



**Vida útil y construcción sustentable de túneles
y obras subterráneas**
Operación y mantenimiento

**7º JORNADAS DE TUNELERÍA
Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS**

6, 7 y 8 de SEPTIEMBRE de 2017
PALACIO DE AGUAS CORRIENTES
AYACUCHO 751, BUENOS AIRES

 **ITA
AATES**
Capítulo Argentino

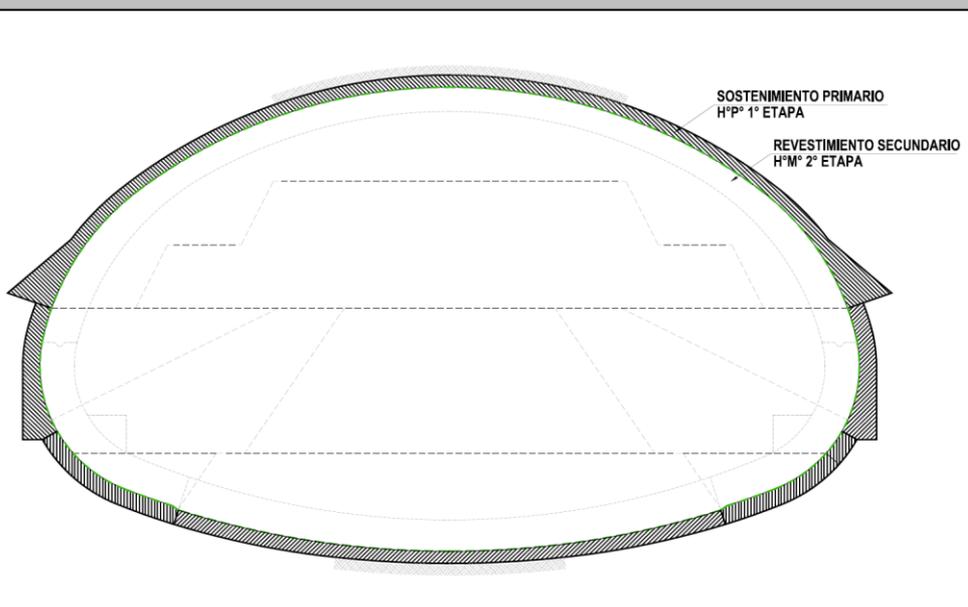
**REVESTIMIENTO SECUNDARIO DE TÚNELES EN SHOTCRETE.
UNA EXPERIENCIA EN EL METRO DE BUENOS AIRES.**

Ing. Jorge Laiún, SRK Consulting Argentina

Criterio típico de diseño de túneles CTM en el metro de Bs As.

Sostenimiento primario en hormigón proyectado:

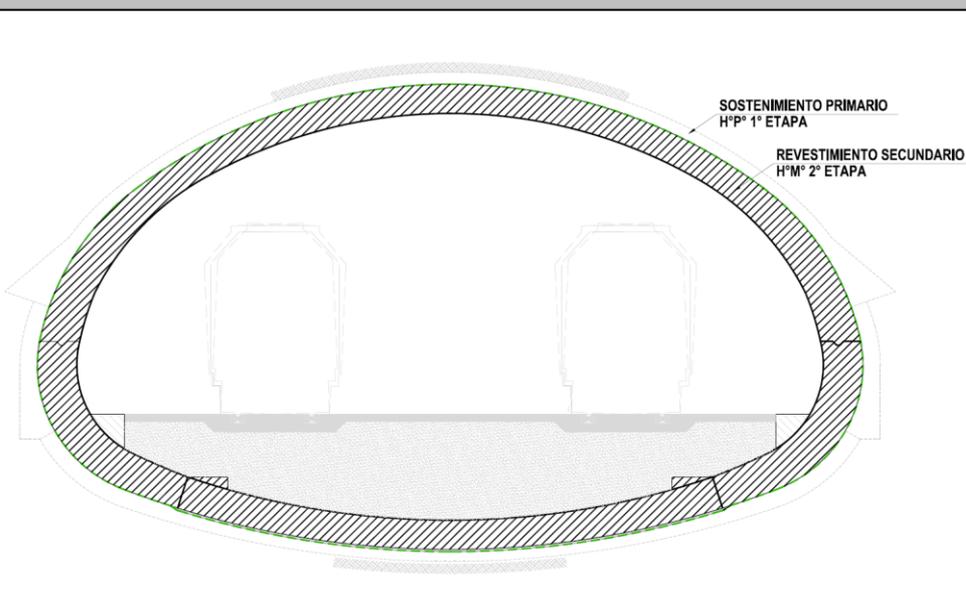
- Estructura temporaria de contención de los suelos.
- Genera el espacio interior.
- Requiere abatimiento del agua freática.
- Sustrato de apoyo para fijar una membrana impermeable.



Criterio típico de diseño de túneles CTM en el metro de Bs As.

Revestimiento secundario en hormigón moldeado:

- Estructura definitiva y durable ejecutada en condiciones controladas.
- Diseñada para empujes de suelo, agua, sobrecargas y cargas futuras.
- Diseñada para dotar impermeabilidad al túnel.
- El sostenimiento primario no es tenido en cuenta de su diseño.

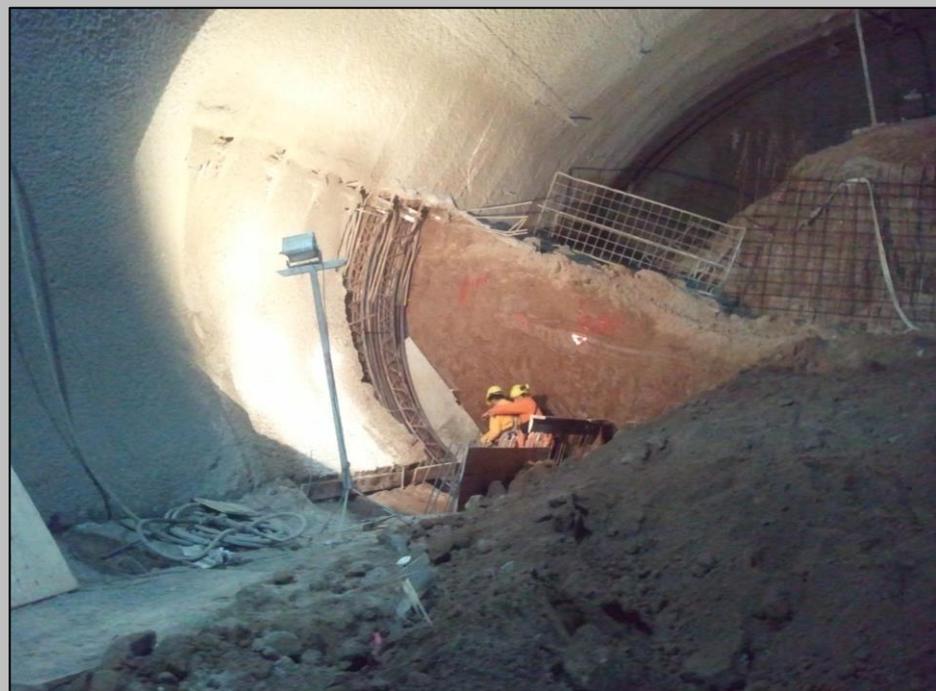


Criterio típico de diseño de túneles CTM en el metro de Bs As.

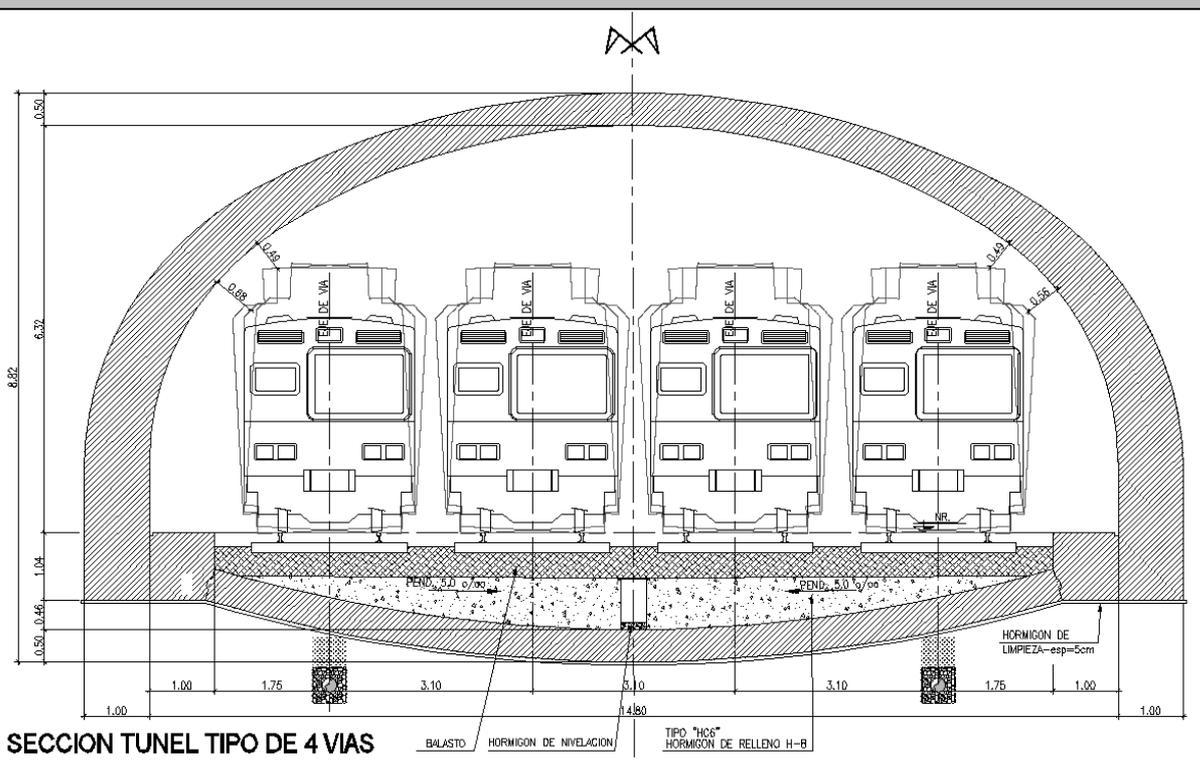
Revestimiento secundario en hormigón proyectado:

- Limitado a situaciones muy particulares.
- Túneles cortos, troncocónicos.
- Membrana de impermeabilización entre el sostenimiento primario y revestimiento secundario.
- Requiere inyecciones para lograr la estanqueidad requerida.

En los talleres y cocheras Nazca (Línea A) y Villa Urquiza (Línea B) se probó la ejecución a gran escala de revestimientos secundarios en hormigón proyectado.

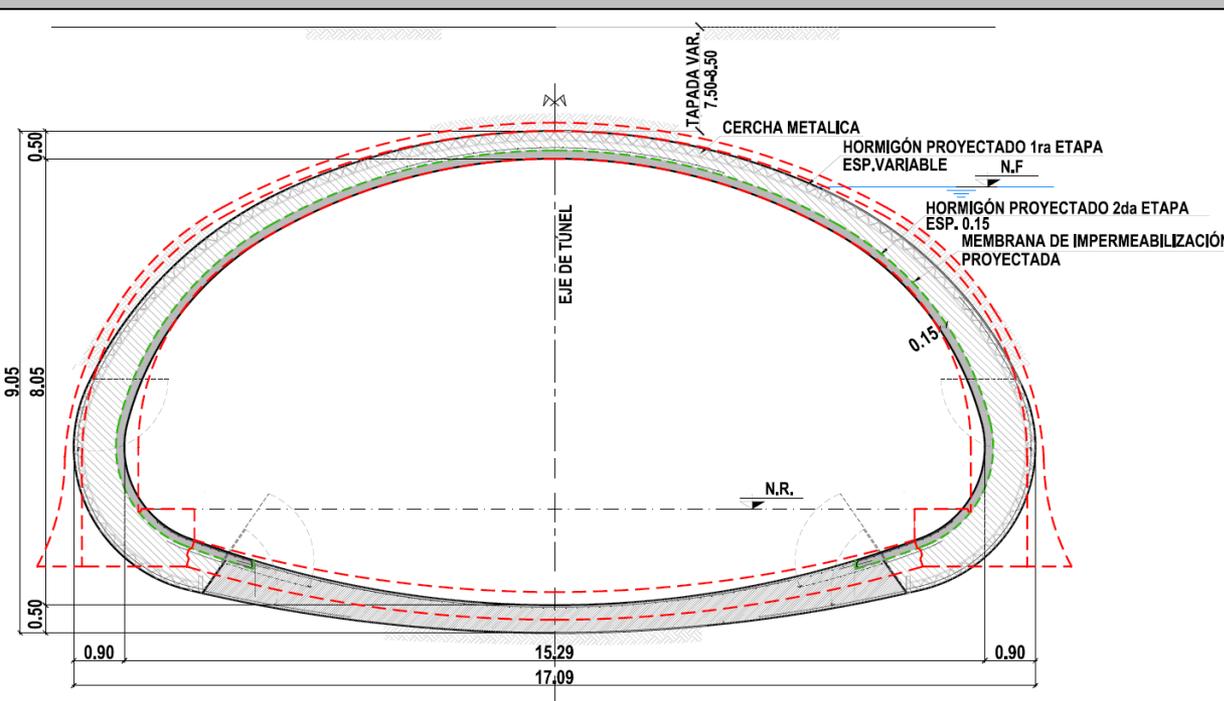


Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 (pliego)



- Túnel 4 vías
- Sección 127 m²
- Longitud 867 ml
- Ancho 14.80m
- Alto 8.82m
- Tapada 7.50m a 8.50m
- Nivel freático ~ clave del túnel

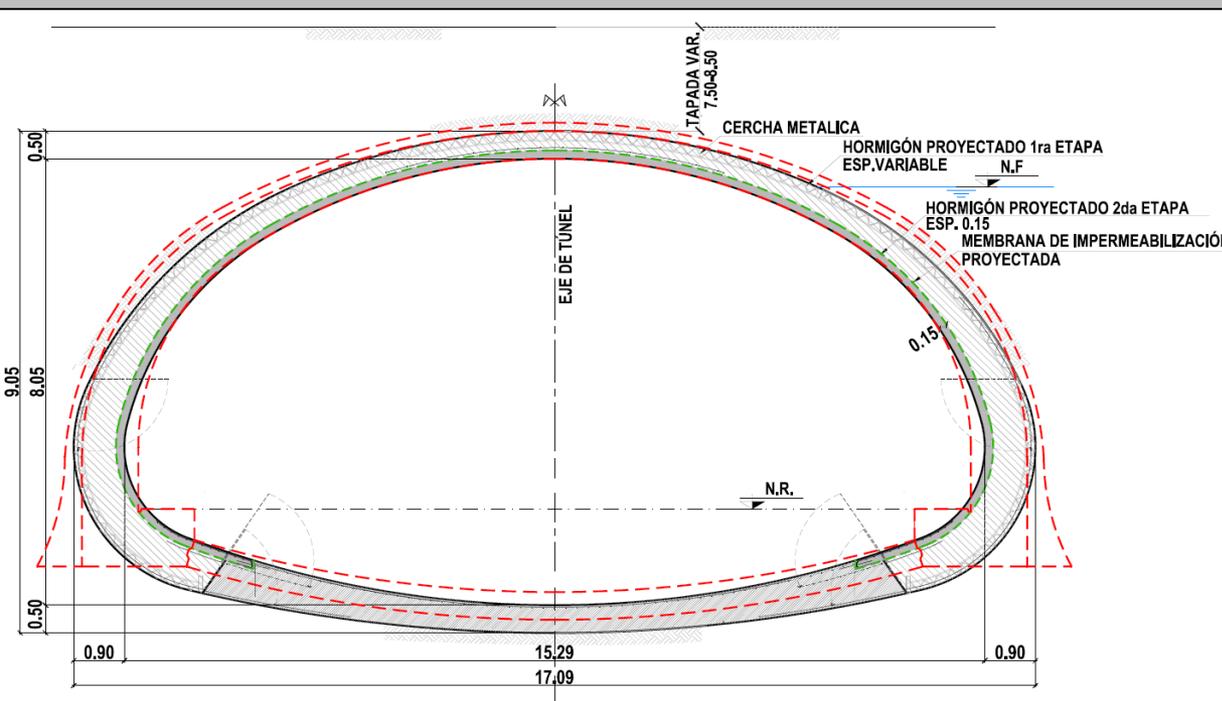
Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 (optimización)



Túnel con sostenimiento primario como estructura definitiva

- Sección 123 m²
- Sostenimiento H°P° ~0.20m en el frente
- Recrecido a 0.35m - 0.75m de espesor.
- Es la estructura definitiva del túnel.
- Solera de hormigón moldeado tradicional ejecutada durante el proceso de excavación del túnel.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 (optimización)

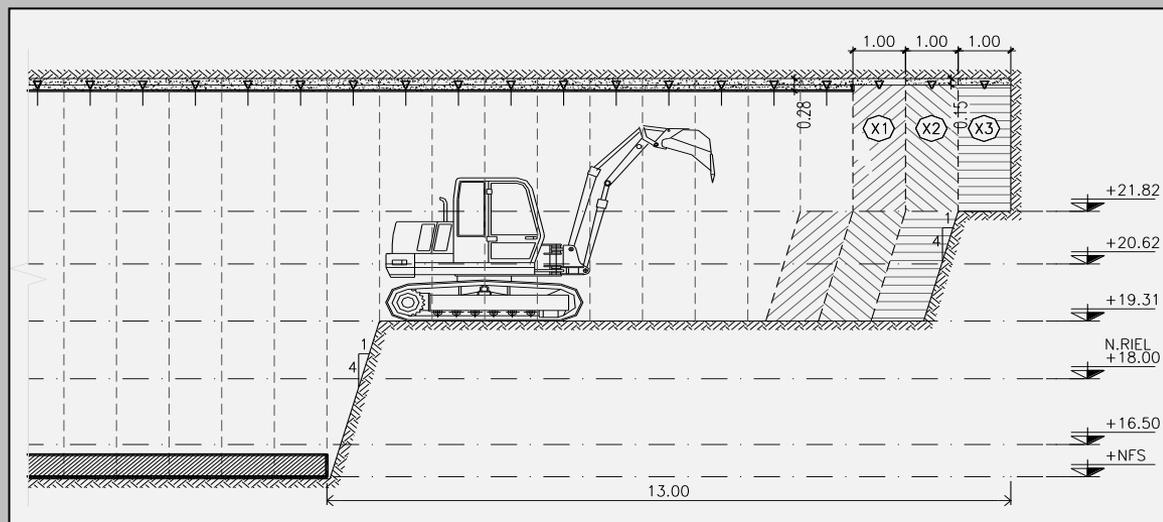


Túnel con sostenimiento primario como estructura definitiva

- El procedimiento constructivo genera un anillo de sostenimiento primario fuertemente comprimido.
- Revestimiento secundario de H°P° de 0.15m
- Soporta la membrana de impermeabilización
- No es una estructura diseñada para ser impermeable.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011

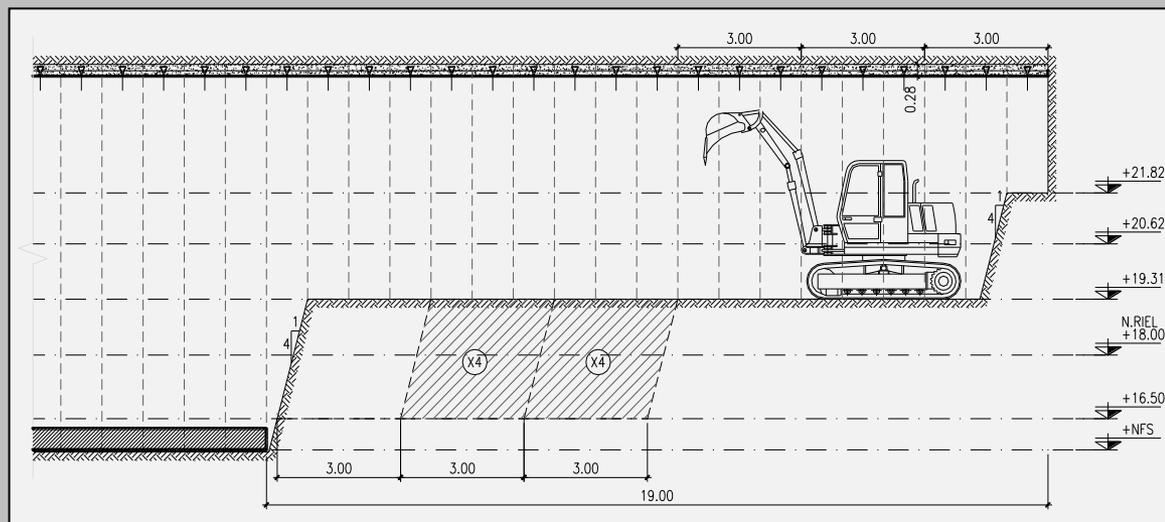
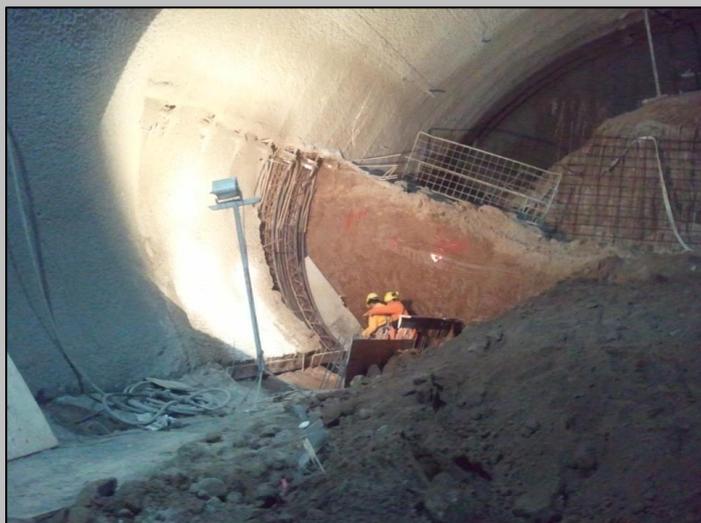
Procedimiento constructivo



- Avances de excavación en bóveda 1.0m.
- Ejecución de sostenimiento primario con cercha metálica.
- Acumular 3.0m de avance.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011

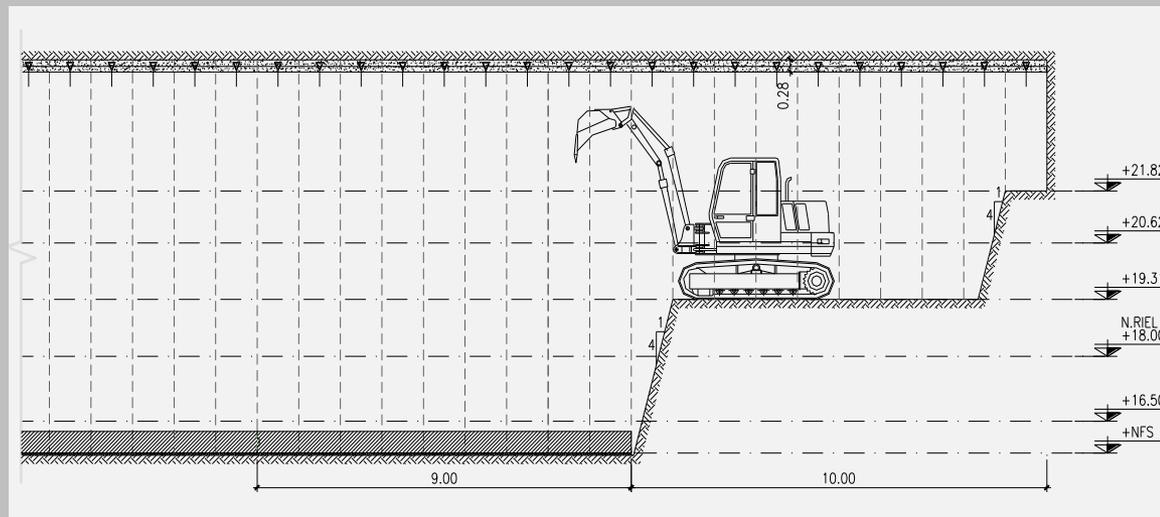
Procedimiento constructivo



- Avances de excavación en hastial de 3.0m de longitud.
- Ejecución de sostenimiento primario con cercha y armaduras.
- Repetir avance en bóveda y hastiales hasta acumular 9.0m de avance.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011

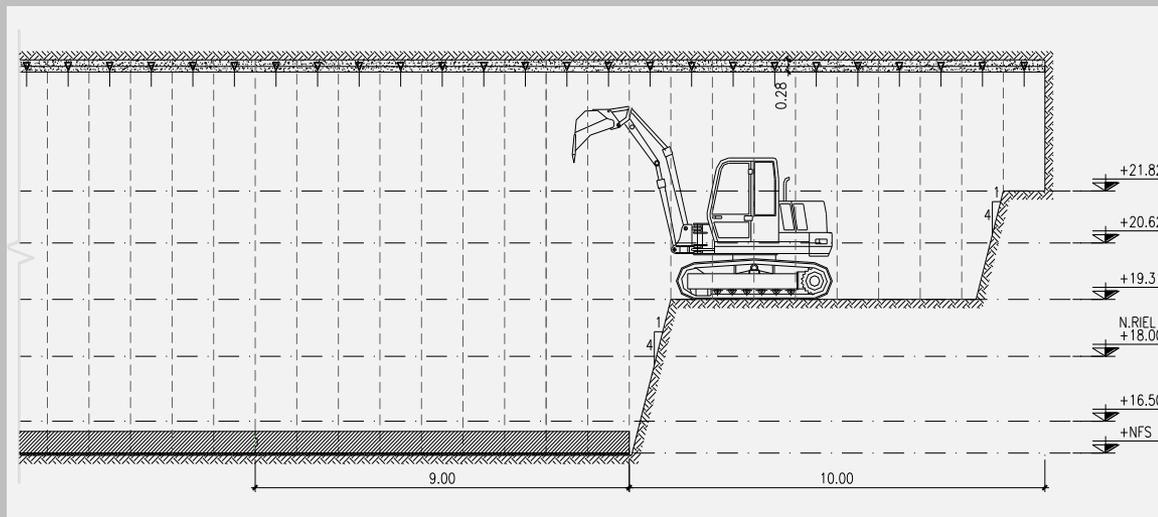
Procedimiento constructivo



- Avances de excavación de 9.0m en banco inferior.
- Perfilado de contra-bóveda.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011

Procedimiento constructivo



- Ejecución de solera definitiva en hormigón moldeado en paños de 9.0m.
- Juntas transversales de solera tratadas con juntas hidroexpansibles.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011

Procedimiento constructivo



- Recrecimiento de espesor del sostenimiento primario.
- Guías de alambres para control de espesor de capa a proyectar.
 - Proyección de hormigón con guindola montada en retroexcavadora.
 - Recrecimiento por fajas longitudinales >10m.
 - Desfase entre una capa y la sucesiva.
 - Se evita una junta fría de todo el espesor del elemento estructural.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011

Procedimiento constructivo



Fisuración por contracción del sostenimiento primario de H°P°:

- Juntas frías debido a pases de 1.0m en bóveda y 3.0m en hastiales para los 0.20m externos.
- (Eventuales) juntas longitudinales para el resto del H°P° de recrecimiento.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011

Procedimiento constructivo



- Proyección de membrana impermeable BASF Masterseal 345 de 3.0mm de espesor.
- Colocación de armadura de revestimiento secundario y proyección de hormigón 0.15m.

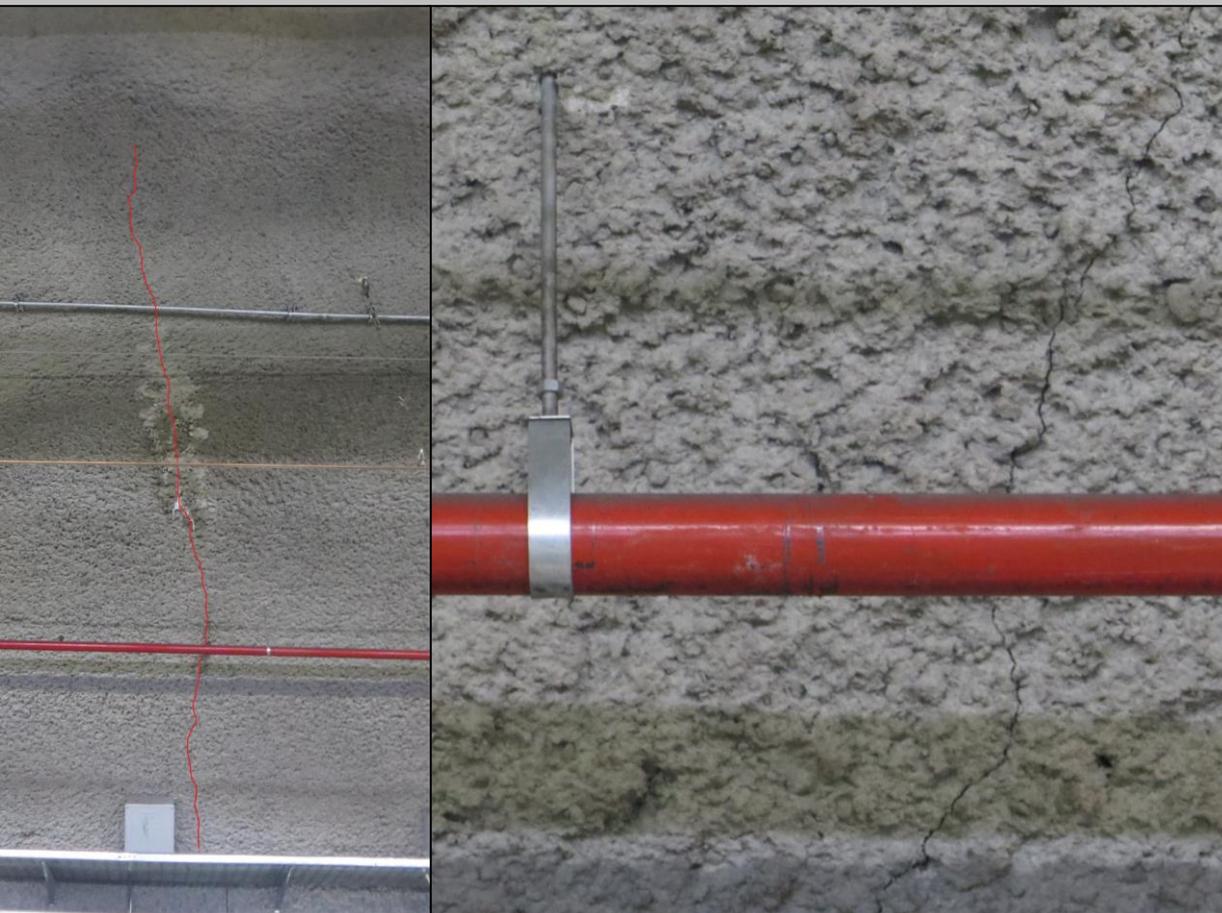
Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 – Estado actual (1-9-17)



Patología

- Patrón de fisuras visibles transversales en hombro y bóveda.
- Separación: 6m a 12m
- El agua que traspasa la membrana impermeable viaja por la interface membrana – hormigón y percola por las fisuras.
- No todas las fisuras muestran eflorescencias.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 – Estado actual (1-9-17)



Diagnóstico

- Fisuras por contracción del hormigón.
- Déficit en etapa de diseño: Falta de especificación de junta transversal y/o diseño de armadura adecuada.

Solución

(ejecutada por Metrovías)

- Inyecciones de impermeabilización (2015).

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 – Estado actual (1-9-17)



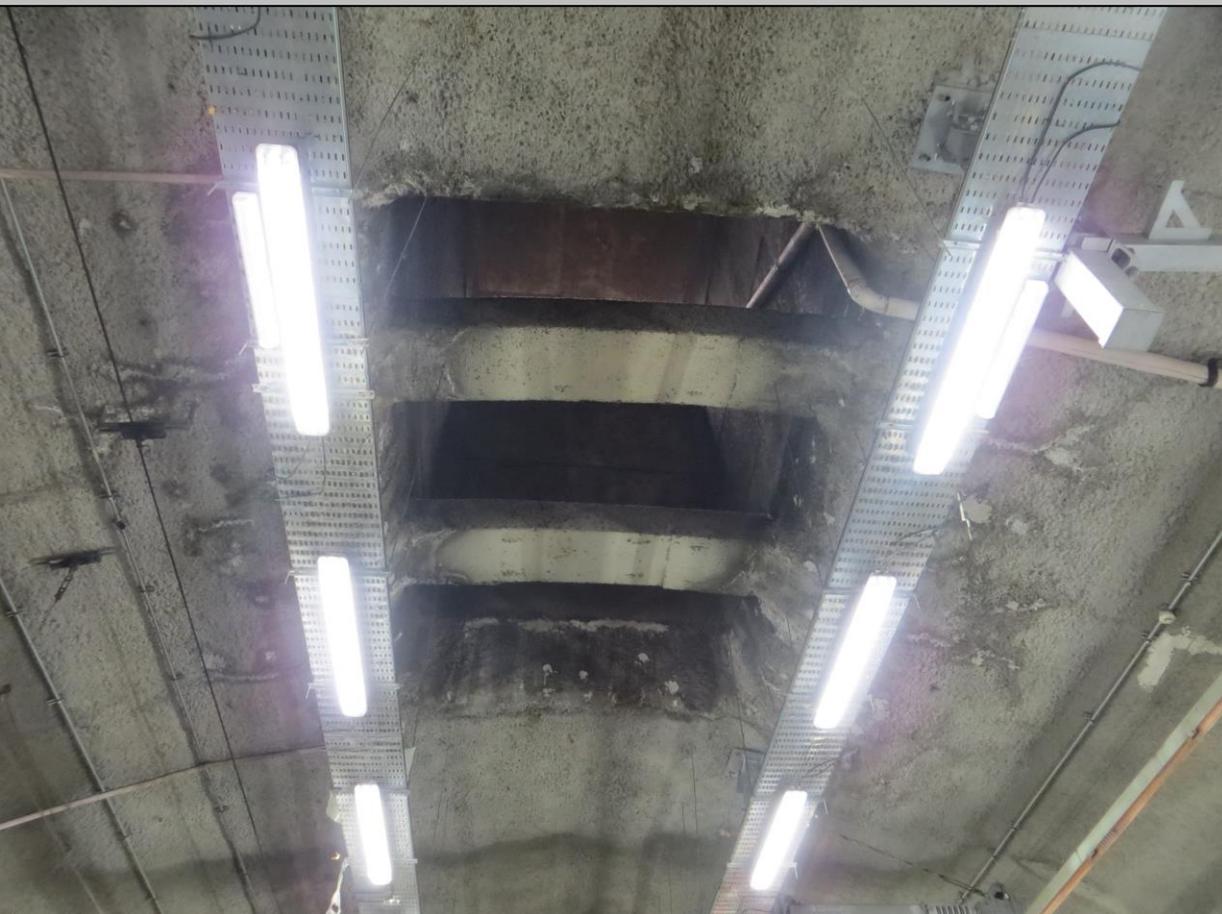
Patología

- Patrón de fisuras alrededor de pases de ventilación rectangulares.
- Fisuras observable a simple vista.

Diagnóstico

- Pérdida del funcionamiento membranal de la estructura.
- Sostenimiento primario más permeable.
- Revestimiento secundario más flexible.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 – Estado actual (1-9-17)



Diagnóstico

- Eventual daño de la membrana proyectada por revestimiento secundario flexible?
- Si el soporte inferior de la membrana es flexible, esta se puede despegar y dañar.

Solución

(ejecutada por Metrovías)

- Inyecciones de impermeabilización (2015).
- Canalización de filtraciones.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 – Estado actual (1-9-17)



(No patología)

Pozo de ventilación elíptico
(pozo de ataque):

- Prácticamente sin fisuras.

Diagnóstico

- Funcionamiento membranal (rígido), tanto del sostenimiento primario como del revestimiento secundario.

Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 – Estado actual (1-9-17)



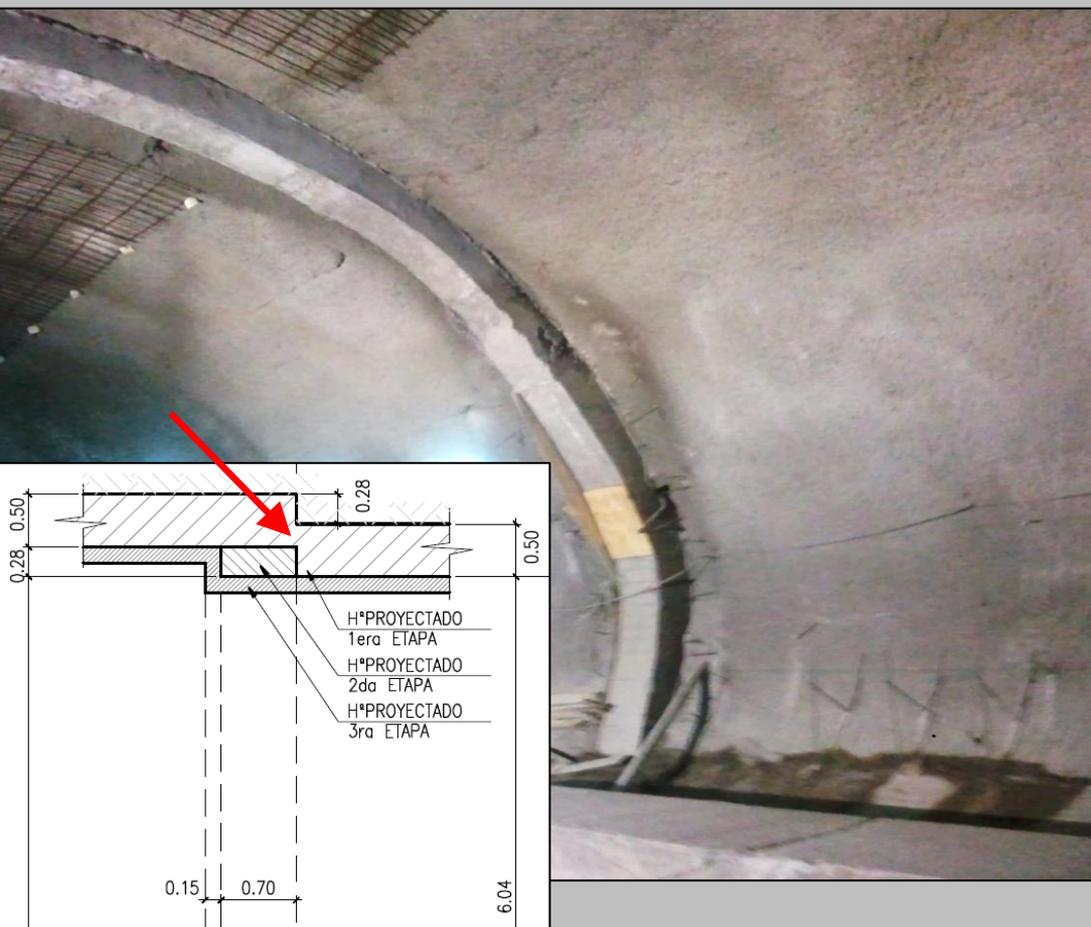
Transición

Cochera – Taller:

- Cambio en la altimetría del túnel.
- Filtraciones de agua.



Línea A– Cochera y Taller Nazca – 2008/2011 – Estado actual (1-9-17)



Transición Cochera – Taller:
cambio en altimetría del túnel.

Diagnóstico

- Tímpano constructivo débil.
- Ejecución temprana de tímpano proyectado contra encofrado de madera.
- Mala idea: junta fría entre sostenimientos primarios de ambos túneles con caras lisas del tímpano.
- Debería haberse planteado una transición suave entre ambos túneles.

CONCLUSIONES

- A 4 años de terminada la obra (2015) se necesitaron inyecciones de geles en la interface secundario-membrana para restituir la impermeabilidad de la estructura.
- Trabajo lento y por etapas, fuera de los horarios de operación normal del taller y la cochera.
- Al 09/2017 las pequeñas filtraciones que aún restan se encuentran canalizadas y no generan problemas operativos: situación controlada.
- Vida útil de la solución de remediación: incierta.
- Éxito o Fracaso?
 - Éxito: no requerir intervenciones posteriores a finalizada la obra.
 - Fracaso: tener que abatir permanentemente el agua freática.

APRENDIZAJE

Diseño de revestimientos secundarios en shotcrete:

- Adoptar formas geotécnicamente convenientes, priorizando el funcionamiento membranal y evitando flexiones localizadas (= fisuración).
- Prever la colocación de sistemas de inyección desde las etapas iniciales de diseño/proyecto (al menos en los sectores potencialmente conflictivos).
 - Evita tener que hacer costosas intervenciones posteriores.
 - Tienen que ser considerados como parte componente del sistema de impermeabilización, y no como un opcional.
- Cuando la experiencia previa sea insuficiente, estudiar exhaustivamente los efectos de fisuración por contracción y efectos térmicos.
- Contrarrestar sus efectos mediante detalles constructivos adecuados (juntas, armaduras,...restricción temporal del incremento de espesor).

APRENDIZAJE

Hacer estructuras con shotcrete es más que cambiar de “*hatch*” en un plano.
Se debe evaluar:

- Secuencia de hormigonado de capas,
- Secuencia de montaje de armaduras y densidad de armaduras adecuada.
- Forma de la estructura.
- Estos puntos puede involucrar un rediseño completo del elemento estructural.

DESARROLLOS FUTUROS EN ARGENTINA

- Mejorar las técnicas de colocación de hormigón proyectado.
- Desarrollar tecnología de hormigones proyectados más impermeables.
- Poner énfasis en los aspectos de durabilidad de las obras subterráneas (análisis y verificaciones específicas, no sólo una evaluación cualitativa).
- Integrar responsablemente la cadena diseño – construcción – operación.
- Mejorar el “feedback” sobre el comportamiento de las obras subterráneas luego de su puesta en servicio.

La AATES puede dar su apoyo, siendo el instrumento ideal para organizar el estudio e investigación en el largo plazo de las obras subterráneas que la industria local ejecuta.

Si buscas resultados distintos no hagas siempre lo mismo (Albert Einstein)

REVESTIMIENTO SECUNDARIO DE TÚNELES EN SHOTCRETE. UNA EXPERIENCIA EN EL METRO DE BUENOS AIRES.

Ing. Jorge Laiún, SRK Consulting Argentina

AGRADECIMIENTOS

- Ing. Carlos Gandini – SBASE S.E.
- Ing. Santiago Sebastía – (ex) DYCASA S.A.
- Metrovías
- AATES

Gracias por su atención !!!