, fue necesario contruir unos muros de cierre entre la cara inferior de la estructura de apeo y la solera del túnel (**Fotos 31 y 32**).



Fotos 33 y 34. Vista de la estructura de apeo de la galería gunitada.



Fotos 35 y 36. Vistas generales de la estructura de apeo ya terminada.

Finalmente, se realizó una limpieza de la cara inferior de la solera y de los tubos camisas a fin de poder retirar todos los restos de tierras o materiales sueltos de la solera para proceder a continuación a realizar un gunitado de la cara inferior de la solera y el conjunto de los tubos camisas para garantizar su integridad. Se realizaron 10 perforaciones a modo de desagüe a la solera de la galería, de diámetro 120 mm, de forma que en caso de que accidentalmente alguna de las tuberías que aloja la galería presentara fugas de agua, ésta no se acumulase en el interior de la galería, produciendo un aumento de carga no previsto para el apeo.

## Control de deformaciones

Con objeto de controlar los desplazamientos que pudieran producirse en la galería durante la

excavación bajo ella, se dispusieron 7 puntos de control, 4 de ellos en la zona correspondiente al apeo y el resto a ambos lados de la misma. Estos puntos se situaban en el centro de la solera de galería. Dos veces al día se fueron tomando lecturas de estos puntos.

La galería no experimentó ningún movimiento hasta que se excavó casi el 80% de la superficie bajo ella, en la zona central del apeo. Superado ese momento, los desplazamientos pasaron de ser el error de medición, 1 a 2 mm, a unos 14 mm, coincidiendo con lo que se había estimado en proyecto. Esta deformación pasó a ser de solamente 15 mm una vez concluida la excavación bajo la galería.

Esta deformación instantánea corresponde a  $1/2000$  de la luz de las vigas de apeo, por lo que ha resultado significativamente pequeña. Durante la preparación del proyecto, ya se contempló que este debía ser el comportamiento del conjunto galería, entramado de perfiles transversales y vigas de apeo, pero debido a las numerosas incertidumbres que existían respecto a las características de la galería existente, así como las desviaciones que pudieran ocurrir durante la construcción de la estructura de apeo, no podía preverse con certeza el comportamiento real.

Las deformaciones instantáneas han resultado ser las que corresponden al conjunto (15 mm) y no a las de la estructura de apeo trabajando independientemente de la galería (80 mm), por ello, se procuró que las paredes exteriores de los hastiales de hormigón en masa, de muy baja calidad, quedarán lo más rugosas y limpias posible para que se trabaran con las caras interiores de las vigas de apeo y entonces ambos elementos, galería y vigas, trabajaran y se deformaran conjuntamente, lo que además se aseguraba con el empotramiento de los perfiles en las vigas. Las deformaciones a tiempo infinito, se estima que serán del orden de las instantáneas, por lo que, en vista de los valores medidos de flechas, es esperable que la deformación a tiempo infinito sea de  $1/1000$  de la luz de los apeos.

[www.proes.es](http://www.proes.es)

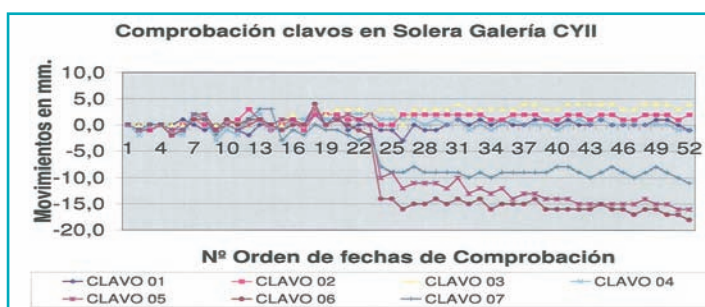


Figura 2: Deformaciones (flechas) de las vigas de apeo durante la construcción y la excavación.