



◀◀ | ▶▶

HITO TECNOLÓGICO



TÚNEL EL MELÓN II

NUEVA RUTA

Con esta obra se otorga continuidad a la Ruta 5 Norte, al contar con dos pistas por sentido. Contempla la materialización de un nuevo Túnel, aledaño al actual con sus respectivos accesos Norte y Sur.

PAULA CHAPPLE C.
PERIODISTA REVISTA BIT

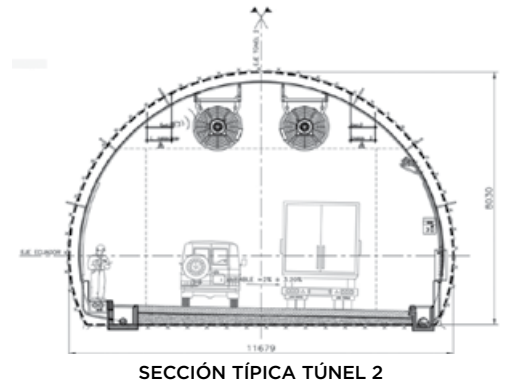


E

L PROYECTO denominado “Relicitación Concesión Túnel El Melón” contempla la materialización de un nuevo túnel, aledaño al actual con sus respectivos accesos Norte y Sur, de manera de considerar un sentido único de desplazamiento en cada uno de los túneles,

Con esto se consigue tener dos pistas de circulación en cada sentido a lo largo de todo el trazado de la Concesión. “Los accesos viales se materializan en superficie sobre el actual trazado de la Concesión en operación, modificando el perfil existente y, en consecuencia, aumentando la velocidad de diseño en gran parte de esta”, señalan desde la Dirección General de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

El proyecto consiste en la construcción, mantención y explotación de las obras consideradas en el contrato “con el objeto de mejorar el estándar técnico y los niveles de servicio de la actual vía concesionada; considerando para ello, tanto el aumento de los



Entre las nuevas obras del proyecto está la construcción de un segundo túnel aledaño al actual con sus respectivos accesos norte y sur, que considera dos pistas a lo largo del trazado y todos los elementos y sistemas requeridos para su puesta en marcha y operación.

niveles de seguridad, como el de su capacidad vial, respecto de la Concesión Actual Túnel El Melón, respondiendo a mejorar las condiciones de seguridad y confort de los usuarios y las mayores solicitaciones de tránsito previstas para la ruta en los próximos años, quedando éste emplazado entre las provincias de Petorca y Quillota, en la Región de Valparaíso”, complementa Sergio Órdenes Cocio, Gerente de Ingeniería Concesión Túnel El Melón II de constructora Conpax.

Una obra de ingeniería con desafíos en logística, tipologías de excavación y sostenimientos del Túnel, debido a las condiciones geológicas y geotécnicas a lo largo del trazado, fueron parte de los retos de la obra. Una nueva ruta.

OBRAS

Entre los trabajos de la Concesión actual destaca el mejoramiento del Túnel existente, mediante obras de ampliación del gálibo vertical y modernización de su equipamiento y sistemas de gestión que controlan la operación del mismo. Además, contempla el mejoramiento de los accesos norte y sur de la conce-

sión actual (túnel existente), tales como rectificación de curvas, mejoramiento de los pavimentos existentes, modernización de la señalética y elementos de seguridad, entre otros.

Entre las nuevas obras que aumentan la capacidad vial están la construcción de un segundo túnel aledaño al actual con sus respectivos accesos norte y sur, considera dos pistas a lo largo del trazado y todos los elementos y sistemas requeridos para su puesta en marcha y operación.

También la construcción de galerías de conexión, tanto vehicular (1) como peatonales (4), entre ambos Túneles y la mantención y explotación de las obras preexistentes y de las nuevas obras.

Además, se consideran como parte del proyecto, las obras de saneamiento de am-

FICHA TÉCNICA

SEGUNDA CONCESIÓN TÚNEL EL MELÓN

Servicio a cargo de la Concesión: Dirección General de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas.

Mandante: Ministerio de Obras Públicas (MOP).

Ubicación: Región de Valparaíso, comunas de Zapallar y Nogales.

Avance: 54,41% (al 31 de diciembre de 2020).

Longitud: 5,2 km.

Presupuesto oficial: UF 3.026.000.

Inicio de ejecución de las obras: Año 2018.

Sociedad Concesionaria: Sociedad Concesionaria Túnel El Melón II S.A.

Accionistas del concesionario: Conpax Energía y Concesiones SpA (25%), Constructora BELFI S.A. (50%) y Aura Ingeniería S.A. (25%).



Sobre la base del estudio de las condiciones geológicas y geotécnicas esperadas a lo largo del trazado del nuevo Túnel, se definieron seis clases de excavación y soporte, conformadas principalmente por la combinación de pernos helicoidales y hormigón proyectado. En el caso de rocas de menor calidad y suelos, se utilizaron marcos reticulados y marcos noruegos.

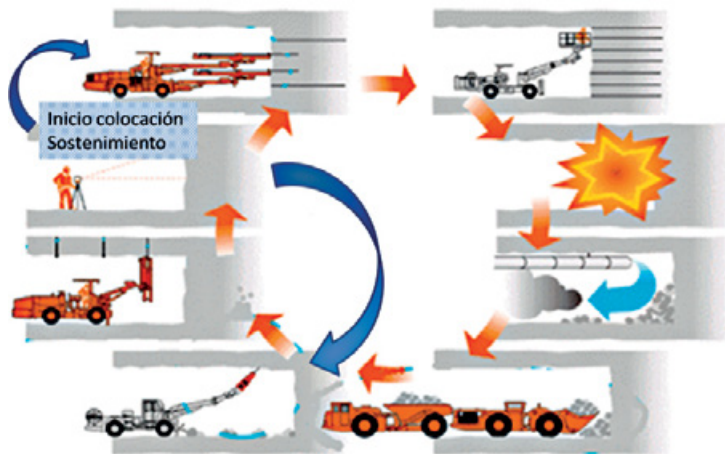
bos túneles, actualización de la señalética y de los sistemas de seguridad vial, así como de los sistemas de iluminación, sistemas de detección de gases y ventilación al interior de ambos túneles, extracción de humos fríos y calientes, en caso de incendio en el interior, vías de evacuación y señalización de emergencia, implementación del sistema de cobro electrónico con tecnología de flujo vehicular sin detención (Free Flow), a partir de la Fase 2 de la Etapa de Explotación, que es compatible con los actuales sistemas en uso por las concesiones urbanas, entre otras obras.

Actualmente, el contrato de concesión cuenta con un 54,41% de avance general (cierre al 31 de diciembre de 2020), como principales hitos cumplidos y por cumplir, destacan la excavación total del Túnel junto con las galerías de conexión entre los túneles (obra terminada en mayo de 2020). La pavimentación interior del nuevo Túnel, a terminarse a mediados del mes de diciembre 2020. Asimismo, el término de la construcción del Túnel nuevo y entrega al tránsito para reacondicionar el Túnel existente programado para 2021 (el nuevo Túnel cuenta con un 78% de avance en sus obras de construcción considerado por separado del resto del contrato).

Finalmente, la entrega de la totalidad de las obras de construcción del contrato, para su puesta en marcha provisoria, es septiembre de 2022.

CONSTRUCCIÓN

Para la construcción de las obras del Túnel, se utilizó principalmente el método de “Perforación y Tronadura” (“Drill & Blast”), que es apto para las condiciones de excavación en roca, destacándose por su gran flexibilidad de ajuste a cambios litológicos o geotécnicos, secciones de las obras y movilidad de los equipos, entre otros. En el acceso sur, que presentó condiciones de suelo en su inicio, se utilizó el método NATM (New Austrian Tunneling Method o Nuevo Método Austríaco de construcción de Túneles) de excavación.



PROCESO CONSTRUCTIVO DE PERFORACIÓN Y TRONADURA

- Perforación de tiros
- Carguío de explosivos
- Tronadura
- Control de vibraciones
- Ventilación de la Frente (Inyección de aire)
- Regado y extracción de marina
- Acuñaadura
- Sondaje exploratorio
- Verificación topográfica / Reperfilado sección
- Análisis geológico y estabilidad del macizo rocoso
- Sostenimiento

Sólo en suelos y roca tipo R5, se ejecutó la excavación, empleando métodos mecánicos (Retroexcavadora con balde), el resto de la excavación se realizó utilizando explosivos.

El proceso constructivo de Perforación y Tronadura, se dividió en las siguientes etapas repetitivas:

- **Perforación de tiros:** Usando perforadora frontal Jumbo, se efectúan las perforaciones, para alojar los explosivos a detonar posteriormente.
- **Carga de explosivos:** Personal competente y debidamente certificado, se encarga de instalar las cargas explosivas al interior de las perforaciones realizadas por el equipo Jumbo.
- **Tronadura:** Se despeja el área y bloquean todos los accesos que lleven hacia la zona donde se efectuará la tronadura y se procede a la “quemá” de los explosivos.
- **Control de Vibraciones:** Las vibraciones, producto de las voladuras máximas permitidas en la estructura del Túnel 1 (T-1), Túnel 2 (T-2), Conexiones Peatonales y Vehicular, consideran una VPP máxima de 25 mm/s. Esta VPP se mide mediante un sismógrafo o equipo acorde, con sensibilidad menor a 1 mm/s. En caso que se supere el umbral de una VPP máxima de 25 mm/s, se añadirán retardos a los disparos, para evitar superar la VPP máxima permitida. Posterior a cada voladura del T-2, se realiza una inspección visual simple en el T-1.
- **Ventilación de la frente tronada:** Una vez tronada la frente, se debe esperar hasta que la concentración de gases tóxicos y partículas en suspensión alcance valores normales. La ventilación se realiza, mediante el empleo de una turbina que inyecta aire, el que es conducido a través de una manga o ducto flexible afianzado en la clave del Túnel y de una extensión menor en 30 a 60 m de la frente, para evitar su daño producto de la proyección de rocas, debido a cada tronadura.
- **Regado y extracción de marina:** Como medida adicional se rocía con agua la roca recién tronada, así se evita la emanación de gases atrapados entre los fragmentos al iniciar la remoción de la marina. El material fragmentado, se carga utilizando un cargador frontal y se descarga en camiones tolva. Los camiones tolva llevan el material a botaderos autorizados.
- **Acuñaadura:** Utilizando un equipo acuñador (máquina con un martillo hidráulico), se golpean las paredes del frente y roca caja, con el fin de detectar posibles fragmentos de roca sueltos que puedan desprenderse y provocar algún tipo de accidente.
- **Sondajes exploratorios:** Se utiliza para obtener información de la

calidad y fallas de roca en los próximos 25 metros de avance, respecto a la frente, son del tipo destructivo (sin recuperación de testigo)

- **Verificación Topográfica/Reperfilado sección:** Se verifica topográficamente la sección transversal del Túnel y se determina si es necesario, por medios mecánicos (2.7 acuñadura), aumentar en sectores específicos la sección.
- **Análisis geológico y estabilidad del macizo rocoso:** El Geólogo de obras subterráneas, verifica las condiciones geológicas y de estabilidad del macizo rocoso, con el objetivo de definir los parámetros que definirán el tipo de calidad de roca existente en el sector, para posterior aplicación del “Sostenimiento”, de acuerdo a los parámetros definidos por proyecto.
- **Sostenimiento (o Fortificación):** Una vez definida por Geología la clasificación de las rocas en el sector, según el coeficiente “Q de Barton” señalado, se procede a realizar la fortificación (Sostenimiento), que consiste en el reforzamiento del macizo rocoso.

NUEVO TÚNEL

El nuevo Túnel El Melón (Túnel N° 2), tiene una extensión de 2.798 m, con una pendiente del 3,43% (se encuentra más elevado el sector Sur que el Norte). La sección transversal del nuevo túnel proyectado corresponde a una sección semicircular. El gálibo vertical útil es de 5,0 m (de acuerdo a 3.005.3, del MC-V3), mientras que el gálibo horizontal máximo es de 11,08 m (en el ecuador de la sección), que posibilita la construcción en su interior de veredas de 0,75 m, bermas 1,0 m y calzada de dos pistas de 3,5 m cada una. El proyecto contempla, además, la construcción de una conexión vehicular y cuatro conexiones peatonales, entre ambos Túneles.

El Túnel se abordó por dos frentes de avance iniciando la construcción por el frente norte (ex-



cavación de norte a sur) el 23 de febrero de 2019, en un sustrato de roca con tronaduras de hasta 4,5 metros de avance diario, dependiendo de la calidad de la roca. Con posterioridad, a inicios de abril de 2019, se comenzó la excavación del frente Sur (excavación de sur a norte) en un sustrato de suelo, aplicando el NATM, esto fue en los primeros 50 metros, después de ello se excava en un sustrato de roca andesítica propia de la Cordillera de Los Andes.

“Cabe destacar que uno de los principales desafíos de la construcción del nuevo Túnel, fue la coincidencia de los dos frentes de excavación al momento de su unión. Se verificó una desviación en el eje central, de 4 cm en horizontal y de 2 cm en vertical”, señalan desde el MOP.

Ambos frentes se unen el 12 de mayo de 2020. Las conexiones peatonales se iniciaron en agosto de 2019 y terminan en julio de 2020. La conexión vehicular se ejecutó entre abril y junio de 2020”, señalan desde el MOP.

Como lo destaca Sergio Órdenes de Conpax, un aspecto interesante de este contrato, es la variedad de especialidades involucradas, como son: Proyectos Viales, excavación de portales, excavación y sostenimiento de Túneles, sostenimiento de taludes (exteriores), Ventilación, iluminación, sistema de incendio, sistema ITS (Intelligent Traffic System), Sistema de Peaje MLFF (Multi Lane Free Flow), entre otros.

“Uno de los factores que aporta mayor complejidad al proyecto, es estar construyendo al costado de la Ruta 5, la que por su importancia en la conectividad del país significa todo un reto el minimizar los impactos que la construcción produce”, comenta el ejecutivo de Conpax.

DESAFÍOS SUBTERRÁNEOS

Sobre la base del estudio de las condiciones geológicas y geotécnicas esperadas a lo largo del trazado del nuevo Túnel, se definieron seis clases de excavación y soporte, conformadas principalmente por la combinación de pernos helicoidales y hormigón proyectado. En el caso de rocas de menor calidad y suelos, se utilizaron Marcos reticulados y Marcos Noruegos.

El sostenimiento de roca permanente consistió en pernos helicoidales de 25 mm y 4 m de longitud, instalados radialmente e inyectados con lechada y hormigón proyectado con fibra y en las rocas de peor calidad, se utilizaron complementariamente Marcos Noruegos.

Uno de los factores que aportó mayor complejidad al proyecto es estar construyendo al costado de la Ruta 5.

PRÓXIMAS ETAPAS

Entre las obras que vienen próximamente destaca la Etapa N° 3, con la Construcción de Pistas de proyecto, Muros TEM laterales del lado Oriente y Desvío hacia el Túnel nuevo (Dm 128.200 - Dm 129.250): Los trabajos de desvío para esta etapa se consideran en dos subetapas, que son:

■ **La Sub etapa 3.a** considera los trabajos de construcción de muros TEM, excavaciones, terraplenes y pavimentación de pistas proyectadas. Durante esta etapa, la circulación se realiza en una pista de 3,5 m en sentido Norte-sur y una pista de 3,5 m en sentido Sur-Norte para lo que se utilizará la calzada Poniente. La circulación durante las obras será restringida a 50 km/h.

■ **Sub etapa 3.b** se continúan los trabajos de construcción de las pistas del lado oriente y comienzan los trabajos de excavación y fortificación de los taludes del lado poniente, entre los Dm 129.100 y la entrada del Túnel existente. Por lo anterior, el flujo proveniente de la calzada poniente en una pista por sentido es encauzado hacia el ingreso del nuevo Túnel a 40 km/h. Dentro del Túnel nuevo son las mismas 2 pistas reforzando la seguridad con señales de restricción de velocidad de 60 km/h.

■ **La Etapa N° 4** en tanto, son mejoras al Túnel Existente y la construcción del Muro Soil Nailing y continuar con los trabajos de los taludes y calzada del lado Poniente, entre el Dm 129.100 y la entrada al Túnel existente, además de la ejecución de las mejoras de este Túnel en su gálibo y pavimentos. Para este caso, los desvíos de tránsito a realizar requieren ocupar la calzada oriente donde se habilitan dos pistas de 3,5 m, es decir, una pista hacia el norte y otra hacia el sur, desde el Dm 129.100 hasta el ingreso al nuevo Túnel, permitiendo el flujo libre por esta vía a una velocidad restringida de 50 km/h. Dentro del Túnel nuevo son las mismas dos pistas reforzando la seguridad con señales de restricción de velocidad, de 60 km/h.

**El proyecto****Conclusión de perforación**

Para la impermeabilización del Túnel, se utilizó un aditivo impermeabilizante en el hormigón proyectado. Adicionalmente, el proyecto contempló la colocación de barbacanas sistemáticas y tubería recolectora.

Como caso particular, “en los primeros 10 m del Túnel en las bocas norte y sur, se aplicó un sostenimiento denominado “Emboquille”, consistente en emplear hormigón proyectado reforzado con Mallas ACMA, Marcos reticulados y Marchiavantis”, complementan desde la Dirección de Concesiones.

En el inicio del tramo sur del Túnel, se encontró material tipo suelo, por lo que se aplicó metodología de excavación NATM y en el inicio del tramo norte, se encontró roca, por lo que fue necesario excavar con el método de perforación y tronadura, en ambos casos con avances de 1 metro de extensión.

Teniendo en cuenta el rango de aplicabilidad de las distintas clases de soporte, asociados a los diferentes tipos de comportamiento geotécnico, cerca del 95% de la longitud del trazado, requirió Clase de Soporte, tipo CS2 (R2) y CS3 (R3), lo que favoreció el desarrollo de las excavaciones.

COMPLEJA GEOLOGÍA

“Uno de los principales desafíos constructivos del proyecto fue la geología. Durante la construcción del Túnel I (puesto en marcha en 1995) se produjo un desprendimiento importante al atravesar una falla del macizo rocoso. Al contar con dicha información y adecuadas consideraciones del tipo de soporte pudimos sortear sin inconvenientes la construcción del Túnel II”, recuerda Sergio Órdenes Cocio.

El Nuevo Túnel El Melón fue excavado principalmente en roca, tipo andesitas. En algunos sectores del Túnel, fue posible evaluar que estas andesitas formaban paquetes discretos interestratificados concordantemente con unidades de tobas, areniscas y lutitas. La andesita representó un 63% del total de Túnel excavado. Las unidades litológicas menores, interestratificadas con la andesita, representan un 6% de distribución.

Las unidades descritas, se encuentran cortadas por rocas intrusivas del Batolito Plutónico El Melón - Catapilco, correspondiente a la Unidad Cavilolén. Estas unidades, corresponden a dioritas y granodioritas, representando el 16% del total de la excavación. Brechas ígneas e hidrotermales fueron encontradas en asociación con fallas, constituyendo el 12% de la excavación total.

En el extremo sur del Túnel, se identificaron paquetes estratificados de rocas volcánicas, piroclásticas y sedimentarias que presentaron muy mala calidad geotécnica en los primeros 100 metros de excavación.

“Esta realidad geológica, obligó a ejecutar una metodología de excavación con construcción de contrafuerte, avances con pernos marchi-avanti en la clave del Túnel y fortificación que incluyó secto-

res con marcos reticulados/noruegos, malla electrosoldada, hormigón proyectado y pernos de anclaje”, indican desde el MOP.

En el extremo Norte del Túnel, se presentaron asociaciones de estas rocas intrusivas con rocas afectadas por alteración hidrotermal y fallas. Esta asociación geológica fue enfrentada, desde el punto de vista constructivo, con la aplicación de una metodología de perforación y explosión con navegación y modelamiento digital, lo que permitió tener un mayor control del contorno del Túnel y de los avances realizados en las condiciones descritas.

En la pavimentación del nuevo Túnel, se aplicó una carpeta de hormigón de 23 cm de espesor, sobre una capa de subbase de 15 cm. Se puede agregar que el ambiente generado al interior del Túnel, con humedad controlada y sin saltos abruptos de la temperatura (en particular, sin calores extremos que generan daños en las losas de hormigón), permiten una adecuada conservación del pavimento, aumentando considerablemente su vida útil, en comparación con un pavimento de las mismas características, construido al exterior.

En ambos extremos del Túnel se construyeron Portales, con volúmenes de excavación aproximada de 50.000 m³ cada uno. Igualmente, en ambas bocas se proyectaron Túneles falsos de 15 m de longitud cada uno.

El contrato de concesión aumentará el estándar del Túnel existente, a un nivel similar al del Túnel nuevo, esto sólo limitado por las condiciones existentes, susceptibles de ser modificadas.

Para la ejecución del proyecto, se ha mantenido el tránsito vehicular en el actual Túnel. Para lograrlo se desarrolló un proyecto de desvíos de tránsito, que consta de 10 etapas (algunas con subetapas), independientes entre sí.

En la actualidad el proyecto se encuentra en la Etapa 2, esto es, en la Fortificación de Taludes y Ejecución Muro TEM de construcción y pistas, lado Poniente (Dm 128.200 - Dm 129.250). En esta etapa se realizan los trabajos de excavación y fortificación de taludes, construcción de muros de contención para el lado Poniente de la ruta y pistas del proyecto (Eje 2). Durante esta etapa la circulación se realiza en una pista de 3,5 metros en sentido Sur-Norte y una pista de 3,5 metros en sentido Norte-Sur. Para tal efecto se utiliza la calzada Oriente, manteniendo la Etapa 1 para el tránsito de camiones de construcción. La circulación durante las obras es restringida a 50 km/h. Una nueva ruta para la conectividad. ■