



Webinar Túneles con TBM

Diseño, construcción, servicios y proyectos de ingeniería



CTES

COMITÉ DE TÚNELES Y
ESPACIOS SUBTERRÁNEOS
DE CHILE

26 de Agosto

Túneles profundos con TBM en Los Andes chilenos.

Un estudio comparativo de dos desafiantes proyectos tuneleros en Chile



Carlos Lang
Director of Projects and Engineering
The Robbins Company
langc@robbinstbm.com

26 de Agosto de 2020



INDICE

- + **Introducción**
- + **Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo**
 - Visión general
 - Especificaciones de la TBM
 - Sistema McNally
 - Geología
 - Fortificación de roca
 - Perforaciones Exploración e Inyección
 - Excavación
 - Fortificación de roca desde la TBM (fotos)
 - Operación TBM por Robbins (2017)
 - Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel
 - Conclusiones
 - Modificaciones de la TBM
- + **Proyecto Hidroeléctrico Los Cóndores**
 - Visión general
 - Especificaciones de la TBM
 - Geología
 - Excavación
 - Falla de la tolva
 - Elevado caudal de agua
 - Atrapamiento de la TBM
 - Conclusiones del Proyecto
- + **Conclusiones Finales**

UNA COMPARACION ENTRE TIPOS DE MAQUINAS

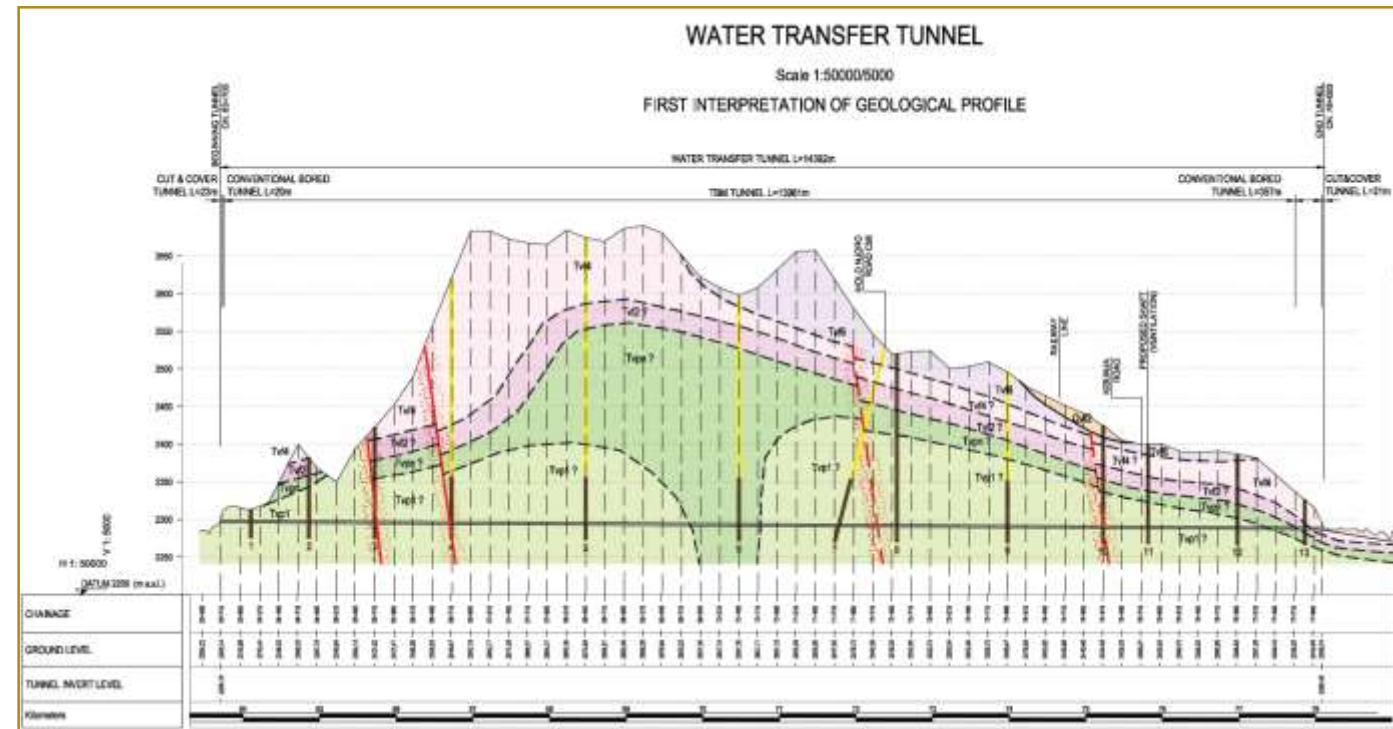
Cual de las maquinas funciona mejor frente a los siguientes fenómenos geológicos:

- + Zonas de fallas
- + Rock bursting (explosión de roca)
- + Elevado caudal de agua
- + Roca dura y abrasiva
- + Squeezing (convergencia)
- + Zonas de fractura
- + Frente de excavación mixto roca-suelo
- + Alta presión de agua
- + Gravas y bolos
- + Frente inestable



Que convierte un Proyecto de túnel con TBM en un difícil reto?

- + Información geológica pobre o muy limitada (importancia de la planificación y testeo geológico)
- + Que convierte el trazado de un túnel en una empresa difícil para TBM:
 - Alta cobertera
 - Agua (caudal y presión)
 - Túneles donde las predicciones son meras conjeturas
 - Trazados largos (>15 Km)
 - Falta o mal uso de fortificación de roca
 - Elección de la TBM incorrecta
 - Inexperiencia del contratista o de la tripulación TBM



Alto Maipo I y II Proyecto Hidroeléctrico



Visión General del Proyecto

Alto Maipo

- + San Jose de Alto Maipo (Chile)
- + Altitud 1025 a 2550m
- + Mandante: Alto Maipo SpA
- + Contratistas: Constructura Nuevo Maipo (CNM) y Strabag-Voith Hydro

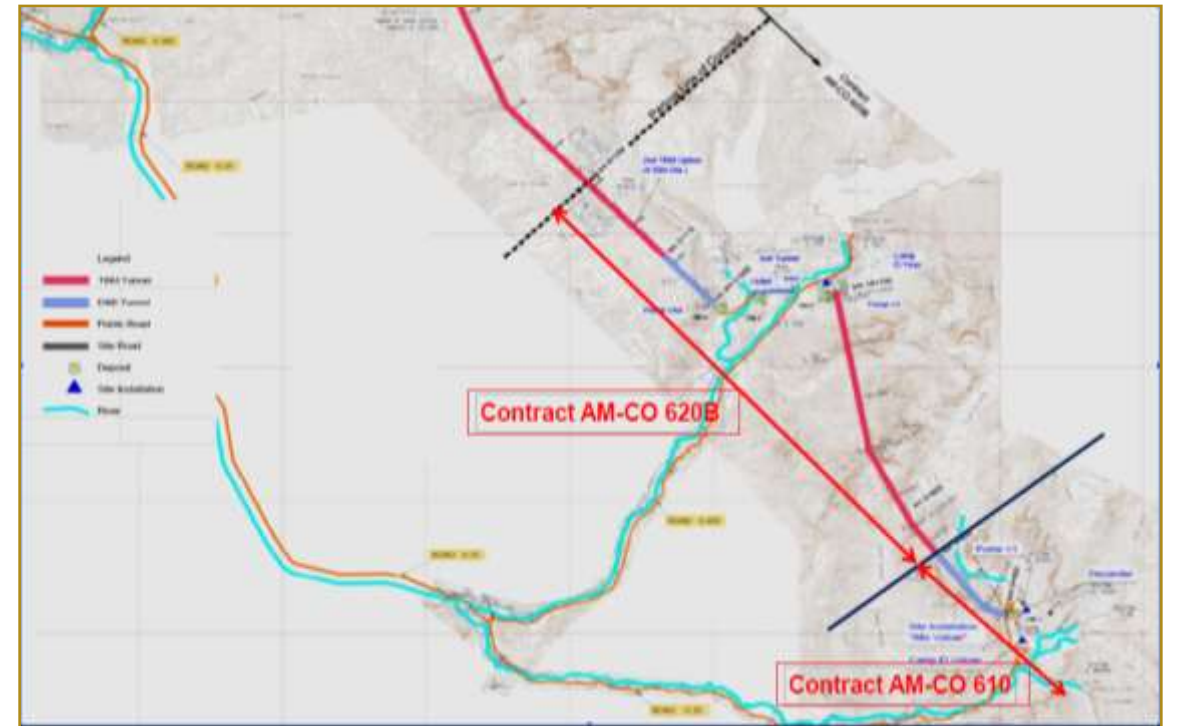


Visión General del Proyecto

Alto Maipo

El Proyecto incluye entre otros:

- + 5 tomas
- + 67 km de túnel excavados en D&B y TBM,
- + cobertera media entre 800-1000 m,
- + 2 cavernas con capacidad combinada de 531 MW
- + 17 km de líneas áreas de transmisión de AT.



Visión General del Proyecto

Alto Maipo

- + Dos túneles: El Volcán y Alfalfal II
- + Plan original contemplaba la excavación de una sección de 7 km en el túnel El Volcán, con opción de 1,500m adicionales
- + La máquina sería desmontada y transportada a través del túnel excavado y revestido hasta el túnel Alfalfal II
- + Los primeros 3 km serían excavados con el método Drill & Blast, y los 3 km remanentes serían excavados con TBM



Especificaciones de la TBM

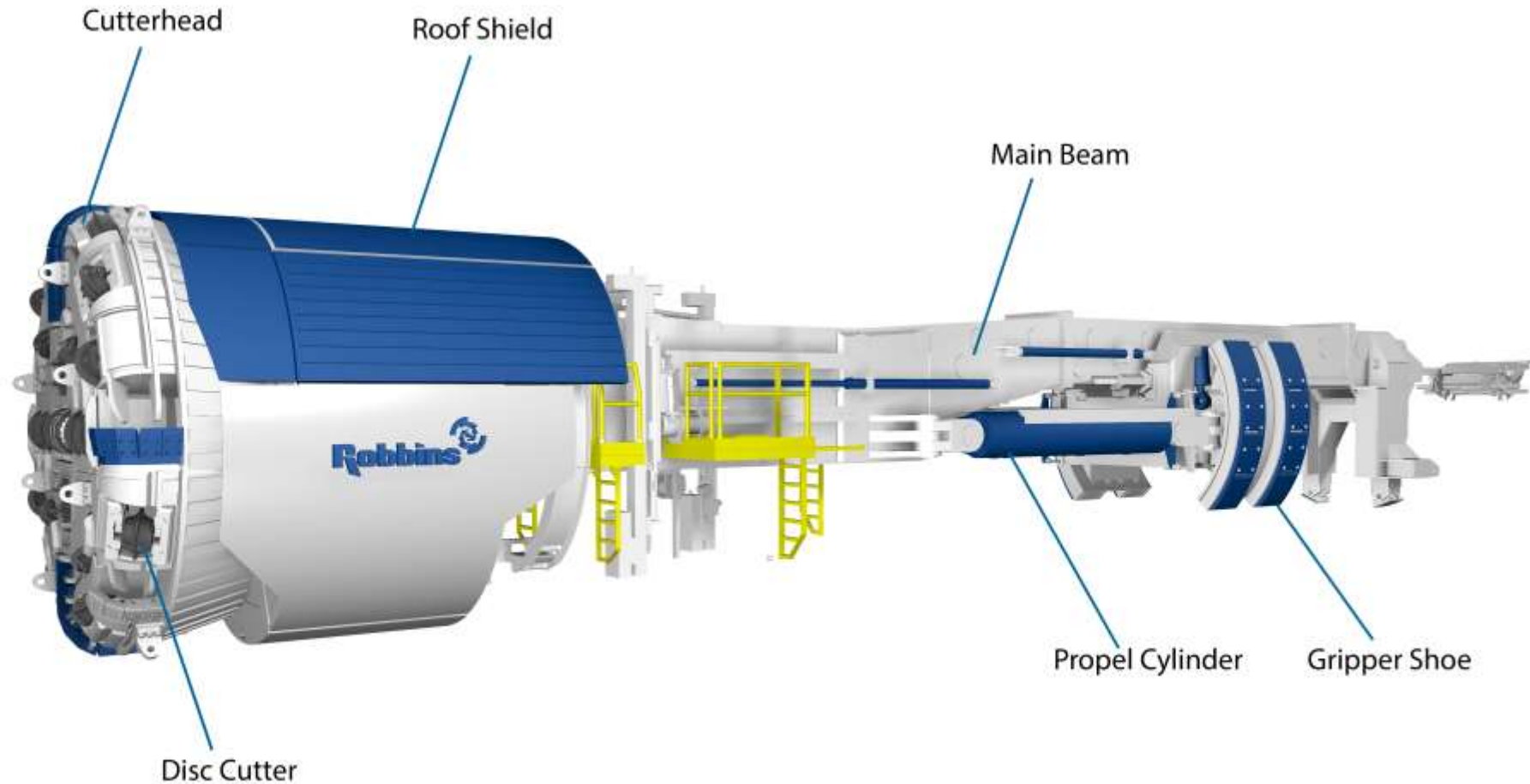
Alto Maipo

- + Máquina MB139-396 Robbins Gripper type Hard Rock TBM de Ø4.13 m
- + Máquina tipo abierta con zapatas (Topo)
- + Sistema Back-up (equipos de soporte)
- + Sistema Robbins de Cinta Transportadora y Cinta Apiladora
- + Permitía un rápido acceso detrás de la cabeza de corte para la instalación de medidas extensivas de apoyo de rocas, como la instalación de pernos de roca, mallas de acero, dovelas, y hormigón proyectado.
- + A solicitud del mandante del proyecto, una segunda máquina TBM Main Beam (Topo) de tipo abierta con zapatas fue entregada



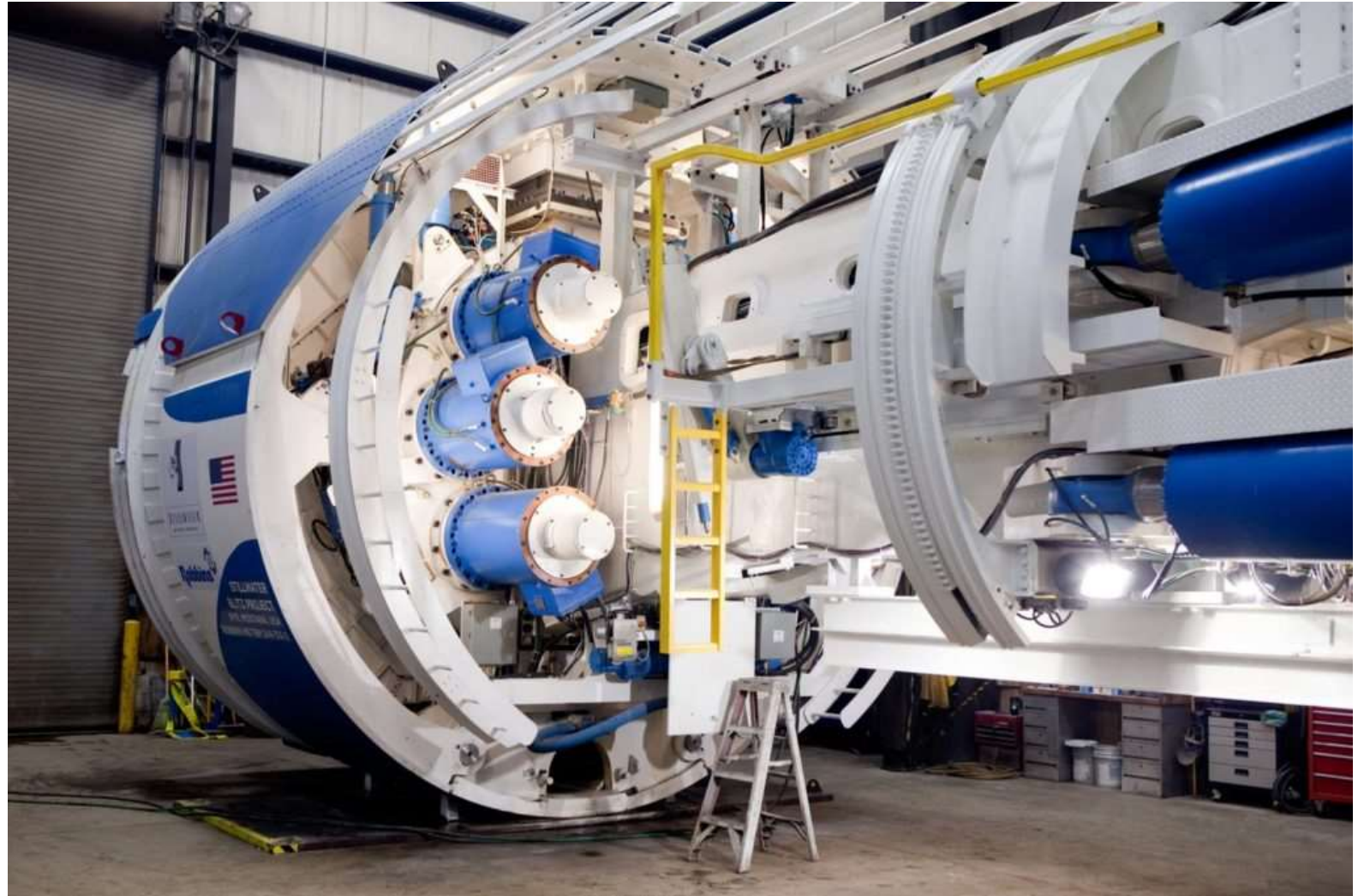
Especificaciones de la TBM

Alto Maipo



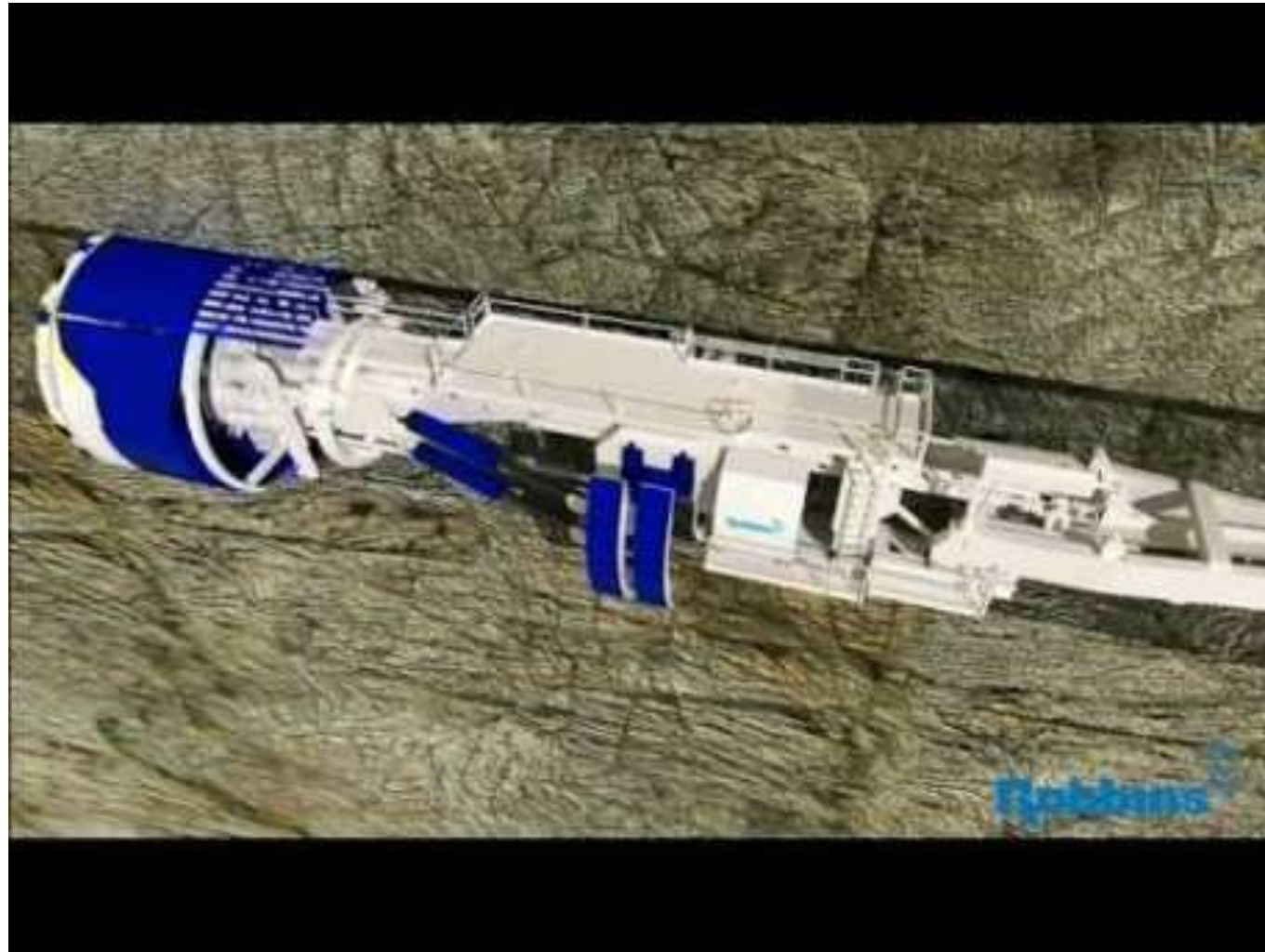
Especificaciones de la TBM

Alto Maipo



Especificaciones de la TBM

Alto Maipo



Especificaciones de la TBM

Alto Maipo

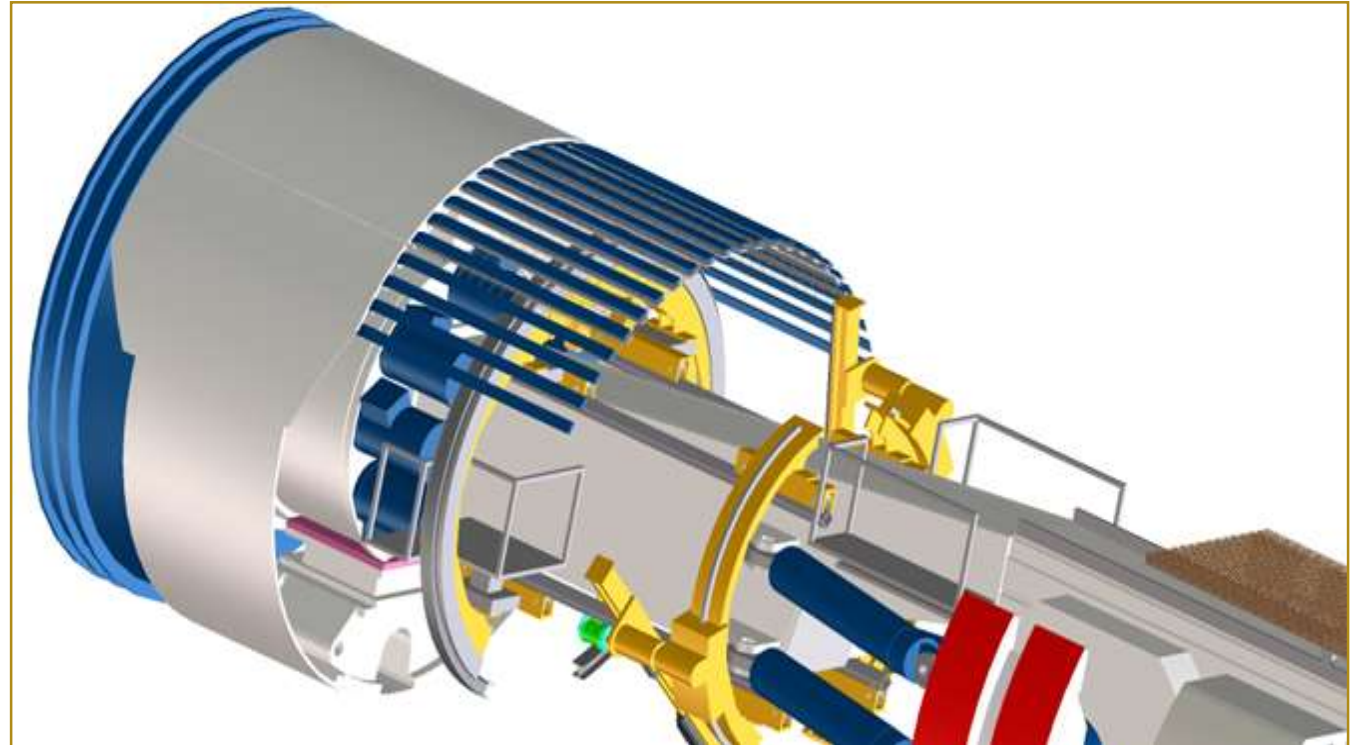
- + Cortadores de carga posterior de 17” con Sistema de bloqueo Wedgelock™, con capacidad nominal de 267 kN cada uno
- + Escudos de soporte en el techo, laterales y frente de la máquina.
- + “Finger shields” fueron instaladas en el escudo de soporte de techo



Especificaciones de la TBM

Alto Maipo

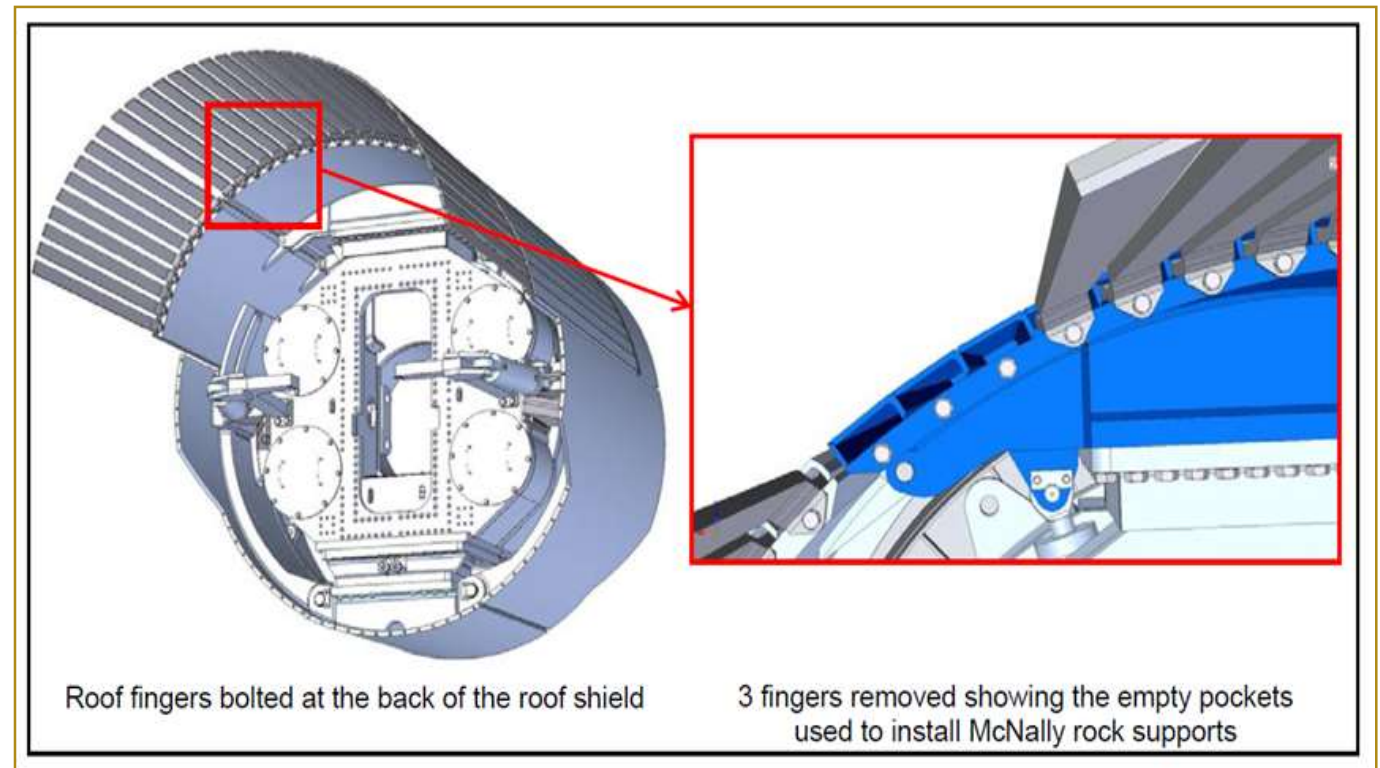
- + Dos taladros de perforación
- + Taladro de sonda (2 uds)
- + Erector de cerchas metálicas
- + Plataformas de trabajo y pasarelas.
- + Sistema McNally-Robbins
- + Aplicación de hormigón proyectado mediante Robot



Sistema McNally

Alto Maipo

- + En lugar de las “roof shield finger” tradicionales, se diseñó un escudo de techo adaptable con “shield fingers” atornillables que podían ser removidos para usar el sistema de soporte de terreno McNally.
- + El sistema McNally protege a los trabajadores de caídas de roca en la corona del túnel, utilizando listones de acero instalados directamente detrás del soporte de la cabeza de corte



Especificaciones de la TBM

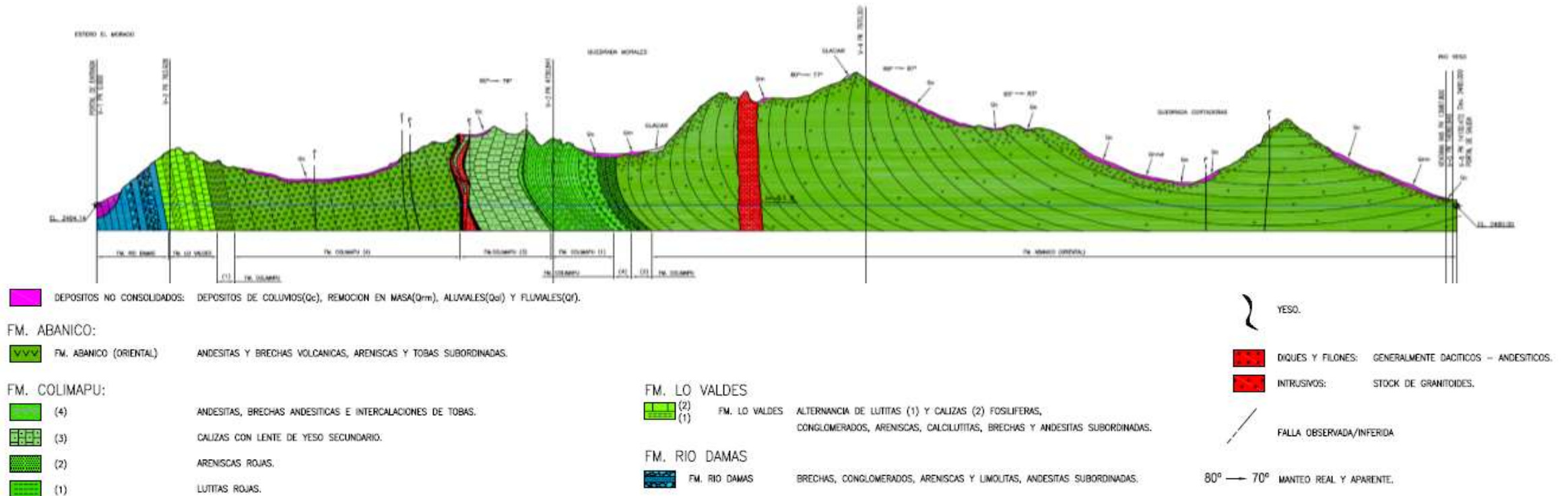
Alto Maipo

- + Taladro de perforación adicional
 - Montado en un posicionador tipo anillo
 - Permitía la instalación de pernos de techo en toda la circunferencia de la pared del túnel excavado (con excepción de la sección cubierta por el segmento invert)
- + Robot de proyectado de hormigón
 - Operado vía control remoto
 - Dos capas gruesas consecutivas de 150 mm de espesor de hormigón proyectado pueden ser aplicadas para un espesor total de 300 mm a lo largo de la circunferencia del túnel excavado (con excepción de la sección cubierta por el segmento invert)



Geología- Túnel El Volcán Alto Maipo

- + Alta sobrecarga de hasta 1,500 m en el túnel El Volcán
- + “Formación Albanico”- que va desde andesita competente a brechas andesíticas con algunas secciones de arenisca y tufa
- + Zonas de fallas
- + En algunas secciones de tufas altamente alteradas, la calidad de la roca geotécnica era mala



Geología- Túnel El Volcán

Alto Maipo

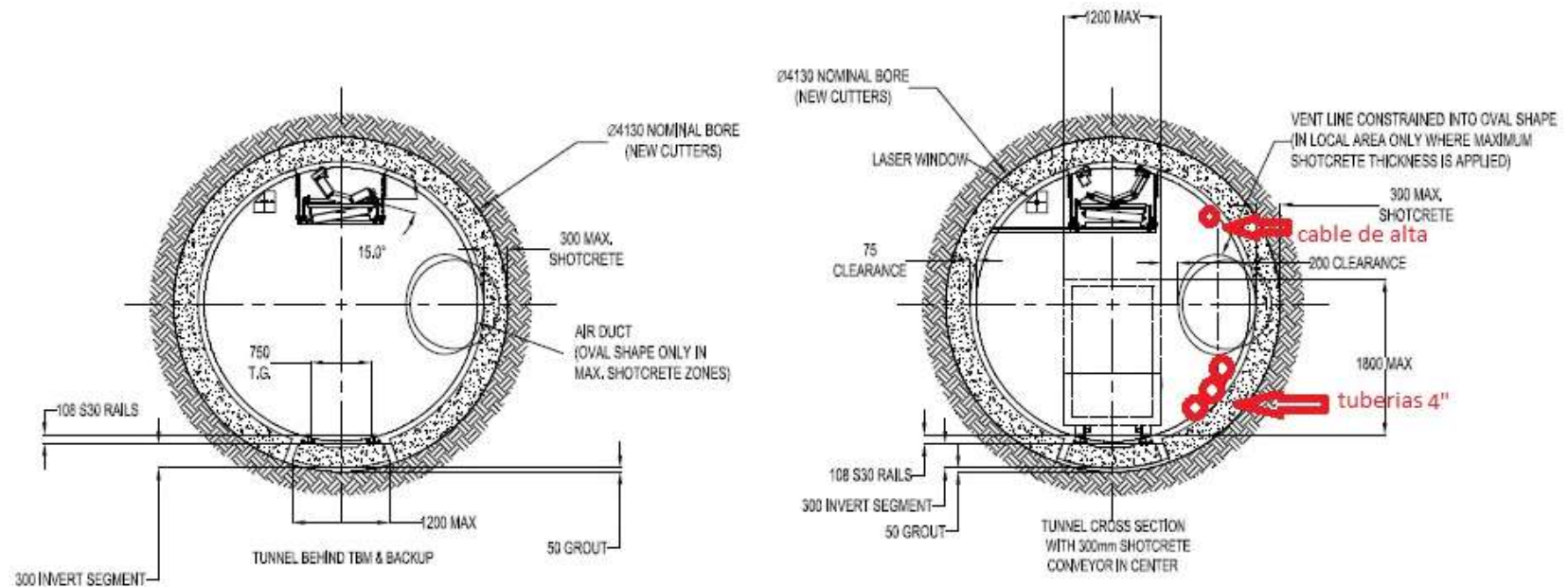
- + TBM lanzada en Junio de 2015
- + Durante la fase inicial de excavado, la calidad de la masa rocosa fue buena a regular, compuesta de brechas andesíticas con muestras de alteración
- + Valores RMR entre 50 y 58 en los primeros metros de excavación con TBM
- + Área de la corona más fracturada, juntas sub-horizontales que generaron cuñas y techos planos



Instalaciones en el Tunel

Alto Maipo

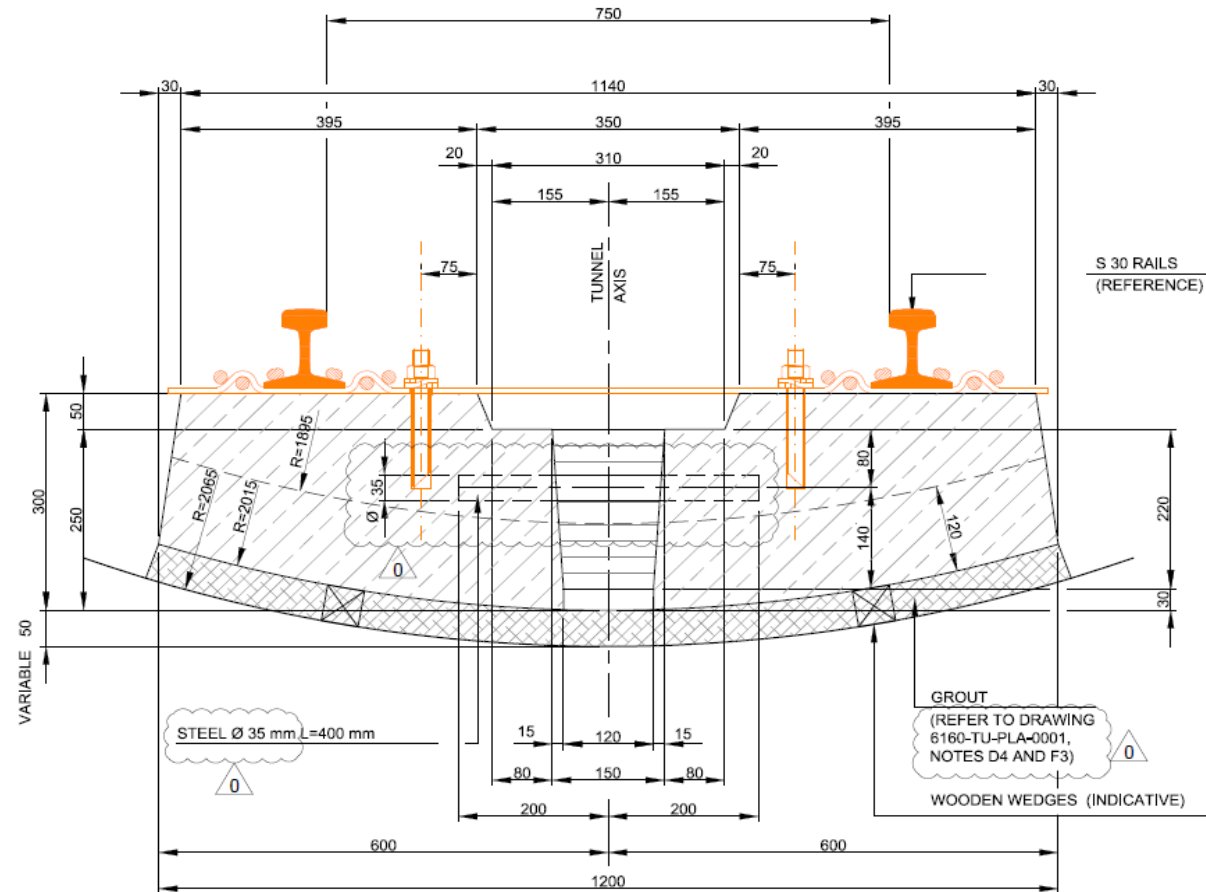
- + Dovela de Invert 3m longitud
- + Vías y traviesas
- + Cable de AT de 15kV
- + 3x Tuberías acero 4" para agua
- + Conducto ventilación 1600mm
- + Cinta transportadora de material (clave de túnel)
- + Ventana para target laser para ET de TBM



Instalaciones en el Tunel

Alto Maipo

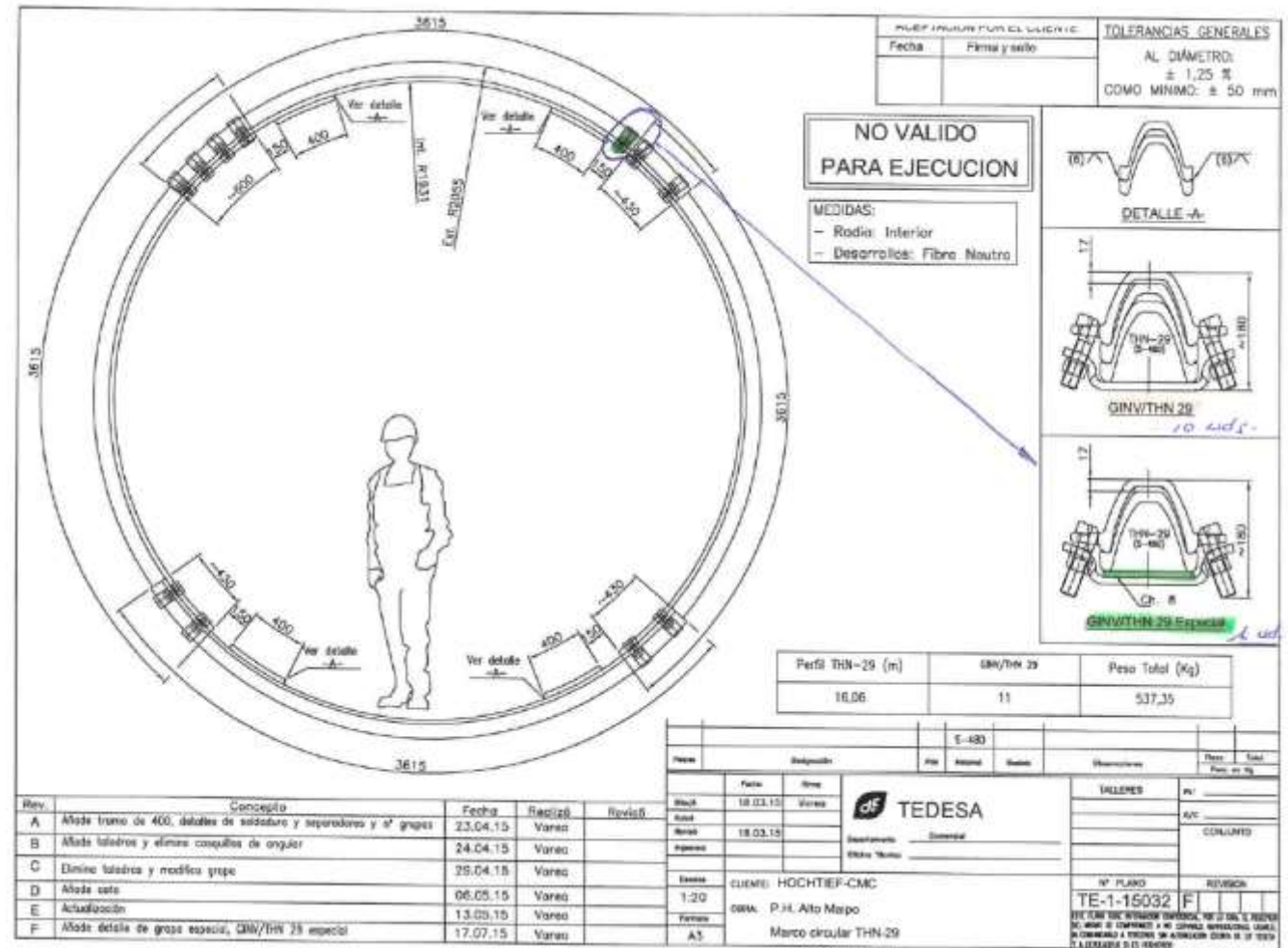
- + DOVELA INVERT:
- + 3000 x 1200 x 300 mm
- + Peso Neto 2 ton
- + Cuantia acero 152 Kg
- + Longitud dovela 3m



Instalaciones en el Tunel

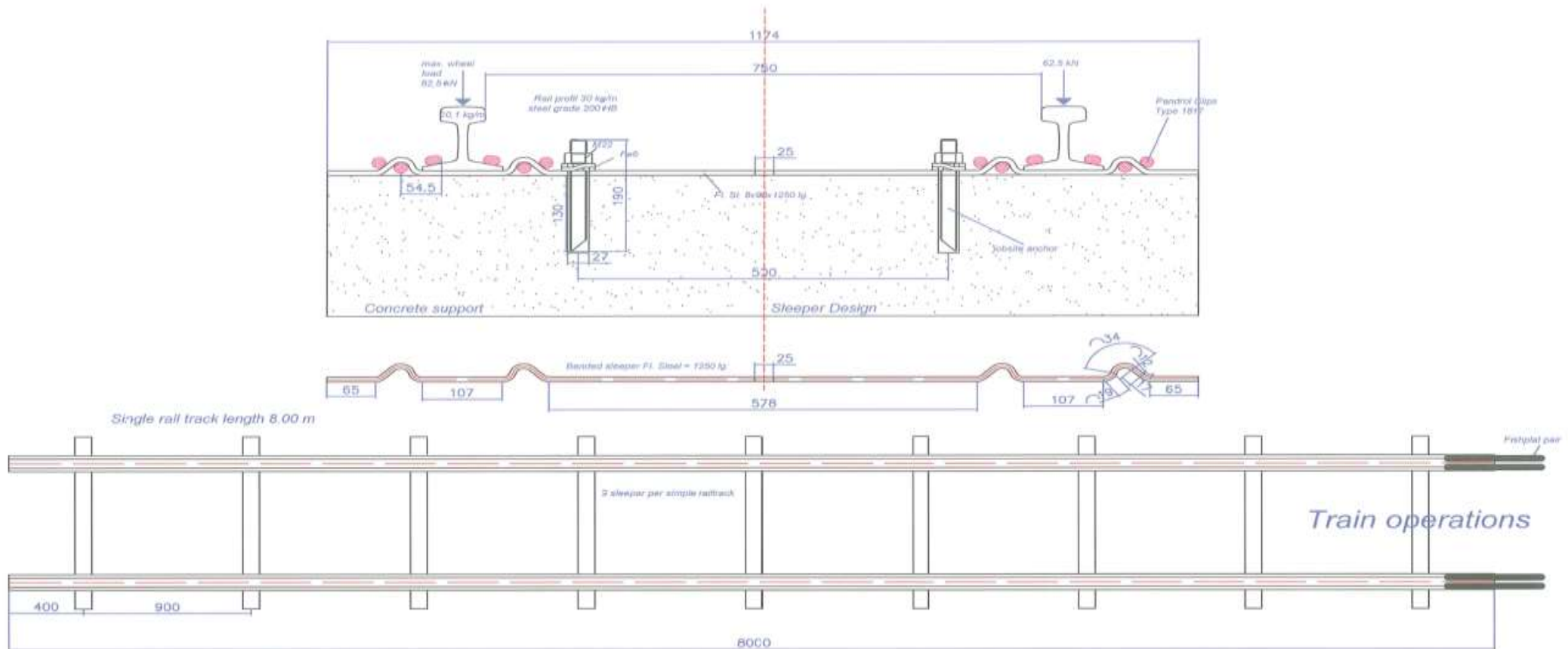
Alto Maipo

- + STEEL RING SETS TYPE TH-29
- + Peso complete (incluyendo grapas-clamps) = 538 Kg
- + Longitud de anillo complete (sin solapes) = 13 m



Instalaciones en el Tunel

Alto Maipo



Fortificación de Roca

Alto Maipo

SUPPORT TYPE	SUPPORT ELEMENT	DESCRIPTION	PATTERN
ST-I	SHOTCRETE	SH-40 without Fibers	Spot
	BOLTS	Ø22 mm resin end-anchored L=2,4 m	Spot
	MESH	150X150X6 mm	Spot
	Note. Applied max. Support to 50% of stretch length		
ST-II	SHOTCRETE	SH-40 without Fibers	50/80mm x150°
	BOLTS	Ø22 mm resin end-anchored L=2,4 m	SYSTEMATIC
	MESH	150X150X6 mm	150°
ST-III	SHOTCRETE	SH-40 without Fibers	100mm x330°
	BOLTS	Ø22 mm resin end-anchored L=2,4 m	SYSTEMATIC
	BOLTS	Ø22 mm resin end-anchored L=2,9 m	SYSTEMATIC
	MESH	150X150X6 mm	330°
ST-IV	SHOTCRETE	SH-40 without Fibers	150mm x330°
	BOLTS	Ø22 mm fully cement grouted L=2,9 m	SYSTEMATIC
	MESH	150X150X6 mm	330°
	STEEL SET	TH29 Profile	13 m/ml
ST-V	SHOTCRETE	SH-40 without Fibers	200mm x330°
	BOLTS	Ø22 mm fully cement grouted L=2,9 m	SYSTEMATIC
	BOLTS	Ø22 mm fully cement grouted L=3,4 m	SYSTEMATIC
	MESH	100X100X6 mm	360°
	MESH	100X100X6 mm	360°
	STEEL SET	TH29 Profile (100%)	13 m/ml
	FOREPOLING	Forepoling Steel bars A630-420, 32mm, 100°	Spot
	GROUT CONSOLIDATION	Grout Consolidation	Spot

Fortificación de Roca

Alto Maipo

- + Fortificación de Roca **Tipo I**- más común, malla de alambre soldado 90° y pernos de roca anclados en el extremo con resina, de 2.4 m de largo y 22 mm de diámetro
 - Posicionados en $\pm 60^\circ$ y $\pm 25^\circ$ con intervalos de 2 m
- + Fortificación de Roca **Tipo II**- compuesto por malla de alambre soldado a 150° con pernos de roca anclado en el extremo con resina
 - Posicionado en $\pm 60^\circ$ y $\pm 25^\circ$ con intervalos de 2 m



Fortificación de Roca

Alto Maipo

- + Fortificación de Roca **Tipo III**- a medida que el valor RMR se aproximó a 40 y disminuyó a 30-32, se experimentó una rotura significativa en el área del techo
 - Tipo de soporte compuesto por pernos de roca anclados en el extremo con resina de entre 2.4 a 3.9 m de largo y 22 mm de diámetro
 - Posicionado en $\pm 60^\circ$ y $\pm 25^\circ$ con intervalos de 2 m
 - Pernos puntuales a 0° con intervalos de 1 m, y malla de alambre soldado y 10 cm de hormigón proyectado plano distribuido en 165° en la corona



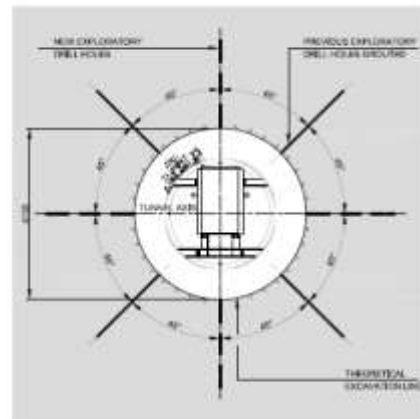
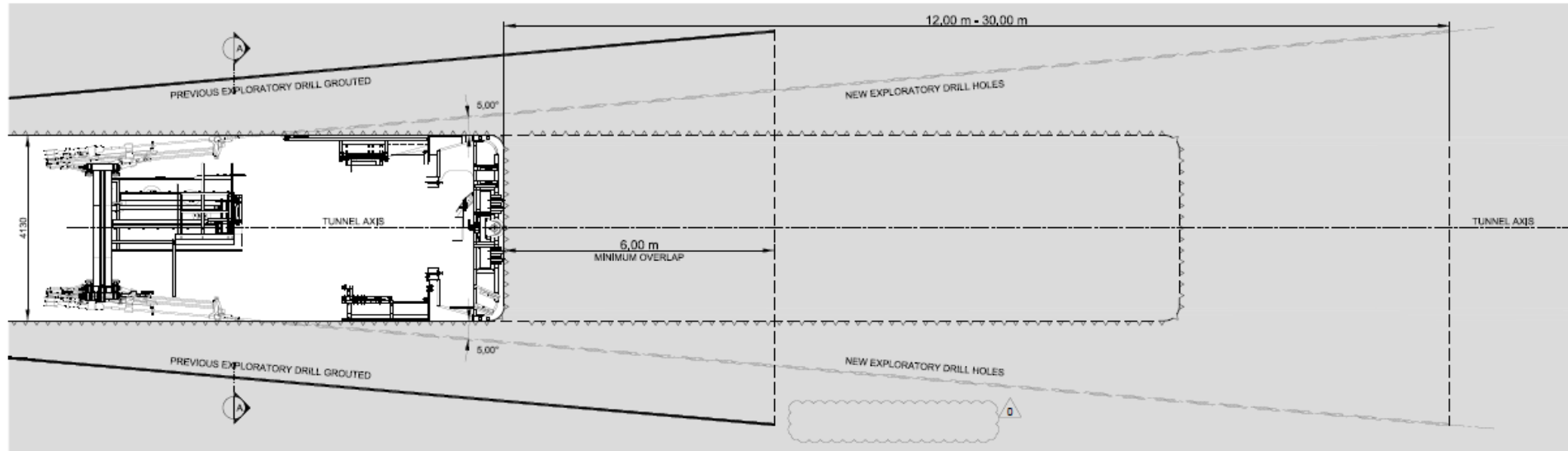
Fortificación de Roca

Alto Maipo

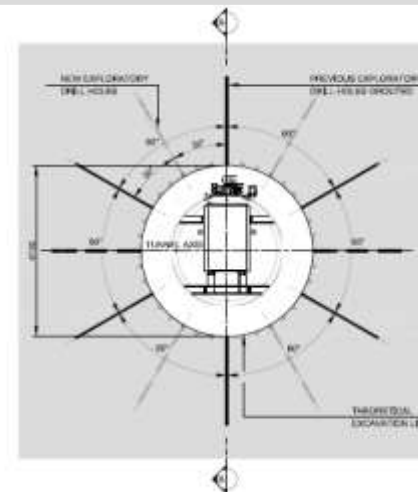
- + En cierto punto, la fortificación de roca tipo IV fue requerido. La misma consiste en la instalación de un set de acero maleable, debido a la presencia de juntas/fallas sob-horizontales (inclinada ligeramente hacia arriba)



Perforaciones Exploratorias (Probe Drill)



CROSS SECTION PROBING (TYPE 1)

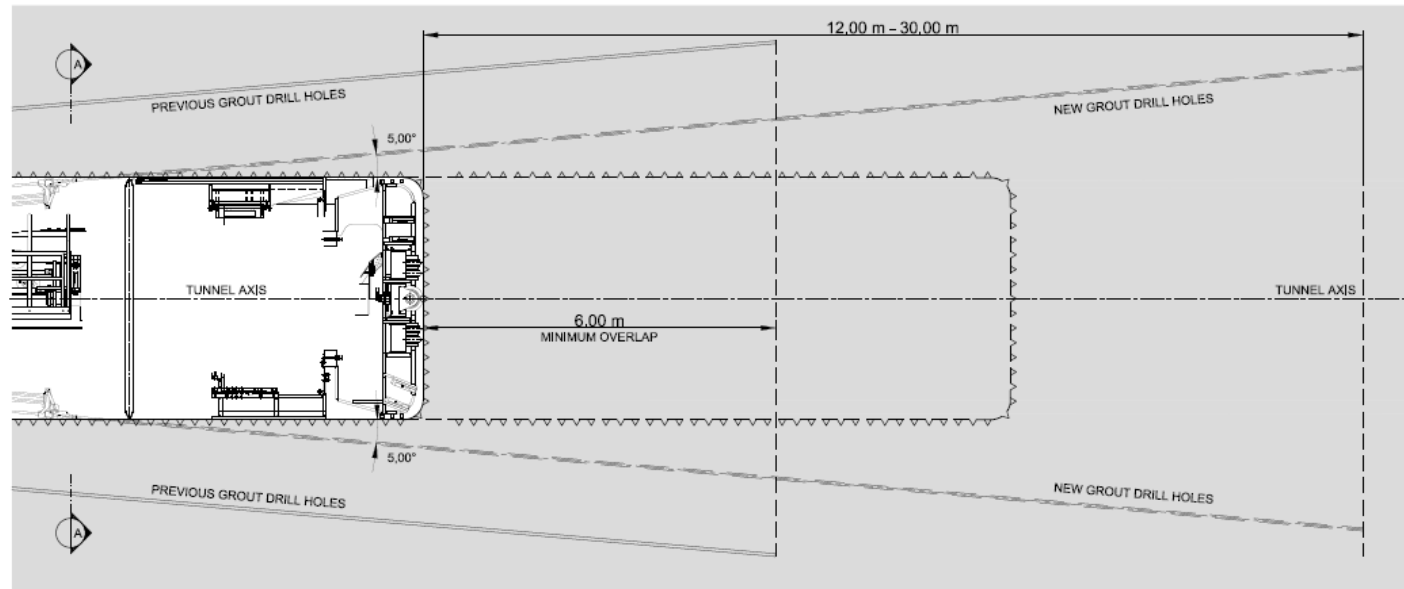


CROSS SECTION PROBING (TYPE 2)

Alto Maipo

Perforaciones Inyección

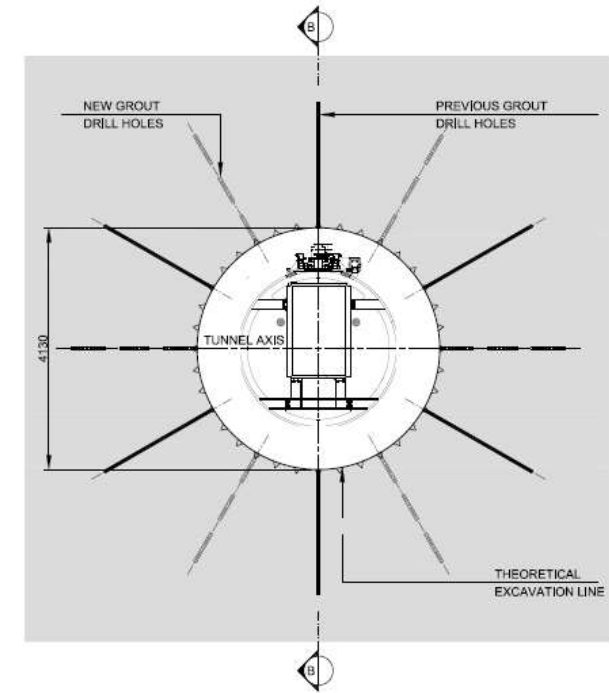
Alto Maipo



GROUTING

LONGITUDINAL SECTION

SECTION **B**
SCALE 1:50



CROSS SECTION

Excavación

Alto Maipo

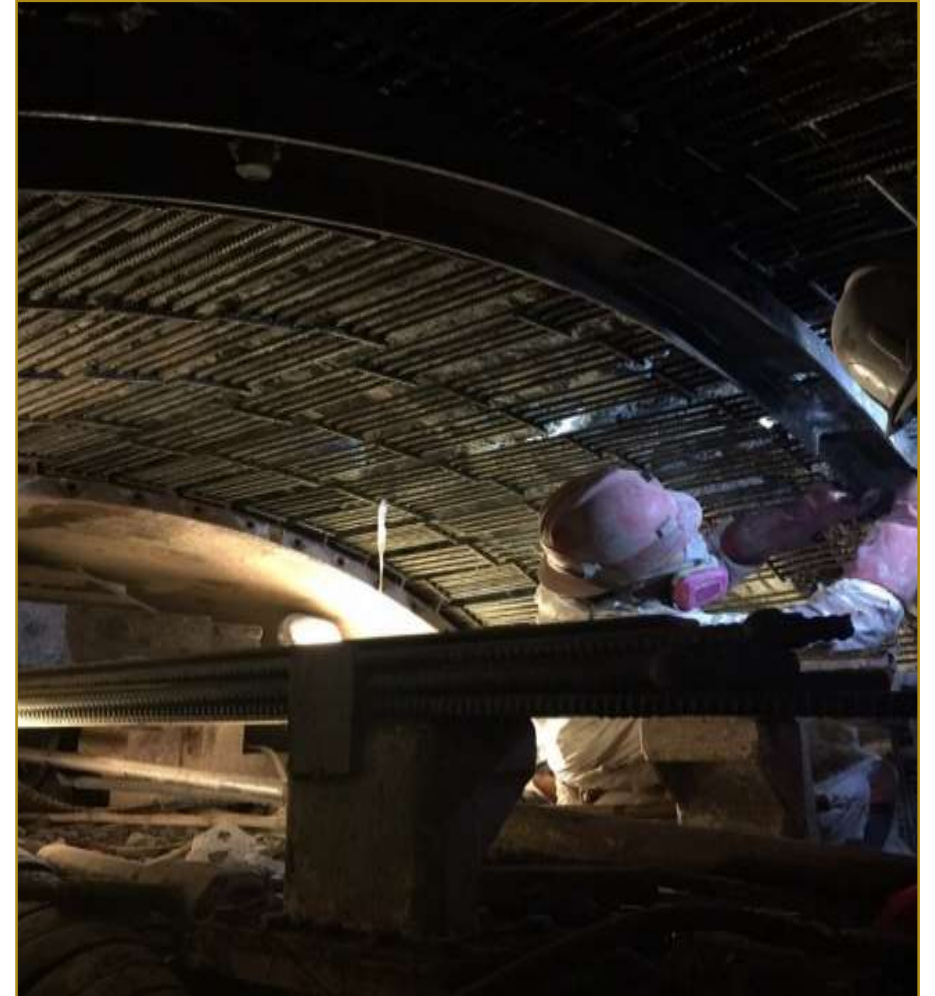
- + La TBM avanzó 106.33 m en los primeros 15 días
- + En Octubre de 2015, se detectó un desprendimiento de material de 3 m de largo, y material suelto cayó dentro de la malla. Se hizo necesario reforzar el sistema de soporte
- + La imagen muestra la pared derecha y la corona con fortificaciones del tipo III compuesto de pernos de roca anclados con resina en el extremo, pernos puntuales, malla de alambre soldado y 10 cm de hormigón proyectado plano distribuido en 165° en la corona.



Excavación

Alto Maipo

- + Los listones McNally no fueron parte del diseño de la fortificación inicialmente aprobado, pero fueron instalados en la parte superior a 150° con arcos de acero, junto con 5 cm de hormigón proyectado plano distribuido en 150° en la corona
 - Resultado de que la calidad de masa rocosa continuamente empeoraba con rocas altamente fracturadas, y mucho material cayendo durante la excavación
 - Listones usados en combinación con sets de acero TH29, que fueron capaces de contener mucha de la roca suelta.



Excavación

Alto Maipo

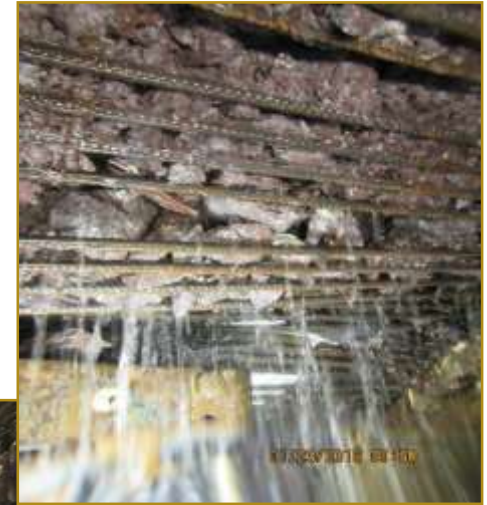
- + También fueron realizadas perforaciones de exploración para detectar presencia de agua
- + Fueron instruidas por el mandante del proyecto inyecciones de lechada de consolidación de 30 m de largo y hasta 50 bar de presión
- + Condiciones de roca: muy pobre con roca fracturada, relleno de arcilla, y entradas de agua agua debido a fallas en los trabajos de inyección inyección de lechada.



Excavación

Alto Maipo

- + La presencia de agua quitó la arcilla, causando más roturas, primero en la corona y sobre la máquina, y posteriormente en los laterales.
- + Zona de falla de 5.0 m de ancho detectada
- + Para controlar esta área, se requirió lechada lechada química
- + Un marco resistente de malla y hormigón proyectado, combinado con listones McNally y arcos de acero maleable



Fortificación de Roca desde la TBM

Alto Maipo



Fortificación de Roca desde la TBM

Alto Maipo



Fortificación de Roca desde la TBM

Alto Maipo



Fortificación de Roca desde la TBM

Alto Maipo



Operación TBM por Robbins

Alto Maipo

- + El 10/7/2017, a solicitud del mandante del proyecto, Robbins tomó control de la operación de la TBM y el sistema de cinta transportadora.
- + La operación de la TBM bajo responsabilidad de Robbins duró 21 semanas, hasta el 3/12/2017
- + El tiempo efectivo fue de 17 semanas
- + Los metros totales excavados fueron 1487m
- + Tasa de avance máximo fue de 33m/día, el 24/11/2017
- + La tasa de avance promedio fue $1487\text{m}/17\text{sem} = 87.5\text{m/sem} = \text{approx. } 10\text{m/día}$

Operación TBM por Robbins

Alto Maipo

Mejor Día

- + 33 m/día
- + 2 turnos
- + CHD RPM:
- ❖ Día 10,5 rpm
- ❖ Noche 12,5 rpm

MACHINE ACTIVITIES	Fri
1. Boring	405.0
2. Re-grip	90.0
3. Towing	80.0
4. CHD Inspection / Cutter change	0.0
5. TBM repairs	0.0
6. Maintenance	240.0
7. Conveyors	5.0
8. Services	175.0
9. Ground Support	0.0
10. Shotcreting	15.0
11. Conveyor Structure	40.0
12. Derailment	0.0
13. Electrical Breakdown	20.0
14. Mechanical Breakdown	0.0
15. Survey	0.0
16. High Voltage Supply	0.0
17. Other	10.0
17.1 Gas alarm	0.0
17.2 Fire Alarm	0.0
17.3 Housekeeping	0.0
17.4. Ventilation	0.0
17.5 Dewatering	0.0
18. Delay not attributed to TBM	360.0
Overall Total (minutes)	1440
Operating Time (minutes)	575
Daily delay not attributable to TBM (%)	25.0%

Delay not attributed to TBM	Fri
Shotcrete Plant Breakdown	
Waiting for Shotcrete	40.0
Waiting for Enzan	
Cooling water plant failure	
HV Cable extension	300.0
Waiting for materials for Ground Support	
Meyco pump failure	20.0
Not staff for Pipe extension	
Probe Drilling	
Piping in Tunnel	
Not Train Operator	
Shotcrete mixer not working	
Cooling Water low pressure	
Totals (minutes)	360

Operación TBM por Robbins

Alto Maipo

Potenciales causas de retraso del Contratista

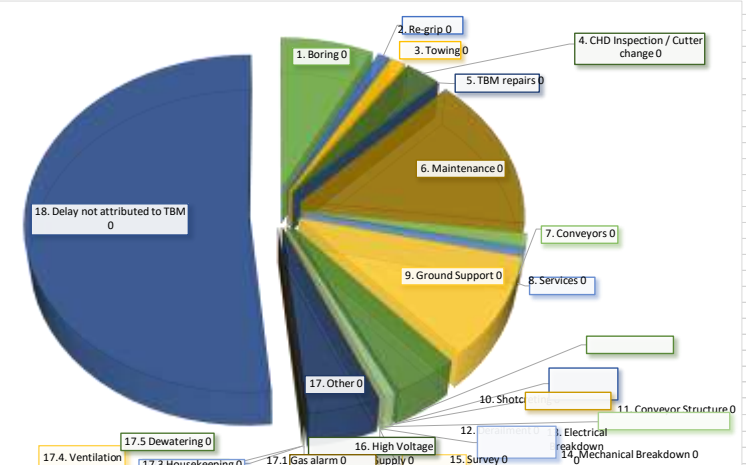
1. Inicio de excavación de la TBM el próximo 12 de Julio
2. Espera por dovelas
3. Pernos / Malla / Hormigón proyectado
4. Levantamiento del túnel
5. Soporte de terreno del túnel
6. Entradas de agua
7. Falla de la planta (fuera del túnel)
8. Extensión del cable de Alto Voltaje
9. Apagado del Alto Voltaje
10. Otro (Inducción de Seguridad)
11. Falla en el Sistema de evacuación de agua del túnel
12. Pruebas de Megger de los motores principales #2 y #4
13. Secado de los motores principales #2 y #4
14. Reconexión de los motores principales #2 y #4
15. Transporte al portal Va4
16. Cierre del sitio de trabajo (Nieve)
17. Visitantes en L1
18. Turno de Producción solo diurno

Operación TBM por Robbins (Alto Maipo)

Hoja de
Producción
semanal



Robbins													WEEKLY BORING PRODUCTION RECORD - ALTO MAIPO													Start Date	
													TBM No.: 139-396-1													07/31/17	
													THE ROBBINS COMPANY													Va4 Start P.K. 1040.52	
ADVANCE DATA													Hours (Cutterhead)													Accumulative Data	
Date	7/31/17	8/1/17	8/2/17	8/3/17	8/4/17	8/5/17	8/6/17		Date	7/31/17	8/1/17	8/2/17	8/3/17	8/4/17	8/5/17	8/6/17	Total	Weekly (m/hr)	2.66								
Day	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Total	Stop	281.6	282.3	283.8	284.1	286.2	287.4	290.2		To date Average (m/hr)	2.07								
Start	1079.80	1081.98	1086.04	1087.19	1092.92	1095.60	1101.74		Start	280.8	281.6	282.3	283.8	284.1	286.2	287.4		This Week CHD HRS	9.4								
Total (m)	3.07	2.18	4.05	1.15	5.73	2.68	6.14	25.01	Total	0.8	0.7	1.5	0.3	2.1	1.2	2.8	9.4	Total CHD HRS	29.60								
													CUTTERS													This Week Bored (m)	
													CHANGED													Total Meters Bored	
													MOVED													61.22	
													Totals (mins)														
													Week														
MACHINE ACTIVITIES													CUTTERS														
1. Boring	70.0	65.0	120.0	35.0	155.0	85.0	210.0	740.0	7.3%	1. Boring 0																	
2. Re-grip	20.0	5.0	20.0	0.0	20.0	10.0	20.0	95.0	0.9%	2. Re-grip 0																	
3. Towing	10.0	10.0	20.0	5.0	40.0	15.0	25.0	125.0	1.2%	3. Towing 0																	
4. CHD Inspection / Cutter change	220.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	280.0	2.8%	4. CHD Inspection / Cutter change 0																	
5. TBM repairs	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	5. TBM repairs 0																	
6. Maintenance	0.0	290.0	240.0	240.0	240.0	240.0	240.0	1490.0	14.8%	6. Maintenance 0																	
7. Conveyors	0.0	35.0	0.0	0.0	40.0	40.0	10.0	125.0	1.2%	7. Conveyors 0																	
8. Services	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	30.0	0.3%	8. Services 0																	
9. Ground Support	220.0	130.0	130.0	40.0	240.0	100.0	135.0	995.0	9.9%	9. Ground Support 0																	
10. Shotcreting	0.0	0.0	220.0	140.0	0.0	30.0	45.0	435.0	4.3%	10. Shotcreting 0																	
11. Conveyor Structure	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	11. Conveyor Structure 0																	
12. Derailment	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	12. Derailment 0																	
13. Electrical Breakdown	0.0	0.0	40.0	0.0	15.0	15.0	0.0	70.0	0.7%	13. Electrical Breakdown 0																	
14. Mechanical Breakdown	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	10.0	0.1%	14. Mechanical Breakdown 0																	
15. Survey	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	15. Survey 0																	
16. High Voltage Supply	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	16. High Voltage Supply 0																	
17. Other	0.0	110.0	30.0	0.0	70.0	215.0	55.0	480.0	4.8%	17. Other 0																	
17.1 Gas alarm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	17.1 Gas alarm 0																	
17.2 Fire Alarm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	17.2 Fire Alarm 0																	
17.3 Housekeeping	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	17.3 Housekeeping 0																	
17.4 Ventilation	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	17.4 Ventilation 0																	
17.5 Dewatering	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	17.5 Dewatering 0																	
18. Delay not attributed to TBM	900.0	795.0	620.0	980.0	610.0	660.0	640.0	5205.0	51.6%	18. Delay not attributed to TBM 0																	
Overall Total (minutes)	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	10080	100.0%																		
Operating Time (minutes)	320	80	160	40	215	110	315	1240	12%																		
TBM Available Time (mins)	<i>(Subtract Contractor Delay time from total time)</i>							4875.0	48%																		
TBM Boring time (mins)	<i>(Divide minutes boring into sum of TBM Available time)</i>							740.0	15.2%																		



		Boring Analysis							Average	
		7/31/17	8/1/17	8/2/17	8/3/17	8/4/17	8/5/17	8/6/17		
Total Mins		70.0	65.0	120.0	35.0	155.0	85.0	210.0	105.7	
metres		3.07	2.18	4.05	1.15	5.73	2.68	6.14	3.57	
Min/metre		22.83	29.79	29.60	30.43	27.03	31.69	34.22	29.37	
		Advance Rate							Average	
		7/31/17	8/1/17	8/2/17	8/3/17	8/4/17	8/5/17	8/6/17		
m/hr		2.63	2.01	2.03	1.97	2.22	1.89	1.75	2.07	
mm/min		43.80	33.57	33.78	32.86	36.99	31.55	29.22	34.54	

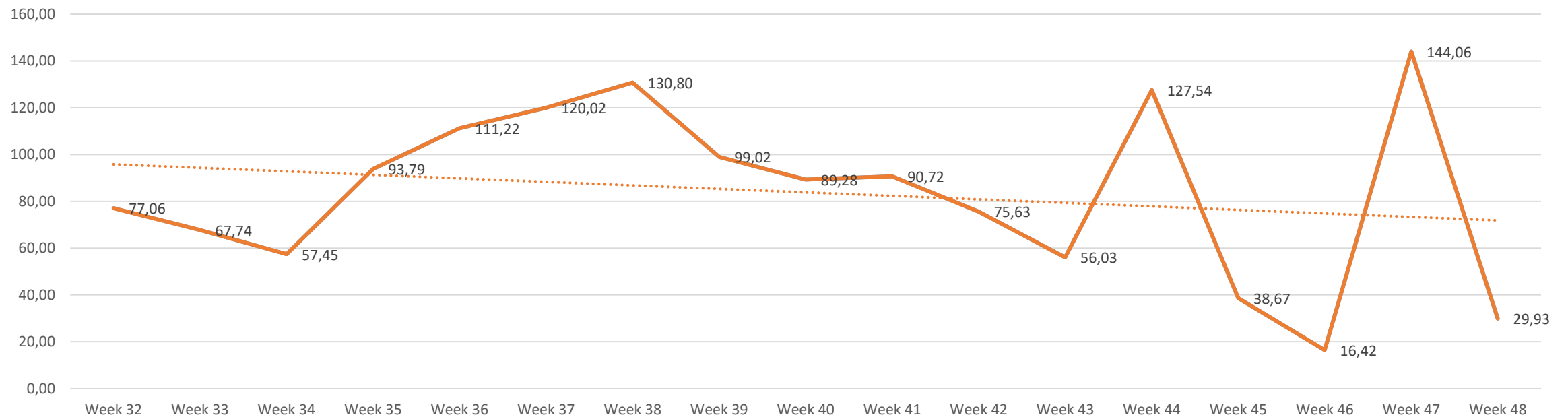
COMMENTS

Monday 31/07/2017, Lunch outside the tunnel (the lunch was not provided inside the TBM).
 Monday 31/07/2017, Production shift from 8:00am to 18:00pm.
 Tuesday 1/08/2017, H.V. Power Supply Off.
 Wednesday 2/08/2017, H.V. Power Supply Off.
 Thursday 3/08/2017, Laser Bracket hits Tunnel Wall, Theodolite moved forward.
 Thursday 3/08/2017, H.V. Power Supply Off.
 Friday 4/08/2017, H.V. Power Supply Off.
 Saturday 5/08/2017, Not Water Supply (Breakdown in the Water inlet line).

Operación TBM por Robbins (Alto Maipo)

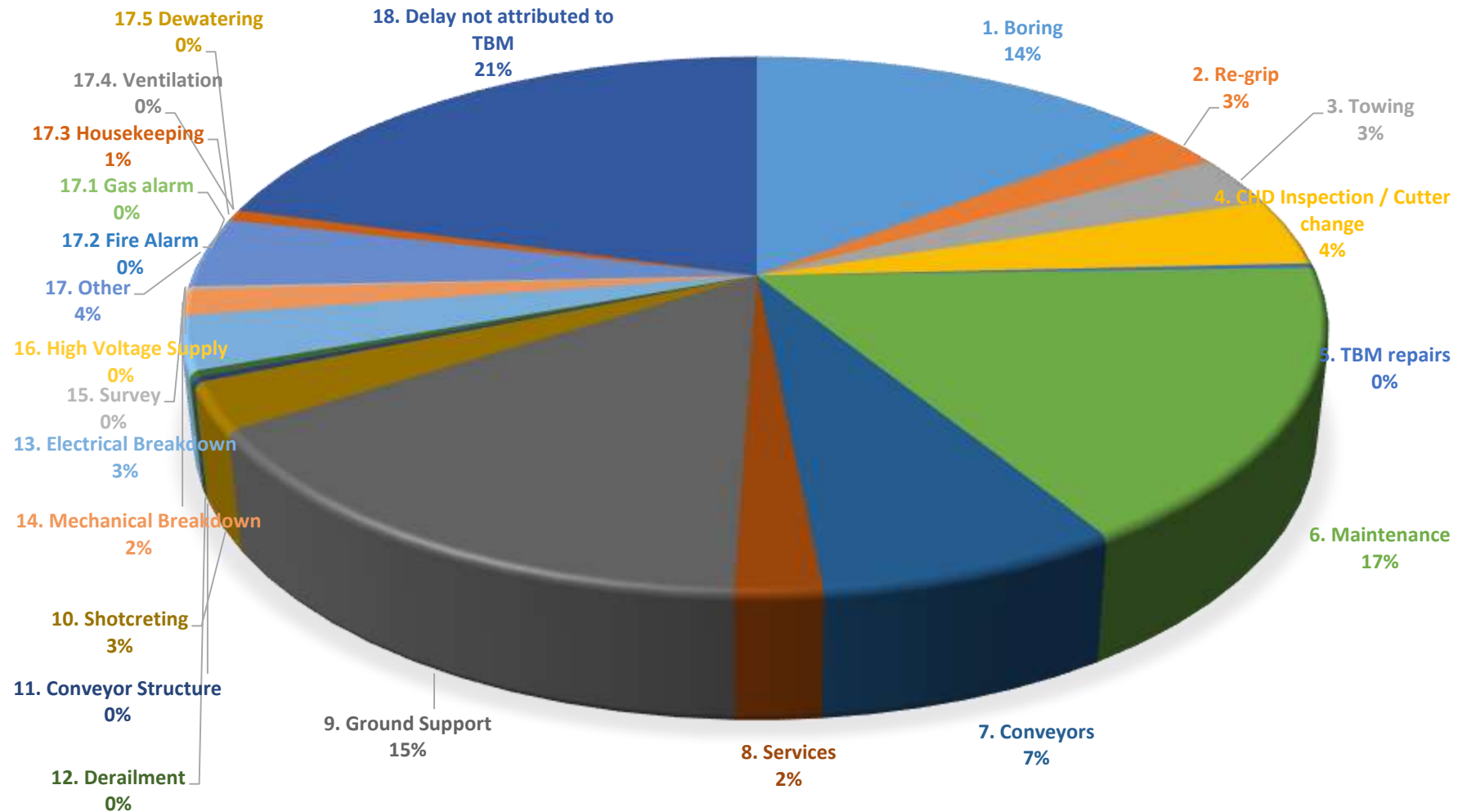
Tasa de Excavación semanal promedio:

Performance semanal de la TBM (metros/semana)



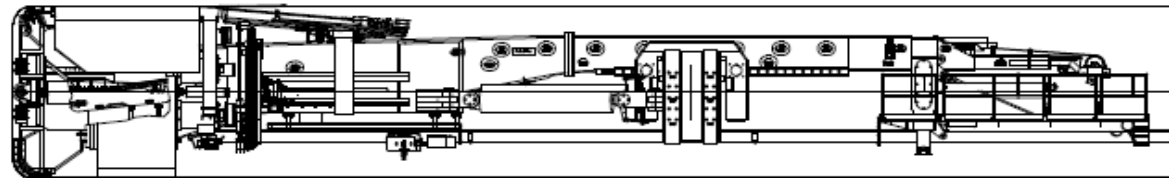
Operación TBM por Robbins (Alto Maipo)

DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO DE PRODUCCIÓN DE LA TBM

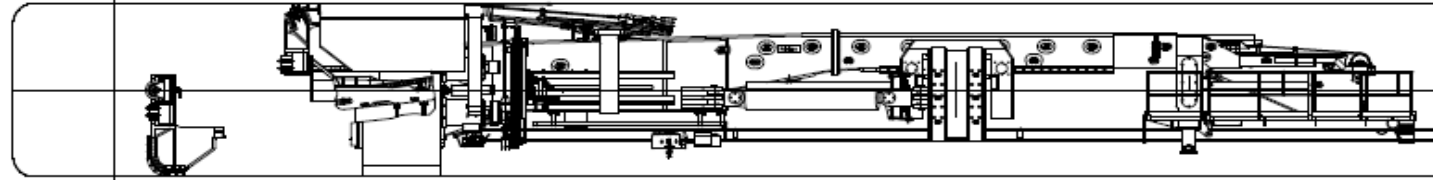


Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel

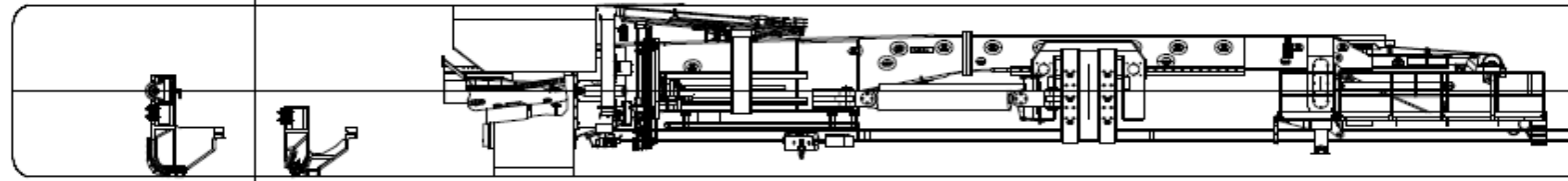
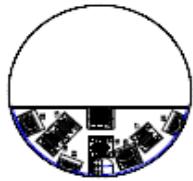
Alto Maipo



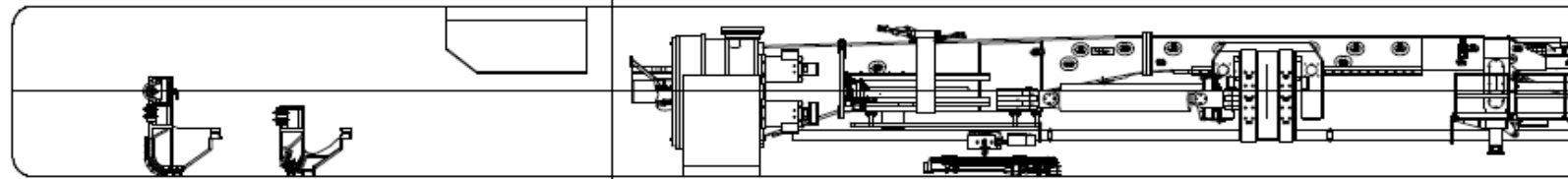
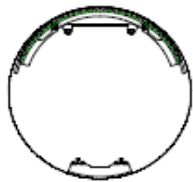
STEP #1 TBM READY TO BE DISASSEMBLED



STEP #2 MOVE TBM 3M BACKWARDS AND UNBOLT LOWER CUTTERHEAD AND BRACE IT. MOVE TBM 3M BACKWARDS.



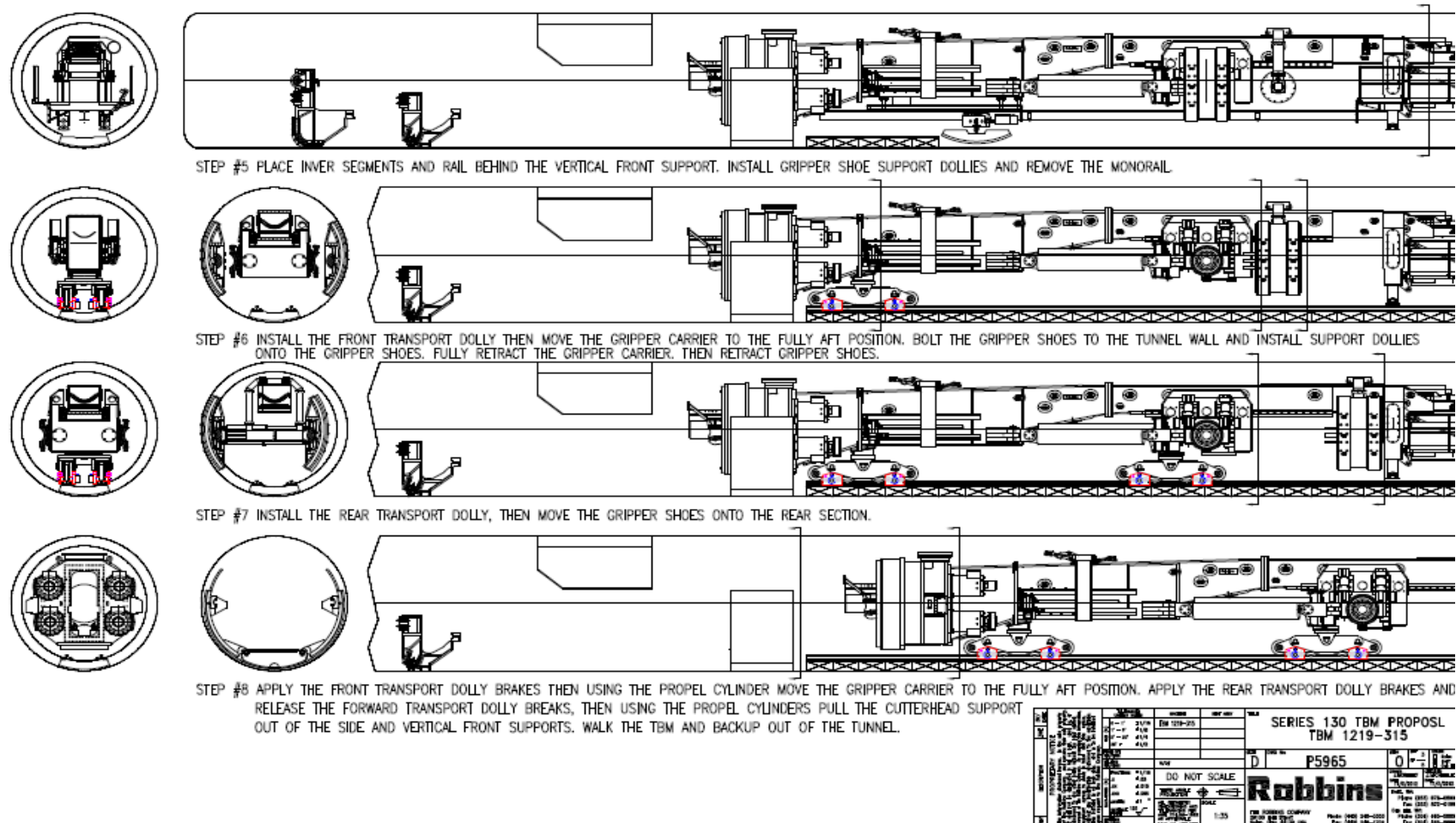
STEP #3 ROTATE THE UPPER CUTTERHEAD TO THE INVERT, UNBOLT IT AND BRACE IT. MOVE TBM 3M BACKWARDS AND UNBOLT ROOF AND ROOF SIDE SUPPORTS AND SECURE IT THE TUNNEL CROWN.



STEP #4 MOVE TBM 4.5M BACKWARDS AND REMOVE PROBE DRILL, ROOF DRILL, AND RING BEAM ERECTOR.

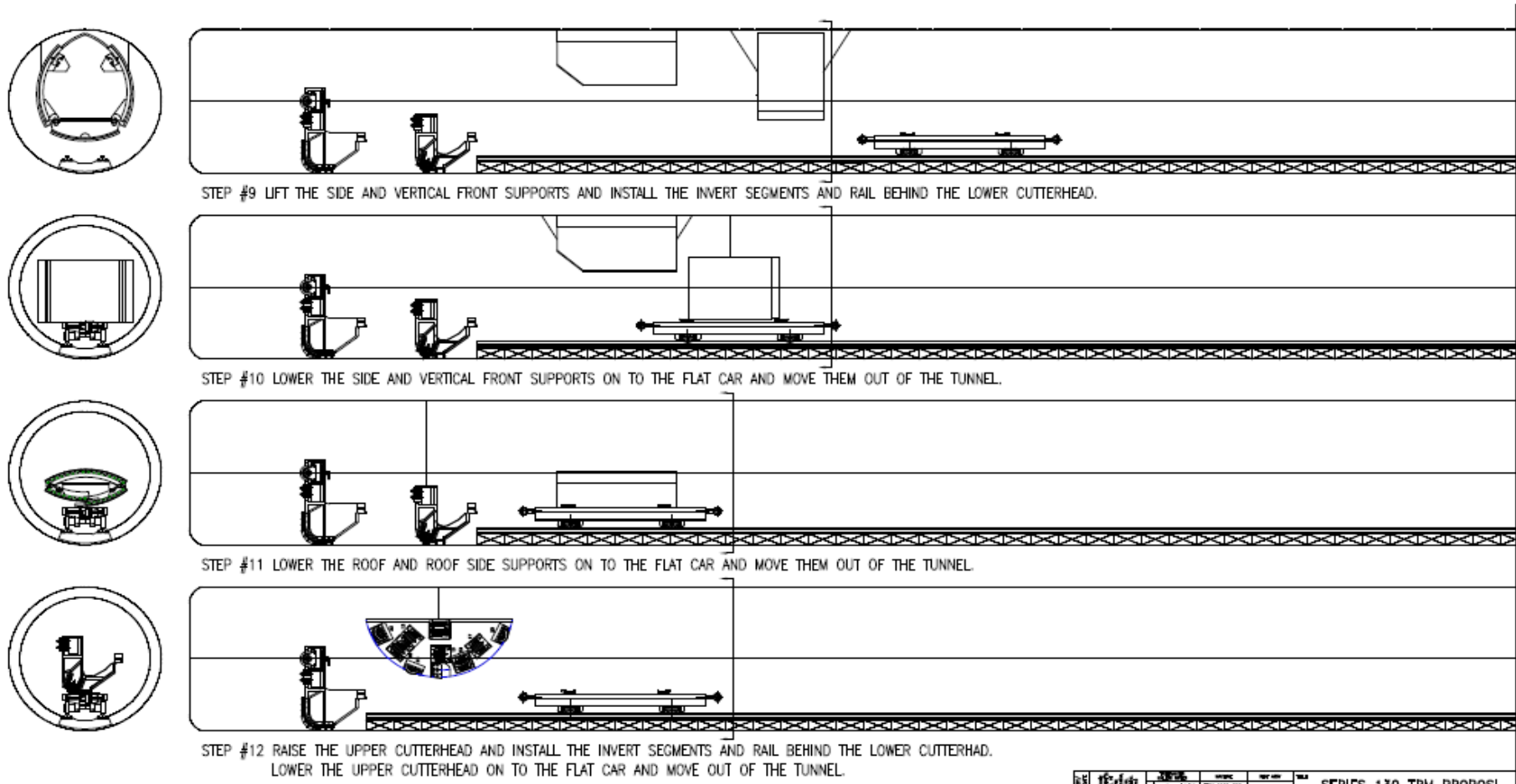
Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel

Alto Maipo



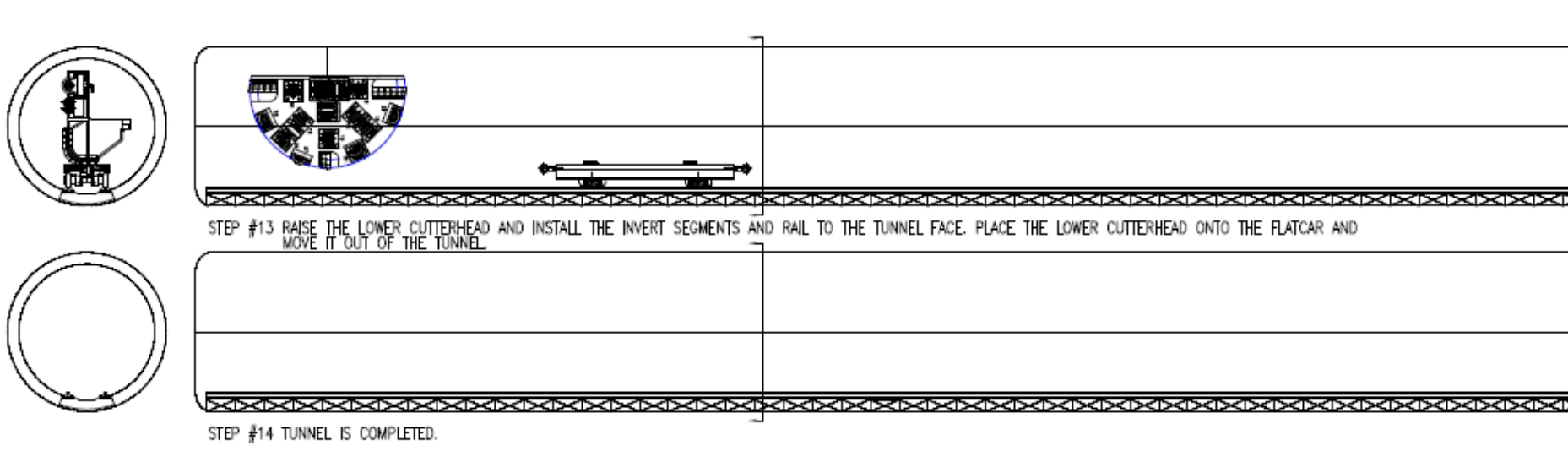
Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel

Alto Maipo



Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel

Alto Maipo



Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel

Alto Maipo



Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel

Alto Maipo



Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel

Alto Maipo



Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel

Alto Maipo



Desmontaje y retiro de la TBM desde el túnel

Alto Maipo



Conclusiones del Proyecto (1)

Alto Maipo

- + Bajo condiciones de terreno difíciles, la operación de la TBM requirió escalado manual continuo y limpieza manual a fin de remover material suelto causado por las cuñas formadas por las juntas sub-horizontales en la corona del túnel



Conclusiones del Proyecto (2)

Alto Maipo

- + La TBM Main Beam de tipo abierto suministrada por Robbins permitió un acceso rápido directamente detrás de la cabeza de corte para la instalación de soportes de roca con elementos como pernos de roca, mallas de acero, dovelas, hormigón proyectado y el sistema McNally, haciendo de esta máquina una más confiable e idónea para rocas con calidad de competente a ligeramente fracturadas.



Conclusiones del Proyecto (3)

Alto Maipo

- + La retirada de la TBM del túnel El Volcan se realizo según previsto y en un plazo muy razonable de 4-6 semanas.
- + Algunas modificaciones fueron sugeridas:



Modificaciones de la TBM

Alto Maipo

- + Como resultado de los retos enfrentados, algunas mejoras fueron implementadas en la TBM:
 - Extensión en el frente de la máquina de los soportes verticales y laterales
 - Nuevo taladro de sonda
 - Sistema mecánico para el retiro de bloques grandes
 - Nuevo diseño del sistema de evacuación de agua
 - Fueron instaladas nuevas áreas de almacenaje en el sistema backup de la TBM
 - Nueva configuración del robot para el hormigón proyectado
 - Cuatro carros adicionales fueron añadidos al sistema de backup



Los Cóndores

Proyecto Hidroeléctrico



Visión General

Los Cóndores

- + Mandante: ENEL Chile
- + Contratista: Ferrovial Agroman
- + Planta de Generación Hidroeléctrica de 150 MW Los Cóndores
- + Túnel de aducción de 12 km (7.5 mi)
- + Tasa de flujo de diseño de 25 m³/s.
- + Localizada en la cuenca superior del Río Maule
- + El proyecto espera un promedio anual de producción de energía de 642 GWh



Especificaciones de la TBM

Los Cóndores

- + TBM Doble Escudo de Ø4.56 m (15 ft)
Número Serial DS157–399
- + TBM llamada “Clementina”
- + Cuatro motores eléctricos controlados por variadores de frecuencia (VFD)
- + Perforaciones de sondeo sistemáticas a 40m del frente de excavación como requerimiento del proyecto



Especificaciones de la TBM

Los Cóndores



Especificaciones de la TBM

Los Cóndores

- + Empuje máximo de la cabeza de corte sobre los 22,000 kN a 450 bar
- + Torque máximo de la cabeza de corte: sobre 1,800 kN
- + Cabeza de corte de carga posterior, que utiliza 30x discos de corte Robbins de 17" con bloqueo por cuña
- + Capacidad de desgaste en los cortadores de calibre: 19 mm a 12 mm
- + La cabeza de corte fue equipada con capacidades de sobrecorte (over-cutting) :
 - Puede aumentar la dimensión de excavación entre 25mm y 50mm en el radio, correspondiente a un incremento en el túnel de 50mm o 100mm en el diámetro
 - Reduce el riesgo de que la TBM quede atrapada



Especificaciones de la TBM

Los Cóndores

- + La máquina fue diseñada específicamente para ser desmontada y removida de un rumbo ciego (túnel sin extremo de salida)
- + No tiene posibilidad de avance al final de cada recorrido
- + Después de completar el trabajo, la TBM se (enterrada) en una cámara dentro del túnel el backup fue recuperado a través del túnel completado con los segmentos alineados.



Performance de la TBM

Los Cóndores

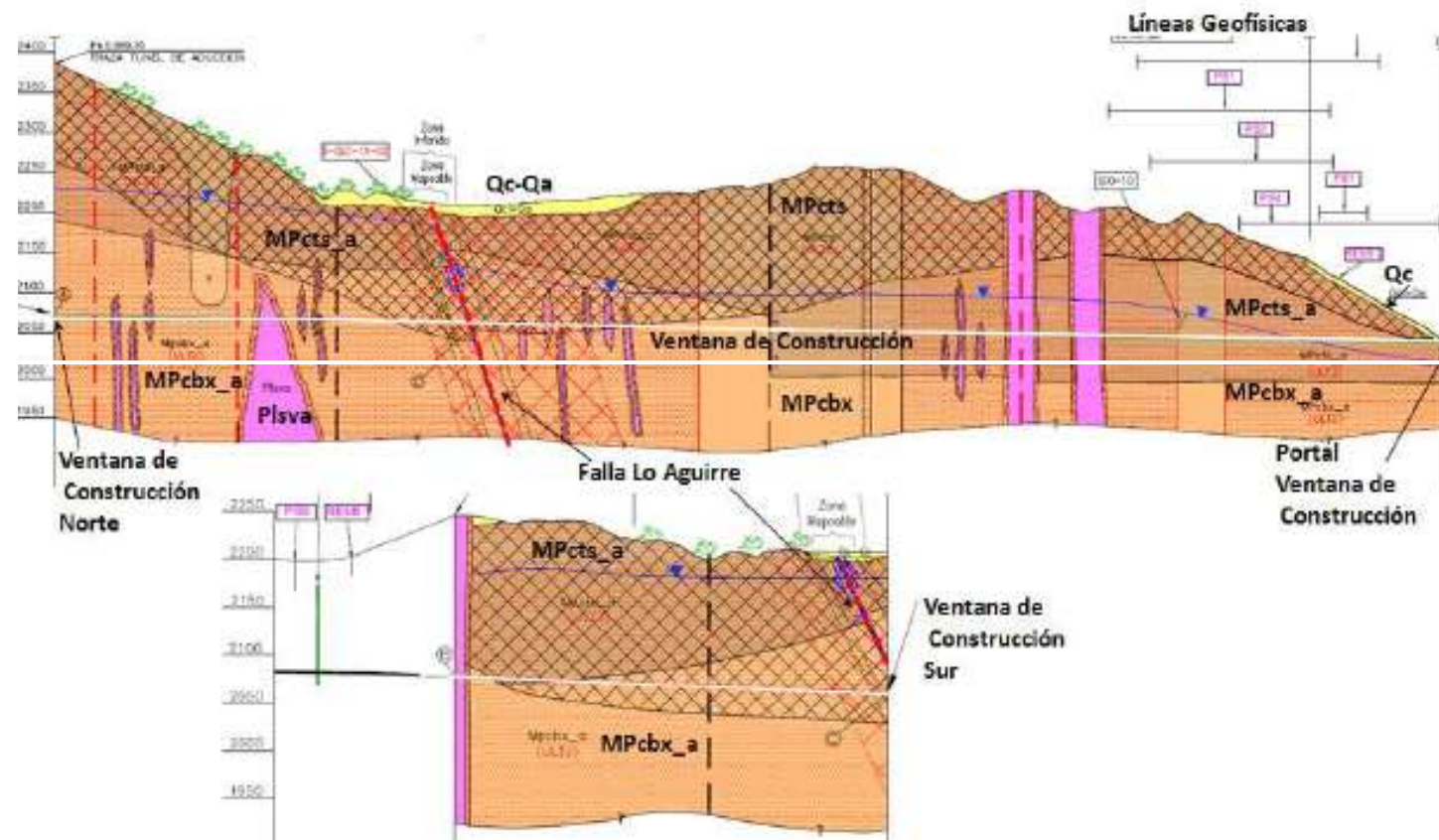
- + El inicio de excavación fue el 28 de Mayo de 2016
- + La fecha de finalización fue el 24 de Abril de 2019
- + Distancia excavada 7,030m
- + Tiempo del proyecto 35 meses
- + Tiempo de excavado 22 meses (13 meses detenida debido a las condiciones del terreno)
- + **Promedio de avance** sin la detención del proyecto es **320m/mes**
- + Promedio de avance con la detención del proyecto es 200m/mes
- + **Mejor tasa de avance** fue 40 anillos/día (**48m/día**)



Geología

Los Cóndores

- + Profundidad máxima de 500 m
- + Arenisca, tufas, y brechas piroclásticas
- + Fuerzas hasta 100 MPa UCS
- + Al menos dos zonas de fallas



Excavación

Los Cóndores

- + Condiciones de terreno cambian rápidamente
- + Condiciones de frente mixto
- + Ingresos de agua inesperados y discontinuos de hasta 8,000 l/min
- + El agua quitó la Riolita erosionada, dejando el frente de excavación inestable
- + Grandes ingresos de agua y terreno deslizante
- + Sobre todo, el cambio fue con suelos arcillosos como Tufa, Tufita y Fangolita (TBM atrapada).



Falla de la tolva (Muck Chute) (1)

Los Cóndores

- + La TBM encontró terreno mixto con andesitas muy fuertes (entre 150 a 200 Mpa) y depósitos de arena hidrotermal muy fina provenientes de riolita
- + Condiciones de terreno, sobre el promedio de tamaño de la unidad rotatoria, y capacidad reducida de la tolva de descarga forzaron a detener la TBM por tres semanas
- + En Septiembre de 2016, la tolva de descarga fue dañada y reemplazada en dos ocasiones



Falla de la tolva (Muck Chute) (2)

Los Cóndores

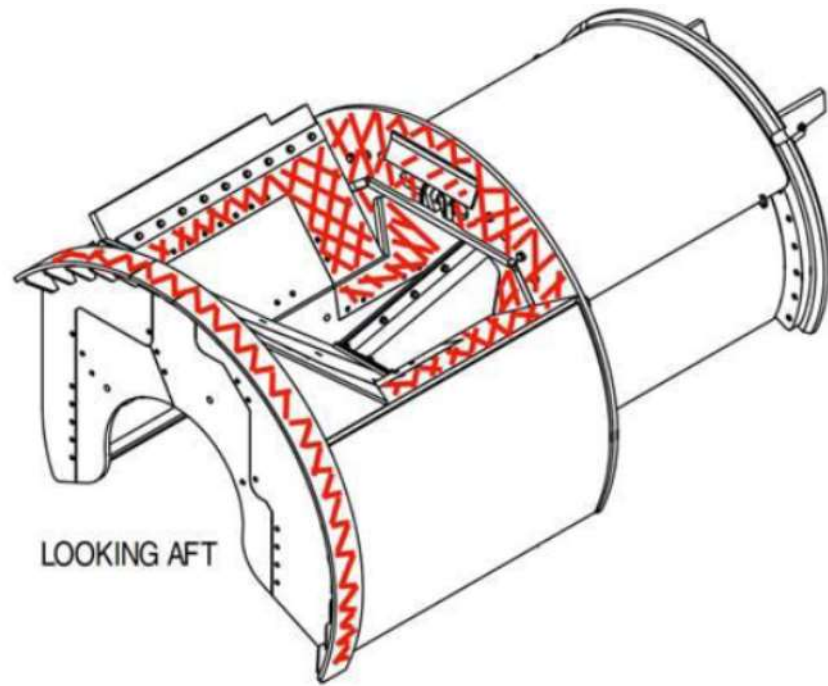
SOLUCIÓN:

- + Soldadura antidesgaste (ver modelos 3D)
- + Reemplazar el acero ASTM-A36 con el ASTM-A572 GR50
- + Aumentar la inclinación de la placa de impacto
- + Refuerzo estructural
- + Inyección de agua de alta presión para automáticamente limpiar la tolva de descarga
- + Uso del aditivo antiadherente/obstructor de Condat TFA7:
 1. Reducción de adherencia y torque,
 2. El suelo se adhiere a la entrada de la tolva de descarga, obstruyéndola.
- + Protocolo de inspección de la cabeza de corte y personal para asegurar que la cabeza de corte estuviese siendo limpiada a profundidad, incluyendo la revisión de los bucket lips (unas de cangilones) y los barrasde grill (grill bars) con más frecuencia.



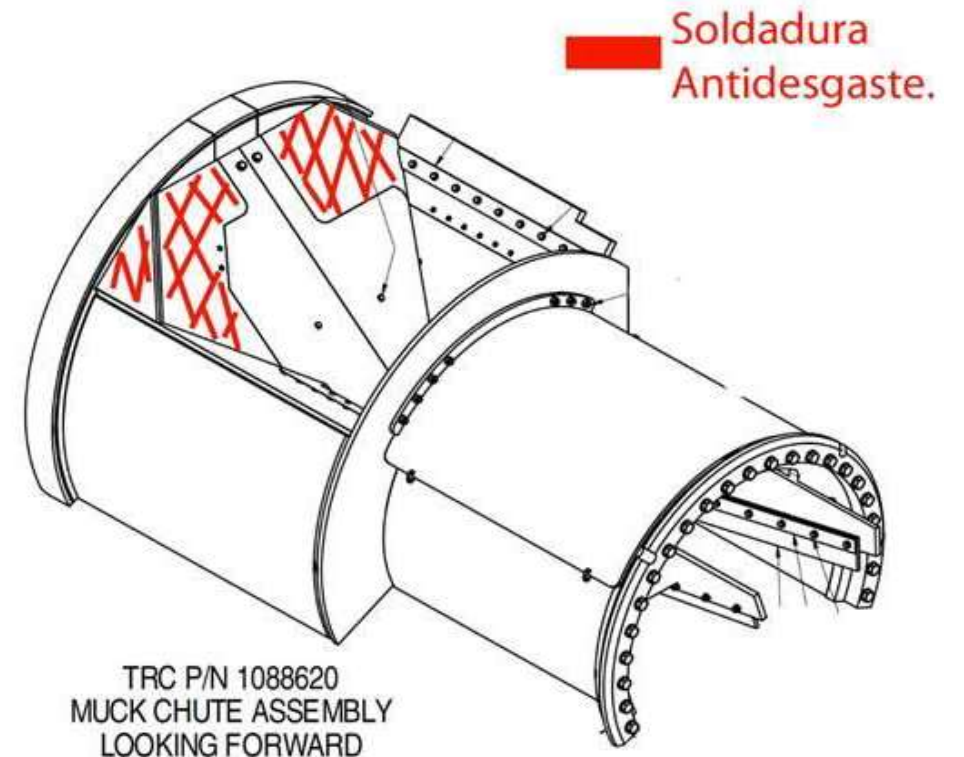
Falla de la tolva (Muck Chute) (3)

Los Córdones



Zonas 1, a reforzar con soldadura anti-desgaste

■ Soldadura Antidesgaste



Elevado caudal de agua (1)

Los Cóndores

- + Aumento constante pero discontinuo de ingresos de agua – hasta un máximo de 8,000 l/min
- + La presencia de agua agravó el problema de estabilidad en el frente de excavación
- + Ver VIDEO →



Elevado caudal de agua (2)

Los Cóndores

+ MÉTODOS INTENTADOS (dependiendo de las condiciones):

- Añadir aditivos anti-dilución a la lechada
- Inyectar silicato de sodio a la lechada en las boquillas de inyección
- Tapar orificios con resinas (geofom) para drenar selectivamente los anillos (despresurizar); (despresurizar); entre el carro 1 y el escudo, sacar el agua y reemplazar con lechada + acelerante
- Selectivamente drenar la masa rocosa próxima
- Realizar más pre-excavaciones de lechada en el frente y en los alrededores de la TBM

Atrapamiento de la TBM (queezing)

Concepto General:

- + Las máquinas TBMs escudadas pueden quedar atrapadas en terrenos apretados debido a una excesiva convergencia del túnel bajo una tensión elevada en el sitio.
- + Las trabas con TBM generalmente coinciden con paradas de la máquina largas (el terreno tiene suficiente tiempo de sufrir desplazamientos sustanciales)
- + La convergencia excesiva del terreno por sobre la dimensión designada de sobre excavación se traduce en presión del terreno contra el escudo y una alta resistencia por fricción del escudo que, en algunos casos, no puede ser superada por el sistema de empuje de la TBM.
- + Esto puede ocasionar que la TBM quede trabada, lo cual implica retrasos significativos y requiere de trabajo y tareas de excavación manuales riesgosas para destrabar la TBM

Atrapamiento de la TBM (1)

Máquina atrapada en Los Cóndores

- + El atrapamiento de una TBM también puede ocurrir debido a las inyecciones de lechada ejecutadas incorrectamente con riesgo que se forme mezcla terreno-lechada y “pegue” y bloquee la cabeza de corte y los escudos al terreno.
- + La máquina LC1 se detuvo por 6 meses en un intento de detener o reducir los ingresos de agua, a través de evacuaciones de agua intensivas e inyecciones de lechada.
- + El drenado a través de los escudos no funcionó debido a la presencia de fangolita impermeable e muy plástica
- + El uso de geoflex/geoflex y lechada a través de los escudos (trabajos liderados por ENEL) resultaron en una condición donde la TBM se “adhirió” al terreno, y como consecuencia, quedó atrapada.

Atrapamiento de la TBM (2)

Máquina atrapada en Los Cóndores

- + La TBM DS nunca se detuvo porque quedara atrapada ([Ver VIDEO Gerede Project](#))
- + La TBM encontró una sección de terreno extremadamente suelto y deslizante con grandes contenidos de arena y agua, por lo que el avance de la TBM bajo esas condiciones adversas fue considerado muy riesgoso.
- + La máquina LC1 se detuvo por 6 meses para detener o reducir el ingreso de agua, a través de evacuaciones de agua intensas e inyecciones.
- + El drenado a través de los escudos no funcionó debido a la presencia de fangolitas
- + El uso de geoflex/geoflex y lechada a través de los escudos (trabajos liderados por ENEL) terminaron por “pegar” la TBM al terreno, y como consecuencia, quedó atrapada.
- + Los intentos de Ferrovial/Robbins para reiniciar el giro de la cabeza de corte resultaron infructuosos debido a las inyecciones de lechada realizadas, las cuales literalmente habían logrado adherir la cabeza de corte al terreno

Atrapamiento de la TBM (VIDEO)

Máquina atrapada en Los Cóndores



Atrapamiento de la TBM (3)

Máquina atrapada en Los Cóndores

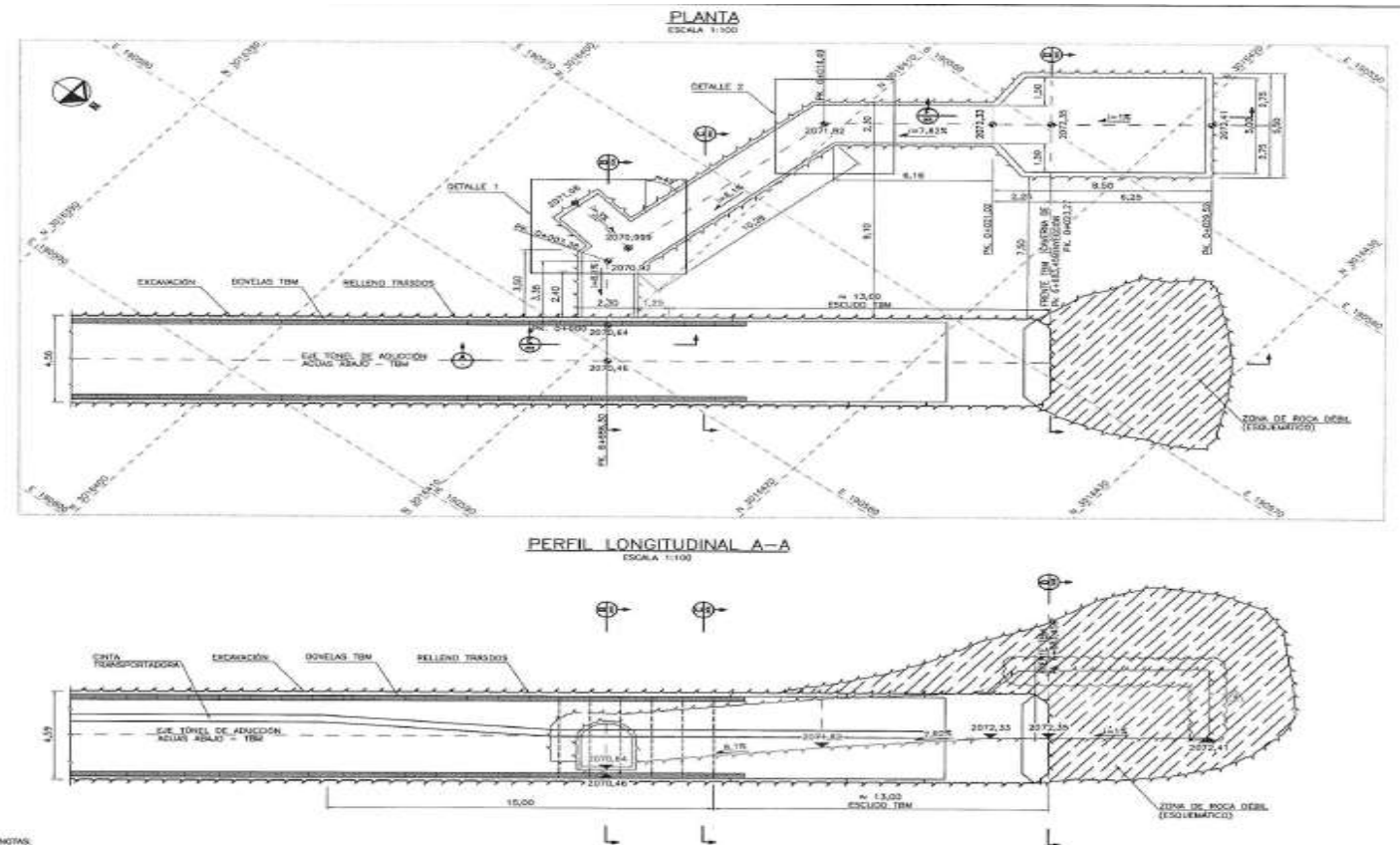
- + Enel/Ferrovial (asesorado por SELI) decidieron detener la máquina y usar un túnel bypass para consolidar el terreno frente a la cabeza de corte antes de seguir avanzando.
- + La construcción del túnel bypass paralelo desde el cual se realizarían trabajos de consolidación al frente de la TBM, incluyendo inyecciones de lechada, espuma y resinas de poliuretano.



Atrapamiento de la TBM (4)

Máquina atrapada en Los Cóndores

+ Los intentos de detener el ingreso de agua con inyecciones de lechada desde la cámara del túnel bypass fueron infructíferos debido a la presencia de fangolita



Atrapamiento de la TBM (5)

Máquina atrapada en Los Cóndores

- + A partir del túnel bypass que estaba en construcción, se decidió excavar manualmente un túnel bypass pequeño y perpendicular que permitiera acceso rápido y directo a la cabeza de corte que permitiera iniciar trabajos de limpieza “manuales” y extensivos en la cabeza de corte para intentar remover la mezcla terreno-lechada presente.



Atrapamiento de la TBM (6)

Máquina atrapada en Los Cóndores

- + El personal logró limpiar la cabeza de corte, pero solo de manera parcial (solo las partes a las cuales se tenía acceso), pero se volvió aparente que otras medidas sería necesarias para poder liberar la cabeza de corte.



Atrapamiento de la TBM (7)

Máquina atrapada en Los Cóndores

+ Una mezcla de acciones tales como:

1. Presión excepcional,
2. Trabajos adicionales de limpieza en la cabeza de corte
3. Intentos de rotar la cabeza con gatos hidráulicos (2 x 200 ton enerpacs)
4. Pequeñas explosiones controladas permitieron que eventualmente la cabeza de corte quedara libre.



Atrapamiento de la TBM (8)

Máquina atrapada en Los Cóndores

- + Trabajos adicionales (y tiempo) fueron requeridos para liberar la parte frontal de la máquina y poder recomenzar el movimiento del sistema backup.



Atrapamiento de la TBM (9)

Máquina atrapada en Los Cóndores



Atrapamiento de la TBM (10)

Máquina atrapada en Los Cóndores



Atrapamiento de la TBM (11)

Máquina atrapada en Los Cóndores

+ Después de dos meses de trabajo fuerte, el 18 de Marzo de 2017, la máquina reinicio las operaciones de excavación.



Conclusiones del Proyecto

Los Cóndores

- + Inestabilidad del frente (running ground),
- + Agua intermitente (hasta 8000 lpm fueron medidos)
- + Dificultad para realizar sondeos e inyecciones
- + Construcción de bypass y caverna



Conclusiones Finales

Resumen de Presentación

Alto Maipo & Los Cóndores

- + La cordillera de los Andes presenta retos a todos los tipos de máquina con diferentes soluciones exitosas
 - Listones McNally en Alto Maipo
 - Dovelas de concreto en el túnel de Los Cóndores
- + Métodos comunes como las perforaciones de sonda e inyecciones de lechado, pueden informar a los operadores de la condición del terreno en frente, permitiendo realizar ajustes



Resumen de Presentación

Alto Maipo & Los Cóndores

- + Máquina TOPO (Alto Maipo) adecuada para roca competente y túneles sin anillos
- + Máquina Doble Escudo (Los Cóndores) donde hay expectativa de largos tramos con roca fracturada y fallas de longitud corta a media.
- + Máquina XRE (Escudo Simple) donde se espere operar en modo roca (abierto) o suelos (cerrado) y/o contener agua en caudales y bajo presiones importantes (hasta 30 bares estático)



Resumen de Presentación

Alto Maipo & Los Cóndores

- + Los tiempos de operación VERSUS paradas tiene una influencia muy grande en el desempeño de las maquinas (tiempo de giro de rueda de corte puede ser apenas 15% del tiempo total).
- + Operadores bien entrenados y equipos con protocolos definidos para situaciones de terreno difíciles son clave para un proyecto exitoso.
- + Máquinas híbridas como la TBM XRE pueden ser una opción para superar algunos de los desafíos del proyecto (presión de agua, elevados caudales de agua, estabilidad del frente de excavación..)



Preguntas?



Carlos Lang
Director of Projects and Engineering
The Robbins Company
lanc@robbinstbm.com



CTES

COMITÉ DE TÚNELES Y
ESPACIOS SUBTERRÁNEOS
DE CHILE

EXPOSITOR

Nombre

Cargo

Datos de contacto