

TÚNEL KENNEDY GIGANTE SUBTERRÁNEO

■ Un gran proyecto se construye bajo Avenida Kennedy. Importantes desafíos en ingeniería, maquinarias y logística lo han convertido en una de las principales obras concesionadas en construcción.

PAULA CHAPPLE C.
PERIODISTA REVISTA BIT



FICHA TÉCNICA

TÚNEL KENNEDY

MANDANTE: Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP)

CONCESIONARIA: Sociedad Concesionaria Costanera Norte S.A.

CONSTRUCTORA: SACYR Chile S.A.

INVERSIÓN APROXIMADA: US\$148 millones

INICIO CONSTRUCCIÓN: Mayo 2014

TÉRMINO CONTRACTUAL: 2019

(aunque se estima se entregará al finalizar este año)

EL TÚNEL KENNEDY se presenta como una gran obra de ingeniería, construida a 25 metros bajo tierra y que contará, en sus primeros metros, con cinco pistas, convirtiéndose a ese tramo en uno de los túneles carreteros más grandes del continente. “La estructura de 1,2 km permitirá descongestionar de forma importante el tránsito en un sector estratégico de la Región Metropolitana y aportará beneficios concretos tanto para los automovilistas, como para la ciudad, ya que podrán circular cerca de 8.500 vehículos en su nivel máximo, aumentando de esta manera, en un 50% la capacidad actual de Avenida Kennedy”, señala a Revista BIT el Coordinador de Concesiones de Obras Públicas, Eduardo Abedrapo.

El proyecto se enmarca en la “Etapa 2 del Plan

de Mejoramiento del Contrato de Concesión”, según se establece en el Decreto Supremo N°318 de fecha 3 de diciembre de 2013, que forma parte del Programa Santiago Centro Oriente. Ejecutado por la Sociedad Concesionaria Costanera Norte S.A., comprende las obras del Mejoramiento Lo Saldes-Rotonda Pérez Zujovic, Costanera Sur y sus conexiones y Túnel Kennedy y Nudo Vespucio.

El túnel Eje Sur de Avenida Kennedy, corresponde a un túnel unidireccional de cuatro pistas entre la Rotonda Pérez Zujovic y el nudo Vespucio, emplazado parcialmente bajo la pista sur de Avenida Kennedy y en parte bajo terrenos del Club de Golf Los Leones, todo ello de forma paralela a la Avenida Kennedy existente en superficie. Considera cuatro salidas peatonales de emergencia (SPE) ubicadas dentro del trazado del túnel (N°2, N°3, pique Rotonda Pérez Zujovic y Trinchera).



Revestimiento final salida túnel Kennedy, sector Américo Vespucio.



Carro de encofrado deslizante que ha permitido acelerar los trabajos de hormigonado del túnel Kennedy.

“Una de las particularidades de este túnel es su magnitud. En sus primeros 50 metros tiene 5 pistas (donde se contabiliza la pista de ingreso desde Avenida Vitacura) y una superficie de 255 m². Esto lo hace, en este tramo, uno de los túneles carreteros más grandes del mundo en cuanto a sección”, destaca Juan Kuster, Gerente del Área Técnica de Costanera Norte. Luego el túnel pasa a 4 pistas con una superficie de 200 metros cuadrados, tamaño similar a una de las estaciones Metro de Santiago en cuanto a sección.

“La estructura corresponde a un túnel tipo minero de sección elíptica, que tiene una altura máxima de 11,22 m y un ancho máximo de 18,54 m, en el sector de cuatro pistas. Se ubica a 25 metros de la superficie (considerando el cálculo desde la superficie del Club de Golf hasta el piso del túnel)”, señalan desde la Coordinación de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

El proyecto también permitirá rediseñar las vías actuales de Avenida Kennedy, que en superficie operaran todas en sentido Oriente-Poniente, quedando 3 pistas expresas y dos para flujos locales. Hoy Avenida Kennedy en ese sector cuenta con 6 pistas de 3 m de ancho, “a futuro con el túnel Kennedy como vías expresas quedarán entre 7 y 8 pistas de 3,5 m cada una, más las 2 pistas como caletera. Así se transforma de un perfil de 6 pistas (18 m) a un perfil de 9/10 pistas (31 m/34 m), pasando de una capacidad horaria de 10.800 veh/hr (por sentido 5.400 veh/hr) a aproximadamente 18.000 veh/hr incluyendo las caleteras. Además, las vías expresas aumentan su velocidad



Trabajos de excavación salida túnel Kennedy y montaje de losa.



Instalación de bandeja para equipo electromecánico de Túnel Kennedy.

de diseño en el sector pasando de 60 km/hr a 80 km/hr”, comenta Juan Kuster.

A esto se suma “el mejoramiento de la capacidad vial en el eje Vespucio-Kennedy, ya que el proyecto considera la construcción de túneles que permitirán conexiones vehiculares subterráneas y expresas, reordenando los accesos y conexiones hacia Vespucio Sur y Norte y Alonso de Córdova y generando la conexión con la futura autopista Vespucio Oriente. También se contempla la conexión hacia la caletería Sur de Avenida Kennedy en dirección a los Centros Comerciales y la continuidad de Kennedy en 3 pistas hacia el oriente”, comenta Kuster. Un viaje al interior de un gigante subterráneo.

GIGANTE

El túnel Kennedy se inicia en la trinchera procedente del eje C6K-Expresa a Kennedy en la rotonda Pérez Zujovic y discurre paralelo a la Avenida Kennedy bajo los terrenos del Club de Golf Los Leones. El portal de salida se sitúa en la intersección de dicha avenida con la Avenida Vespucio. Este ten-

El proyecto también permitirá rediseñar las vías actuales de Avenida Kennedy, que en superficie operarán todas en sentido Oriente-Poniente, quedando 3 pistas expresas y dos para flujos locales.

drá una longitud total de 1167.5 metros.

La alineación del túnel comienza con un tramo en recta y dirección oriente, desde el inicio del túnel hasta el dm 1124,9, pasando a un tramo curvo desde el dm 1124,9 hasta el dm 1343,9 y continuando en recta hasta el final del trazado.

“El perfil del túnel comienza con una pendiente descendente para pasar a una pendiente ascendente del 1,7% desde el dm 1250 al 2053 y finalmente adoptar una pendiente ascendente hasta el tramo final de falso túnel del 4.516%”, señala la Coordinación de Concesiones.

La sección transversal normal en el interior del túnel está formada por una calzada unidireccional de cuatro pistas de 3,5 m de ancho cada una y 0,75 m de arcén (borde) a cada lado, con canaletas rectangulares para sanear la calzada del túnel de las posibles aguas superficiales.

El bombeo transversal de la calzada es del 2% en recta y del 5% en curva, siendo el eje de giro correspondiente al eje de diseño que se sitúa en el borde izquierdo de la calzada.

En los metros iniciales del túnel, hasta el dm 1082,8 a la plataforma de cuatro pistas



KRINGS CHILE

Solución Integral en Entibaciones Metálicas

- Sistemas de cajones KS-60 (Para bajas profundidades)
- Sistemas de cajones KS-100
- Sistemas con guías deslizantes:
 - Sistema corredera (4-6 metros)
 - Sistema paralelo (5-8 metros)

Sistema esquinero para pozos, cámaras y plantas elevadoras

**RAPIDEZ
SEGURIDAD
EFECTIVIDAD**

Casa Matriz
Flor de Azucenas 42 OF. 21 - Las Condes
Fono: (56 2) 2241 3000 - 2745 5424

Guillermo Schrebler
gschrebler@krings.cl

www.krings.cl



Trabajos de enfierradura túnel Kennedy previo a fase de hormigonado.



Inicio etapa de hormigonado a través de carro de encofrado.

se la debe adosar un espacio adicional para el carril de incorporación desde el túnel de acceso Andrés Bello a Kennedy.

MÉTODO CONSTRUCTIVO

Para la construcción del túnel se empleó la metodología NATM (New Austrian Tunneling Method). Esta se realizó con una excavación cíclica y secuencial que involucró los siguientes pasos: revestimiento primario instalado después de cada avance de excavación, mediante hormigón proyectado; luego se realizó la impermeabilización con geotextil y PVC, la que es reforzada a continuación con marcos reticulados, malla electrosoldada o barras. Para completar el túnel, se realiza la etapa de revestimiento que consiste en hormigón bombeado en la contra bóveda y moldeado. En esta última modalidad se realizó el hormi-

gonado de los hastiales y de la bóveda en casi toda la extensión del túnel desde el dm 2.200 y hasta el 1.084 aproximadamente.

En cuanto al proceso constructivo, para la ejecución del túnel Kennedy y de las galerías de las salidas peatonales, se consideró primero una evaluación para ver cuál era el mejor mecanismo. A continuación, se describen los aspectos fundamentales que se consideraron en la elección del proceso constructivo:

En la totalidad del recorrido del túnel, se atravesaron las gravas de la segunda deposición del río Mapocho formados por gravas de origen fluvial con matriz que varía de arenosa a limo-arcillosa, generalmente cohesiva.

La cobertura a lo largo del trazado varía de reducida a muy reducida y el túnel cruza varias infraestructuras existentes de manera que la estabilidad del frente fue uno de los

aspectos fundamentales a considerar.

Fue fundamental definir el área de la excavación a efectuar.

La sección de excavación típica del túnel Kennedy presenta unas dimensiones considerables (190 m²). El esquema habitual de excavación de túneles de estas características aconseja entonces realizar la excavación por fases, lo cual se definió mediante secuencias constructivas diferenciadas para la sección típica. Las fases de la secuencia constructiva para la sección típica fueron las siguientes:

FASE 1: Se inicia la excavación y sostenimiento de una galería de avance situada en uno de los laterales del túnel y de amplitud suficiente (≈45 m²) para permitir la movilidad de los equipos.

FASE 1': Con un retranqueo mínimo de 20 m se continúa con la excavación y sostenimiento de otra galería de avance de 69 m². Entre ambas galerías, se mantiene un tabique intermedio que constituye el sostenimiento temporal de la fase 1. Este tabique se demuele cuando el frente de excavación de esta Fase 1' se encuentre a 10 m de distancia y por consiguiente a 30 m respecto del frente de la galería inicial o fase 1. Tanto en la fase 1 como en la 1', el pase de avance previsto es de un metro y la colocación del sostenimiento en cada pase se efectúa manteniendo en principio un machón o pechuga central.

FASE 2: Con un ensanche mínimo de 20 m respecto del frente de excavación de la Fase 1' y por consiguiente como mínimo a 40 m respecto del frente de la galería inicial o fase 1, se da comienzo a la ejecución de la destroza (desgaste) del túnel mediante la excavación de una banqueta central de 35 m² y 6 m de ancho, lo que permite la circulación de maquinaria en doble sentido y que se ejecuta en toda la longitud del túnel.

FASE 3: Excavación de un batache lateral de la destroza y sostenimiento de la totalidad de la excavación efectuada en pases de 2 m.

FASE 3': Finalmente, con una distancia máxima de 10 m respecto de la fase anterior se excava el batache restante y se cierra el sostenimiento de la contrabóveda en pases de dos metros. Posteriormente se procedió a la colocación del revestimiento del túnel, capa de protección contra el fuego y acabados.

INNOVACIONES BAJO TIERRA

Las mayores innovaciones se realizaron en el revestimiento mediante la inclusión de un carro de encofrado deslizante para hormi-

gonar la bóveda. El carro cubrió toda la sección de la bóveda del túnel y fue del tipo deslizante, es decir, iba avanzando mientras disponía el hormigonado.

“El carro está constituido por un panel de bóveda y dos de hastiales, todo ello debidamente ensamblado. La longitud del molde fue de 15 m, fabricado en tramos. La unión entre tramos se realizó con tornillos que permanecen montados durante todo el tiempo que dure la obra”, comentan desde la Coordinación de Concesiones del MOP.

Para controlar las operaciones de vertido e inspección visual del hormigón, el carro iba equipado con una serie de ventanas. Este funcionaba solo durante la noche sin producir ruido. Comenzó su trabajo en diciembre y finalizó a principios de junio.

El hormigonado inició en la trinchera Nudo Vespucio y avanzó diariamente 15 metros (en cada jornada de hormigonado). El desplazamiento del mismo se realizó mediante

La sección de excavación típica del túnel Kennedy presenta unas dimensiones considerables (190 m²). El esquema habitual de excavación de túneles de estas características aconseja entonces realizar la excavación por fases, lo cual se definió mediante secuencias constructivas diferenciadas para la sección típica.

un carro de transporte automatizado, que implicó la disposición de carriles con rieles, que se acciona de manera hidráulica de la siguiente forma:

- 4 cilindros de doble efecto para el desencofrado y posicionamiento de los hastiales.
- 4 cilindros de doble efecto para la elevación y el descenso de todo el conjunto.
- 2 cilindros de doble efecto para el posicionamiento transversal del encofrado sobre el carro.

- 4 motores oleohidráulicos de doble sentido de marcha acoplados a las cajas de las ruedas.

- 1 central oleohidráulica montada sobre una plataforma solidaria a un montante del carro, provista de depósito, motor eléctrico, bomba, distribuidores manuales, nivel, manómetros, etc.

Toda la instalación oleohidráulica se hizo con tubería metálica. La entrada de corriente eléctrica al grupo hidráulico era protegida con magnetotérmico y sala de seguridad.

Ingeniería Sísmica y Estructural

Ingeniería Sísmica y Estructural para industria minera, energía, petroquímica, hospitales, edificación comercial y habitacional, infraestructura vial, portuaria e industrial

Servicios:

- Peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico
- Selección de sitio
- Análisis no lineal y evaluación de desempeño
- Optimización de estructuras
- Revisión sísmica y estructural
- Aislación sísmica y disipación de energía
- Monitoreo y control de vibraciones
- Asesorías, peritajes e ingeniería forense
- Refuerzo estructural

Productos:

- Disipadores viscosos y metálicos
- Muros viscosos
- Diagonales con pandeo restringido
- Aisladores de goma natural (RB y LRB)
- Deslizadores y péndulos friccionales
- Aisladores 3D para equipos
- Disipadores de masa sintonizada
- Aislación de piso
- Sistema de monitoreo estructural
- Acelerómetro
- Interruptor sísmico

Luis Thayer Ojeda 0127 Of. 1002 Providencia · Santiago · Chile
 (+56) 2 2231 0508 | contacto@rba-global.com | www.rba-global.com | www.eqproducts.com

MAQUINARIAS PARA EXCAVACIÓN

EN CUANTO A LAS MAQUINARIAS utilizadas para este megaproyecto, la excavación o el relleno con tierras se desarrolló utilizando equipos mecánicos adecuados, tanto por su capacidad y rendimiento, como por su estándar de seguridad. Entre ellos destacan excavadoras o retroexcavadoras para túneles; cargadores frontales; martinets hidráulicos; camiones; grúas diversos; fresadoras, etc., los que fueron provistos en la cantidad necesaria para cumplir con los plazos de construcción establecidos. Es importante indicar que no se utilizó explosivos en el lugar.

Las áreas de excavación pequeñas se horadaron con herramientas de mano neumáticas u otros equipos apropiados. Las perforadoras, excavadoras o martinets hidráulicos cuentan con palas y brazos de rigidez y configuración adecuados para realizar los movimientos necesarios para cada sección parcial de excavación. También se utilizaron grúas móviles con plataformas y brazos teledirigidos.

En cuanto a la instalación del hormigón, se hizo mediante robots de gunitado, con el objeto de conseguir una mayor regularización a la capa de revestimiento y dotar de mucha más seguridad y limpieza a la operación. El bombeo del hormigón se realizó mediante camiones mixer junto con bombeo.



Moldaje deslizante para hormigonados laterales de contra bóveda.

“Adicionalmente a los sostenimientos primarios, se instalaron previamente una serie de tratamientos del frente de excavación para enfrentar cualquier contingencia. Estos tratamientos consistieron en paraguas de micropilotes, sellado del frente y empquetado con pernos de fibra de vidrio”, explican desde la Coordinación de Concesiones.

Una vez alcanzada la estabilidad del túnel, mediante el sostenimiento primario, se procedió a la instalación del revestimiento. Producto de estos trabajos se realizó el levantamiento de una serie de datos y medidas que permitieron evaluar las deformaciones, constatar el comportamiento del terreno y determinar las condiciones de sostenimiento.

Así, por ejemplo, se obtuvieron las medidas de deformación al interior (convergencias), que implicaron el desarrollo de estaciones de medida de convergencia con ocho puntos de referencia; uno en clave y dos en los paramentos durante la excavación en avance 1. Para la siguiente fase de avance, se necesitaron otros tres puntos con idéntica distribución; finalmente fueron necesarios otros

dos puntos para cada uno de los paramentos en las fases de destroza.

En el caso de las galerías de las salidas peatonales, las estaciones de medida de convergencia constan de tres puntos de referencia, uno en clave y dos en hastiales.

Las estaciones se colocaron cada 20 m en los primeros 100 m de túnel para pasar a 30 m de distancia en el resto del trazado. En las galerías también se colocaron cada 30 m. En todos los casos, los puntos de referencia se ubicaron lo más próximo posible al frente e idealmente a no más de 2 m del mismo.

También se realizaron medidas de deformación en la superficie (subsidiencias). Esto implicó que en la fase de las excavaciones del terreno se tomaron dos lecturas semanales cuando el frente de excavación estuvo situado entre 10 y 40 m por delante o por detrás de la sección tipo.

RETIRO DE MARINA

Respecto del retiro del material, el equipamiento de transporte y descarga de marina realizó una rápida remoción de los residuos

del frente de excavación. Se utilizaron medios de elevación en el o los piques de acceso adecuados en término de capacidad para que en ningún momento se produjera acumulaciones de marina en cualquiera de las cavidades subterráneas. Se exceptuaron de esto los eventuales períodos en que, por motivos de prohibición de circulación de camiones la marina, debió ser retenida en obra. En tales casos se depositó temporalmente en el área de instalación de faena o en el fondo de un pique.

En el caso de la carga y transporte de escombro, el retiro se realizó mediante palas cargadoras y camiones de perfil bajo. Las operaciones se efectuaron mediante un ciclo, que primero implicó el acopio y carga y luego el retiro del material del frente y finalmente el transporte definitivo a vertedero.

“Para lograr que estas operaciones fueran fluidas y rápidas se coordinaron equipos de tal forma que se eliminara todo obstáculo del camino. Para ello se retiraba rápidamente el escombro, a vertederos provisionales y luego al depósito definitivo”, detalla la Coordinación de Concesiones del MOP.

Lo residuos sólidos inertes generados por la construcción se trasladan para su disposición final a depósitos autorizados por la Secretaría Regional Ministerial de Salud RM. En cuanto a la marina, parte de ella se ha reutilizado en otros sectores de las obras y el resto se ha trasladado a botaderos autorizados.

“Cabe destacar que a nivel constructivo, en Chile se ha acumulado gran experiencia en el desarrollo de túneles y este túnel lo demuestra, gracias a la ejecución de infraestructura vial durante las últimas dos décadas”, concluye Juan Kuster de Costanera Norte.

A fines de año se espera que el túnel Kennedy esté terminado, siendo entregado para su uso, de acuerdo a las proyecciones realizadas por la Coordinación de Concesiones del MOP. ■

etex
inspiring ways of living

Especialistas a nivel mundial en soluciones constructivas

- Empresa multinacional europea con presencia en 42 países en el mundo.
- Pioneros en Innovación, respaldado por sus 3 centros de I+D de clase mundial.
- Productos de alta calidad y tecnología de punta.
- Líderes en sistemas constructivos en seco, integrando soluciones de tabiquería, revestimiento, paneles y fachadas en base a yeso, fibrocemento y otras tecnologías.

En Chile somos...



www.etexgroup.com



Canton Tower (China)

Centro Estudios (Chile)



Congress Centre (Europa)

InnovaToren (Holanda)

