

Extensión de la Línea 2 del Metro:

Tuneleando bajo el Puente Fray Andresito 1ª Parte

Alexandre Gomes, Supervisor
 Martin Böfer, Jefe de Proyectos
Geoconsult ZT GMBH
 Juan H. Cruz R.,
 Subgerente de Construcción
Metro S.A.

La extensión de la línea 2 del Metro presenta grandes desafíos técnicos, como lo son, por ejemplo, la construcción de grandes cavernas subterráneas para las futuras estaciones y un sector de túnel especial que cruza por debajo del río Mapocho, la Costanera Norte y el estribo norte del puente Fray Andresito, el que conduce a la Av. Recoleta en la zona norte de Santiago.

M

Mientras la vida sigue su ritmo usual y el tránsito fluye imperturbado a lo largo de la Av. Recoleta, en la comuna del mismo nombre, debajo de la superficie, las obras de la Extensión Norte de la Línea 2 del Metro de Santiago siguen a paso acelerado hacia su término, previsto para el año 2004. La nueva Línea de una extensión total de casi 2 km conectará la actual estación Cal y Canto con dos nuevas estaciones, cruzando por primera vez el río Mapocho y terminando en una cola de maniobras al norte de la estación Cerro Blanco. Juan Humberto Cruz, Subgerente de Construcción del Metro de Santiago S.A., Martin Böfer, Jefe de Proyectos en Chile de la empresa austriaca Geoconsult ZT GmbH y Alexandre Gomes, Supervisor Residente de la Línea 2 Norte, perteneciente a la misma empresa extranjera, relatan en este artículo los aspectos de diseño y construcción más relevantes asociados al complejo sector de tuneleado que ha sido desarrollado bajo el Puente Fray Andresito.

Diseño y Construcción

Para verificación de la factibilidad de ejecución de las obras en tuneleado y estimación del grado de deformación aceptable del estribo del puente, se efectuaron cálculos estructurales y análisis de sensibilidad. En particular, dado que no existían planos de proyecto y antecedentes de la construcción del puente - cuyo origen data de los años 1956 al 1958 - fue necesario realizar investigaciones en terreno para conocer sus dimensiones geométricas, el concepto de funcionamiento estructural y la calidad y tipo de materiales empleados.

Las exploraciones indicaron que el estribo queda conformado por un muro de contención y que las vigas del puente se empotran en éste a través de una consola soportada en machones. Se observó también que el estribo del puente está dividido en tres sectores,

Generalidades

El trazado de la Extensión Norte de la Línea 2 del Metro de Santiago queda determinado en gran medida por el alineamiento de la Avenida Recoleta y por la necesidad de conexión con la cola de maniobra existente de la actual estación Cal y Canto. Esto se logra a través de un radio horizontal único, el que debido a las condicionantes operacionales y geométricas del trazado, imposibilita evitar que el trazado cruce por debajo del extremo norte del puente Fray Andresito y que la clave del túnel línea del Metro se emplace a pocos centímetros bajo la losa del estribo.

La situación anteriormente descrita requirió, además de la utilización de métodos constructivos de impacto mínimo sobre

el entorno, del diseño de medidas de socatzado activas y anticipadas del estribo del puente y de la implementación de un sistema de monitoreo específicamente desarrollado para este sector. El proyecto de Ingeniería fue desarrollado conjuntamente por la empresa consultora local CADE IDEPE Desarrollo de Proyectos Ltda. y la empresa austriaca GEOCONSULT ZT GmbH, especialista en obras subterráneas. La construcción quedó a cargo de la empresa Desco-Precon-Salfa Ltda. El sistema de monitoreo fue suministrado e implementado por la empresa austriaca GEODATA ZT GmbH, mientras que el suministro y operación de gidas hidráulicas para el socatzado fue responsabilidad de la empresa austriaca Vorgespann Technik GmbH.

Para mayor información marque el 29 en su tarjeta



cada uno de los cuales está asociado a un tramo de tablero, de los cuales los dos exteriores -presumiblemente-fueron ejecutados en forma diferida. El trazado de Metro sólo afecta al sector poniente.

Los análisis de sensibilidad estructural indicaron que la estructura del puente podía absorber sin riesgo de daños, asentamientos de hasta 8 a 10 mm. En consecuencia, Metro S.A. se comprometió con el Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas de limitar los asentamientos a un máximo de 5 mm.

Investigaciones geotécnicas del sector mostraron que con excepción de un sector del relleno superior asociado a la construcción del estribo, el subsuelo debajo de éste se compone básicamente de la más antigua y compacta deposición aluvial del Río de Santiago, la que por sus excelentes características geotécnicas, es óptima para el tuneado. A pesar de la proximidad del Río Mapocho, la napa freática fundamental se encuentra mucho más profunda que el trazado. No obstante, existieron filtraciones de pequeño caudal procedentes de napas colgadas o de aportes principalmente de los servicios de agua y alcantarillado.

Sobre la base de las condiciones de borde presentadas y para garantizar los exigentes requerimientos de proyecto, se decidió adelantar la ejecución de un socialzado del estribo, anticipado a la excavación del túnel, empleándose pilas de hormigón armado. Como el túnel atraviesa un extremo del estribo, dejándolo en voladizo, la opción de socialzado con pilas laterales al túnel quedó descartada. Fue necesario entonces emplazar pilas dentro de la propia área de

excavación del túnel, demoliéndolas posteriormente luego de instalado el revestimiento definitivo de éste, que en definitiva constituirá el nuevo apoyo de la fundación del puente.

El socialzado consistió de seis pilas de hormigón colado in situ, excavadas manualmente desde pequeñas galerías subterráneas ejecutadas anticipadamente a la excavación del túnel principal. La propuesta del proyecto consideró no sólo sostener anticipadamente el puente, sino también compensar los asentamientos pronosticados durante la construcción del túnel. Para ello se instalaron gatas hidráulicas en el cuerpo de las pilas, de modo de pre-hincarlas (pre-consolidando el terreno), de transferir cargas del estribo al socialzado y de controlar la distribución de cargas entre las pilas durante la construcción del túnel.

Las pilas de socialzado se dividieron en dos sectores, el inferior, materializado en el interior de pozos excavados a mano, concretadas contra moldajes que evitaran la fricción suelo-pila durante la excavación del túnel principal, y el superior, hormigonado con un encofrado dentro de la galería de socialzado. Ambos sectores fueron separados por una "estructura de acero", dentro de la que a su vez se alojaron las gatas hidráulicas, garantizando la accesibilidad durante la obra y su recuperación una vez finalizada su función. Esta estructura se compone de dos placas de apoyo (superior e inferior), unidas a través de cuatro tubos telescópicos, los que permiten que las placas se separen verticalmente, pero que horizontalmente queden arriostradas.

Luego de construidas las pilas e instaladas las gatas hidráulicas, se inició el procedimiento de pre-hincado de pilas, ejecutado en etapas diferidas con aumentos individuales de las cargas de las gatas a un valor de aproximadamente 500 ton. Antes de comenzar la construcción del túnel se estableció una carga total de casi 1500

ton, correspondiente al 60% de la carga vertical total del estribo. A través de este procedimiento se pudo compensar anticipadamente un asentamiento de aproximadamente 4 mm de las pilas, el que, de otra forma, se hubiera traducido directamente en un asentamiento del estribo.

Para la construcción del túnel se empleó el método NATM con una secuencia de ejecución en etapas parciales, las que consistieron en la subdivisión del perfil del túnel en 3 frentes de excavación (dos galerías laterales y una zona central intermedia). El revestimiento temporal del túnel se conformó de hormigón proyectado reforzado con mallas, marcos metálicos y barras de refuerzo. Las paredes laterales internas fueron demolidas después de construido el túnel a lo largo de todo el sector del estribo. Una vez estabilizadas las deformaciones (estado estable de cargas), se removieron las gatas hidráulicas, trasasándose las cargas verticales del estribo a las columnas telescópicas de acero.

La garantía de las características estructurales y de estanqueidad de este túnel, próximo al Río Mapocho, se logra a través de un segundo revestimiento de hormigón armado colado in situ. Mientras se escribe este artículo este revestimiento se encuentra en ejecución habiéndose completado el hormigonado de la losa inferior y de las



Túnel Piloto



Excavación del Túnel Principal



Túnel Principal con Pilas de Soportado a la Vista



Túnel Principal con Pilas de Soportado a la Vista



Encofrado para Hormigonar Paredes de Losa Superior



Gata Hidráulica en el Interior de la Pila

paredes laterales. El revestimiento envolverá las pilas de socialzado en su parte superior e inferior. Las pilas fueron diseñadas de forma tal de tener un aumento de su sección transversal en la parte superior del cabezal de la pila con el fin de producir un endentado (lave) con el interior de la futura losa de techo del túnel. Una vez que el revestimiento interior del túnel haya adquirido su resistencia de diseño, los sectores inferiores de las pilas serán demolidos, transfiriéndose así toda la carga del estribo directamente al revestimiento, el que las tomará en forma permanente.

Sistema de Monitoreo

En general, las obras de tuneado del metro se desarrollan bajo el acompañamiento sistemático de un monitoreo de asentamientos superficiales, de sub-superficiales y de deformaciones (convergencia) del interior de los túneles. Asimismo, también se miden en ellos las deformaciones unitarias de tracción y compresión en el revestimiento primario de hormigón proyectado, empleándose para ello strain-gauges y celdas de presión radiales.

Dada la importancia de la obra de socialzado y en aras de asegurar un control continuo de la correcta operación del sistema de gateo y de verificar sin interrupción los asentamientos del puente, se implementó adicionalmente en este sector un monitoreo automático de las variables representativas. Fueron éstas, por un lado las cargas en las pilas, medidas mediante pilos de carga independientes en cada una y, por el otro, los asentamientos absolutos de las cabezas de pilas relativos entre éstas y la parte inferior de ellas. Las citadas variables fueron visualizadas e interpretadas continuamente a través

de un software especial, el que proveyó también una función de alarma para el caso de sobrepaso de valores umbrales predefinidos en el diseño.

La nivelación de las pilas se basó en un sistema compuesto por un láser rotativo, reflectores y transductores de movimiento. En cada pila se instaló un punto de nivelación constituido por un receptor de láser. A través de éste se midió el nivel absoluto de asentamiento de la pila. Mediante los transductores instalados entre ambos cuerpos, también se pudo conocer en cada momento las deformaciones verticales relativas y, en consecuencia, también el nivel absoluto de su fundación. A este sistema de medición automático se sumó el control de asentamientos desde la superficie del terreno a través de puntos de asentamiento subsuperficiales especiales, empotrados en la parte superior de la losa del estribo. En efecto, los asentamientos máximos del estribo del puente, registrados hasta el momento, han sido del orden de sólo 3,5 a 4 mm.

Conclusión

Habiendo finalizado ya la construcción del revestimiento primario del túnel y estando por lo tanto en equilibrio -tanto las tensiones como las deformaciones del suelo y del estribo-, es posible asegurar que los objetivos del proyecto se han logrado cabalmente. Con esta delicada obra de socialzado del estribo de un puente altamente transitado, METRO S.A. ha sentado un nuevo hito en materia de innovación constructiva, abriendo así las puertas a la implementación de métodos novedosos y sofisticados que se hacen necesarios cuando se trata de reducir impactos de las obras sobre el medio urbano. ■