

# Túnel Caleta Gonzalo: integración de la Ruta 7 en el parque Pumalín (Región de Los Lagos, Chile)

*En este artículo se exponen los principales aspectos de diseño del túnel Caleta Gonzalo que forma parte del proyecto 'Construcción Ruta 7, tramo Pillán – Río Reñihué – Empalme Ruta 7 (Caleta Gonzalo)', ubicado en la provincia de Palena, Región de Los Lagos (Chile). El proyecto fue desarrollado por Apia XXI (actualmente WSP) para la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile. El tramo comprende el diseño de una carretera de nuevo trazado entre las localidades de Pillán y Caleta Gonzalo. Esta carretera, de 21,4 km de longitud, bordea el fiordo Reñihué, atravesando los terrenos del parque nacional Pumalín, uno de los proyectos de conservación más importantes de Sudamérica.*

Javier Rodríguez,

*WSP Spain*

Juan Carlos González,

*WSP Spain*

Alfonso Campos,

*WSP Chile*

Mario Bravo,

*Inspector Fiscal del Estudio, Ministerio de Obras Públicas de Chile*

El diseño de un túnel de 3,07 km fue clave para el encaje de este tramo, en un entorno de orografía compleja y alto valor ambiental. Este túnel mejora la integración de la carretera en el parque; evita generar un tramo con desmontes importantes, y el consecuente impacto sobre el fiordo; y permite acortar en 8 km el trazado previsto inicialmente en los antecedentes referenciales.

## Antecedentes del proyecto

La Carretera Austral (Ruta 7) conecta el extremo sur de Chile, uniendo las ciudades de Puerto Montt (Región de Los Lagos) con Villa O'Higgins (Región de Aysén). Finalizará en un futuro en Puerto Natales (Región de Magallanes), alcanzando una longitud total de unos 2.175 km.

En octubre de 2006, el Ministerio de Obras Públicas anunció la modernización de la ruta, pavimentando 330 km entre Chaitén y Coyhaique y promoviendo la sustitución de los transbordos entre Hornopirén y Caleta Gonzalo por una nueva carretera entre ambas localidades, dentro de la que se encuentra el tramo Pillán – Caleta Gonzalo.

El trazado de este tramo discurre en sentido sur desde la localidad de Pillán, bordea el fiordo por su zona oriental, y cruza los ríos Negro y Reñihué, para atravesar mediante un túnel de 3 km el relieve montañoso que separa el valle de la localidad de Caleta Gonzalo, donde la nueva carretera conecta con la Ruta 7.



Una de las zonas más sensibles del proyecto es el paso del fiordo Reñihué. Para resolver este sector se analizaron en la etapa de anteproyecto cuatro alternativas, abordando los distintos condicionantes del área de estudio. Este análisis, además de un complejo encaje de trazado, conllevó poner en valor la integración de la carretera, la seguridad vial del recorrido, el impacto ambiental de las soluciones y el encaje óptimo del túnel.

Las cuatro alternativas planteadas involucran soluciones en túnel, con mayor o menor longitud para el paso del cerro, evitando la afección al borde costero o generar caminos sinuosos que crucen el relieve montañoso afectando a los bosques del paraje. Estas alternativas buscaron también una óptima integración de los portales del túnel en el entorno, mitigando los taludes y su impacto, y evitando la proximidad de torrentes con pendientes abruptas cerca de las bocas, que puedan arrastrar agua o rocas hacia la carretera.

Este estudio concluyó que el trazado que mejor solucionaba los condicionantes técnicos, económicos y de integración ambiental del proyecto es el que resuelve el sector entre el río Reñihué y el empalme en la Ruta 7 con un túnel de unos 3 km de longitud, que se

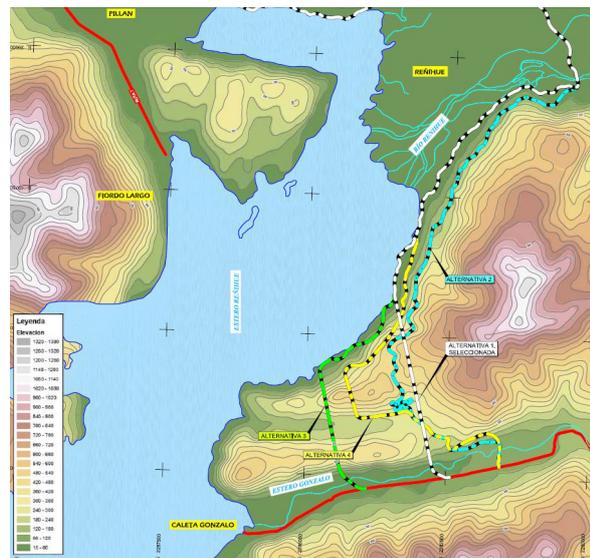
**Una de las zonas más sensibles del proyecto es el paso del fiordo Reñihué**



Fiordo y río Reñihué entre Pillán y Caleta Gonzalo (Fuente: elaboración propia).



Planta de situación del proyecto (Fuente: elaboración propia).



Alternativas estudiadas en la etapa de Anteproyecto (Fuente: elaboración propia).

desvía hacia el interior del cerro, alejándose del borde marino para no afectar a zonas de especial interés ambiental por la presencia de comunidades de leones marinos.

La alternativa propuesta consigue reducir en 8 km el trazado de la solución considerada en el Estudio de Preinversión.

### Caracterización geológica del túnel

La zona de estudio posee unas características, tanto climáticas como orográficas, muy adversas para la ejecución de trabajos de campo. No existen caminos ni sendas por las que desplazarse a través del cerro, ni tan siquiera para llegar a la zona de los emboquillos.

El túnel discurre a través de una zona de especial protección que imposibilita alterar el medio natural cortando cualquier especie, salvo helechos o quilas, para la ejecución de sendas de trabajo. Además, las condiciones climáticas, con frecuentes lluvias, limitan los tiempos de trabajo.

Ante la imposibilidad de realizar zonas de despeje de trabajo y pistas de acceso se descartó el estudio del túnel mediante sondeos y se desarrolló una cartografía geológica de detalle sobre la banda del túnel, con toma de datos estructurales en las zonas de afloramiento de roca, especialmente en los portales.



Recorrido de campo para la caracterización geológica del área de estudio (Fuente: elaboración propia).

También se detectaron en los barrancos zonas de circulación de aguas superficiales y posibles zonas de falla, que fueron contrastadas con la fotografía aérea, previamente analizada en gabinete. Estos sectores se pueden asociar con zonas de debilidad estructural con características geotécnicas más desfavorables en profundidad.

Los datos tomados aportaron una valiosa información acerca del tipo de roca y el estado de fracturación del macizo, tanto en los portales como en la zona intermedia. Permiten caracterizar la calidad del macizo rocoso mediante los índices Q de Barton y RMR de Bieniawski. Así mismo se empleó el martillo Schmidt (o esclerómetro) para la medida de la resistencia uniaxial a compresión de la roca.

Gonzalo García, geólogo de WSP, desarrolló este estudio de campo durante casi 4 semanas, en el mes de marzo de 2014, en las que recorrió la zona de portales y la franja superior del túnel. La campaña contó con la visita de una semana de los técnicos del MOP Rolando Toloza, Marcela García Caamaño y Nelson Toro; el geólogo Arturo Hauser (asesor externo del MOP) y Juan Carlos González Fernández (geólogo senior de WSP).



Recorrido geológico del borde costero (Fuente: elaboración propia).

Se completó también un recorrido geológico del borde costero entre el portal de entrada del túnel y el cerro Gonzalo. Esta inspección permitió contrastar los datos tomados sobre el trazado del túnel, extrapolando las directrices estructurales principales detectadas.

Adicionalmente, se visitaron tres túneles en la central hidroeléctrica Canutillar y el túnel de acceso a la bocatoma Lenca. Sus condicionantes y litologías son muy similares a las previstas en el túnel de Caleta Gonzalo, por lo que las observaciones de los sostenimientos aplicados son aplicables en el diseño del nuevo túnel.

### Solución desarrollada para el túnel

El túnel Caleta Gonzalo tiene una longitud total de 3.072 m, de los cuales el 99% se ejecutarán en túnel en mina, con un recubrimiento máximo sobre clave de unos 500 m. El resto se corresponde con los falsos túneles previstos en los portales de entrada y salida para la adecuada integración del túnel en las laderas.

Esta infraestructura atraviesa un macizo rocoso formado por granodioritas, rocas plutónicas básicas y anfibolitas. Se trata de rocas de buena calidad geotécnica. Aunque pueden aparecer tramos de peor calidad geotécnica y desprendimientos en las bocas y zonas de falla. El macizo se encuentra afectado por ocho fallas principales, detectadas en superficie mediante el estudio fotogeológico, el recorrido superficial y la correlación con las observaciones del borde costero.

Estas fallas están condicionadas por el sistema principal de Liquiñe - Ofqui. Esta falla se considera activa, por lo que sus movimientos pueden tener influencia en el resto de fallas asociadas. Los principales riesgos geológicos en las zonas de fallas se pueden producir durante los eventos sísmicos, que pueden generar desprendimientos rocosos, si no se refuerza adecuadamente el sostenimiento de estos sectores.

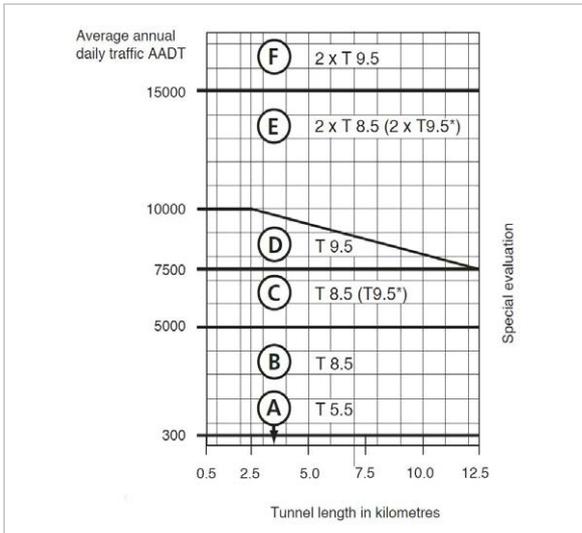
Se ha establecido la siguiente tramificación del tipo de roca del túnel:

- Roca de buena calidad, con RMR > 61: 87% de la longitud del túnel.
- Roca de calidad media, con RMR > 41 a 60: 8 % de la longitud del túnel.
- Roca de mala calidad y zonas de falla RMR < 20: 5% de la longitud del túnel.

Las formaciones presentes en el túnel se caracterizan por ser entre impermeables y poco permeables. Se trata de una roca sana muy dura con resistencias a la compresión simple medias de 100 a 250 MPa. Presentan un grado de fracturación medio a bajo por lo que en las zonas sanas se espera poca afluencia de agua al túnel. En el caso de las fallas, el caudal de agua al túnel en profundidad será mayor, habiéndose previsto medidas para la impermeabilización, captación y evacuación de las aguas.

Para el diseño de este túnel se han seguido las prescripciones del Manual de Carreteras de Chile y como referencia complementaria el Manual de Túneles de Carretera de Noruega. Tras un análisis de la normativa internacional existente se optó por considerar los estándares de este país, que ofrecen soluciones para túneles con unos condicionantes similares a los del sur de Chile: infraestructuras a través de orografías complejas, que generan túneles de longitud importante, en entornos aislados y con baja densidad de tráfico.

La normativa noruega clasifica los túneles en 6 categorías en función de la longitud (hasta 12,5 km) y el volumen de tráfico. El Manual de Carreteras de Chile plantea una clasificación similar, en este caso con cuatro categorías.



Clasificación según Manual de Túneles de Carretera de Noruega (Fuente: Road Tunnels Standard. Norwegian Public Roads Administration).

El túnel Caleta Gonzalo se incluye dentro de la categoría A de ambos estándares. Se espera que menos de 300 vehículos al día atraviesen este túnel.

Esta categoría se corresponde con un esquema funcional mono-tubo. La sección tipo consiste en un perfil circular de un solo radio (5,4 m), truncada inferiormente al nivel de la calzada. Dicha sección alberga una plataforma compuesta por:

- Una calzada bidireccional de dos carriles: cada uno de ellos de 3,5 m de ancho con una berma de 0,50 m. El gálibo considerado es de 5,0 m.
- Un pasillo elevado de 1 m de ancho en uno de los laterales.
- Un pasillo a nivel de calzada de 1 m de ancho, en el lateral opuesto.

Aunque no es necesario que los túneles tipo A dispongan de apartaderos (nichos de estacionamiento de emergencia en la terminología del Manual de Carreteras), se consideró conveniente prever en este túnel una zona intermedia para cada sentido de circulación, ubicadas en el sector central, y no enfrentadas. Estos nichos de estacionamiento tendrán una longitud de 30 m útiles y 3 m de anchura.

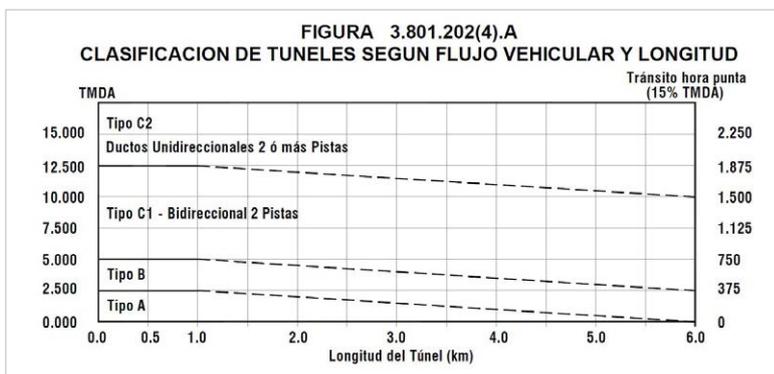
El método propuesto para la perforación del túnel es el Método Noruego de Túneles (MNT), planteando excavar la sección en una fase, a sección completa, salvo en los tramos de falla, portales y sectores con mayor recubrimiento. La excavación se realizará mayoritariamente mediante explosivos con el apoyo de medios mecánicos en los tramos de terreno menos resistente.

El MNT plantea un sostenimiento flexible que resulta de la combinación de hormigón proyectado con fibras y bulones. El prediseño de estos sostenimientos se realizó a partir del gráfico de diseño del Sistema Q para túneles y cavernas, basado en los principios de sostenimiento del MNT (Grimstad y Barton, 1993).

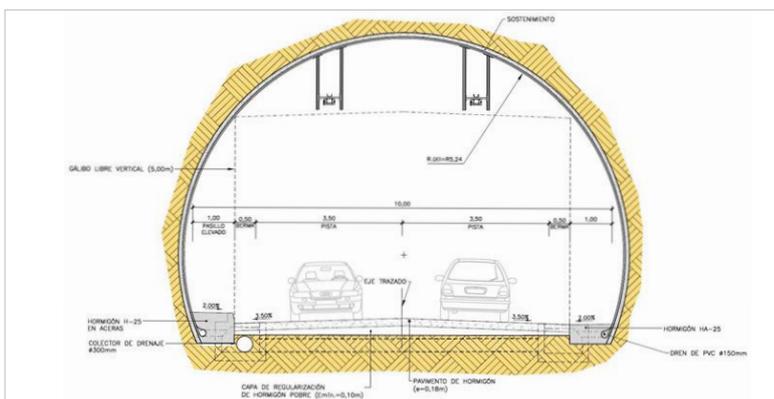
Este gráfico se incluye en la Sección 3.804 del Manual de Carreteras de Chile, donde se recopilan los criterios de diseño estructural. Estos sostenimientos fueron ajustados durante la etapa de ingeniería de detalle, con la ayuda de modelos tensodeformacionales FLAC 3D, análisis cinemáticos para la previsión de formación de cuñas (UNWEDGE) y la experiencia práctica del equipo de diseño en este tipo de túneles.

Teniendo en cuenta la profundidad del túnel, las litologías y la resistencia del macizo rocoso pueden aparecer fenómenos de deformación por plastificación intensa (squeezing) y estallido de roca (rock bursting).

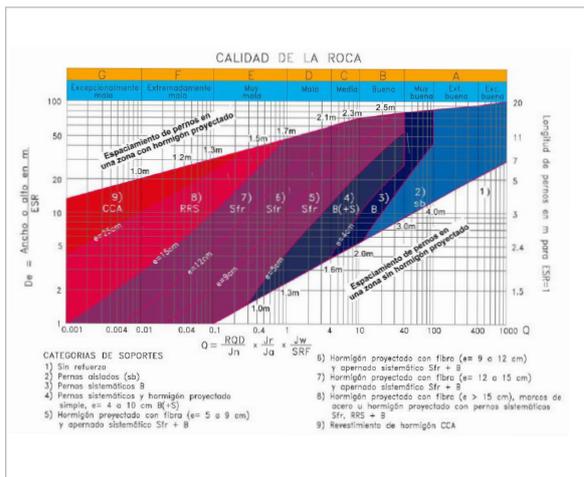
El estallido de rocas se considera menos probable, al tratarse de profundidades de túnel más moderadas que otros casos en los que se ha observado esta situación en Chile. No obstante, no es descartable totalmente.



Clasificación de Túneles según Manual de Carreteras de Chile (Fuente: Manual de Carreteras Vol 3. MOP-DGOP-Dirección de Vialidad. Chile).



Sección tipo funcional del túnel (Fuente: elaboración propia).



Sistema Q basado en los principios de sostenimiento del MNT (Grimstad y Barton, 1993) (Fuente: Manual de Carreteras Vol. 3. MOP-DGOP-Dirección de Vialidad. Chile).

Las zonas de fallas constituyen situaciones complejas, y más en el caso que nos ocupa donde podría existir una acumulación de tensiones debidas a la falla de Liquiñe-Ofqui, por lo que se hace recomendable ser cautos y no descartar situaciones derivadas de un estado tensional complejo.

El caso del 'squeezing' sí se considera más probable en las zonas de mayor recubrimiento. Para estos tramos se han propuesto secciones de sostenimiento robusto, con espesores importantes de hormigón proyectado, cerchas y avance al abrigo de un paraguas de micropilotes.

A continuación, se resumen las principales características de los sostenimientos previstos en una tabla:

| Sección Sostenimiento | Q   | RMRC    | Sistema Excavación                                  | Sostenimiento  |
|-----------------------|---|---------|---|--|
| S-I                   | > 15  | > 75    | Voladura<br>Sección completa<br>Pase 4 m            | 3 cm SH-30 proyectado c/ fibras<br>Bulones anclados resina o lechada L = 3 m, 25 Ton esporádicos   |
| S-II                  | 10 - 15   | 65 - 75 | Voladura<br>Sección completa<br>Pase 3 m            | 3 cm SH-30 proyectado c/ fibras<br>Bulones anclados resina o lechada L = 3 m, 25 Ton<br>(Malla 2,5 mL x 2,5 mT)  |
| S-III                 | 1 - 10  | 55 - 65 | Voladura<br>Sección completa<br>Pase 1,5 m          | 3 cm + 10 cm SH-30 proyectado c/ fibras<br>Bulones anclados resina o lechada L = 3 m, 25 Ton<br>(Malla 2,0 mL x 2,0 mT)  |
| S-IV                  | 0,01 - 1  | 25 - 55 | Mecánica + Voladura<br>Sección completa<br>Pase 1 m | 3 cm + 16 cm SH-30 proyectado c/ fibras<br>Bulones anclados resina o lechada L = 3 m, 25 Ton (Malla 1,5 mL x 1,5 mT)<br>Cerchas THN-29 @ 1 m                           |
| S-V Fallas            | < 0,01  | < 25    | Mecánica<br>Avance: 0,75 m<br>Destroza: 1,5 m       | 5 cm + 20 cm SH-35 proyectado c/ fibras<br>Bulones autoperforantes L = 4 m, 25 Ton (esporádicos pie de cercha)<br>Cerchas HEB-180 @ 0,75 m<br>Paraguas de micropilotes |
| S-V*                  | Tramos de elevado recubrimiento (Rock Bursting) |         | Mecánica<br>Avance: 0,5 m<br>Destroza: 1,0 m        | 5 cm + 20 cm SH-35 proyectado c/ fibras<br>Bulones autoperforantes L = 4 m, 25 Ton (esporádicos pie de cercha)<br>Cerchas HEB-180 @ 0,5 m<br>Paraguas de micropilotes  |
| S-VI                  | Emboquilles                                     |         | Mecánica<br>Avance: 0,75 m<br>Destroza: 1,5 m       | 3 cm + 20 cm SH-30 proyectado c/ fibras<br>Bulones autoperforantes L = 4 m, 25 Ton (esporádicos pie de cercha)<br>Cerchas THN-29 @ 0,75 m<br>Paraguas de micropilotes  |

Sostenimientos propuestos para el túnel Caleta Gonzalo (Fuente: elaboración propia).

### Equipamiento del túnel

Los túneles del Tipo A se corresponden con el nivel más básico de elementos de seguridad, debido a su bajo nivel de tráfico, que no justifican la inversión asociada a ciertos equipamientos presentes en otros túneles con mayor circulación.

El túnel contará con los siguientes equipamientos:

- Sistema de iluminación completo, compuesto por una iluminación permanente y un refuerzo en las bocas para adaptar al usuario a las condiciones lumínicas de transición interior/ exterior.
- Sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV) interior y exterior.
- Sistema de protección contra incendios con cable sensor de temperatura para la detección de incendios y extintores interiores (cada 200 m).
- Señalización variable con panel de mensaje variable y señal aspa flecha.
- Señalización de la ruta de evacuación (a través de la acera elevada), indicando además la distancia hasta las bocas de salida.
- Marcas en pavimento tipo 'ojos de gato'.
- Control de gálibo mecánico a 150 m de las bocas.
- Estaciones remotas de control (una unidad en cada boca) para la adquisición de datos y el envío al punto de control.
- Sistema de alimentación interrumpida (SAI).

Aunque la iluminación del túnel no es preceptiva de acuerdo con el Manual de Carreteras de Chile, si sería necesaria atendiendo a los estándares noruegos. En fase de ingeniería se analizaron distintas alternativas (iluminación completa, iluminación interior sin refuerzo en las bocas, sistema de alumbrado sólo de evacuación, balizas led de guiado, etc.). Se concluyó que un sistema de iluminación completo era la opción más recomendable por la longitud del túnel, la mejora de la seguridad vial y porque contribuye a mitigar la sensación de aislamiento que tiene un usuario cuando atraviesa un túnel de esta longitud sin apenas tráfico.

La ventilación mecánica no es obligatoria de acuerdo con las dos normativas de referencia consideradas. Teniendo en cuenta el bajo volumen de tráfico se consideró que el nivel de contaminantes dentro del túnel sería mínimo y se podrán eliminar mediante el 'efecto chimenea'. Además, la baja densidad de tráfico y probabilidad de incendio no justifica prever un sistema de ventilación para situación de incendio. El túnel se encuentra en una zona aislada respecto a poblaciones importantes y a redes de suministro. No existe ninguna red eléctrica en las inmediaciones para alimentar sus instalaciones. Con el fin de cubrir las necesidades de suministro eléctrico del túnel se planteó la instalación de dos grupos electrógenos diésel, con autonomía de 20 días. Además, se han analizado distintas alternativas, basadas en una instalación solar fotovoltaica y el aprovechamiento parcial de una mini central hidráulica ubicada en Caleta Gonzalo.

### Desafíos para la construcción

El proyecto del túnel de Caleta Gonzalo resuelve el encaje y la integración de una carretera entre el valle de Reñihué y la localidad de Caleta Gonzalo, en un entorno de alto valor ambiental y orografía compleja.

Su desarrollo conllevó en primer lugar un análisis de alternativas para definir el trazado óptimo que resuelve el paso del cerro con un túnel de 3 km. Posteriormente, se afrontó una compleja caracterización geológica condicionada por las limitaciones de acceso para maquinaria, pero que se compensó con una detallada cartografía geológica, la toma de datos estructurales sobre la franja del túnel y el recorrido del borde costero.

A partir de estos datos, de acuerdo con los principios del Método Noruego y la experiencia en túneles similares del equipo del proyecto, se completó el diseño estructural del túnel. El planteamiento del proyecto fue aportar soluciones de sostenimiento para el desarrollo general del túnel, y a la vez prever situaciones especiales, con un sostenimiento lo suficientemente robusto, que resuelvan las complejidades puntuales del túnel.

Los retos que plantea el túnel de Caleta Gonzalo continuarán en la siguiente etapa del proyecto. La construcción de la carretera, y en particular del sector del túnel deberá afrontar, entre otros, los siguientes desafíos:

- Condicionantes logísticos para la construcción del sector, donde no sólo es necesario considerar el aislamiento de la obra, la dificultad de acceso para el transporte de materiales y maquinaria, el suministro de energía y las instalaciones de obra y campamentos. También se deberá hacer frente a una climatología adversa durante la mayor parte del año.
- Inspección geotécnica continua del túnel para adecuar los sostenimientos previstos a las condiciones reales del túnel que se observen en obra, anticipando los tramos de peores condiciones geotécnicas, zonas de falla y los sectores donde puedan aparecer fenómenos de estallido de roca (rock-bursting) o plastificación intensiva (squeezing).
- Seguimiento ambiental, observando que los procesos que se implementen en la obra se desarrollen de acuerdo con lo estipulado en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), el máximo respeto al entorno ambiental del proyecto y a las actividades del parque Pumalín.



C / Sant Adrià, 46 • 08030 Barcelona (España) • Tel. + 34 933 599 779  
[info@uresa.com](mailto:info@uresa.com) • [www.uresa.com](http://www.uresa.com)



## Diseño y producción de punteros y recambios para martillos hidráulicos

- Somos una empresa de ingeniería mecánica especializada en la **FABRICACIÓN DE PUNTEROS Y RECAMBIOS PARA MARTILLOS HIDRÁULICOS**.
- Diseñamos y producimos en nuestra sede central ubicada en **BARCELONA-ESPAÑA**.
- Trabajamos para todas las marcas y también hacemos piezas a medida para trabajos especiales, según la necesidad del cliente.
- Utilizamos exclusivamente aceros europeos de **ALTA CALIDAD**.
- Tenemos un **STOCK PERMANENTE** de más de 5.000 unidades.
- Exportamos a todo el mundo y servimos los pedidos de forma **INMEDIATA**.
- La buena relación calidad-precio de nuestros productos es **RECONOCIDA INTERNACIONALMENTE**.
- Desde 1984 en el sector, un equipo de profesionales altamente cualificados y la **CERTIFICACIÓN ISO 9001**, aseguran la alta calidad de nuestros productos.

## ORUGAS, CADENAS DE GOMA Y TACOS DE CAUCHO

**NUEVA J'TRACK 2018**

**GARANTÍA 1 AÑO**

**TECNOLOGÍA  
REVOLUCIONARIA**

**CAUCHOS NATURAL DE PRIMERA CALIDAD  
AUMENTA LA DURABILIDAD**

**SIN EMPALMES  
MAYOR FUERZA LONGITUNIAL**

**DIBUJO DEL TACO  
DE ÚLTIMA GENERACIÓN  
MÁXIMA AGARRE**

**CABLEADO DE ACERO SIN SOLDADURA  
MAYOR RESISTENCIA Y FLEXIBILIDAD**



**666 560 012**

[jcarlos@uresa.com](mailto:jcarlos@uresa.com)

**GLOBAL TRACK WAREHOUSE**