

Procedimiento SAM-PR-21

Procedimiento:	Procedimiento de cementación de pre y post-excavación			
Versión:	Preparado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha:
A	OA/BS			05-08-2015
B	BS	SM/UG	KG	18-11-2015
C	AT	AC	JV	13-05-2017

Tabla de contenido

1.	Objetivo	2
2.	El propósito de la inyección	2
3.	Instrucciones para las inyecciones	2
4.	Criterios técnicos para la inyección de lechada y niveles de activación	3
5.	Método general para aplicación de lechada de pre-excavación	4
6.	Perforación exploratoria y lechada	5
6.1.	Perforaciones para túneles D&B	5
6.2.	Perforaciones para túneles con TBM	6
7.	Proceso de cementación	7
8.	Control del resultado y lechada complementaria	7
9.	Pautas generales para el procedimiento de post-inyecciones	8
9.1.	Geometría de perforaciones y configuración de la cortina de inyección	8
9.2.	Proceso de inyección	9
10.	Pruebas de presión de agua	9
11.	Modificaciones y cambios de procedimiento	11

1. Objetivo

Este documento describe el procedimiento general y las directrices técnicas para controlar los trabajos de estabilidad y/o impermeabilización de túneles.

Los trabajos de impermeabilización, realizados por el contratista, contemplan la aplicación de lechada de cemento al macizo rocoso, la que será definida por Alto Maipo durante la excavación de las obras.

Las especificaciones técnicas de la lechada y del sistema de perforación utilizado dependen de las condiciones locales y serán diferentes para campañas de pre-excavación (pre-grouting) y de post-excavación (post-grouting).

Para este proyecto, se espera que la mayoría de las obras de cementación sean ejecutadas como inyecciones de pre-excavación, sólo excepcionalmente se realizará post-grouting como alternativa o complemento durante la excavación de túneles.

Este documento describe el procedimiento para aplicación de pre-grouting en túneles excavados con D&B y TBM.

Las instrucciones son de carácter general y tendrán que ser ajustadas de acuerdo a las condiciones locales.

2. El propósito de la inyección

El método de inyección de pre-excavación es utilizado para reducir la alta permeabilidad e infiltraciones de agua a fin de mejorar las condiciones de excavación. Además de reducir la afluencia de agua al túnel, el pre-grouting también puede ser aplicado para mejorar la estabilidad general de macizo rocoso. El procedimiento de post-grouting se aplicará excepcionalmente en caso de ser necesario la ulterior reducción de filtraciones de agua detrás de la frente para efectos de continuar con los trabajos de excavación.

3. Instrucciones para las inyecciones

La Ingeniería de Alto Maipo (SAM) instruirá los trabajos de las inyecciones a realizar según las condiciones locales en la sección del túnel, en base a un criterio acordado con el Mandante. Este criterio puede ser modificado en la medida que sea necesario, a solicitud del Mandante o por recomendación de SAM.

La instrucción de inyecciones será expedida y entregada al contratista como “Instrucción del Mandante”, y complementada con requisitos técnicos para el proceso y la ejecución de la inyección, incluyendo detalles o planos de referencia si es que fuesen necesarios. Las Instrucciones del Mandante normalmente serán elaboradas sobre la base del presente documento, pero eventualmente podrán indicar otros medios de inyección, adaptándose a las condiciones específicas del terreno que necesita grouting, mezclas de prueba u otras razones

que requieran modificar el concepto de inyección.

Una copia de estas instrucciones de inyecciones será entregada a la Inspección Técnica de Obra (ITO), quien se encargará de supervisar los trabajos según procedimientos independientes e informar de los resultados.

La instrucción del Mandante deberá complementarse con el formulario que figura en el apéndice 1. En este documento se incluirán la ubicación, longitud e inclinación de las perforaciones, relación agua/cemento de la lechada, cantidad máxima de lechada, presión máxima de inyección, GIN y otros datos relevantes para la zona de trabajo

4. Criterios técnicos para la inyección de lechada y niveles de activación

El procedimiento de inyecciones se establece como medida para reducir la permeabilidad del macizo rocoso y la infiltración de agua en el túnel, ya sea por razones constructivas o de estabilidad.

La Ingeniería del Mandante instruirá inyecciones de pre-excavación cuando lo considere necesario para reducir la infiltración de agua en la frente del túnel, o cuando sea necesario mejorar la estabilidad del mismo. En caso de ser requeridas inyecciones de post-excavación, éstas también serán instruidas por la Ingeniería del Mandante y aplicarán a la sección excavada del túnel.

Por regla general, la necesidad de implementar inyecciones de pre-excavación se determina en base a las perforaciones de exploración, salvo que se decida implementar pre-inyecciones en forma sistemática, en cuyo caso no se requieren perforaciones de exploración adicionales. En el caso de pre-inyecciones sistemáticas, se deberá dejar registro de dos de las perforaciones para inyecciones, de la misma manera que si se tratara de perforaciones de exploración normales.

Si no es el caso, esto es, si no se ha decidido implementar preinyecciones sistemáticas, se debe seguir el siguiente procedimiento para la perforación exploratoria:

- Si una perforación de exploración es obligatoria, el agujero debe ser perforado en la línea del túnel.
- Si se visualiza descarga de agua en estas perforaciones, dos perforaciones más se realizarán como parte del paraguas de inyección.

En los túneles, donde se sospecha se encontrará agua, las perforaciones de exploración serán en las mismas direcciones que las perforaciones de inyección, en los lugares donde es más probable la presencia de agua. El nivel de activación se establecerá sobre la base de las observaciones y las infiltraciones de agua de fracturas abiertas en la frente, y perforaciones exploratorias, cada una de 21-30 m de longitud.

Los siguientes valores deberán activar las instrucciones de pre-inyecciones:

- Al menos 2,5 l/seg desde cualquier perforación.
- Al menos 2,5 l/seg de tres perforaciones.
- Al menos 0,8 l/seg en cualquier perforación y la presión del agua al menos 5 bar en la perforación.
- Al menos 0,5 l/seg en cualquier perforación y la presión del agua al menos 8 bar en la perforación.

Lo siguiente también puede activar pre-inyecciones:

- Permeabilidad medida mayor que 5 Lugeon.
- Zona débil y/o roca fracturada, donde la consolidación del macizo rocoso se considere necesario.

El nivel de activación para la aplicación de este procedimiento de inyección será continuamente re-evaluado conjuntamente por el Mandante y su Ingeniería, además dependerá de varios factores, tales como la excavación del túnel en declive o inclinación, superficie o ubicación profunda en el túnel, el total de agua entrando en el túnel, estabilidad/calidad de macizo rocoso delante de la frente del túnel, etc.

Además, el nivel de activación será modificado con el avance de la frente en el túnel y los resultados obtenidos de inyección. La re-evaluación del nivel de activación incluirá una comparación de las cantidades de lechada/perforación/tiempo y el resultado alcanzado por cada campaña de inyección será realizado por la Oficina Técnica de SAM.

5. Método general para aplicación de lechada de pre-excavación

Normalmente se realizará una perforación exploratoria por delante de la frente, con una superposición de 4-5 m y el resultado de esa exploración deberá desencadenar acciones de inyección.

Detalles complementarios pueden ser especificados en una instrucción hecha a medida que puede establecerse para cada lugar o situación o parte de la sección del túnel. Sobre la base de los resultados de las perforaciones exploratorias y los criterios locales de inyecciones, el siguiente procedimiento se aplicará cuando la inyección de pre-excavación es instruida por SAM:

- Medir la infiltración de agua en las perforaciones exploratorias.
- Medir la presión de agua in situ.

- Realizar ensayos Lugeon cuando sea especificado.
- Comprobar la dirección de la zona de rodamiento de agua desde la perforación exploratoria.
- Perforar y realizar el lavado con agua de las perforaciones antes de iniciar las inyecciones, en conformidad con las especificaciones técnicas.
- Control de las inyecciones y re-inyección (en caso de ser necesario) como se describe en la instrucción de SAM.

SAM recopila datos de inyecciones, informes y aprueba los trabajos de inyección.

6. Perforación exploratoria y lechada

6.1. Perforaciones para túneles D&B

Se utilizará equipo de perforación de percusión para las perforaciones de exploración e inyección, a no ser que SAM requiera otro método.

Además de los sondajes exploratorios especificados en la sección 5, las siguientes exploraciones pueden ser ejecutadas para verificar la dirección de la zona con alta permeabilidad, si se observan:

- Se realiza una perforación en cada uno de los hombros de la excavación, de 9-12 m de largo, con inclinación positiva de 45°, ver figura 1.

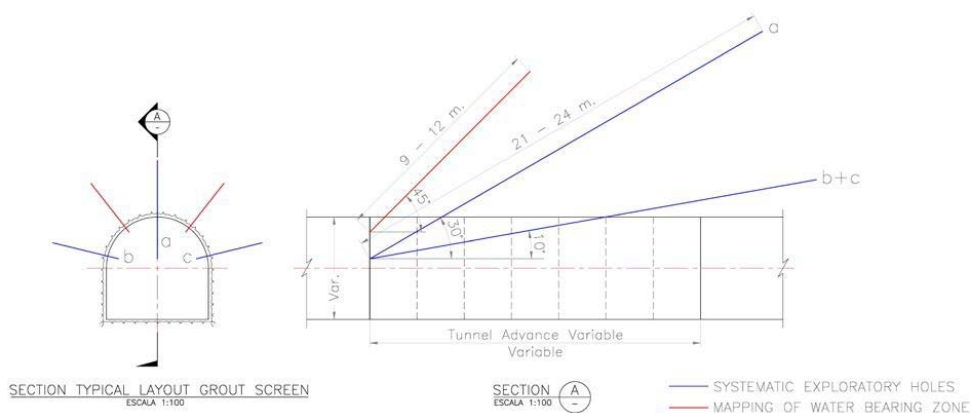


Figura 1. Principio de perforaciones exploratorias adicionales fuera del perímetro del túnel

- La primera ronda de inyección normalmente consta de 10-18 perforaciones distribuidas uniformemente en techo, paredes, frente y piso, dependiendo del tamaño del túnel. Cada perforación deberá estar en la dirección de avance y con una longitud de 21-27 metros, salvo se indique otra cosa en la instrucción de la Ingeniería del Mandante. Las perforaciones serán en forma de un paraguas con una inclinación de unos 14-20° con respecto al eje del

túnel, dependiendo de la longitud de las perforaciones. El objetivo de los ángulos es terminar las perforaciones 6 m fuera del túnel.

Las perforaciones deben ser localizadas en el perímetro del túnel tan cerca como sea posible de la frente.

Si la zona de alta permeabilidad está cruzando perpendicularmente el avance del túnel, diferentes sistemas de perforación deben ser considerados. Estos pueden ser perforaciones adicionales con ángulos mayores a 90° con respecto al eje del túnel para impermeabilizar la zona más cercana a la frente.

6.2. Perforaciones para túneles con TBM

Los requerimientos de perforación exploratoria y la distribución de perforaciones deben ser ajustados para túneles que se excavan con TBM.

Las limitaciones en la inclinación de las perforaciones deben ser compensadas con perforaciones más largas, con el objetivo que el paraguas de inyección alcance a situarse fuera del túnel.

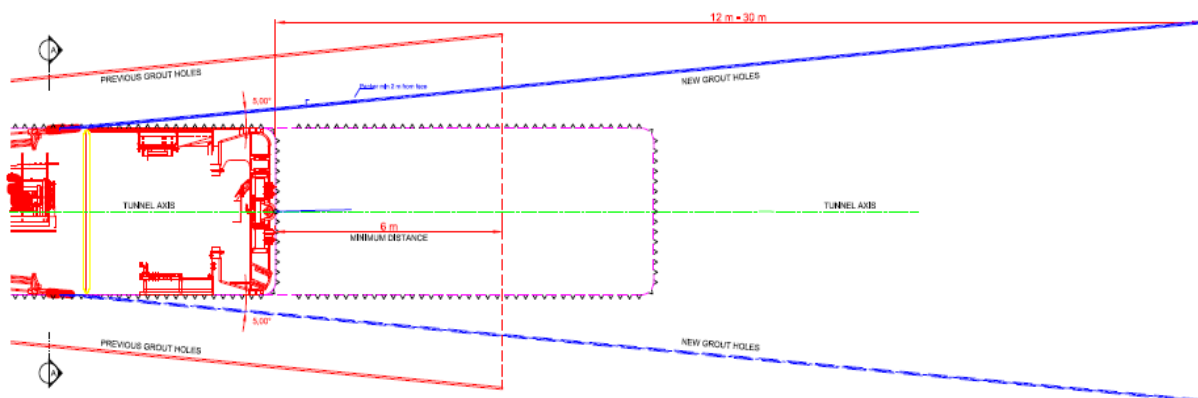


Figura 2. TBM perforaciones de inyección. Vista en planta

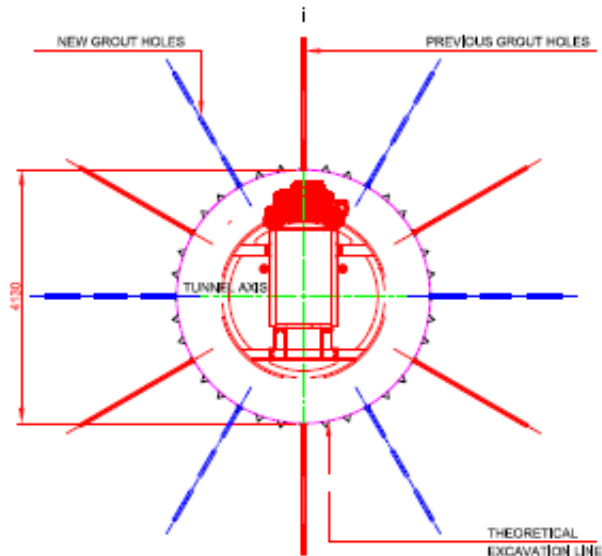


Figura 3. TBM perforaciones de inyección. Sección transversal

7. Proceso de cementación

Las inyecciones seguirán el método GIN que se caracteriza por:

- El uso de una mezcla de lechada estable ($WCR = 0,65$). Será agregado Plastificante y/o micro- sílice.
- Uso de cortinas intercaladas (es decir, perforaciones primarias, secundarias y si es necesario, perforaciones terciarias.).
- El criterio de cierre consta de tres componentes: presión máxima de inyección, volumen máximo inyectado por pozo y el criterio de cierre de GIN (Grouting Intensity Number). Criterios de cierre serán especificados en las hojas de instrucciones y podrán ser modificados durante el proceso de inyecciones en caso necesario.
- Se realizará supervisión en tiempo real y adaptación de la presión en tiempo real y supervisión de flujo durante el proceso de inyección.

La inyección se considerará finalizada cuando se cumpla uno de los criterios de cierre.

8. Control del resultado y lechada complementaria

Después de terminar el proceso de inyección para todas las perforaciones, se realizarán perforaciones de control. Se realizarán 4 perforaciones de control donde la toma de lechada en la primera ronda fue mayor. Las perforaciones de control serán 4 m más cortas que las perforaciones usadas en el paraguas de inyección, pero con la misma inclinación. Los criterios

para la ejecución de un nuevo paragua en esta ubicación serán definidos con base en el nivel de infiltraciones aceptable especificado en la sección 4.

9. Pautas generales para el procedimiento de post-inyecciones

El procedimiento de post-inyecciones se aplicará excepcionalmente durante la construcción de túneles y sólo si es necesario una mayor reducción de las infiltraciones de agua detrás del frente. Los criterios para iniciar este procedimiento serán establecidos para cada ubicación/sección del túnel por separado. Esto dependerá de diferentes parámetros como la situación real de infiltraciones de agua en el túnel, la capacidad de tratamiento para las aguas de infiltración, las condiciones geológicas y la interferencia que puedan producir altas infiltraciones de agua en el proceso constructivo del túnel.

Cuando las post-inyecciones son requeridas, una instrucción específica para post-inyección adaptada al sitio será establecida por SAM, en cooperación con el contratista.

El desafío principal para todas las post-inyecciones es penetrar y llenar las diaclasas con lechada evitando la pérdida de lechada en el túnel y manteniendo la presión de inyección en el nivel requerido. Un procedimiento específico de inyección deberá establecer una adecuada configuración de las perforaciones para inyectar y definir claramente el proceso de inyección a seguir. Las pautas que se indican en los siguientes puntos deberán ser tomadas en cuenta para desarrollar un procedimiento específico.

9.1. Geometría de perforaciones y configuración de la cortina de inyección

Las perforaciones, en general, deberán ser realizadas en filas y perpendiculares al eje central del túnel, con una distancia entre cada fila de 4-8 m, dependiendo de las condiciones del macizo rocoso y los límites de infiltración requeridos, ver figura 4.

Las filas de perforaciones cubrirán el perímetro completo del túnel, con una distancia entre cada perforación de 1-3 m. En situaciones especiales, las filas de perforación pueden cubrir sólo partes del perímetro del túnel.

El ángulo de las perforaciones se adaptará a la orientación de las diaclasas, en un rango de 90° a 45° con respecto al eje central. El objetivo será perforar perpendicular a la zona de infiltración.

La longitud de las perforaciones puede variar dependiendo de la situación, en un rango de 6-12 m. Sin embargo, la experiencia muestra que los mejores resultados se obtienen con perforaciones más largas.

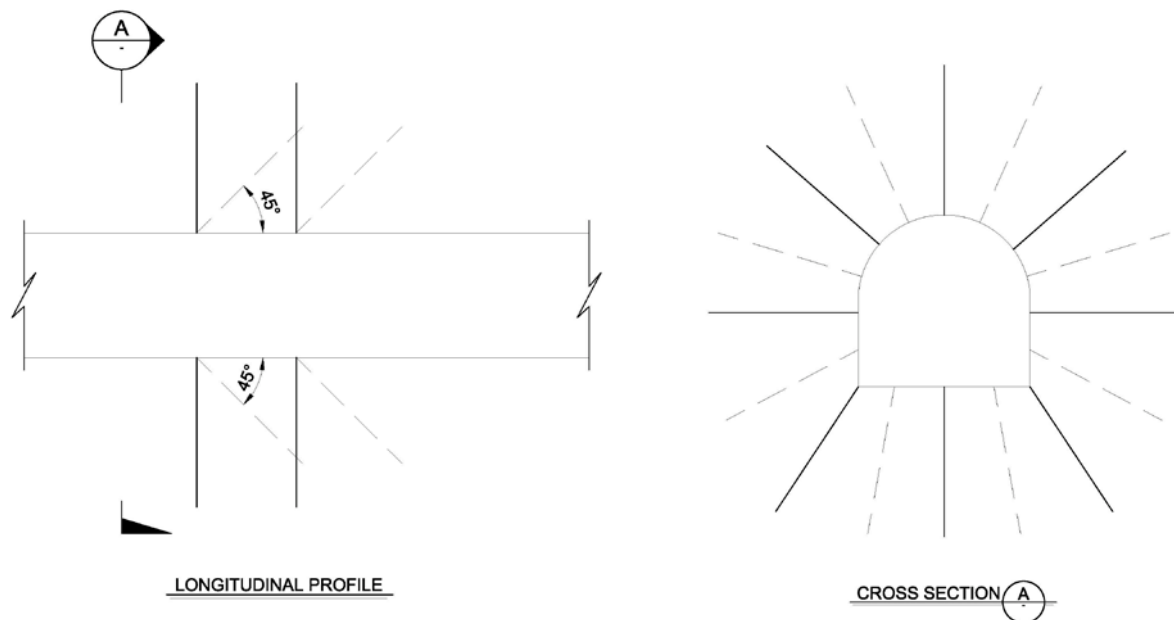


Figura 4. Geometría Principal de perforaciones para post inyecciones

9.2. Proceso de inyección

La profundidad del packer se adaptará a la presión real de la inyección y las condiciones geológicas, como la orientación de las diaclasas, grado de fracturamiento, etc., pero debe estar en un rango de 1.5 a 4 m en la perforación.

El material de inyección y la mezcla serán seleccionados y adaptados a las condiciones del macizo rocoso y el nivel de infiltración requerida. En general, la lechada de tipo A y B (cemento portland normal sin o con aditivos) deberán ser utilizadas. Excepcionalmente la lechada de tipos C y D (micro-cementos) podrán ser requeridas.

La presión de la inyección se adaptará a la calidad del macizo rocoso, estabilidad del túnel y sostenimiento de roca, la presión de agua subterránea y la futura presión de agua. Normalmente, la presión de inyección post-excavación estará en un rango de 15-60 bares, dependiendo de las condiciones geológicas locales.

Las instrucciones detalladas de post-inyecciones podrán ser modificadas por la Ingeniería del Mandante basadas en observaciones de rendimiento, las condiciones locales y los resultados obtenidos.

10. Pruebas de presión de agua

El ensayo Lugeon es un método de ensayo in-situ ampliamente utilizado para estimar la permeabilidad hidráulica promedio del macizo rocoso. Básicamente, el ensayo Lugeon es un ensayo con presión constante para estimar la permeabilidad en sectores aislados de perforaciones con un packer único o con packer doble.

Durante el ensayo de agua se inyecta en la parte aislada de la perforación usando un tubo rasurado que está delimitado por el packer inflado. Un transductor de presión está también ubicado en ese sector para medir la presión.

Una presión máxima (Pmax) de ensayo se define para asegurar que no exceda el estrés in-situ mínimo estimado de la roca, evitando hidrofracturamiento. La presión mínima será 5 bares más alta que la medida de presión de agua in situ.

El ensayo se llevará en cinco etapas. En cada etapa, se aplica una presión constante durante un intervalo de 10 minutos, con bombeo constante de agua. La presión del agua y el caudal se mide cada minuto. Las cinco fases de carga y descarga forman un ciclo de presión con los siguientes intervalos de presión:

Etapa	La presión
1ª	0.50 P _{máx.}
2º	0.75 P _{máx.}
3ª	P _{máx.}
4º	0.75 P _{máx.}
5º	0.50 P _{máx.}

Tabla 1. Intervalos de presión

Siguiendo la definición original empírica del ensayo, la permeabilidad hidráulica se expresa en términos de unidad Lugeon, siendo la permeabilidad necesaria para un caudal de 1 litro por minuto por cada metro de perforación permeable inyectado a presión constante de 10 bar. El valor Lugeon para cada prueba se calcula como sigue:

$$\text{Valor Lugeon} = (Q/L) \times (P_0 / P)$$

Donde:

Q - Caudal [lit/min].

L - Longitud de intervalo analizado [m]

P₀ - Presión de referencia de 10 bares [bar]

P - Presión en cada etapa [bar]

La presión de referencia de 10 bar es introducida para siempre calibrar los datos de ensayo a 10 bar según se requiera, asumiendo la validez de la Ley de Darcy. Esto significa que las presiones de ensayo se pueden seleccionar según las condiciones del terreno y las presiones de ensayo pueden ser inferiores o superiores a 10 bares.

Los resultados del ensayo de cinco etapas de presión individuales son luego interpretados con respecto a la forma de curvas (laminar, turbulento, dilatación, bloqueo de fisuras, limpieza de fisuras) como se muestra en el ejemplo en la siguiente figura 5.

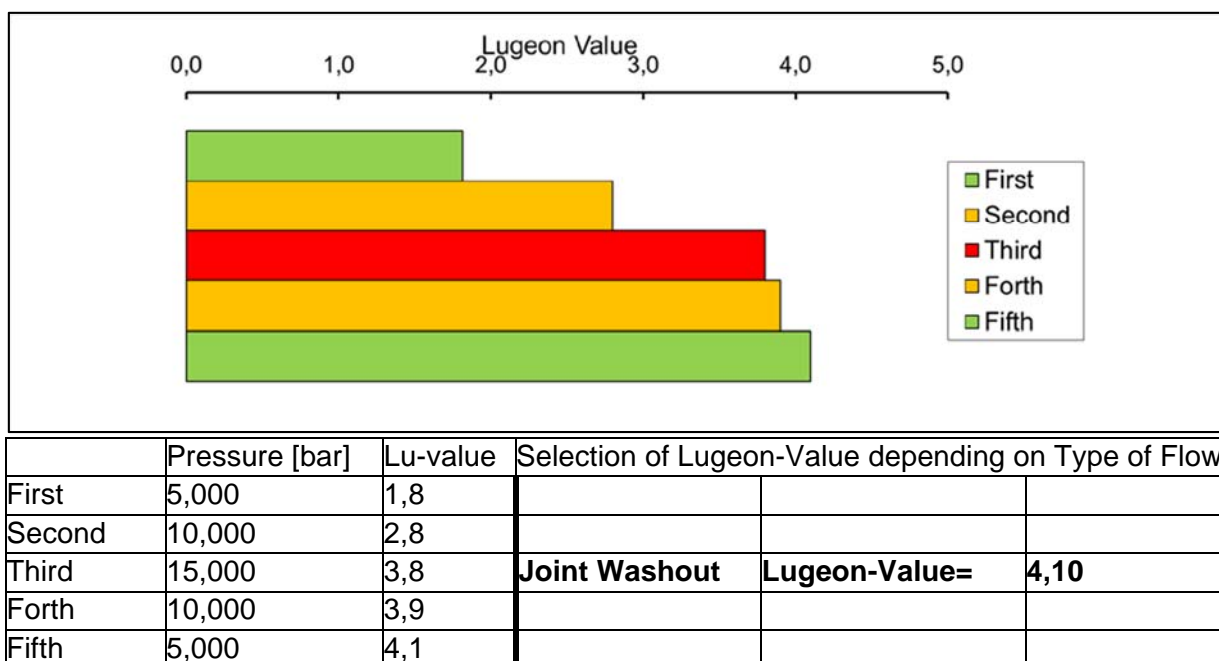


Figura 5: Interpretación de datos Lugeon.

Cuando los ensayos de permeabilidad son instruidos por SAM, el ensayo deberá realizarse de acuerdo con las especificaciones técnicas que se detallan a continuación:

- Enganche el equipo de ensayo a la perforación. Instale el packer a 2-3 m en el interior de la perforación y apretar el packer.
- Si la perforación posee flujo de agua, medir su presión y caudal.

Iniciar el flujo de agua en la perforación. Una roca permeable exigirá mucha agua para estabilizar la presión, lo que puede causar pérdidas de agua a través de las estructuras de la roca. Si es así, el largo de la cámara de ensayo debe acortarse a longitudes menores a 5 m.

11. Modificaciones y cambios de procedimiento

Este procedimiento general puede ser modificado de acuerdo a la experiencia adquirida durante el proyecto. Instrucciones del Mandante según el formulario serán utilizados para indicar la inyección y las instrucciones pueden desviarse de este procedimiento para adaptarse a circunstancias especiales. Respecto a versión anterior, se realizan las siguientes modificaciones:

- El procedimiento originalmente elaborado en inglés es traducido al español.
- El procedimiento se enfoca en los aspectos técnicos del procedimiento de pre y post grouting.

Apéndice 1

1.1 Formulario de Instrucciones de inyecciones para D&B túneles

ALTO MAIPO SpA

Grouting Instruction

 **SAM**

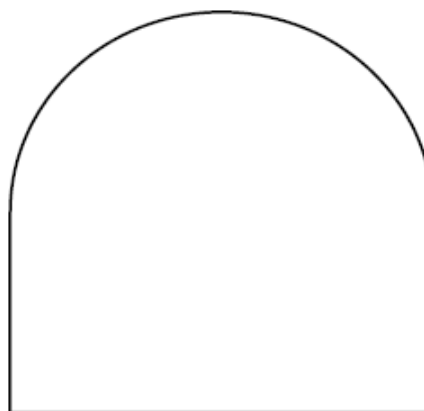
Tunnel	
Instruction N°	

Geologist	
Date:	

Chainage	
Total Inflow face	
Total Inflow Probe hole	
Water pressure measured	

N° of Grout holes	
Grout curtain length	
Grout curtain angle ref Tunnel axis	

Position of Grout holes:



Design Mix (Type A,B,C, D or E)	
---------------------------------	--

WCR	
-----	--

Closure criteria

Pmax	
Vmax (l/m borehole)	
GIN	

Name

Signature

1.2 Formulario de Instrucciones de inyecciones para TBM túneles

ALTO MAIPO SpA

Grouting Instruction TBM tunnel



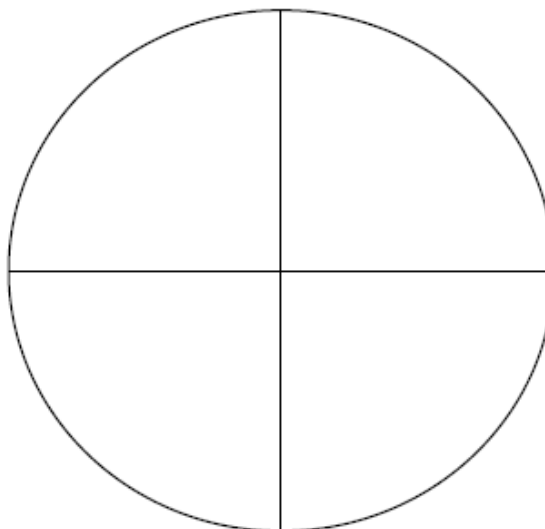
Tunnel	
Instruction N°	

Instructed by:	
Instruction date:	

Chainage	
Total Inflow face	
Total Inflow Probe hole	
Water pressure measured	

N° of Grout holes	
Grout holes length (m)	
Grout hole angle ref Tunnel axis	

Position of Grout holes:



Design Mix (Type A,B,C, D or E)	
---------------------------------	--

WCR	
-----	--

Closure Criteria

Pmax	
Vmax (l/m borehole)	
GIN	

Name

Signature


Apéndice 2

2.1 Comprobación de la WCR y ensayo de la lechada

WCR CHECK DRILLING AND GROUT TESTING						
Copy page 2 of the instruction to define hole numbers and grouting criteria						
Tunnel	Chainage				Inspector	
Date	Time from				Time to	
Grouting instruction No			Date		Issued by:	
Drilling			Comments			
Holes collared as instructed?	Yes	No				
Holes drilled correct length?	Yes	No				
Holes have correct angle?	Yes	No				
Grouting						
Cement used	Plastiziser used		Other additives used			
Grout Testing						
Hole No	wcr	Density (kg/liter)	mm start	Bleeding mm end	%	Marsh funnel (sec)
Short evaluation						

Apéndice 3

3.1 Ejemplo de instrucción del Cliente de pre-inyecciones

ALTO MAIPO	OWNER'S INSTRUCTION Section 2.29 PHAM-PLN12-INS-0003	
-------------------	---	---

Contract: <input type="checkbox"/> AM-CO610/620B <input checked="" type="checkbox"/> AM-CO630/620A	SI 6340 / N° 0528	
Scope Segment Description: TUNNEL V44 TO PH. CAVERN		Scope Segment ID: 3.4
Location: Ch: 0+963.3		Time for Compliance: BEFORE NEXT ROUND

Contractor shall immediately proceed with the Work described below, in accordance with the terms and conditions of the Contract. This instruction is limited to maximum of 1000 UF or USD \$ 50,000., and without impact on the lump sums or schedule (except for Equivalent Times in the BOQ).

Instruction:


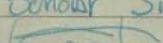
THE CONTRACTOR IS HEREWITH INSTRUCTED TO COMPLETE THE GROUT CURTAIN DESCRIBED IN THE OWNER'S INSTRUCTION N° 527 AS INDICATED IN THE SKETCH ATTACHED

NOTE: MEASURE WATER INFLOW AND GROUNDWATER PRESSURE IN ALL HOLES

Owner estimate of impact is: Per Units in BOQ ☒ ; or cost ; &/or Time

If Contractor believes that this instruction constitutes a Change, Contractor shall promptly provide Notice according to Section 11 of the Contract.

Contractor comments (if any):

Issued by	Received by Contractor
Name: ENRIQUE GONZALEZ	Name: Benoit Simon
Sign: 	Sign: 
Designation: IN GEOLOGIST	Designation: Geologist
Date: 13.11.2015 Time: 16:30 hrs	Date: 13.11.2015 Time: 16:30

(copy 1): OE

ALTO MAIPO SpA



Grouting Instruction VL4 FIRST GROUT FAN

Tunnel	VL4 (W=6,9-H=6,9)
Instruction N°	528

Instructed by:	E. Gonzalez
Instruction date:	13.11.2015

Chainage	0+963,3
Total Inflow face	
Total Inflow Probe hole	
Water pressure measured	

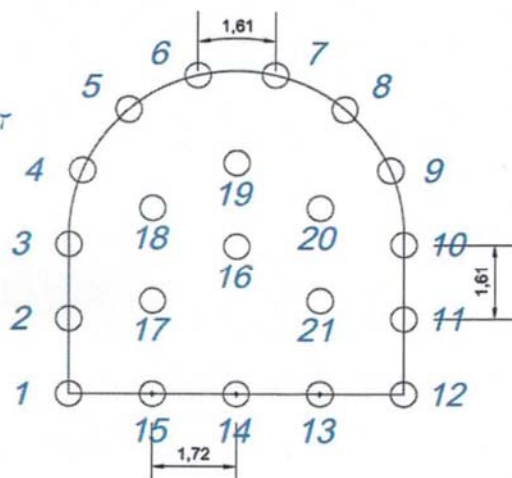
N° of Grout holes	6	10
Grout holes length (m)	24	24
Grout hole angle ref Tunnel axis	0°	15°

Position of Grout holes 1st grout round:

Mark additional holes with x and number

Erase holes not to be used

1. DRILL HOLES: 1 TO 14 WITH ANGLE 15°
- PRIMARY ROUND: 1, 7, 4, 11, 9 AND GROUT
 - SECONDARY ROUND: 3, 6, 12, 10, 14 AND GROUT
2. DRILL HOLES: 16, 17, 18, 19, 20, 21 PARALLEL WITH THE TUNNEL AND GROUT. THE PACKER SHOULD BE INSTALLED BETWEEN 1,5 AND 3,0 M (DEPENDING OF ROCK MASS CONDITIONS, REF. LEAKAGE).



Design Mix (Type A,B,C, D or E)	A
---------------------------------	---

WCR	0,65
-----	------

Closure criteria

Pmax bar	25
Vmax (l/m borehole)	85
GIN	1.000

→ IF GROUND WATER PRESSURE HIGHER THAN 20 BAR THEN APPLY GROUT PRESSURE OF 2.5 TIMES GROUNDWATER PRESSURE

E. Gonzalez H.

Name

Signature

Apéndice 4

4.1 Plano SAM-6000-TU-PLA-001 Pre-inyecciones

