



# METRO ANTISÍSMICO

*POCO MÁS DE 24 HORAS DESPUÉS DEL TERREMOTO, EL METRO YA HABÍA RESTABLECIDO SUS SERVICIOS. Y ES QUE SUS DISEÑOS SON SOMETIDOS A EXIGENTES PRUEBAS PARA QUE RESISTAN LOS SISMOS MÁS SEVEROS Y POR ESO LOS DAÑOS FUERON MÍNIMOS.*

POR **JORGE VELASCO CRUZ**



**P**oco más de tres semanas demoró el Metro de Santiago en retomar sus funciones normales después del terremoto. Se trató de un hecho casi simbólico: el retorno de la Operación Expreso (sistema que evita la detención en todas las estaciones en las horas punta) a la Línea 4, que debió suspenderse por daños en los sistemas y la fibra óptica. Lo medular del servicio ya se había restable-

cido hacía tiempo. El martes 2 de marzo, a tres días del sismo, todas las líneas estaban funcionando, salvo la estación Rodrigo de Araya (Línea 5).

Para el éxito de esta operación, a primera hora del sábado 27 de febrero se formó en el Centro Integrado de Control, en las oficinas centrales de la empresa, un extenso equipo de trabajo al que se le asignaron tareas de revisión de todas las instalaciones (estaciones y

líneas) y sistemas. Así, después de comprobar su buen funcionamiento durante un día, se volvió a poner en marcha el servicio de cuatro líneas el domingo 28 de febrero. Las nuevas obras de la extensión de la Línea 1 también habían salido indemnes.

“No registramos daños importantes y ninguna de nuestras instalaciones presentó daño estructural. En general, el terremoto sólo ocasionó en nuestras estaciones daños menores,

relacionados con cerámicas, baldosas y vidrios, es decir, elementos de ornamentación y arquitectura”, explica Víctor Morales, gerente de Desarrollo de Proyectos de Metro de Santiago.

La única diferencia entre aquellas estaciones de altura (viaducto) y subterráneas fue que las primeras tuvieron mayores inconvenientes en cerámicas y luminarias. Pero muy poco. “El comportamiento de los elementos que están al interior de las estaciones fue bueno. Torniquetes, señalética y otros no presentaron problemas... Es fundamental destacar que Metro de Santiago está preparado con todos sus servicios operacionales, para hacer frente a situaciones de crisis, así como para proteger a todos los usuarios en el caso de ocurrir un inconveniente, lo que ha quedado demostrado en situaciones de *black out* (corte de energía)”, agrega Morales.

¿Cuál fue la receta? Según el ejecutivo,

cumplir con las normas sísmicas chilenas y revisar otras experiencias internacionales para aplicarlas en nuestro país. Por ejemplo, cada uno de los viaductos en operación en la Línea 5 (L5) y en la Línea 4, y el que se está construyendo en la extensión de la L5 a Maipú, han sido diseñados considerando la verificación del diseño para una serie de registros de aceleración de sismos severos chilenos y extranjeros, reales y artificiales. Se han hecho análisis dinámicos no lineales, tipo tiempo-historia, que simulan las solicitudes sísmicas.

Por ejemplo, entre los registros sísmicos reales utilizados para el caso de Línea 4 en el año 2004, están el de Chile 1960, Chile Central 1985, Ciudad de México 1985, Loma Prieta -Oakland 1989 y Northridge-; Santa Mónica 1994, entre otros.

Y en cuanto a los pasos bajo superficie, el

Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles (NATM) –implementado en Chile por primera vez en la década del noventa en la construcción de la L5– ha demostrado ser exitoso ante los sismos. Éste se basa en el aprovechamiento de las capacidades del suelo y la excavación cuidadosa de la sección transversal del túnel, siguiendo una secuencia predefinida y utilizando como material esencial el hormigón proyectado. “El objetivo es que nuestras estaciones y líneas sean, en primer lugar, un espacio seguro y luego que nos permitan reanudar el servicio lo antes posible. Los diseños de nuestras instalaciones son sometidos a exigentes pruebas para que resistan los sismos más severos de los cuales se tenga registro”, apunta el gerente de Desarrollo de Proyectos de Metro de Santiago, Víctor Morales.

El NATM requiere sostener el suelo en



ESTACIONES DE METRO DE SANTIAGO



**SISTEMAS PERI – DOMINO, RUNDFLEX SB1, VARIOKIT**  
La solución más versátil, fácil y rápida para sus proyectos



Encofrados Andamios  
Ingeniería  
[www.peri.cl](http://www.peri.cl)



la medida que se avanza en la excavación, mediante la colocación de marcos de sostenimiento espaciados cada 0,5 a 1 metro, según las dimensiones del túnel y las condiciones del suelo; el hormigón proyectado de la primera etapa se aplica inmediatamente después. De esta forma, los túneles pueden llegar a una altura de 13 metros y un ancho de 17 metros. “Se requiere de un diseño de ingeniería del más alto nivel, que incluye especificaciones técnicas particulares y métodos constructivos especiales, más un riguroso control de calidad y el seguimiento permanente de la construcción”, explican en la empresa.

Por ejemplo, en la actual extensión de la Línea 5, en las estaciones e interestaciones del tramo Quinta Normal – Nueva Lo Prado, se optó por el método constructivo de tipo

tuneado para los túneles interestación y las estaciones. En el caso de los primeros, se emplean revestimientos de hormigón proyectado de acción permanente, compuestos por dos aplicaciones (primaria y secundaria): el revestimiento primario es diseñado para proveer la estabilidad del túnel durante todo el período de obra, y el segundo suministro es de instalación diferida.

Al mismo tiempo, el cálculo de las sollicitaciones en el revestimiento de túneles asume que el túnel estará cubierto con un mínimo de 3 a 4 metros de ripio típico de Santiago (de 1° o 2° depositación) y que el suelo que lo rodea posee una capacidad portante mínima.

Según se detalla en la Declaración de Impacto Ambiental del proyecto, el diseño de las obras subterráneas de los túneles interestaciones está relacionado con las caracte-

rísticas resistentes del terreno y el monitoreo permanente de su comportamiento, de modo de asegurar que en cada momento las deformaciones casi imperceptibles estén dentro de los rangos establecidos.

Además, se hacen análisis y verificaciones de diseño y modelos estructurales, y se consideran factores como condiciones del terreno, profundidad, aspectos geológicos del suelo y condiciones de carga en la superficie. De esta manera, se determinan la forma de la sección del túnel interestación, la que consiste en un revestimiento primario de shotcrete (hormigón proyectado) reforzado y colocado por etapas, y los espesores de las estructuras de contención. El soporte de largo plazo contra todas las cargas que existen durante la vida útil de la estructura es sustentado por el revestimiento final. **EC**