



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Hormigón Projectado Permanente en Fortificación de Túneles



Hartmut Claussen
Mapei SpA



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Características | HP

- Evita desprendimiento de rocas (como parte de un sistema integral de fortificación: malla, pernos, etc.)
- Protege sustrato de erosión del aire, agua y humedad.
- Confina lateralmente las superficies.
- Rellena fisuras en la roca (refuerza sustrato).
- Soporte estructural (efecto arco) sólo en grandes espesores

PASSIVE



ACTIVE





Requisitos:

- Adherencia a la Roca / Espesor
- Resistencia (temprana y final)
- Durabilidad

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Requerimientos para obtener una estructura durable



Condiciones futuras de entorno y cargas

Proyecto "construible"

Especificaciones actualizadas

Control obra monitoreo

Condiciones terreno / filtraciones

Aplicadores entrenados homologados

Vía seca húmeda?

Método de curado

Diseño de mezcla Tipo acelerante

Aplicación manual ó mecanizada

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

sprayed concrete represents 12-15% of total development cost (*)

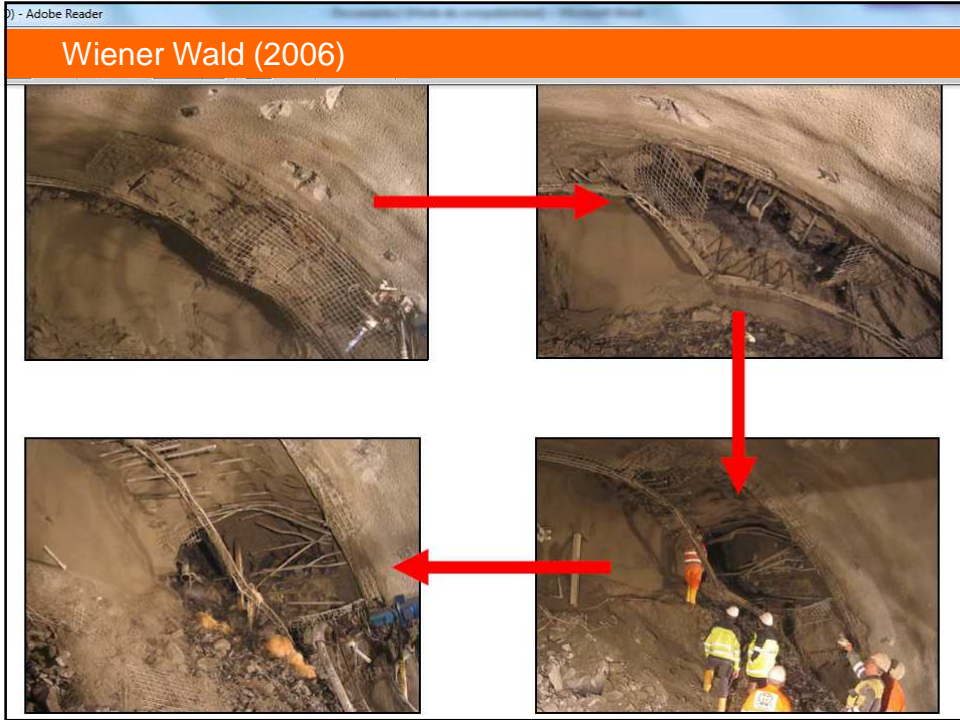
(*) estadística tomada de desarrollos mineros (Chile / Australia)

Durabilidad de HP

AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Sistema de HP		Agresividad del ambiente expuesto	
Estructura Física	Propiedades Material	Ataque Físico	Ataque Químico
<ul style="list-style-type: none"> • Preparación Superficie • Metodo aplicación • Habilidad operadores • Detalle juntas • Sistema impermeabilización • Curado • Control calidad en obra 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido cementicio • Tipo cemento • Relació a/c • densidad • Resistencias • Permeabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Abrasión • Erosión • Cavitación • Ciclo hielo-deshielo • Cargas y ciclos de carga 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Humedad • Naturaleza y concentración de agentes agresivos

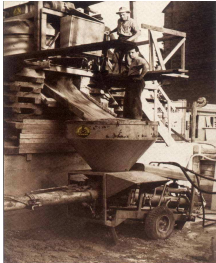
Factors that influence durability of sprayed concrete (Boniface, 2012)



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Equipment Development



> 50 years

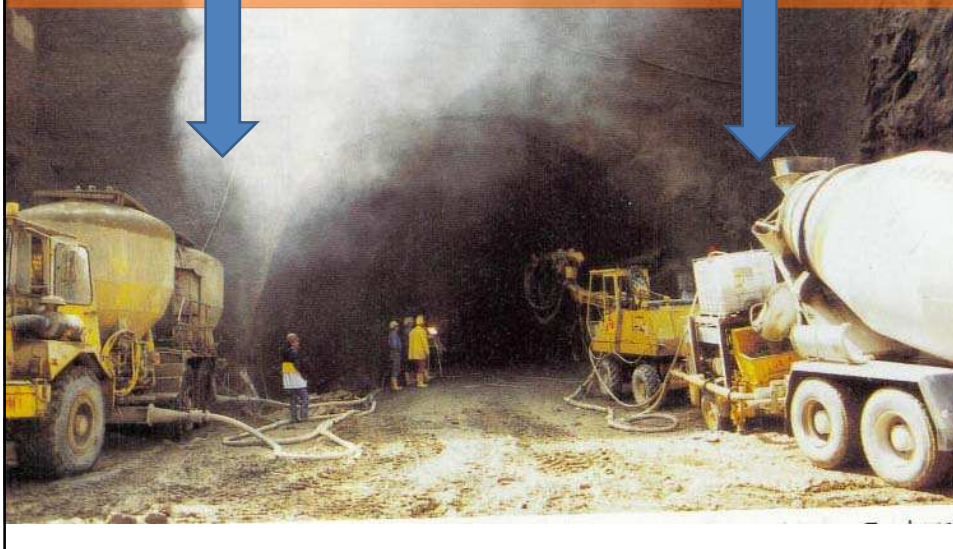


1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



s/c via seca

s/c via húmeda





1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de In

Wet-mix method
Consistency / Workability



Class	Slump (mm)	Remarks
S1	10 - 40	
S2	50 - 90	
S3	100 - 150	
S4	160 - 210	S4 - S5 are recommended for sprayed concrete
S5	≥ 220	

Class	Flow diameter (mm)	Remarks
F1	≤ 340	
F2	350 to 410	
F3	420 to 480	
F4	490 to 550	
F5	560 to 620	Class F5 recommended for sprayed concrete
F6	≥ 630	



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Pobre desempeño y/o aplicación

> shotcrete costoso, ineficiente e inseguro

Causas de un shotcrete de baja calidad

- Diseño de mezcla inadecuado / deficiente
- Especificaciones técnicas inadecuadas
- Equipos e infraestructura de proyección inapropiados
- Mano de obra poco calificada
- Técnicas incorrectas de aplicación
- Deficiente logística de suministros
- Servicios inadecuados (aire comprimido, agua y energía)
- Control de calidad ineficiente o inexistente
- Análisis de costos incorrectos/incompletos, conducentes a falsos ahorros
- Fuerte resistencia al cambio

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Sistema 2 capas (sostenimiento | revestimiento)

Primera capa puede contener refuerzos de terreno (pernos, marchiavantis, etc.)

No longitudinal joints in second layer apart from connection to invert concrete

1st layer steel / PP fibre reinforced sprayed concrete

2nd layer steel / PP fibre reinforced sprayed concrete or in-situ concrete

In-situ concrete (reinforced if necessary)



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

Metro Santiago de Chile Túneles de Andén

- 160 m² (sección transversal),
- Ø15 m, 140 m (longitud)
- Paraguas de pernos autoperforantes en los primeros avances de excavación;
- Excavación en galerías laterales separadas por una pared temporal para reducir deformaciones y controlar sobreexcavaciones.

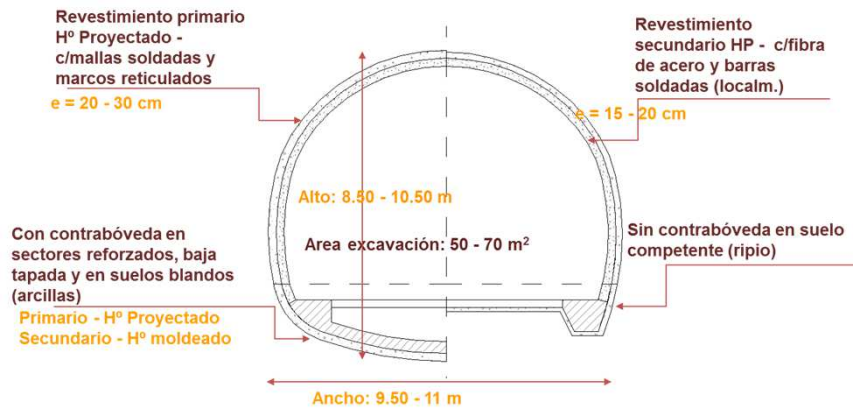
16



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



túneles interestación | Metro Santiago





1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Características a considerar en proceso de proyección de hormigón (1)

El hormigón o mortero es lanzado contra la superficie a una velocidad de entre **20 – 100 m/seg.**, dependiendo del método y equipo utilizado.

El material fino (incluido el cemento) se introducirá en fisuras y juntas, permitiendo un óptimo sellado superficial.

El **rebote** consiste principalmente en partículas gruesas. El rebote al comienzo será mayor y decrecerá conforme se va depositando una capa de finos que va permitiendo la adherencia del árido grueso.

El mortero u hormigón aplicado es compactado por sucesivos impactos de las capas proyectadas.

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

- Vía húmeda (flujo denso) 90 a 120 m/s
- Vía seca (flujo neumático) 40 a 50 m/s

Velocidad = Compactación



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

Características a considerar en proceso de proyección de hormigón (2)

La capa de shotcrete es afianzada a la roca con una resistencia a la adherencia que fluctúa entre **0 – 3 MPa**.

El mortero y finos que penetran en las fisuras y grietas de la roca producen un efecto de **acuñamiento**, equivalente al mortero de pega entre ladrillos.

Este efecto estabilizador previene que un **bloque** suelto caiga, atravesando la capa de shotcrete.

El sellado de la roca evitará desprendimientos debidos a cambios de humedad, efectos de la ventilación y temperatura cambiante, incursiones de agua, etc.

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Solución a mayoría de los problemas durante la aplicación de shotcrete

- **Proactividad** (mejor herramienta para resolver problemas)
- **Toma de control** chequear conocimientos (no creer a cualquiera que dice saber)
- **Relación a/c Contenido de humedad** chequear contenido de agua de mezcla
- **Temperatura** mantener $>20^{\circ}\text{C}$ el concreto y el acelerante
bajas temperaturas = fraguado lento
algunos acelerantes (AFA) son más sensibles que otros
- **Pulsación** influenciado por trabajabilidad de mezcla y tipo de equipo

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

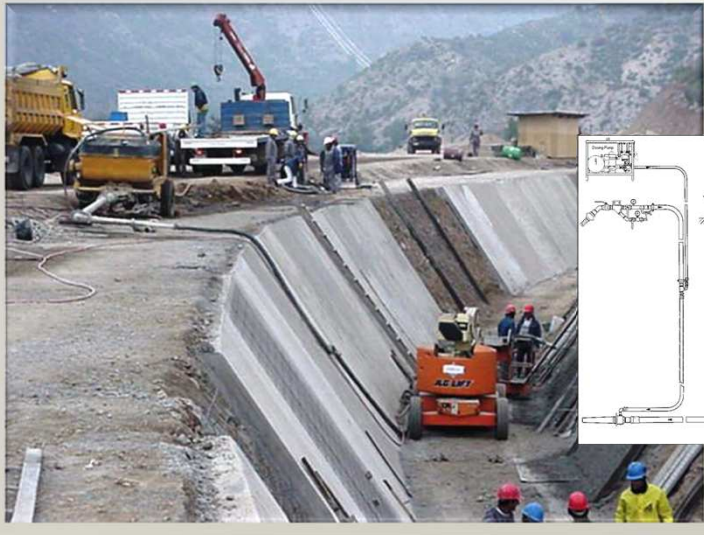
Pulsation results in layering

Pulsación provoca vetas de acelerante

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Hidroeléctrica Guardia Vieja



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Application technique can be dramatic



Same concrete mix from one truck, sprayed 10 minutes apart!
Sprayed by two different nozzlemen during training

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

adherencia a sustrato



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

Check cohesion, fill boxes



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.


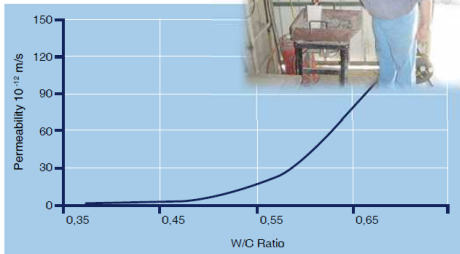
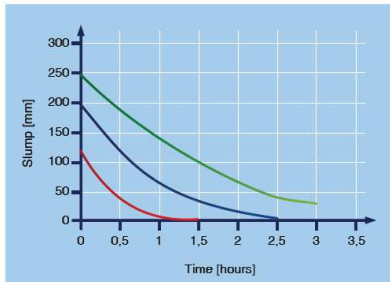
Water/Cement Ratio

W/C ratio is critical for early setting and strength development (should be less than 0.50)


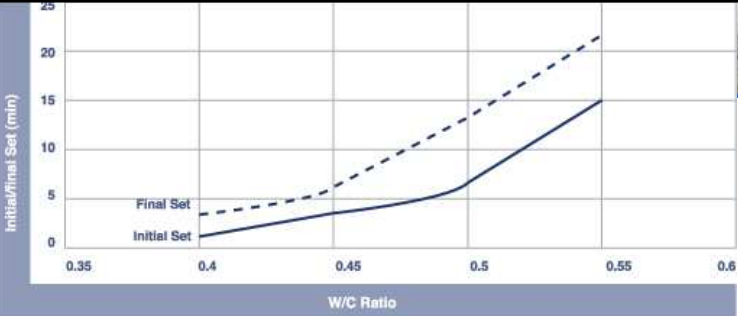
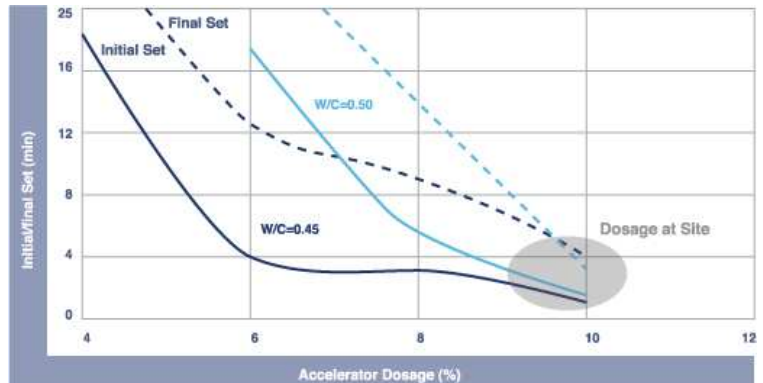
Long term strengths
 Long term durability

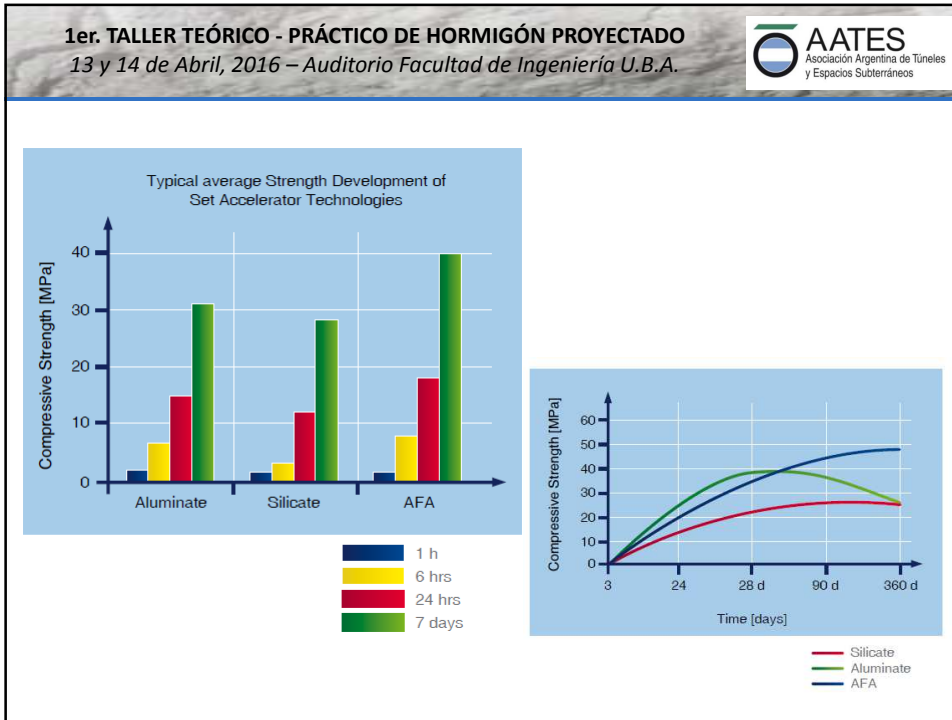
Resistance to chemical attack

Use of high performance superplasticisers if possible

29



Factors of influence on the quality aggregates

- Water demand
- Workability
- Rebound
- Durability
- Shrinkage



Curado

Al igual que con el hormigón convencional, estructuras de hormigón proyectado permanentes necesitan ser curadas o puede ocurrir lo siguiente

- rápida pérdida de humedad y secado resultante de los sistemas de ventilación del túnel
- contenido relativamente alto de cemento en la mezcla y temperaturas de reacción tempranas, debido a una mezcla acelerada, puede causar sequedad y el agrietamiento por contracción rápida
- sin curado adecuado, la adherencia será deficiente, resistencias bajas y durabilidad pobre



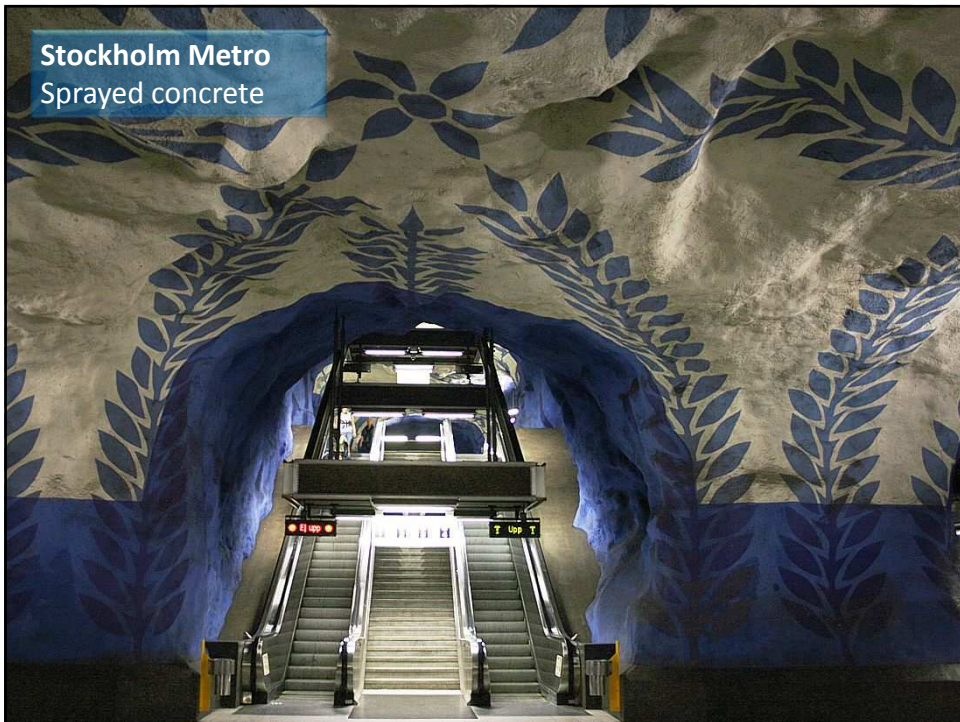
1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

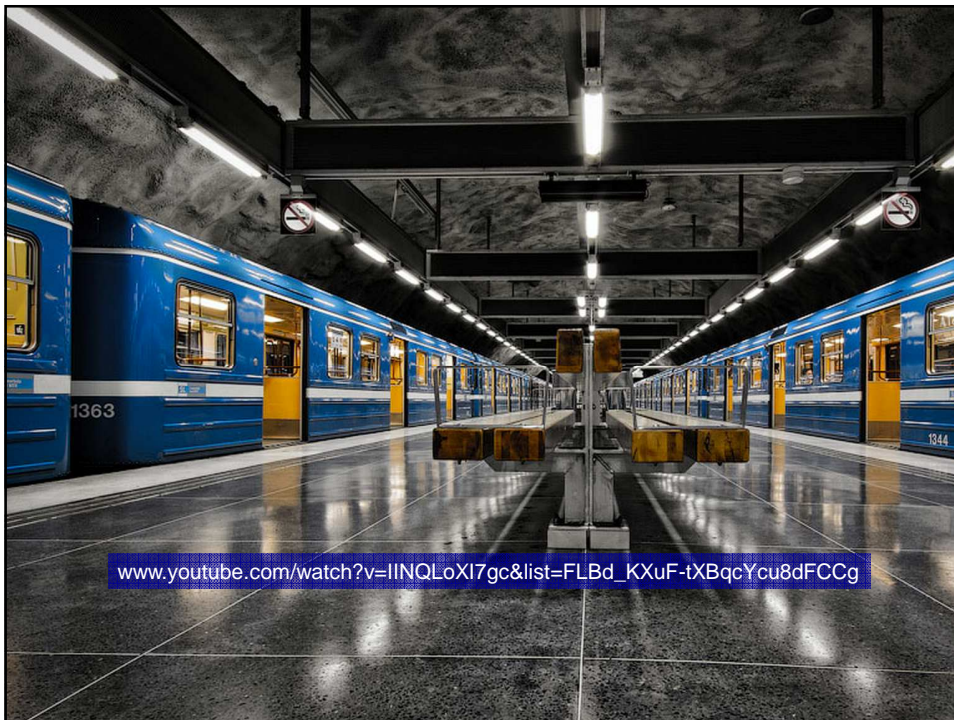


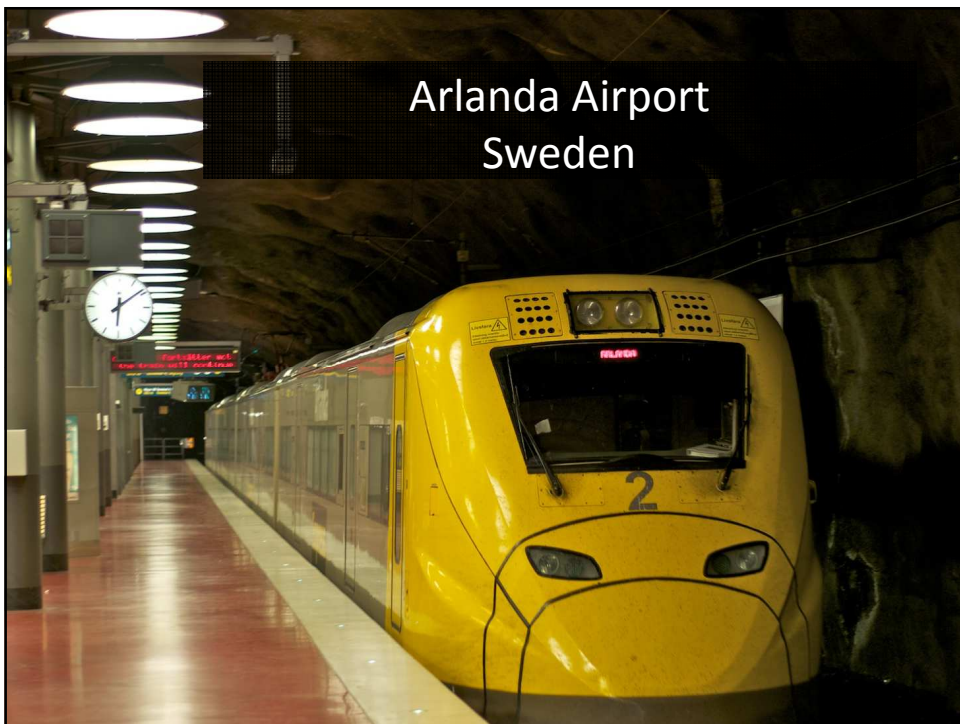
Tauern tunnel, LSC (Lining Stress Controllers)

The image shows a composite of three parts: a close-up of a tunnel wall with a rebar grid and shotcrete, a close-up of Lining Stress Controller (LSC) bolts, and a large photograph of a tunnel interior with two tunneling machines. A technical diagram of a tunnel cross-section is overlaid, showing the placement of spiles, self-drilling rock bolts (250 kN), slots, face bolts, and face buttresses. Dimensions of 1.8.0m and 1.6.0m are indicated. The shotcrete thickness is noted as 220mm.

Stockholm Metro
Sprayed concrete









1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

H.C.A. admixtures for hydration control

Traditional sprayed concrete	<p>Manufacturing Delivery Consumption</p> <p>1 – 2 hours</p>
Flexibility with H.C.A.	<p>Manufacturing Delivery Intermediate storage Consumption</p> <p>3 – 48 hours</p>

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Hydration Control

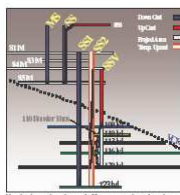


Codelco Andina Mine - 1996

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Hydration Control



Vertical section through Mponeng mine showing the main and sub shafts
ANGLOGOLD ASHANTI

- Profundidad 3,46 km
- Mezcla estabilizada x 12 horas
- Dosis AFA: 6%



Mponeng, Sudáfrica

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

SHOTCRETE en Obras Subterráneas

- Refuerzo estructural del sustrato por relleno de fisuras y grietas (efecto “micro-cuña”).
- Refuerzo estructural por efecto “viga/losa” entre roca competente y pernos de anclaje.
- Protección del sustrato y refuerzo de acero (malla, fibra y/o pernos) de erosión y cargas:
 - Aire, agua erosiva, ataque químico (sulfatos, cloruros), corrosión del acero.
 - Impacto y vibraciones (tronaduras, etc.).
 - Fuego (primeras aplicaciones).
- Confinamiento lateral.
- Soporte estructural en grandes espesores con geometría regular (“efecto arco”).

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

Pruebas de Terreno

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

Pruebas de Terreno



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

Filtraciones...
Metro L1 extension, Santiago (2010)



48

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

drenaje

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

drenaje

Sw

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

drenaje

Shotcrete en clave con membrana proyectada y paredes laterales de hormigón

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Permanent Sprayed Concrete Linings Expectations

Future loads:
 • Hydrostatic changes
 • New buildings
 • New adjacent tunnels

Ground Loading

Age of sprayed concrete lining

100yr 50yr 25yr 10yr | 2yr 1yr 90d 28d 14d 1d 12hr 6hr 1hr TIME

Operational Period (100yr to 2yr):
 Durable & Environmentally safe

Construction Period (2yr to 1hr):
 Cont. strength gain
 Remaining safe
 Remaining dry

Final Stage (1hr):
 Fast setting
 High build
 No "sleeping"!
 Safe to use

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Sostenimiento

- Absorbe movimientos de terreno
- Ligado a reajuste tensional que se produce en el terreno como consecuencia de una excavación

Revestimiento

- Se limita a ofrecer el margen de seguridad de la obra (en caso de que terreno o sostenimiento se deterioren o por cambio de uso de suelo)
- Se coloca una vez que la excavación ha sido estabilizada por el sostenimiento

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



HP | capa de de afinado





Hidroeléctrica Guardia Vieja: canal gunitado

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

superficie de hormigón proyectado vs. colado

Sprayed concrete

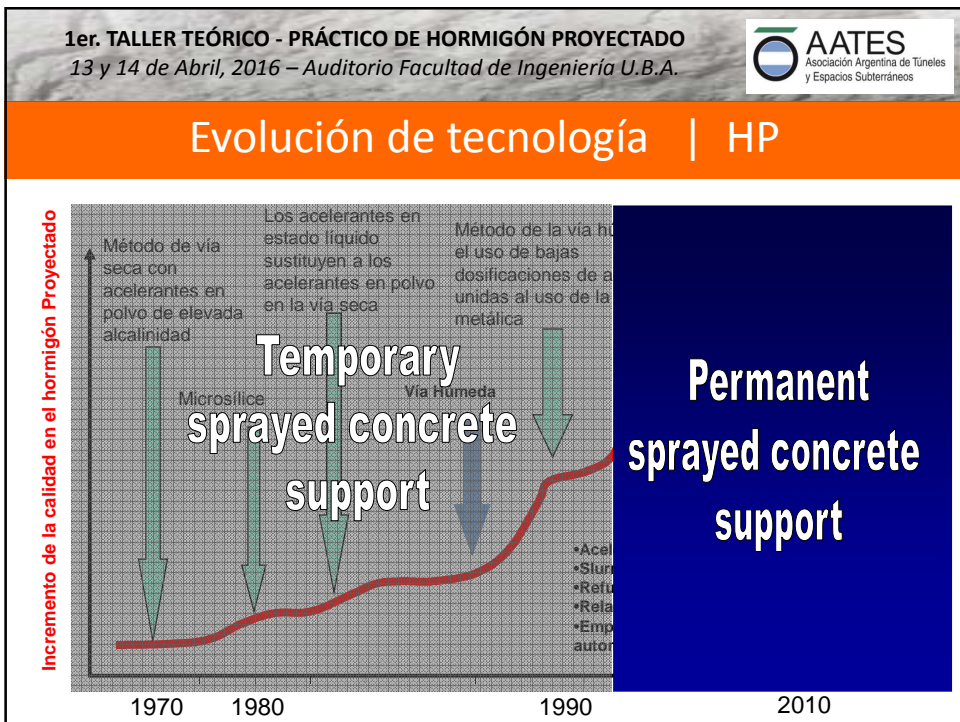
Cast in-situ concrete

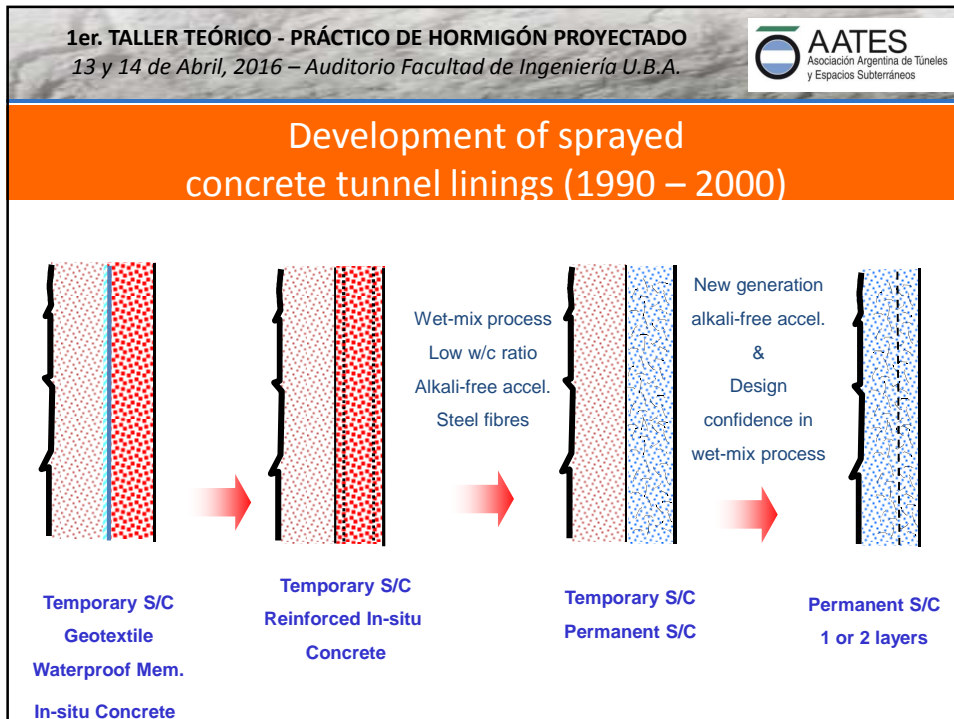
1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



banqueo







1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

Propiedades de un Shotcrete de Calidad

Las resistencias a la compresión, tanto iniciales como finales, deben ser lo suficientemente altas para garantizar un óptimo desempeño del shotcrete.

La adherencia a la superficie de la roca es un parámetro muy importante a considerar, pero difícil de cuantificar.

Debido a la presencia frecuente de retracciones en ciertos puntos críticos, la **resistencia a la tensión** es un factor menos importante.

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



La **retracción** es otro factor importante a considerar en el momento del diseño de la mezcla. Un mínimo de retracción promueve la adherencia y reduce el fisuramiento, mejorando la durabilidad.

Para minimizar la retracción, el contenido de finos y cemento debe ser bajo, la relación agua / cemento debe ser menor a 0,5 y se requiere una óptima técnica de aplicación (buena compactación y ángulos rectos de proyección).

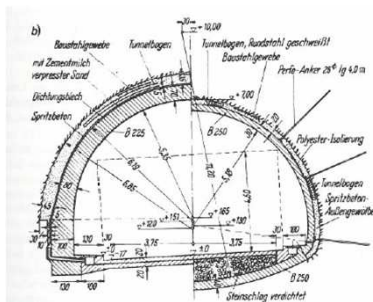
Un **curado** apropiado, usando compuestos de curado, rociando agua o usando un aditivo de curado interno, deben ser especificados en la rutina de trabajo.



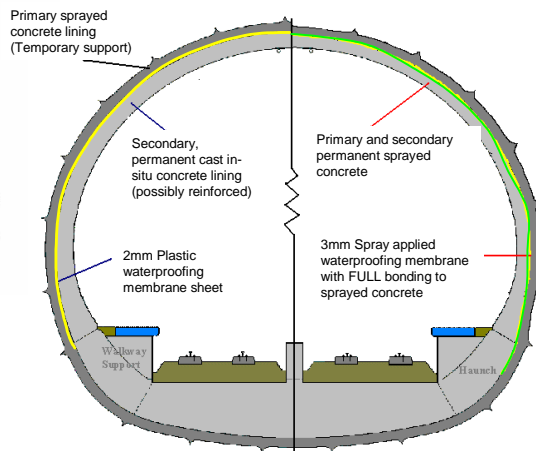
1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Aligeramiento de estructura



túnel Massenberg, 1965



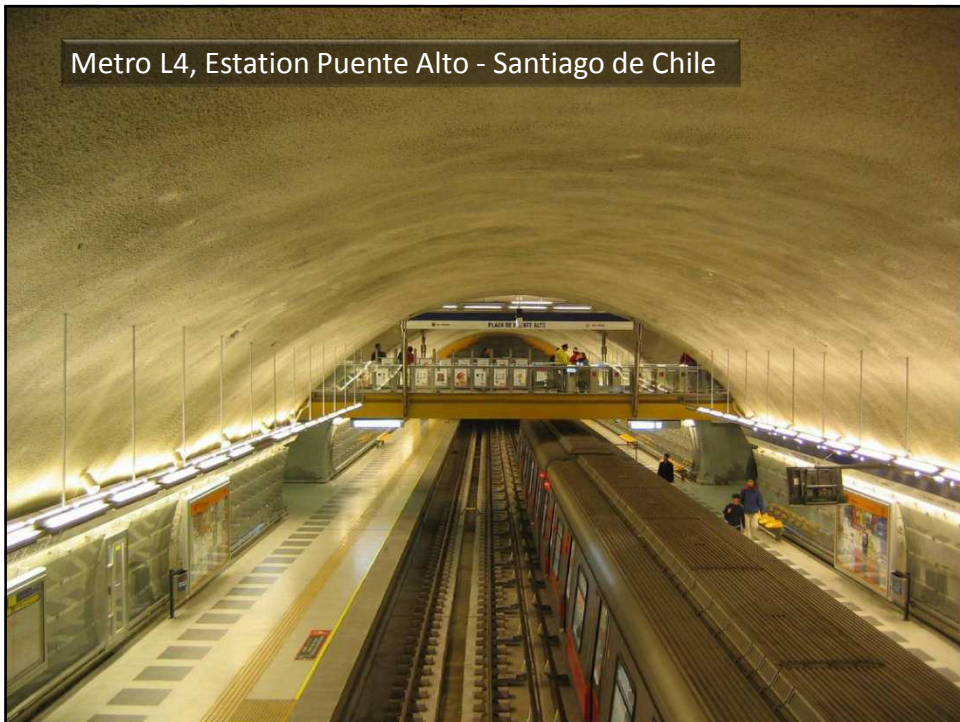
1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

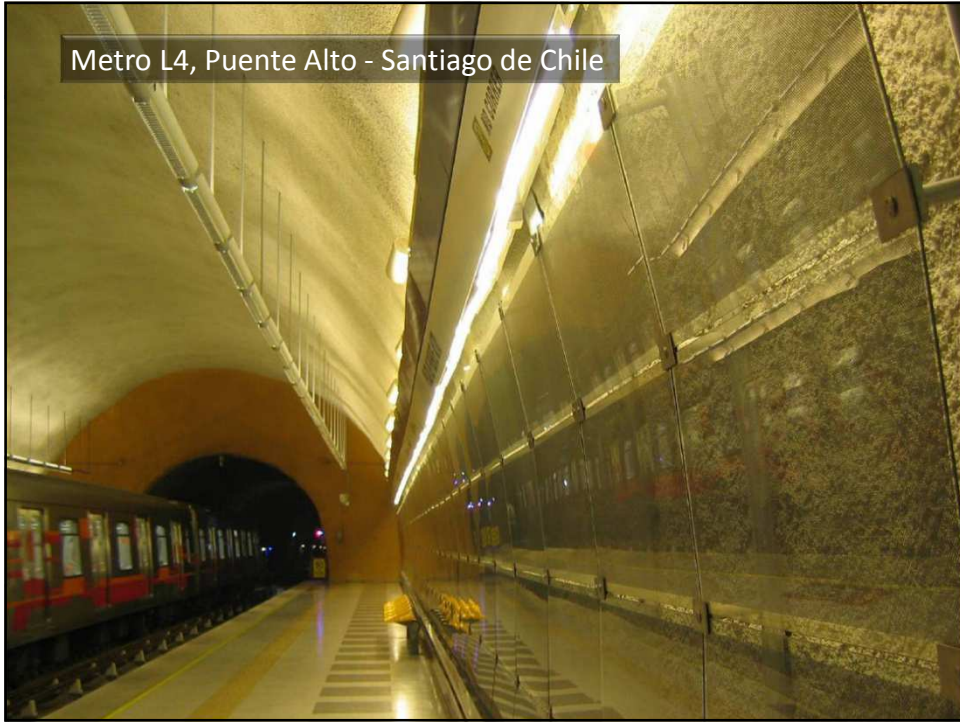
AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Lining Design	Costs
Double Shell Lining: SC 15 cm + 40 cm WP concrete	100 %
Single Shell Lining: SC 15 cm + 25 cm WP concrete	85 %
Single Shell Lining: SC 15 cm + 15 cm SC	80 %
Single Shell Lining: SC 15 cm + 10 cm SC + 10 cm SC	90 %

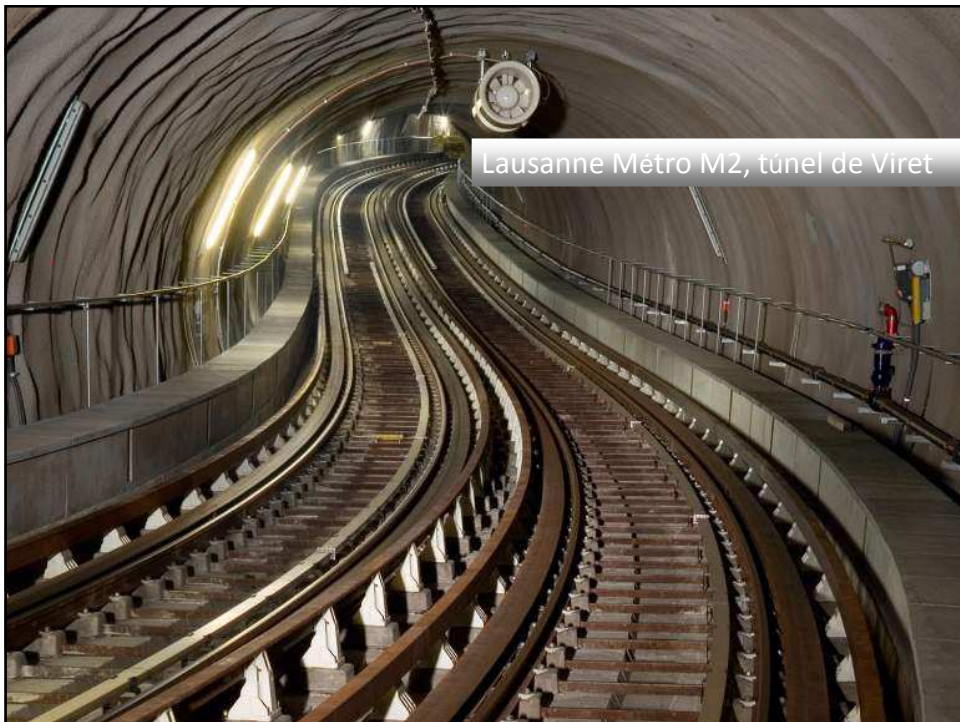
Comparación de costos entre sistema convencional (hormigón in-situ) versus revestimiento monocapa - SSL (Schreyer, 1996)



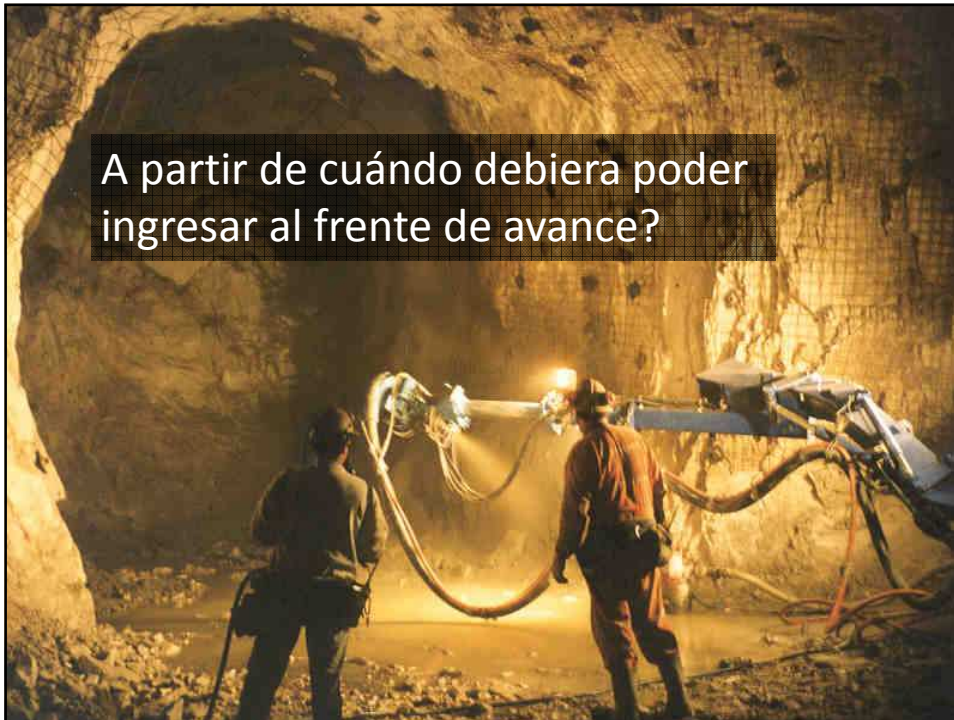




Metro L4, Puente Alto - Santiago de Chile



Lausanne Métro M2, túnel de Viret

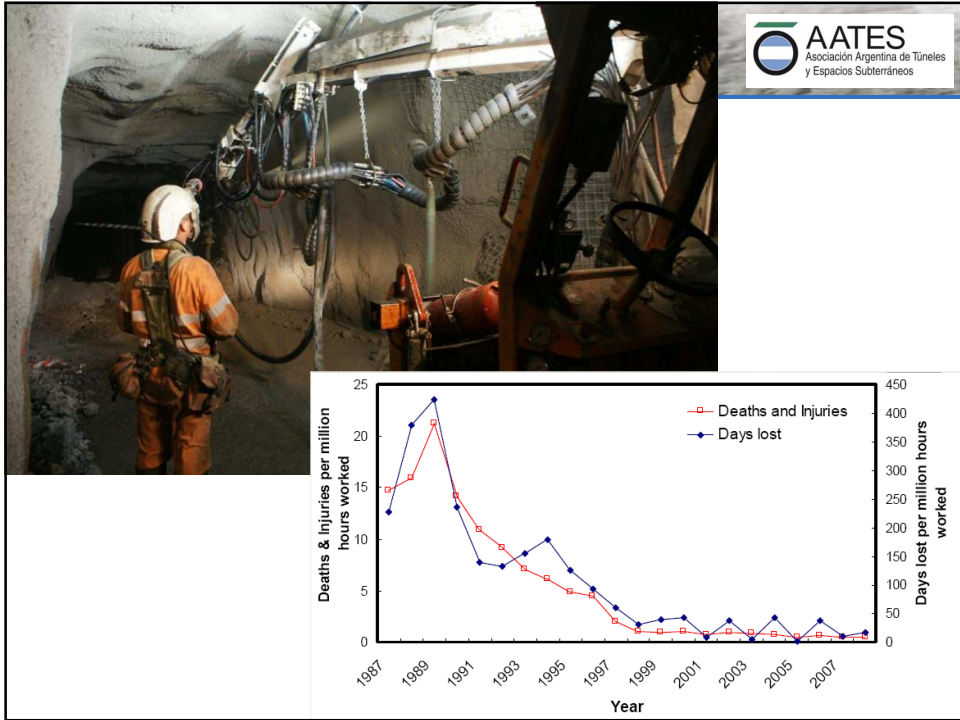


1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

Early re-entry into working faces in mines through modern shotcrete technology

>1 MPa



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

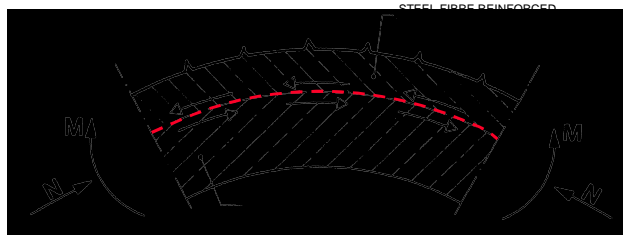


Drilling Face for next Round of Blasting



Adherencia entre capas

Las resistencias a la tensión y al corte entre capas pueden ser aseguradas por una superficie rugosa de la primera capa, obteniéndose así una interfase efectiva.



FRICIONALLY TIGHT BOND ESTABLISHED BY CLEAN IRREGULAR SURFACE OF FIRST LAYER AND LOW SHRINKAGE PROPERTIES OF SECOND LAYER

M BENDING MOMENT
N HOOP THRUST

HP a través de enfierradura



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Formación de sombras

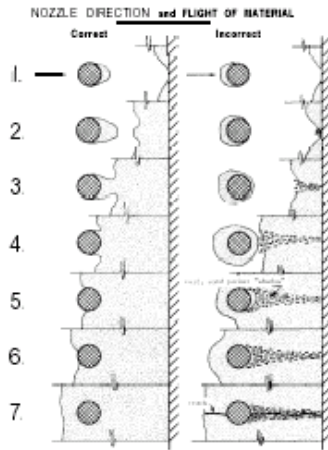


HP através de enfierradura

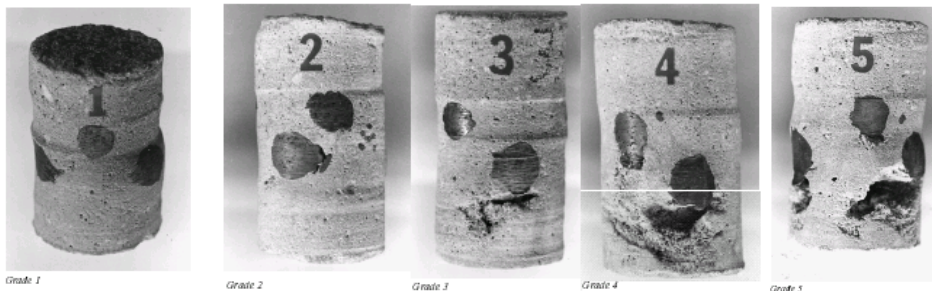


HP através de enfierradura

Formación de sombra detrás de armadura



Formación de sombra detrás de armadura



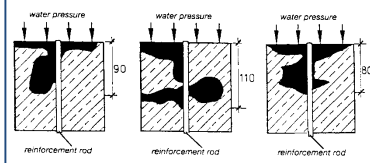
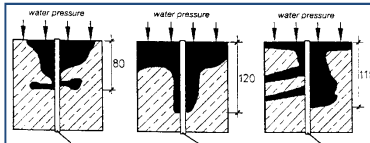
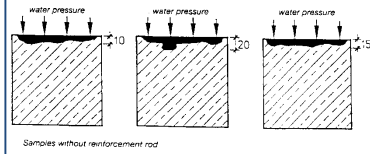
Testigos sacados con diferentes grados de compactación:
el testigo de la derecha es el más desfavorable

Water penetration



Permanent sprayed concrete samples containing 12mm diameter steel reinforcement

Samples without reinforcement rod



Samples with reinforcement rod

Filtraciones en zona de marcos



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Lattice girder & layer arrangements

Lattice girder spacing typically 1 to 2.5m centres

Construction joints of 1st layer sprayed concrete

1st layer: Permanent sprayed concrete reinforced with steel fibres

2nd layer: Permanent sprayed concrete reinforced with steel and polypropylene fibres

Finishing layer: Mortar or gunite

Construction joints in 2nd layer typically 4 to 5m centres. Joints in 2nd layer to be staggered in relation to 1st layer joints.

Formed construction joint with re-injectable grouting tube to seal joints

SPTL Two layer method: 2nd layer sprayed concrete

Lattice girder spacing typically 1 to 2.5m centres

Construction joints of 1st layer sprayed concrete

1st layer: Permanent sprayed concrete reinforced with steel fibres

2nd layer: Permanent in-situ concrete reinforced with steel and polypropylene fibres

Construction joints in 2nd layer typically 8 to 10m centres. Joints in 2nd layer to be staggered in relation to 1st layer joints.

Formed construction joint with hydroswelling rubber strips to seal joints

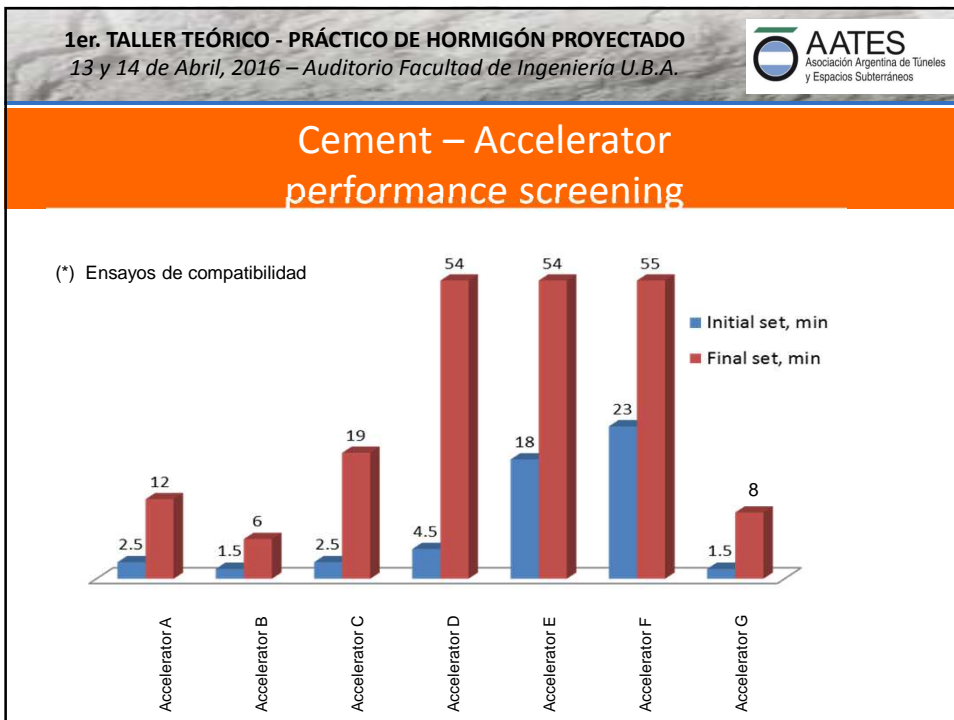
SPTL Two layer method: 2nd layer in-situ concrete

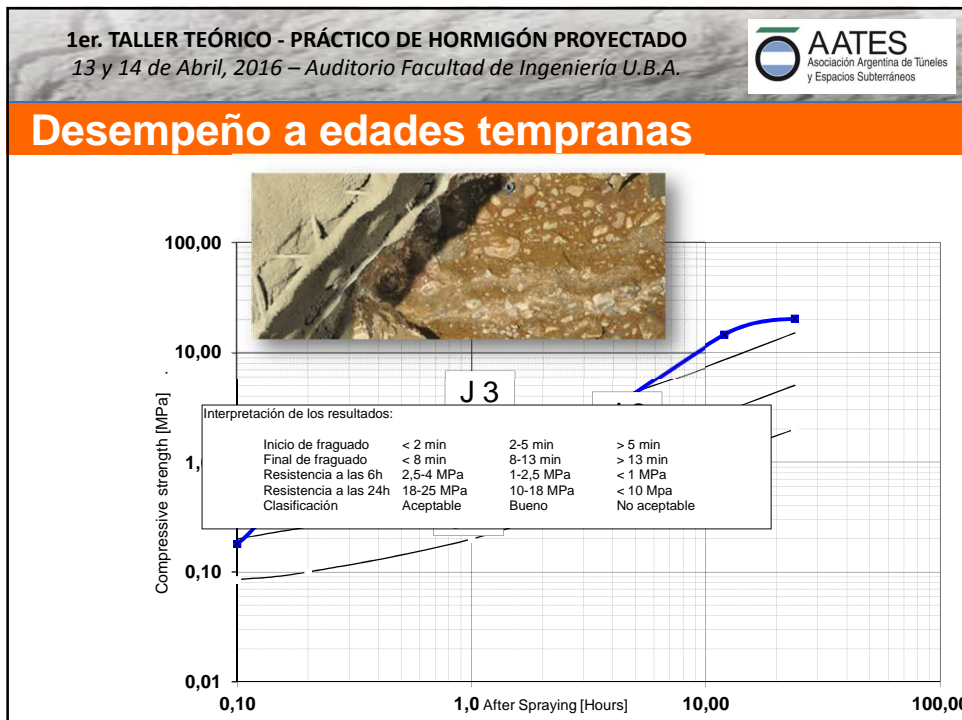
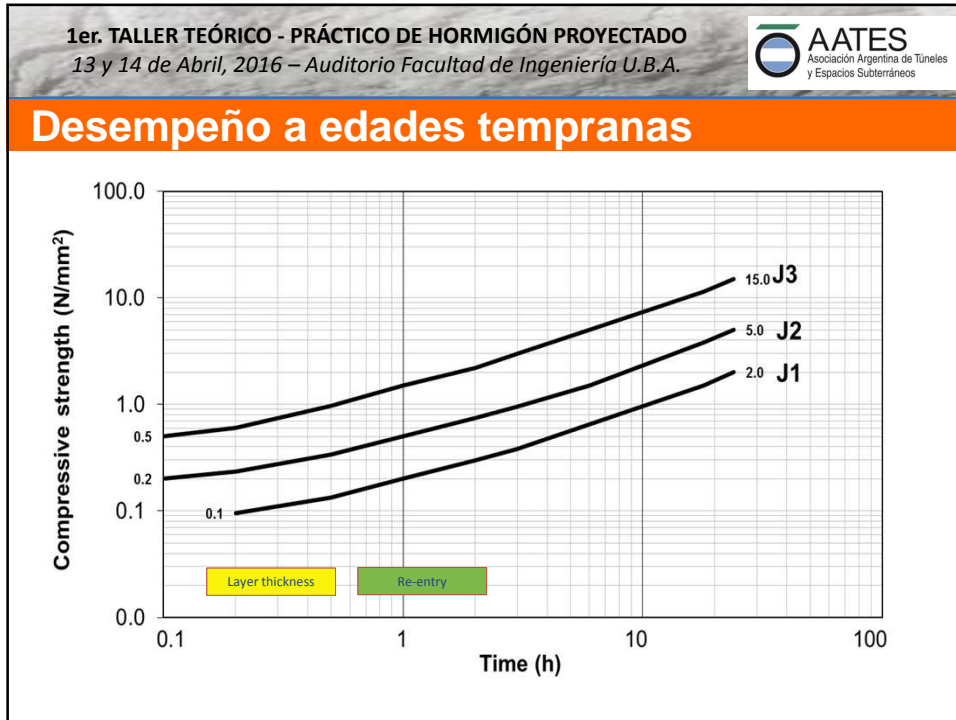
1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Tratamiento de juntas

tubos Fuko





1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Metro Santiago, Línea 4 (2003-2004)

Item	EETT 1	EETT 2
Resistencia temprana (Penetrómetro Ø9 mm)	N/E	2.0 – 4.1 MPa a 2' 3.1 – 6.0 MPa a 5' 4.7 – 7.1 MPa a 10'
fc 12 horas (MPa)	9.0	6.5
fc 24 horas (MPa)	12.5	12.5
fc 7 días (MPa)	22.5	n/e
fc 28 días (MPa)	30.0	30.0
w/c	N/E	0.45 (recomendado)
Disminución resistencia	20% (7 y 28 días)	20% (7 y 28 días)
Granulometría árido	Ajuste a Faury	N/E
Impermeabilidad	Máxima: 30 mm	Máxima: 50 mm
Water-tightness (DIN 1048)	Media: 20 mm	Media: 20 mm
Silica fume	SI	N/E
Volumen de vacíos	N/E	17.5% max
Fibra control retracción	SI	N/E
Energía absorción	-	700 J (EFNARC)

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Kidd Creek, Canadá (copper-zinc-silver mine)

2000 – 2004:
development 2.070 – 3.050m

underground shaft, hoisting facilities,
and app 15 km of galleries
100.000 m³ concrete & 60.000 m³
shotcrete
SFRS: cycle time reduction: 10 hrs →
4 hrs

UCS 40 MPa in 28 days
Early Strengths:
2.5 MPa in 2 hours
4.0 Mpa in 4 hours




1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

NEAT Gotthard Base Tunnel, Suiza

Contractor: Strabag
 Construction Period: 2001 – 2010
 Vol: 415.000 m³ (L: 57 km)

Specifications / Strengths achievement (J3)

6 mins	0.4 MPa
30 mins	0.6 MPa
4 hrs	3.9 MPa
12 hrs	12.1 MPa
24 hrs	21.2 MPa
7 days	31.3 MPa
28 days	36.5 MPa

**New Rail Link through the Alps NRLA
 Gotthard Base Tunnel**
 between Emfling (UK) and Bockli (S), Switzerland
 Length: 57 km / 35.4 mi - Construction: 1999 - 2017

7.7 km	11.3 km	8.6 km	13.4 km	15.0 km
7.7 km	11.3 km	8.7 km	13.6 km	15.6 km

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

KoralmTunnel, KAT2, Austria

Contractor: Strabag-Jäger
 Construction Period: 2011 – 2014
 L: 33 km

Specifications / Strengths achievement (J2)

6 mins	>0.2 MPa
1 hrs	>0.6 MPa
6 hrs	> 1.8 MPa
24 hrs	> 5 MPa
28 days	> 25 MPa

3D-Modell der Koralm mit geologischen Längsschnitt und Erkundungsbauwerken

Legende Erkundungsbauwerke:
 - Erkundungsbauwerk
 - Erkundungsbauwerk
 - Erkundungsbauwerk
 - Erkundungsbauwerk

©BBB Infrastruktur

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.




Resistencias Tempranas

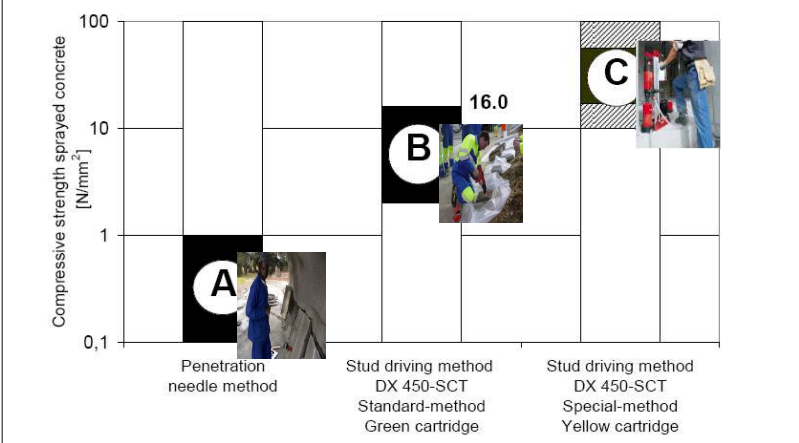
Métodos de medición de resistencias a edades tempranas

1. Penetration Needle 0 – 1 MPa	
2. HILTI Nail Testing 2 – 15 MPa	
3. CORE Testing > 10 MPa	

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.



Methods of UCS strength performance testing



Compressive strength sprayed concrete [N/mm²]

100
10
1
0,1

A Penetration needle method

B Stud driving method DX 450-SCT Standard-method Green cartridge

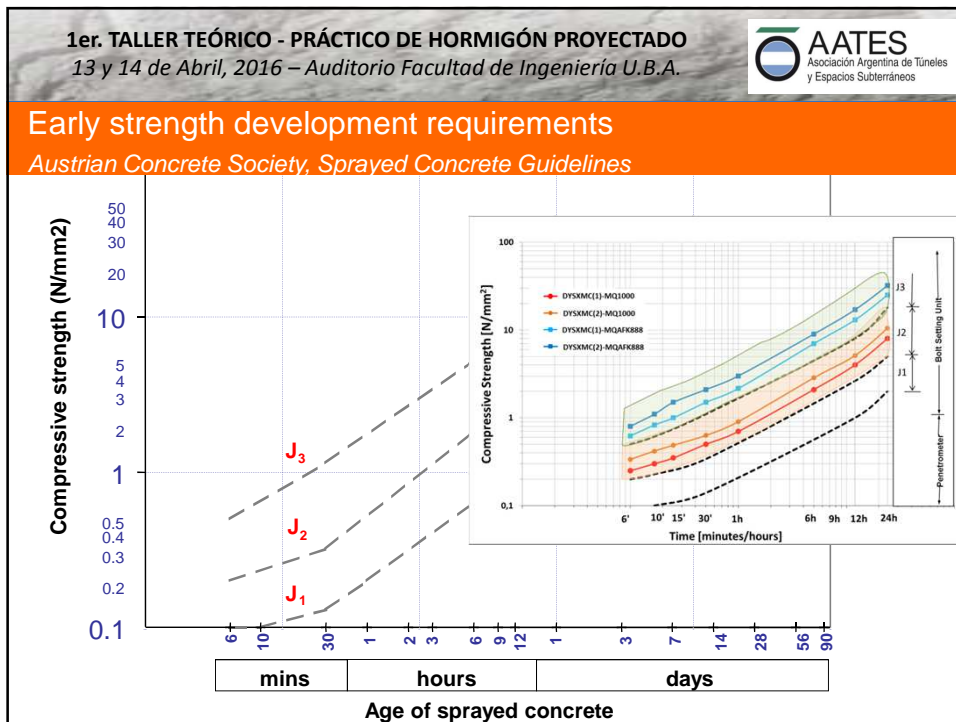
C Stud driving method DX 450-SCT Special-method Yellow cartridge

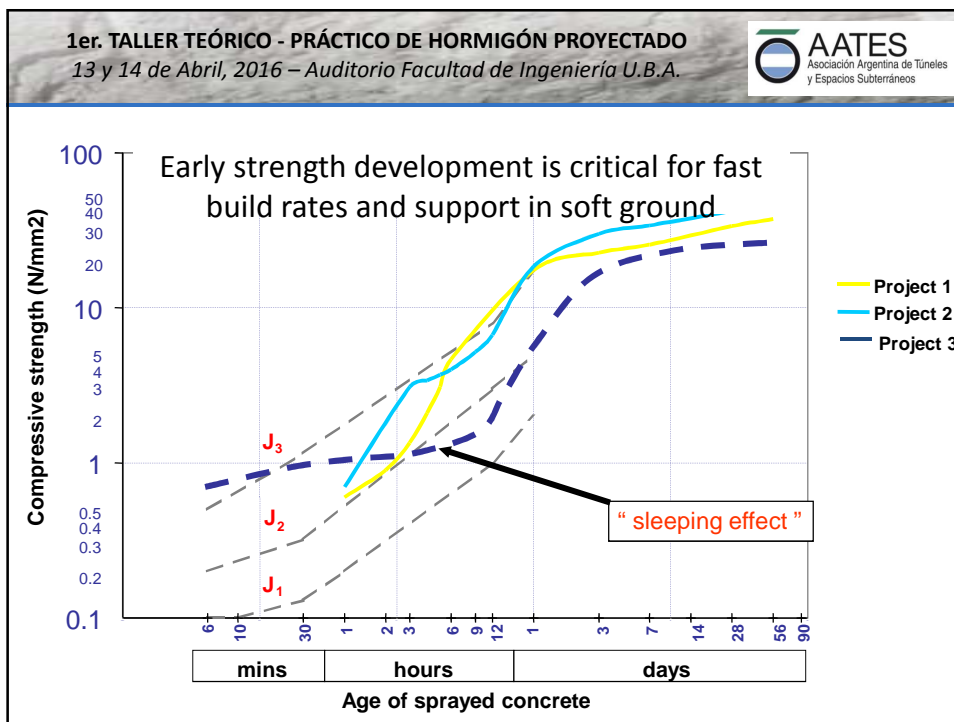
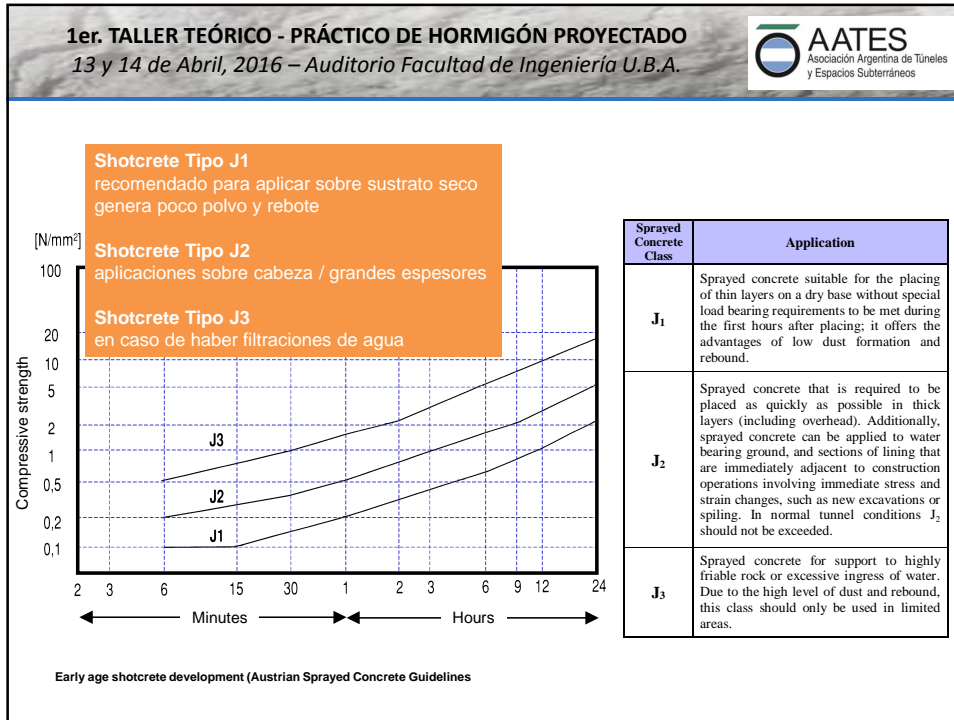
16.0

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
 13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

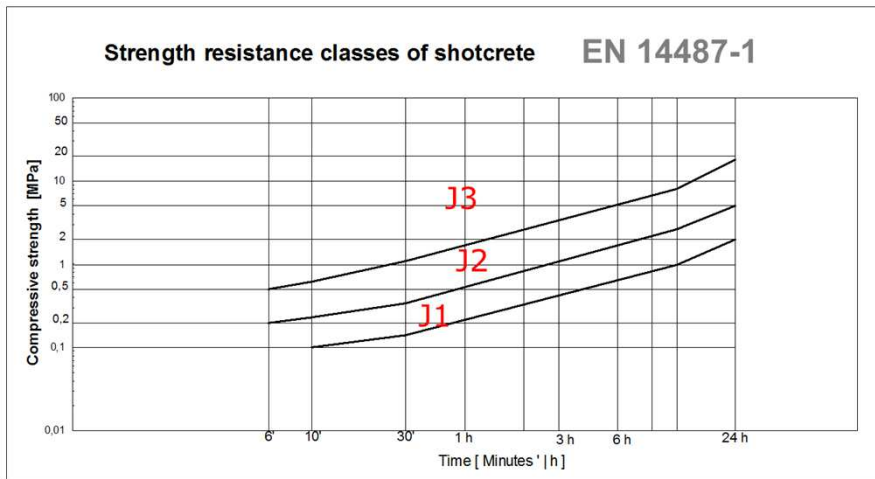
AATES
 Asociación Argentina de Túneles y Espacios Subterráneos

Penetrómetro / Pistola HILTI

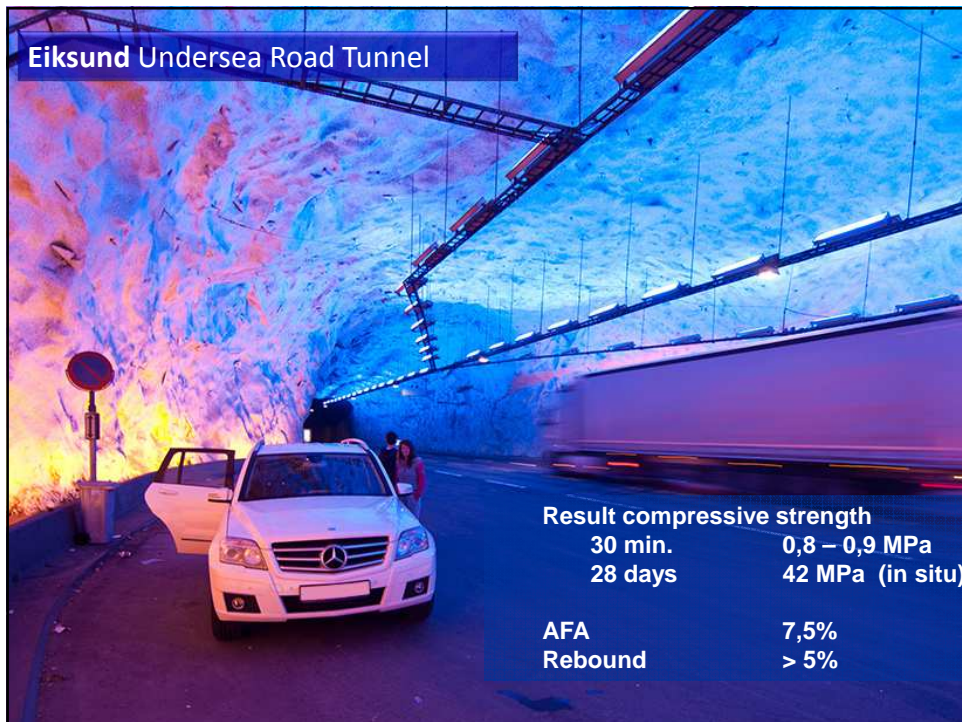




Early strength development
normalized

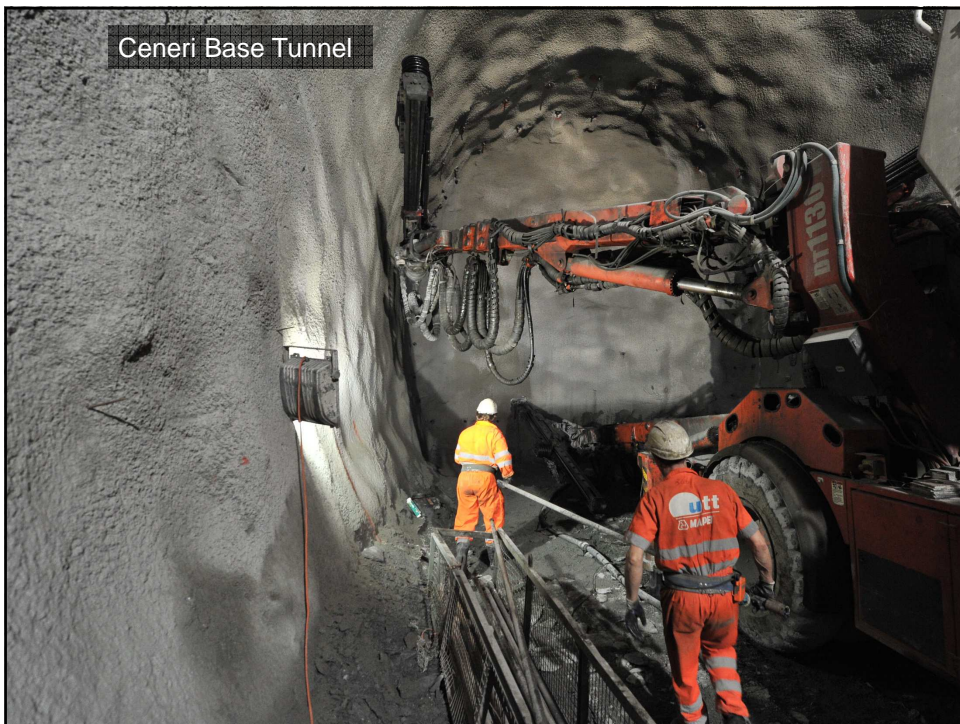


Eiksund Undersea Road Tunnel



Result compressive strength	
30 min.	0,8 – 0,9 MPa
28 days	42 MPa (in situ)
AFA	7,5%
Rebound	> 5%







1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

CrossRail, UK

Kings Cross station, UK

The top section of the slide contains the event title and date, and the AATES logo. Below this are two photographs. The left photograph shows a large, circular tunnel with a group of workers in orange safety gear standing in a line across the width of the tunnel. The right photograph shows a tunnel under construction with a worker on a platform in the center, surrounded by construction equipment and pipes.



Stockholm Metrostation, Sweden



Laerdal Road Tunnel

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

HP revestimiento final (TBM)



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

Training and certification

Training programs for people involved with Sprayed Concrete operations

Simulador (www.edwirt.com), para entrenamiento de operadores de brazo mecanizado

Certification of Nozzlemen such as through ACI / EFNARC programs



1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

EHSO

www.shotcreteplus.com

Protection

- Do not enter the danger zone
- Distance between worker and wall > 1,5 m
- Wear suitable protective gear
- Wear respiratory protection
- Wear eye protection
- Wear ear protection with shock absorber to reduce dust and atmospheric pollution

1er. TALLER TEÓRICO - PRÁCTICO DE HORMIGÓN PROYECTADO
13 y 14 de Abril, 2016 – Auditorio Facultad de Ingeniería U.B.A.

AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

utt
MAPEI