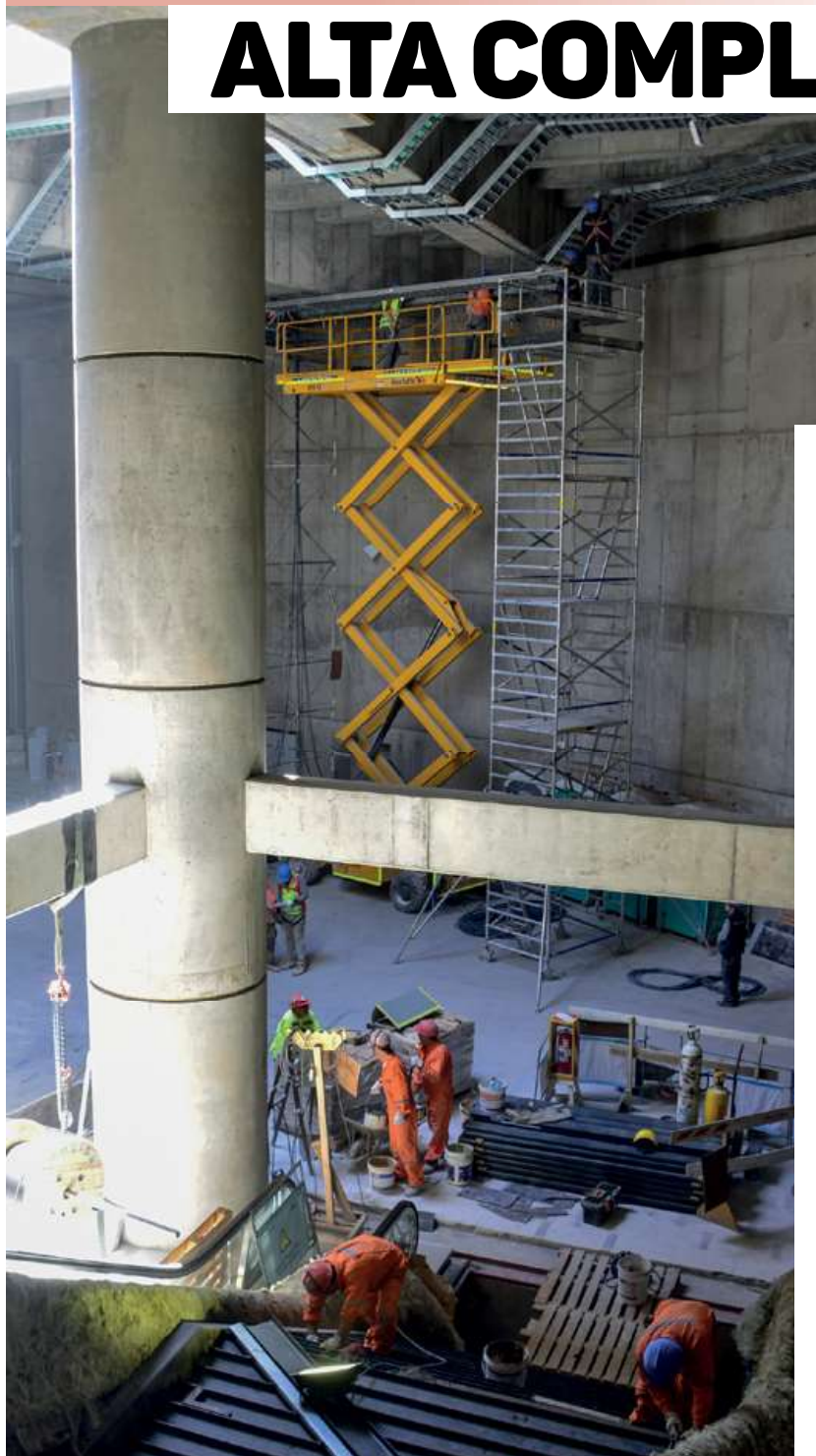


HITO TECNOLÓGICO



LÍNEA 3 METRO DE SANTIAGO

ALTA COMPLEJIDAD



PAULA CHAPPLE C.
PERIODISTA REVISTA BIT

E

EL PROYECTO ORIGINAL

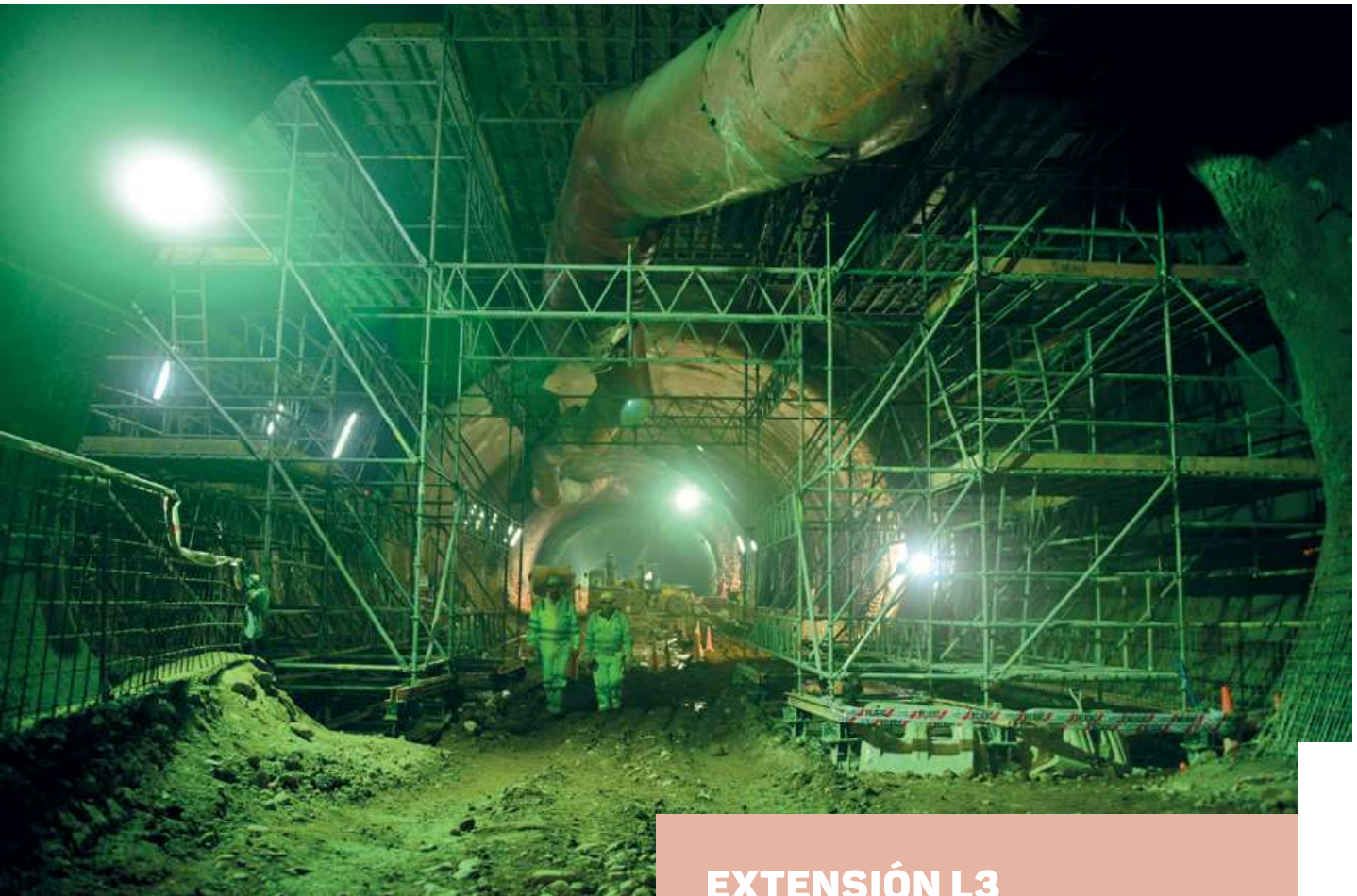
de la construcción de Línea 3 consistió en la ejecución de más de 22 km de túnel subterráneo que conecta las comunas de Quilicura y

La Reina a través de 18 estaciones, permitiendo transbordar con todas las otras líneas de la red: en Cal y Canto con Línea 3, en Plaza de Armas y en Irrazábal con Línea 5, en Universidad de Chile con Línea 1, en Ñuñoa con Línea 6, y en Plaza Egaña con Línea 4. El recorrido de esta línea incorporó a la red de Metro tres nuevas comunas: Quilicura, Conchalí e Independencia, beneficiando en total a 1,1 millones de habitantes. Al igual que Línea 6, Línea 3 cuenta con puertas de andén en sus 18 estaciones, electrificación en altura a través de catenarias, nuevas puertas de entrada y salida y accesibilidad universal.

Tras el estallido social del 18 de Octubre de 2019, el tren subterráneo sufrió el incendio y la destrucción de gran parte de la red, siendo la Línea 3 y las otras Líneas, afectadas en varias de sus estaciones (ver recuadro). Cabe consignar que este reportaje se centra en la construcción original de L3 y futura extensión, dejando para próximas ediciones los trabajos de reconstrucción de la red de Metro. Una tarea de alta complejidad.



— Cruce con líneas existentes, y trazados bajo el lecho del río Mapocho y cercanos a la autopista Costanera Norte determinaron la ruta crítica de la Línea 3 del tren subterráneo.



EXTENSIÓN L3

El proyecto de la Extensión de la Línea 3, que consta con un trazado de 4 km de túnel y tres estaciones, está actualmente en etapa de construcción y se espera su puesta en operación para 2023. A la fecha tiene un 22% de avance.

Los principales desafíos en su construcción son efectivamente que su trazado atraviesa suelos finos y que en dicho sector la napa de Santiago está a una profundidad menor que en el resto de la ciudad.

La extensión de la Línea 3 atraviesa los suelos finos del norponiente que dominan el sector de Quilicura, los que tienen una capacidad autoportante menor y serían más deformables que el ripio típico de Santiago (depositaciones del Mapocho, que están presentes en gran parte de la capital). Pese a estas características, serían suelos bastante competentes para el método constructivo que ha utilizado Metro desde que inició la ejecución de las líneas de forma subterránea, por lo que no se requeriría realizar mejoramientos del terreno y bastaría con adecuar las secuencias constructivas a los parámetros del suelo y a las deformaciones esperadas en superficie de manera que sean admisibles para las edificaciones que existen en el entorno.

Respecto de la napa de agua, “es efectivo que en el sector donde atraviesa la Línea 3 la napa basal de Santiago está más superficial que en el resto de la ciudad, a una profundidad aproximada de entre 20 a 25 metros. Por lo anterior, tanto por razones ambientales, de diseño, constructivas y operacionales, se decidió no interferir ni ir bajo de la napa, por lo que la Línea 3 se diseñó considerando una cota de riel, y cota de fondo de los túneles, que estuviese siempre por encima de la napa en todo el trazado”, indican desde la compañía.

CRUCES ENTRE LÍNEAS

Uno de los principales desafíos constructivos de la Línea 3 fue, al igual que para el caso de la Línea 6, los cruces con las líneas en operación del Metro, ya que desde un principio se estableció como condición no alterar ni por un solo segundo la operación de la red, lo que se cumplió exitosamente. “Cabe destacar que las nuevas líneas cruzan nueve veces las líneas existentes: Cal y Canto, Plaza de Armas, Universidad de Chile, Irrazaval y Plaza Egaña para Línea 3; y en Franklin, Ñuble y Los Leones para L6. Además de la construcción de la estación de combinación Ñuñoa, con túneles de Línea 6 pasando sobre el túnel de Línea 3”, comenta a Revista BIT Héctor González, gerente de Ingeniería, Arquitectura y Obras Civiles de Metro de Santiago.

Otros importantes desafíos constructivos fueron los cruces de la Línea 3 por debajo o en el entorno de la infraestructura vial existente de la ciudad: autopistas urbanas, pasos bajo nivel, estacionamientos subterráneos, entre otros, en donde hubo que extremar los diseños de manera de no afectarlos y que mantuviesen su operación en todo momento.

FICHA TÉCNICA METRO DE SANTIAGO L3.

Ubicación: Trazado entre las comunas de Quilicura y La Reina a través de 18 estaciones.

Mandante: Metro de Santiago.

Extensión: 22 km de túneles.

Puesta en Operación: Enero 2019.

El diseño y construcción de los túneles de Líneas 3 y 6 se basó en el Nuevo Método Austríaco de Túneles, también conocido como NATM por sus siglas en inglés. La construcción comienza por la ejecución de un pique de acceso típicamente lateral a un eje vial, a objeto de no interrumpir el normal tránsito peatonal y vehicular. "Desde este pique se ejecuta de modo subterráneo un túnel llamado galería de acceso, desde el cual nace, a cada uno de sus lados, el túnel donde se emplaza el andén de la estación, el que se encuentra bajo un eje vial. Desde los extremos de este túnel, conocido como túnel estación, comienza la ejecución de los túneles interestación por donde circulan los trenes", comenta Héctor González.

EXCAVACIONES

Para la excavación del túnel se utilizó la excavadora convencional, mientras que para el movimiento de tierra; es decir, para llevar el material excavado desde el frente al pique, se empleó el cargador frontal. Para extraer la arena desde el fondo del pique a la superficie, se utilizó una grúa con capacho o bien, una cinta de extracción vertical.

Para la fortificación o sostenimiento del túnel se utilizaron marcos de acero, armaduras y hormigón proyectado, sin el cual no sería posible la ejecución de las obras subterráneas con excavación convencional. El resto corresponde a hormigón convencional, donde se consideraron distintas formas de ejecución, como el vaciamiento por bombeo, por extrusión y de modo prefabricado.

"En el caso de las Líneas 6 y 3, el trazado de ambas se desarrolló por completo

SOLUCIÓN INTEGRAL EN ENTIBACIONES METÁLICAS

Amplia gama de productos que se adecuan a cada necesidad, para una protección óptima de excavaciones.



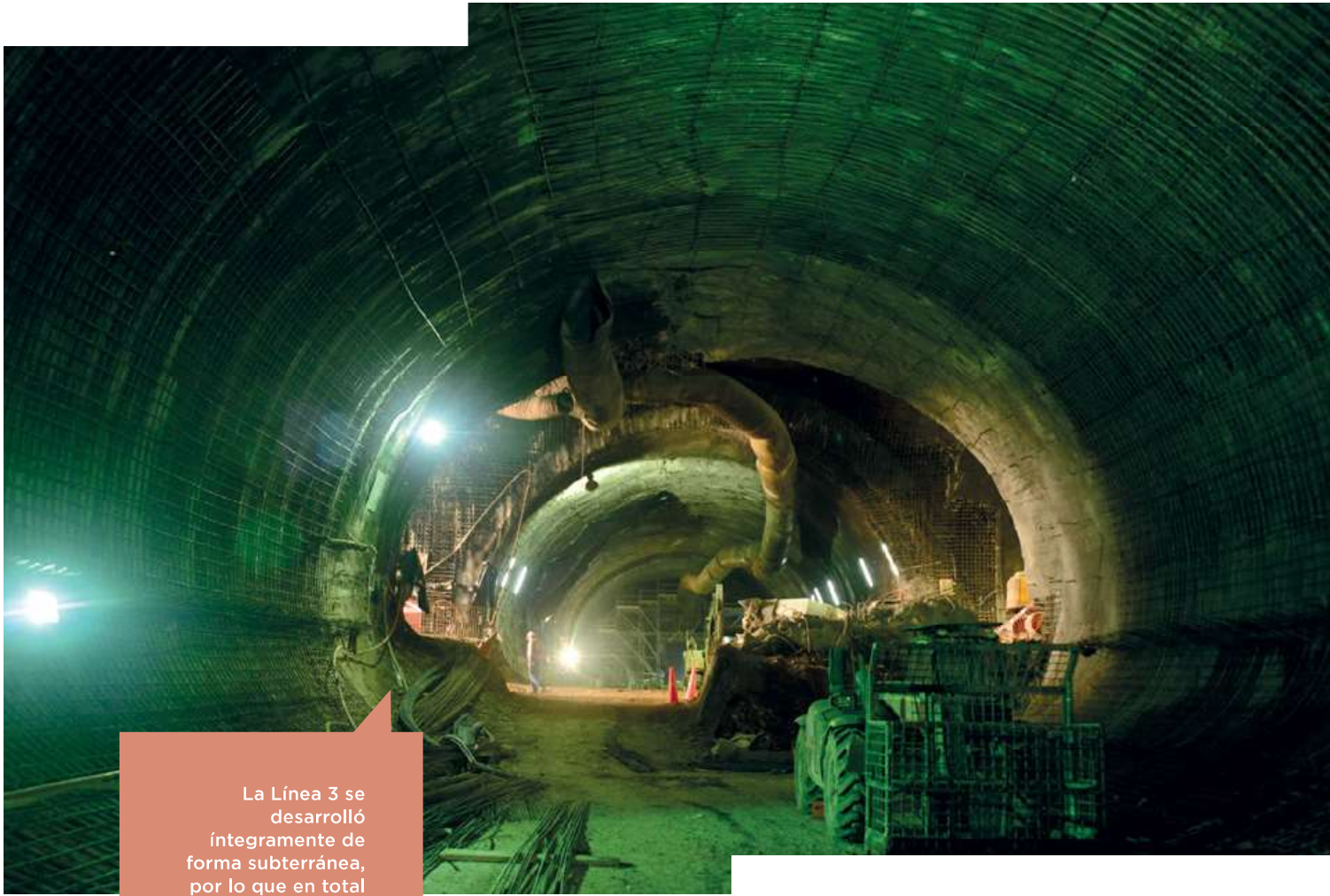
- Sistemas de cajones KS-60 (bajas profundidades)
- Sistemas de cajones KS-100
- Sistemas de guías deslizantes (profundidades mayores)
 - Sistema corredera
 - Sistema paralelo
- Sistema esquinero para pozos, cámaras y plantas elevadoras

EXPERIENCIA · RAPIDEZ · SEGURIDAD · EFECTIVIDAD

Casa Matriz: Flor de Azucenas 42, oficina 21, Las Condes. Fono: 2 2241 3000

Bodega: Portezuelo, Parcela 1 A lote 3, Colina. Fono: 2 2745 5424

www.krings.cl • email: contacto@krings.cl



La Línea 3 se desarrolló íntegramente de forma subterránea, por lo que en total fueron aproximadamente 22 km de túneles de diversas dimensiones.

de manera subterránea. En este particular tipo de obras, es el hormigón proyectado el principal material a utilizar dada su forma de aplicación, ello tanto para el sostenimiento de la excavación como para el revestimiento final del túnel”, destaca el ejecutivo de Metro.

De manera de lograr mayor rapidez en la toma de resistencia del hormigón proyectado, especialmente en el sostenimiento, se utilizaron aditivos acelerantes de fraguado y para mejorar la trabajabilidad, compacidad, permeabilidad y otras características del shotcrete, se utilizaron aditivos superplastificantes y otros productos como la microsílíce.

“Desde la construcción de Línea 6 en adelante, Metro de Santiago ha impuesto el uso obligatorio de la proyección robotizada del hormigón, o shotcrete, en sus obras de túneles. Hoy, dadas las actuales y crecientes exigencias en seguridad que se ha autoimpuesto Metro para sus obras, sumado al incremento en los rendimientos y calidad del producto terminado que este tipo de equipos permiten, el uso de los “roboshots”, o robots de proyección de hormigón en nuestras obras, lo cual es obligatorio”, complementa Héctor González.

ALTA COMPLEJIDAD

En el centro de Santiago, Línea 3 se emplaza bajo la calle Bandera y después de llegar a la estación Cal y Canto cruza al norte hacia Avenida Independencia. En dicho cruce, el trazado de la línea atraviesa bajo el río Mapocho, y, por ende, bajo la autopista Costanera Norte que se sitúa longitudinalmente bajo el lecho del río. Si bien, lo descrito representa de por sí un gran desafío técnico de diseño y construcción, Metro ya contaba con la experiencia vivida durante la extensión de la Línea 2 desde Cal y Canto hacia Cerro Blanco en Recoleta, donde el túnel interestación también cruzó debajo de ambas singularidades unos pocos metros hacia el oriente del actual cruce.

Con dicha experiencia vivida en la extensión de Línea 2, se descartó niveles importantes de infiltración de aguas desde el río que pudiesen poner en riesgo la aplicabilidad del método constructivo usado por Metro (NATM), al ir este revestido en todo su perímetro. Por otra parte, dicha experiencia también despejó dudas acerca de la eventual existencia de suelos alterados o poco



La logística en el traslado de los vagones se inició en el puerto de Valparaíso. Las unidades fueron transportadas en camiones especiales por la envergadura de los carros.





OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN

Tras los graves incidentes del 18 de Octubre pasado, Metro definió tres grupos de estaciones según su grado de afectación y posibles fechas de reapertura. En el primer grupo están las estaciones con daños por vandalismo, donde ha sido necesario reponer puertas, vidriería, cámaras de seguridad, reparación de ascensores, entre otros. De este grupo de estaciones, ya han reanudado su servicio a pasajeros las siguientes estaciones, de acuerdo al compromiso de Metro de reabrir las antes que termine el 2019: Santa Lucía, Los Héroes, Departamental, Las Torres, La Cisterna, Santa Rosa, Vicuña Mackenna, Pudahuel, Lo Prado, Gruta de Lourdes y Blanqueado.

Sin embargo, el trabajo y compromiso de los equipos de Metro ha permitido la reapertura de estaciones que inicialmente se contemplaron para el periodo entre enero y abril de 2020. De esta manera abrieron sus puertas las estaciones: Pedro Aguirre Cerda, de Línea 6; Rojas Magallanes, de Línea 4; Parque Almagro, de Línea 3. Desde el lunes 23 de diciembre está disponible la estación Biobío de Línea 6, por lo que todas las estaciones y combinaciones de esa línea están operativas.

En un segundo grupo de estaciones están aquellas que además de presentar los daños antes mencionados, requieren trabajos de mayor profundidad de reparaciones o reconstrucción. Este grupo de estaciones volverá a estar operativo en abril próximo, entre ellas se cuentan las estaciones Neptuno y Baquedano.

En el caso de la estación Neptuno, su reapertura está condicionada a la reconstrucción de la estación San Pablo (terminal de la línea y que fue incendiada el 19 de octubre, actualmente en operación), ya que en las vías no hay un punto donde los trenes puedan "dar la vuelta" para retornar hacia el oriente.

Asimismo, la estación Baquedano tiene graves daños en los accesos producidos por incendios, tanto en las entradas por Línea 1 como las de Línea 5. Por motivos de seguridad, no es posible abrir a pasajeros una estación que no puede ser evacuada en caso de emergencia (debido al daño de los accesos).

Finalmente, hay un tercer grupo de estaciones que requerirán obras mayores de reconstrucción de infraestructura además de trabajos de recableado y habilitación de sistemas ferroviarios, por lo que demorarán cerca de un año. En este grupo están: Trinidad, San José de la Estrella, Los Quillayes, Elisa Correa, Protectora de la Infancia, Laguna Sur y Las Parcelas. Su puesta en marcha está prevista para último trimestre de 2020.





competentes bajo el lecho del río por posibles filtraciones de agua de éste, durante miles de años.

Por último, si bien, la presencia de la infraestructura de la autopista Costanera Norte representaba un gran desafío técnico tanto para el diseño como para la construcción, “la elección de una sección transversal del túnel reforzado, con contrabóveda, sumado a una correcta elección de la secuencia constructiva, implicó finalmente la generación de deformaciones prácticamente imperceptibles para el entorno, que no afectaron la infraestructura ni la operación de la autopista”, detalla Héctor González de Metro.

TÚNELES

La Línea 3 se desarrolló íntegramente de forma subterránea, por lo que en total fueron aproximadamente 22 km de túneles de diversas dimensiones.

Para los túneles interestación, que representan más del 80% del total, se utilizaron secciones ovoidales con contrabóvedas y secciones tipo herradura, con áreas de las secciones transversales del orden de 65 a 60 m², respectivamente, dependiendo del tipo de suelo y de las condiciones en superficie por el que atravesaban.

Respecto de los túneles estación, todos de forma ovoidal, Línea 3 tiene el récord de la estación con el túnel de andenes de mayor sección transversal de toda la red, que es Universidad de Chile, con 190 m². Las secciones transversales de los túneles de andenes del resto de las estaciones varían entre los 140 a 170 m². “Esas verdaderas cavernas bajo la tierra fueron excavadas en la mayoría de los casos subdividiendo el frente de excavación en side drifts simples o dobles, con o sin contrabóvedas temporales, dependiendo del tipo de suelos y de los tamaños de las secciones, demoliendo posteriormente los muros y contrabóvedas temporales a medida que se colocaba el revestimiento definitivo de los túneles”, comenta el ejecutivo de Metro.

La excavación de los side drifts se realizó de manera diferida, de manera de tener un mejor control de las deformaciones del entorno y de los esfuerzos que tomaban los distintos elementos estructurales del revestimiento.

Los puntos más críticos de diseño y de la construcción lo constituyeron los cruces entre las galerías de acceso (de 100 a 140 m² de sección transversal) con los túneles de andenes de las estaciones, en donde tanto las deformaciones del suelo como los esfuerzos en los elementos llegaban a su máxima expresión. La correcta elección de las subdivisiones de las excavaciones y de las secuencias constructivas fueron claves para lograr los objetivos que se propuso Metro en cuanto a la factibilidad estructural de dichos entronques como al control de las deformaciones del entorno. Una obra de alta complejidad. ■