

## LA TÉCNICA PASA FRONTERAS



# 19<sup>th</sup> Australasian Tunnelling Conference

*Perth, Australia Occidental*

*Celebrado del 10 al 14 de noviembre de 2025*

**Hugo E. Acosta-Martínez, WSP, Perth, Australia**  
**Doug Stewart, FSG Geotechnics + Foundations, Perth, Australia**  
**Eric Hudson-Smith, Geosite Pty Ltd, Perth, Australia**  
Editores

<https://atc2025.com.au/au/pages/program>

### ***Shrinkage Cracking in Slender Shotcrete Tunnel Linings***

Autores:

E.S. Bernard; Victoria University, Melbourne, Australia.

Las fisuras por retracción durante el secado en los revestimientos de *shotcrete* suelen considerarse benignas y, con frecuencia, se descartan como irrelevantes para el desempeño estructural de estos revestimientos. Sin embargo, experiencias recientes en túneles australianos construidos con revestimientos delgados de *shotcrete* indican que este tipo de fisuración constituye un problema de mantenimiento significativo, debido a las filtraciones recurrentes de agua subterránea hacia el interior del túnel a través de dichas grietas. Este artículo analiza la formación y las consecuencias de las fisuras por retracción en revestimientos delgados de *shotcrete* para túneles y presenta las medidas desarrolladas para abordar los problemas de durabilidad y mantenimiento que surgen a causa de la infiltración de agua a través de estas fisuras.

### ***High temperature bond behavior of Spray Applied Waterproof Membranes (SAWMs)***

Autores:

M. Reinhold & G. Bhatta; Normet Asia-Pacific Pty Ltd, Adelaide, Australia.

A diferencia de los revestimientos autoportantes, como los colados en sitio con membranas sintéticas, los revestimientos tipo "shell" compuesto o los revestimientos permanentes de concreto requieren soporte adicional. Estos sistemas dependen de la capacidad de doble adherencia de la membrana impermeabilizante para mantener en su lugar tanto la membrana proyectada como la superficie interior de la capa de protección contra incendios. Se ha establecido una resistencia

de adherencia mínima de 0.5 MPa en ambas interfaces de la membrana como estándar industrial (por ejemplo, en las ITA-tech Guidelines for SAWMs). Este artículo analiza el comportamiento estructural y de adherencia de tres sistemas SAWM basados en tecnologías de copolímero EVA (etileno-acetato de vinilo) y SBR (estireno-butadieno), cuya respuesta se vuelve crítica en caso de incendios para garantizar la accesibilidad y la integridad estructural de las obras subterráneas durante y después de dichos eventos. Se desarrollaron configuraciones experimentales basadas en las normas industriales pertinentes, y se evaluó la adherencia y el comportamiento de las membranas a temperaturas elevadas y, posteriormente, una vez que las membranas fueron enfriadas nuevamente a temperatura ambiente.

### ***Practical shotcrete design approach based on full-scale load-deflection tests using numerical analysis***

Autores:

J. Oh; School of Minerals and Energy Resources Engineering, UNSW Sydney, NSW, Australia.

T. Moon; HNTB Corp, New York, NY, USA.

Este estudio analiza el desempeño y los mecanismos de falla del *shotcrete* en construcciones subterráneas mediante análisis numéricos que replican ensayos de carga-deflexión a escala real, basados en datos obtenidos en campo. Se realizó una serie de estudios paramétricos para examinar la interacción entre distintos elementos de soporte, como el espaciamiento de pernos, el espesor del *shotcrete* y la calidad de adherencia del material, bajo diversas condiciones de carga. Los resultados del análisis revelan que la capacidad última del panel de *shotcrete* está gobernada principalmente por un modo de falla a tensión por flexión tras la falla principal de adherencia.

El área de adherencia residual a lo largo del perímetro del panel juega un papel importante al reducir el brazo de momento efectivo, lo que incrementa la resistencia última a flexión. Además, el momento flector negativo inducido por la interacción entre el perno o placa de anclaje y el panel de *shotcrete* puede reducir significativamente el momento positivo en la sección central del panel. Con base en estos hallazgos, se propone un enfoque práctico de diseño de *shotcrete* que utiliza el concepto de coeficiente de momento flector, integrado con el Sistema Q.

### **Optimizing artificial ground freezing design for cross passage construction: Construction and practical considerations**

Autores:

C.F. Tsang, D. Devrnja, M. Gresz & G. Quigg; CPB Contractors Pty Ltd, Australia.

El congelamiento artificial del terreno (AGF, por sus siglas en inglés) es un método ampliamente utilizado para el soporte temporal del terreno en la construcción de pasos transversales entre túneles excavados en suelos blandos, reconocido por su estabilidad estructural y hermeticidad. Este artículo aborda una brecha importante en la optimización del AGF desde la perspectiva constructiva, al definir las consideraciones de diseño más relevantes. Las configuraciones del sistema AGF pueden variar desde soluciones de doble cara con collarines estándar hasta esquemas con collarín mínimo, lo cual influye directamente en la longitud de las tuberías, la cantidad requerida y sus ángulos de instalación. Reducir la altura del collarín permite optimizar estos parámetros, disminuyendo tanto los costos de material como la duración del proyecto. La selección del tipo de revestimiento es un aspecto crítico, especialmente considerando las limitaciones espaciales asociadas a los segmentos tradicionales de concreto reforzado. Como alternativa, pueden proponerse revestimientos metálicos, que favorecen un mejor mecanismo de transferencia de carga y reducen la necesidad de soporte interno temporal para el aseguramiento del espacio. Asimismo, se analiza el uso de nitrógeno como agente de congelación, el cual permite reducciones significativas en el tiempo de congelamiento en comparación con el uso de salmuera; no obstante, su aplicación debe evaluarse frente a los riesgos de seguridad y el costo asociado. El objetivo de este artículo es presentar un marco integral que integre las principales consideraciones de diseño del AGF y analizar sus implicaciones prácticas en el contexto constructivo.

### **Laboratory test methods and results for double shear performance of Australian CT bolts in simulated strata**

Autores:

S. R. Worrall, R. Walker, D. W. Evans; Sandvik Ground Support Division, Newcastle, New South Wales, Australia.

Los pernos CT australianos son un sistema de sostenimiento de estratos utilizado en los principales proyectos de túneles en Australia, diseñados para una vida útil de 100 años mediante

el sistema de Protección Doble contra la Corrosión (DCP). Sandvik Ground Support (anteriormente DSI Underground Australia) ha llevado a cabo una serie de programas de pruebas exhaustivas sobre los pernos CT australianos en colaboración con diseñadores de túneles y empresas constructoras. Un componente fundamental de este trabajo han sido los ensayos de doble corte en laboratorio, que proporcionan información crítica sobre los límites de deformación del perno bajo esfuerzos combinados de corte y tensión. Este artículo analiza un programa de ensayos de doble corte en laboratorio realizado en tres tipos de pernos CT australianos: una barra maciza de acero de 310 kN, una barra maciza de acero de 579 kN y un perno de cable de torón de acero de 573 kN. Los resultados de este programa de ensayos aportan evidencia sobre un límite práctico de desplazamiento por corte para el diseño del perno CT australiano.

### **Investigation of composite shell lining interface behavior of rock tunnel**

Autores:

W. Shuyi, D. Yisan, W. Ning & Y. Xiangjun; China Railway Academy Group Co., Ltd., Chengdu, China.

El uso de membranas proyectadas permite generar un efecto compuesto entre el *shotcrete* y dichas membranas dentro de los revestimientos de túneles. Sin embargo, el mecanismo que controla el comportamiento del revestimiento compuesto aún no se comprende con claridad. Mediante metodologías de ensayo en laboratorio, se realizaron pruebas de compresión por corte en especímenes con distintos ángulos del núcleo y con diferentes tipos de membranas proyectadas, con el fin de determinar la resistencia adhesiva, el ángulo de fricción interna y la rigidez al corte de las membranas. Posteriormente, se elaboró la envolvente de la resistencia última a corte en tensión-compresión, la cual sirve como umbral para definir la resistencia antideslizante en la interfaz. Además, mediante simulaciones numéricas se obtuvieron la tensión normal y la tensión cortante en cada punto de la interfaz, y se evaluó si alguno de estos esfuerzos superaba la envolvente de resistencia. Con ello se determinó si la interfaz experimentaba o no deslizamiento relativo.

### **Evaluation of rockbolt performance using field testing**

Autores:

S. Soni & P. Clark; Infrastructure Projects and Engineering, Transport for New South Wales, Sidney, Australia.

Los pernos permanentes de roca (*rockbolts*) son elementos esenciales en los sistemas de sostenimiento de túneles, ya que proporcionan estabilidad estructural y controlan los movimientos del terreno. Su diseño debe considerar la capacidad de carga axial y cortante, la eficiencia en la transferencia de cargas a lo largo de la longitud del perno y su compatibilidad con las condiciones previstas del macizo rocoso y su comportamiento. Las características de rigidez de los pernos de roca son fundamentales para determinar la eficacia con la

## LA TÉCNICA PASA FRONTERAS

que se distribuyen y transfieren las cargas a lo largo de su longitud. Las pruebas de arrancamiento (*pull-out tests*) se realizan de manera rutinaria para validar los parámetros de diseño y evaluar la calidad de la instalación. Este estudio presenta un análisis detallado de los datos de pruebas de arrancamiento de producción obtenidos de 1306 ensayos realizados recientemente en proyectos de túneles en Sydney Road, complementados con investigaciones publicadas, con el fin de evaluar la influencia del tipo de perno, su longitud y la resistencia de adherencia de la lechada en el desempeño de los pernos de roca. Los resultados muestran que los pernos de roca proporcionan una rigidez consistente y un control adecuado del desplazamiento en la mayoría de las condiciones, mientras que los cables bolts presentan una rigidez superior, pero exhiben una mayor variabilidad en macizos rocosos débiles o fracturados. El estudio propone estrategias mejoradas de ensayo para fortalecer la validación del diseño, mejorar los modelos predictivos y aumentar la seguridad en túneles.

### **Ground response for construction of 15 caverns in diverse ground conditions in Sydney – Part 1: Ground support**

Autores:

Y. Bai & M. Trim; Delve Underground, Sidney, Australia.

M. Salcher; Gamuda (formerly PSM), Sidney, Australia.

R. Stocker; PSM, Sidney, Australia.

T. Bentley; John Holland, Sidney, Australia.

En Sídney se construyeron recientemente once cavernas viales y cuatro cavernas de ventilación como parte del proyecto *Rozelle Interchange*. Las cavernas viales, con anchos de hasta 29 m, y las cavernas de ventilación, con alturas de hasta 24 m, fueron excavadas en arenisca *Hawkesbury* a profundidades aproximadas de entre 17 m y 67 m, en proximidad al puerto. La cantidad, dimensiones, cobertura del terreno y complejidad geológica de estas excavaciones subterráneas de gran escala no tienen precedentes en Australia. Tres de las once cavernas viales incluyeron el uso de un pilar de reemplazo de concreto. La secuencia de excavación para cada una de estas cavernas fue diseñada de manera específica (*bespoke*), adaptándose a las condiciones del terreno y a los requisitos de acceso durante la construcción. Típicamente, el proceso comprendió tres galerías superiores (*top headings*) y un banco (*bench*), seguido de la remoción o adelgazamiento de un pilar central antes del banqueo. La secuencia de excavación de las cavernas de ventilación incluyó excavaciones divididas (*split headings*) y múltiples banqueos profundos para alcanzar la altura final de hasta 24 m. El sostenimiento temporal y permanente consistió en pernos y cables de anclaje en la clave, complementados con *shotcrete*. La Parte 1 de este artículo describe en detalle la geometría de las cavernas, las condiciones del terreno y los sistemas de sostenimiento empleados. La Parte 2 presenta la secuencia constructiva y la respuesta del terreno. Esta respuesta se analiza a partir de parámetros como convergencia dentro del túnel —medida mediante objetivos topográficos ópticos y extensómetros de cinta de acero— asentamientos en superficie, cierre de barrenos evaluado con endoscopia, desplazamiento de pilares rocosos monitoreado con inclinómetros, y observaciones del comportamiento del sistema de soporte.

### **Ground response for construction of 15 caverns in diverse ground conditions in Sydney – Part 2: Construction sequence and ground response**

Autores:

Y. Bai & M. Trim; Delve Underground, Sidney, Australia.

M. Salcher; Gamuda (formerly PSM), Sidney, Australia.

R. Stocker; PSM, Sidney, Australia.

T. Bentley; John Holland, Sidney, Australia.

En Sídney se construyeron recientemente once cavernas viales y cuatro cavernas de ventilación como parte del proyecto *Rozelle Interchange*. Las cavernas viales, con anchos de hasta 29 m, y las cavernas de ventilación, con alturas de hasta 24 m, fueron excavadas en arenisca *Hawkesbury*, a profundidades aproximadas de entre 17 m y 67 m, en las inmediaciones del puerto. La cantidad, las dimensiones, la cobertura del terreno y la complejidad de las condiciones geológicas asociadas con estas excavaciones subterráneas de gran escala no tienen precedentes en Australia. La Parte 1 de este artículo describe en detalle la geometría de las cavernas, las condiciones del terreno y los sistemas de sostenimiento empleados. Esta Parte 2 presenta la secuencia constructiva y la respuesta del terreno. La respuesta del terreno se analiza a partir de diversos parámetros: convergencia dentro del túnel, medida mediante objetivos topográficos ópticos y extensómetros de cinta de acero; asentamientos en superficie; cierre de barrenos evaluado mediante endoscopia; desplazamiento de pilares rocosos monitoreado con inclinómetros; y observaciones generales del desempeño del sistema de sostenimiento.