

noticreto

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Nº 140

TÚNELES Y VIADUCTOS:
Una combinación sana,
económica y segura

**LA NUEVA LÍNEA DEL
METRO DE HONG KONG:**
Congelando el suelo
para construir túneles

TECNOLOGÍA BAJO TIERRA:
Túneles mecanizados
en proyectos
hidroeléctricos

TARIFA POSTAL REDUCIDA SERVICIOS POSTALES NACIONALES S.A. Nº 2017-150, 4-72, VENGE DIC. 31 - 2017 - ISSN 0120-8489

UNA PUBLICACIÓN DE

Asocreto



COLOMBIA \$18.000

EDICIÓN ESPECIAL

Túneles en concreto



Túnel SILVAPLANA - Suiza

Sika, SU SOCIO ESTRATÉGICO EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

Aportando tecnología para mejorar la competitividad de las grandes obras en el mundo.

Usted es
una persona
importante para
Gas Natural Fenosa



gasNatural
fenosa 

noti

**Para alguien especial
un detalle, para una persona
importante 355 detalles.**

Por eso hemos creado
la Biblioteca de Detalles
Constructivos. Espérela.

gasnaturalfenosa.com.co

Materiales de Construcción, Estructuras, Suelos y Pavimentos,
Patología y Durabilidad, Técnicas de Análisis, Metrología,
Prefabricados, Asesorías en Calidad, Capacitación

Laboratorio del Concreto



- Más de 20 años ejecutando ensayos
- Más de 150 clases de ensayos mediciones, pruebas y servicios
- Más de 300 clientes en Colombia y países de la región han confiado en nuestros servicios

+ de **30** ensayos
acreditados

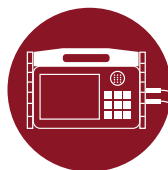


ISO/IEC 17025:2005
12-LAB-043

Ingresa a la página www.onac.org.co para consultar las actividades cubiertas por la acreditación del ONAC



Ensayos para patología de estructuras de concreto
corrosión, ensayos químicos, reactividad potencial y otros.



Instrumentación para estructuras y pavimentos
de interés para supervisores, interventores, entidades de control y contratistas.



Georadar y escáner para estructuras y suelos
de interés para geotecnistas, geofísicos, industria petrolera y de conducción de aguas, patólogos, etc.



Entrenamiento avanzado de personal para laboratorio de materiales
de interés para laboratorios comerciales y de productores de materiales, contratistas, universidades y entidades públicas.



Disponibilidad para el montaje y ejecución de servicios internacionalmente
utilizando normas aceptadas por la OMC.



Ensayos químicos y métodos analíticos

Asesorías en ISO/IEC 17025

www.asocreto.co

Calle 79B # 51 - 45, Bogotá - Colombia
PBX: (+571) 610 0797
Correo electrónico: laboratorio@asocreto.org.co





Soluciones para Proyectos de Infraestructura

Tecnología BASF usada en megaproyectos del mundo disponible en Colombia.

Nuestras soluciones

Aditivos para Concreto

Sistemas MasterRoc

- Aditivos para concreto lanzado
- Sistemas de inyección
- Soluciones para TBM

Membrana lanzada de impermeabilización

- MasterSeal 345.

Encuentre más soluciones en:

www.master-builders-solutions.basf.com.co

Tel: +571 634 2099

Noticreto 140

ENERO - FEBRERO DE 2017

NUESTRA PORTADATúnel vial de Hidrosogamoso.
Foto: Cortesía Sika Colombia**DIRECTOR ASOCRETO**

Manuel A. Lascarro M.

DEPARTAMENTO DE PUBLICACIONESOmar Javier Silva Rico, Jefe de Publicaciones
Claudia Andrea Carreño Cordon, Ingeniera de Publicaciones**COLABORADORES**Ximena Alba, Jorge Ardila, Manuel Arnaiz, Lina Gaviria,
Carlos Andrés Gil, Markus Haager, Luis Eduardo León,
Camila Mamede dos Santos, Geniclesio Ramos dos Santos,
Antonio Rodríguez, Sonia Rodríguez, Carlos Felipe Sabogal,
Peter Schmaeh**DIRECTORA COMERCIAL Y SERVICIO AL CLIENTE**

María Isabel Páez Vallejo

PRODUCCIÓN GRÁFICA

Martha E. Zua

DISEÑO

Andrés Sánchez Bustamante

CORRECCIÓN DE ESTILO

Leonidas Arango

PREPrensa

Javier David Tibocho M.

IMPRESIÓN

Panamericana Formas e Impresos S.A.

SUSCRIPCIONEScomercial@asocreto.org.co
servicioalcliente@asocreto.org.co

PBX: (571) 6180018 Ext. 102 - 106



CEMENTO CONCRETO PREFABRICADOS

Calle 103 # 15-80 Bogotá, Colombia
PBX (571) 6180018 / PBX (571) 7560990
noticreto@asocreto.org.co www.asocreto.co
Código Postal: 110111

12



CORTESÍA HERRENNECHT AG

20



CORTESÍA POLYPRO & STRABAG

Publicación de la Asociación Colombiana de Productores de Concreto con carácter técnico e informativo para el sector de la construcción. Resolución Ministerio de Gobierno 00590 del 3 de marzo de 1987. Tarifa Postal Reducida Servicios Postales Nacionales S.A. N° 2017-150, 4-72, vence 31 de diciembre de 2017 - ISSN 0120-8489. Costo unitario de la revista \$18.000 Para información sobre suscripciones comuníquese directamente con la Asociación al PBX 6180018 o visite nuestra página web www.asocreto.org.co.

La información, conceptos u opiniones expresados en esta publicación, tanto en los artículos como en las pautas publicitarias, y el uso que se haga de ellos, no representan responsabilidad alguna para Asocreto o Noticreto, ni para el autor o su empresa. La información y conceptos deben ser utilizados por las personas interesadas bajo su criterio y responsabilidad. Sin embargo, se entiende que cualquier divergencia con lo publicado constituye un interés para Asocreto, por lo cual se agradecerá el envío de las correspondientes sugerencias. Asocreto no asume ningún tipo de responsabilidad por la información que divulguen los anunciantes a través de Noticreto, y por tanto cualquier reclamación relacionada con la calidad, idoneidad y seguridad de los bienes y servicios anunciados en la revista, deberán ser atendidos con cada productor o distribuidor, según corresponda, quedando por tanto Asocreto liberado de cualquier responsabilidad que pueda derivarse por causa y/o efecto de la información que se suministre en Noticreto.

La reproducción total o parcial de los artículos de la revista se podrá realizar únicamente con previa autorización escrita de la Asociación Colombiana de Productores de Concreto - ASOCRETO, citando fuentes, edición y fecha de publicación. Las imágenes tablas y esquemas suministrados por los autores de artículos han sido autorizados por ellos para ser incluidos en la revista.

La Asociación Colombiana de Productores de Concreto está conformada por: Apulo: Cemex Colombia • Armenia: Concretos Argos • Barrancabermeja: Concretos Argos • Barranquilla: Cemex Colombia, Concretos Argos • Bogotá: Cemex Colombia, Concretos Argos • Bucaramanga: Cemex Colombia, Concretos Argos • Cajicá: Concretos Argos • Cali: Cemex Colombia, Concretos Argos • Cartagena: Cemex Colombia, Concretos Argos • Cúcuta: Cemex Colombia • Fusagasugá: Concretos Argos • Ibagué: Cemex Colombia • Manizales: Concretos Argos • Marinilla: Concretos Argos • Medellín: Cemex Colombia, Concretos Argos • Montería: Concretos Argos • Pereira: Cemex Colombia, Concretos Argos • Popayán: Concretos Argos • Puerto Tejada: Concretos Argos • Sabanaleta: Concretos Argos • Santa Marta: Concretos Argos • Sincelejó: Concretos Argos • Soacha: Concretos Argos • Soledad: Concretos Argos • Tolú: Concretos Argos • Valledupar: Concretos Argos • Villavicencio: Cemex Colombia, Concretos Argos • Villeta: Cemex Colombia.

DISEÑO

- 6** Reflexiones desde la Ingeniería de consulta: El concreto en el diseño de túneles y obras subterráneas
Ing. Jorge E. Ardila R.
Ing. Antonio J. Rodríguez J.

TECNOLOGÍA

- 12** Tecnología bajo tierra: Túneles mecanizados en proyectos hidroeléctricos
Peter Schmaeh
- 20** Túnel hidroeléctrico de las Cataratas del Niágara: Geomembrana integrada con detección electrónica de fugas
Dr. Markus Haeger

ARQUITECTURA

- 24** Túneles con estética: El metro de Washington

GERENCIA

- 30** Túneles y viaductos: Una combinación sana, económica y segura
Ing. Carlos Felipe Sabogal

REPORTAJE

- 34** *"El concreto satisface las obras subterráneas de cualquier tipo":*
Manuel Arnaiz Ronda, Presidente de la Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas

ARTE EN CONCRETO

- 38** Two Moon

CALIDAD

- 40** Control de calidad en túneles
Ing. Carlos Andrés Gil, Ing. Ximena Alba

MATERIALES

- 46** Experiencias en impermeabilización de túneles
Ing. Lina María Gaviria



24

FLUXR - ELIDUKE



30

ARCHIVO COMANDRES

- 52** La influencia de los aditivos químicos en el comportamiento del grout bicomponente para relleno de túneles del tipo TBM
Ing. Geniclesio Ramos dos Santos
Ing. Camila Mamede dos Santos

PREFABRICADOS

- 58** Cuatro casos de estudio: Innovaciones en prefabricados de concreto para túneles

INTERNACIONAL

- 64** Nueva línea del Metro de Hong Kong: Congelando el suelo para construir túneles

NOVEDADES

EVENTOS

HUMOR

SOFÍA EN LA OBRA

Reflexiones desde la ingeniería de consulta

El concreto en el diseño de túneles y obras subterráneas

Ingeniero Jorge E. Ardila R., Ingeniero Antonio J. Rodríguez J.
Geotúneles S.A.S.

Fotos: Cortesía Geotunnel & Getúneles S.A.S



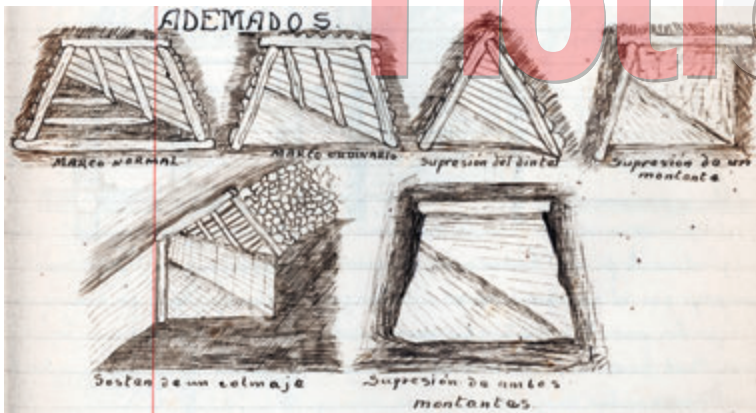
↑ Túneles de Kachotis terminados en la doble calzada Ancón Sur -Primavera, Municipio de Caldas, Antioquia, Colombia.

En este artículo se presentan las principales reflexiones que desde la ingeniería de consulta han hecho los autores con respecto a la importancia del concreto en el diseño de túneles y obras subterráneas en Colombia. Se incluyen dentro de los aspectos más importantes, los antecedentes que se tienen con respecto al uso del concreto en las actividades de diseño y la de construcción; las diferentes aplicaciones y tipos de concreto; algunos ejemplos de lecciones aprendidas en el país; principales ventajas y desventajas y, finalmente, las recomendaciones que desde la ingeniería de consulta se deben contemplar dado que se estima sean construidos cerca de 300 km de estas fantásticas obras de ingeniería en los próximos 20 años a lo largo de las tres cordilleras para diferentes fines.

Antecedentes

Los orígenes de los túneles y obras subterráneas de carácter civil se remontan a la minería subterránea, la cual, aproximadamente desde la edad media, según los reportes de Georgius Agricola en su conocida obra *De Re Metallica*¹, comenzó a tecnificarse e introducir elementos rudimentarios de soporte temporales para los túneles, pozos y galerías de explotación, tales como los pilares, marcos de madera, empalizadas o actualmente conocidos en la industria de la minería como “Puertas Alemanas”, los cuales salvo escasas variaciones subsistirían hasta nuestros días.

Las primeras explotaciones de carbón estuvieron localizadas en el centro de producción denominado Carboneras de San Jorge en el Departamento de Cundinamarca, en cuyas minas se emplearon como métodos de explotación los de tambores paralelos, tajos largos, cámaras y pilares, inicialmente con condiciones de ventilación, desagüe, iluminación, entibación y de soporte (Puertas Alemanas) precarias; sin embargo, dichas condiciones evolucionarían a la par con el estado del arte de la época, al tiempo que aportaron como legado fundamental experiencias y aplicaciones que en lo sucesivo serían empleadas extensivamente en la construcción de túneles y obras subterráneas de carácter civil, principalmente en la construcción de los túneles férreos que emprendería el país a finales del siglo XIX.

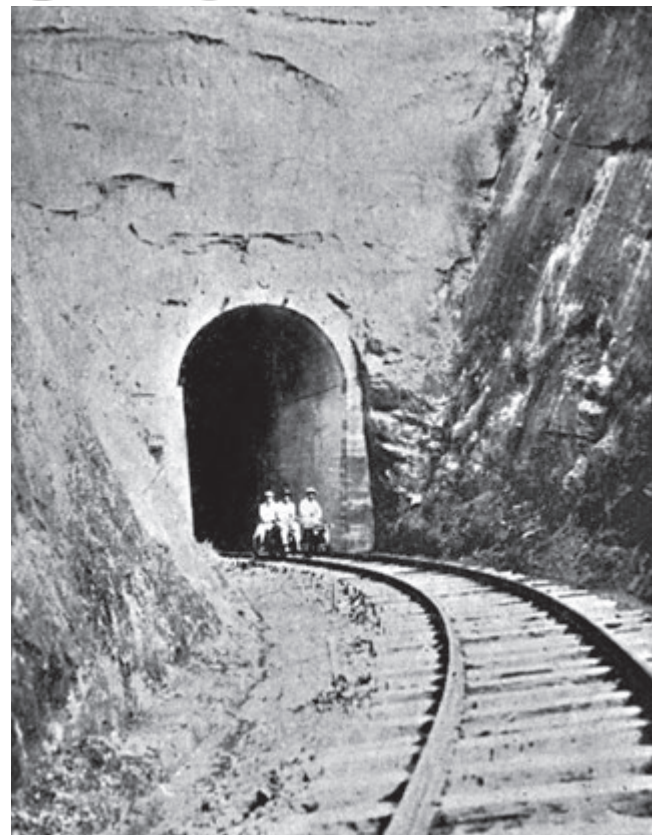


↑ Diagrama de primeras explotaciones, diferentes soportes (Puertas Alemanas).

Los primeros usos del concreto en túneles se implementaron inicialmente en las obras férreas que construyó el país a finales del siglo antepasado y también en los primeros túneles hidráulicos para conducción de agua potable a comienzos del siglo XX. En aquellos túneles la concepción geomecánica era entendida como la forma de interpretar la distribución espacio-temporal de los esfuerzos o presiones actuantes sobre un túnel, y radicaba en determinar tanto la magnitud como la dirección de los esfuerzos actuantes sobre el contorno de la excavación. Ahora bien, desde el punto de vista de aplicación del concreto como elemento de revestimiento, se suponía que este transmitiría al terreno una presión radial que era capaz de garantizar la estabilidad general de la obra, y también que el terreno no contribuía como tal a dicha estabilidad y por lo tanto se procedía a dimensionar el revestimiento definitivo del túnel como el único elemento estructural de la obra, bien en concreto convencional, mampostería o una combinación de los mismos.



↑ Ferrocarril Ibagué –Armenia (1929). Gran Túnel de Calarcá; túnel en concreto vaciado y mampostería férrea.



↑ Ferrocarril de Caldas. Túnel la Doctora, 1932.

El concreto lanzado, definido por el American Concrete Institute ACI 506 R como un mortero o concreto lanzado neumáticamente a una gran velocidad contra una superficie fue inventado originalmente por el naturalista y

1 Agricola G. (1950) *De Re Metallica*. New York: Dover Publications. 672 pp.

embalsamador estadounidense Carl E. Akeley, en 1907, mediante el empleo de la Cement-Gun Company, con el propósito de recubrir esqueletos metálicos de animales prehistóricos. Posteriormente, al final de la segunda guerra mundial, George Senn, inventaría un equipo conocido como máquina de tornillo, que permitía la proyección por vía seca de concretos con tamaño máximo de agregados de 25 mm, lo que daría origen al concreto lanzado moderno y sus técnicas especializadas para túneles y obras subterráneas.

Finalmente, como antecedente es importante mencionar que el origen y evolución del concreto lanzado aunado a la aparición del Nuevo Método Austriaco de Construcción de Túneles – NATM, cambiarían la concepción geomecánica de estabilidad al interior de los túneles a partir de la segunda mitad del siglo pasado, dado que bajo esa concepción la roca como tal haría parte fundamental de los elementos constitutivos de soporte de la obra subterránea. Esta concepción geomecánica marcaría las pautas y directrices para el diseño y construcción de túneles en el mundo mediante el empleo del concreto lanzado como uno de sus pilares esenciales.

Caso Histórico en Colombia

El Sistema Chingaza como tal se empezó a estudiar en 1966, posteriormente luego de terminar los estudios definitivos, empezó su construcción en 1972, el proyecto contempló la desviación de las hoyas hidrográficas del Río Guatiquia y del Río Chuza hacia Bogotá por gravedad. El proyecto está constituido por un embalse, conducciones superficiales y cerca de 40 Km de túneles, con un suministro a Bogotá cerca de 14 m³/s desde 1984 cuando entró en operación.

Dentro del Sistema Chingaza, se encuentra el Túnel Palacio Río Blanco con una longitud total de 28,5 Km, 3,70 m de diámetro de excavación y tramos a flujo libre y presión. El diseño del revestimiento de los túneles consistió en la aplicación de concreto lanzado con espesores variables entre 5 y 20 cm según la calidad de la roca, e incluso en algunos lugares se contempló la implementación de revestimiento en concreto convencional de 25 cm. En ese momento, a finales de la década de 1970 el uso del concreto lanzado o *shotcrete* como era conocido en ese momento, hacía diferencia básica entre soporte primario y soporte definitivo; sin embargo, el estado del arte tanto del concreto lanzado como de la ingeniería de túneles, según se evidencio a partir de controversias del Board de consultores del Banco Mundial tales como L. Von Rabcewicz y J. B. Cooke² no hacía diferencia entre el soporte de un túnel como tal y posterior revestimiento, entendiéndose este último como aquel elemento que se instalaba por cualquier método (lanzado o fundido *in*

→ Túnel Palacio Río Blanco durante su construcción.



Una vez se inauguró el proyecto en 1984, se presentaron los primeros derrumbes y Bogotá fue sometida al racionamiento. El daño le costó a la ciudad US\$20 millones de la época. A finales de 1985 la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá contrató un nuevo empréstito de US\$220 millones para revestir el túnel. Desde entonces han ocurrido desprendimientos en 1990, 1992, 1993 y 1994 y 1997, lo que obligó a la empresa a emprender un exhaustivo programa de revestimiento en concreto convencional y “recubrir” los revestimientos en concreto lanzado implementados originalmente, actividad aún vigente, decisión que ha permitido al principal sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad reducir su vulnerabilidad.

→ Primeros derrumbes en el sistema Chingaza, 1997.



² E. Silva Monteil (2017) Comunicación personal Sistema Chingaza.



↑ Después del derrumbe en el sistema Chingaza, se emprendió un exhaustivo programa de revestimiento en concreto convencional; trabajos de emergencia 1997.

El concepto de revestimiento en los túneles viales de carretera

En líneas generales existen actualmente en el mundo dos conceptos acerca del revestimiento para túneles viales de carretera: aquel empleado con mayor frecuencia consiste en suponer que durante el proceso de excavación del túnel, según el tipo de terreno se implementan en mayor o menor grado los diferentes elementos de soporte, tales como el concreto lanzado, bien sea refor-

zado o no, los pernos de acero, los arcos metálicos y la implementación de la solera curva, entre los más importantes, con los cuales se logra la estabilización del macizo rocoso y por lo tanto, el revestimiento a implementar, al menos desde el punto de vista conceptual, no se tendría en cuenta su aporte como presión ejercida sobre el contorno de la obra subterránea y se diseña exclusivamente desde el punto de vista constructivo como aquel espesor mínimo posible de implementarse; la otra concepción, por su parte considera que debe despreciarse el aporte estructural y geomecánico que hacen los elementos de soporte primario y por ende el revestimiento en concreto convencional debe ser diseñado para resistir la totalidad de presiones al interior del macizo rocoso.

El concreto convencional como revestimiento definitivo en los túneles viales de carretera, permite que la geometría de la sección transversal sea uniforme, caso contrario de la obtenida con el revestimiento en concreto lanzado. Es importante mencionar que algunos profesionales y diseñadores, manifiestan que una de las ventajas del concreto lanzado es que este se acomoda a las superficies irregulares del túnel y evitan sobrecostos dado que no se requiere llenar las sobre excavaciones en la sección, lo cual se considera que por el contrario, al dejar sectores con geometría irregular favorece en el tiempo a la inestabilidad del propio túnel y más con las consecuencias asociadas con un incidente y una eventual explosión que se presente durante la operación del túnel.

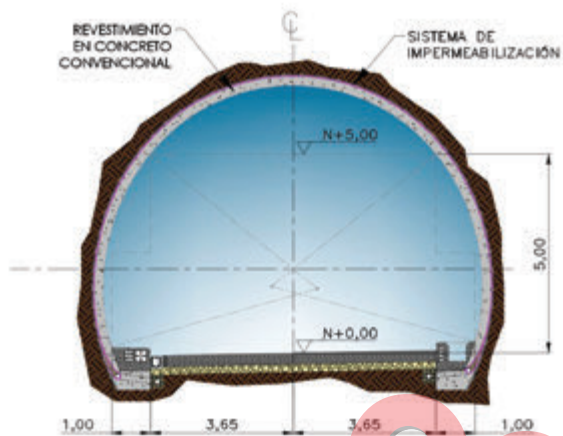
Ahora bien, cuando un túnel es revestido en concreto convencional, previo a su implementación se instala un sistema de impermeabilización que evita que el agua de infiltración llegue a este concreto, lo que mitiga el fenómeno de falta de adherencia, y evita que en el túnel se presenten infiltraciones. Aunque esta práctica se ha utilizado también en túneles con revestimiento en concreto lanzado, y en principio parece una decisión adecuada, tiene como inconveniente, el hecho de que la solución va encaminada a evitar la presencia de infiltraciones al interior del túnel, más no a evitar que el agua llegue



↑ Túnel de la Estrella. Longitud: 315 m.

al concreto lanzado, debido a que la membrana impermeabilizante al ser colocada sobre el concreto lanzado de revestimiento, y sin capas adicionales de concreto, esta queda a la vista y al realizar la inspección del túnel, no permite detectar visualmente fallas en el concreto de revestimiento, que se encuentra detrás de la membrana, como lo son grietas, descascamientos locales etc., con lo cual no pueden ser intervenidas oportunamente, por lo que a priori no es tampoco una solución equiparable

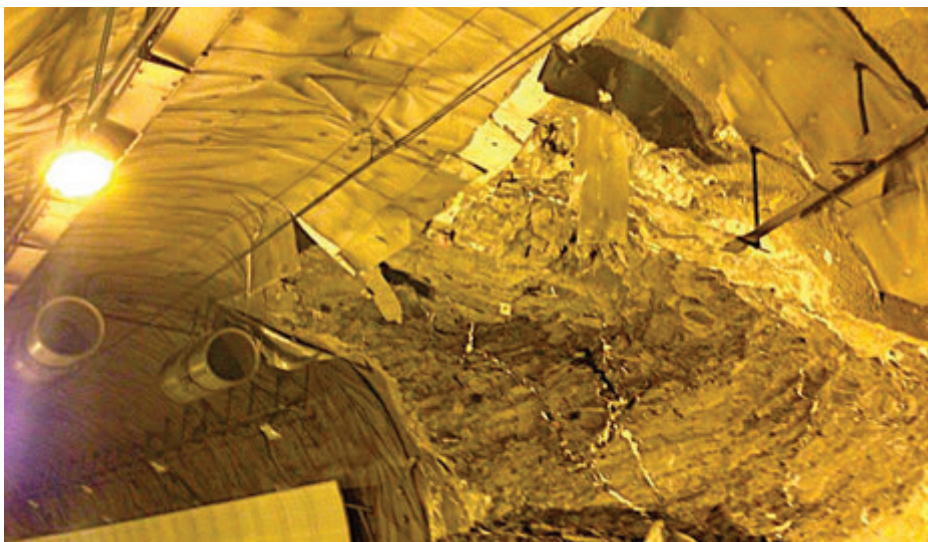
← Geometría de sección transversal de túnel revestido con concreto convencional.



← Geometría de sección transversal de túnel revestido con concreto convencional.



↓ Derrumbe de concreto lanzado de revestimiento y membrana a la vista en túnel Lesarri en la autopista Eibar-Eskoriaza-Mondragón, País Vasco durante operación.



con la ampliamente definida y empleada en el caso del revestimiento en concreto convencional.

Conclusiones

El menor costo de dejar los túneles con revestimiento en concreto lanzado en la realidad es aparente porque más temprano que tarde va requerir mantenimiento, sin tener en cuenta el riesgo y sus posibles consecuencias en cuanto a la seguridad aquí mencionadas, y más aún, al tener en cuenta que este fenómeno se puede presentar transcurridos 5, 15, 25 años o más.

A manera de referencia, entre otros, se presentan casos recientes de túneles viales de carretera en España, que han requerido reparaciones tempranas, posterior a la puesta en operación, y los cuales fueron revestidos en concreto lanzado, donde todas las reparaciones han conllevado no sólo a sobrecostos adicionales, sino también con afectación directa a los usuarios, por la suspensión parcial o total de la operación de la vía, y que a pesar de ser intervenidos, tampoco se garantiza a largo plazo, la no reincidencia de los fenómenos presentados, que además representan probables implicaciones en seguridad:

- Túneles de Solsona. (Lérida). Longitud 700 m. Año de construcción 2004. Reparación del concreto lanzado de revestimiento, refuerzo del mismo con malla electro-soldada y pernos, posteriormente se lanza una capa de concreto lanzado de 15 cm, en toda la longitud del túnel. Tiempo total de reparación: 4 meses de trabajo.
- Túnel de Lesarri (Bergara. País Vasco). Año de construcción 2004. Reparación del concreto lanzado de revestimiento motivado por el agrietamiento del mismo.
- Galería Evacuación del túnel de Somport (Huesca). Reparación del concreto lanzado de revestimiento por desprendimiento del mismo.
- Túnel Ferroviario de Gordenxola (Bilbao). Reparación del concreto lanzado de revestimiento por filtraciones de agua.

Todas estas reparaciones se realizaron entre 6 y 8 años después de la construcción y entrega de los túneles para su puesta en operación. Se considera que Colombia debe adoptar una posición determinante con relación a la impermeabilización y el revestimiento de los túneles, donde este último debe ser primordialmente en concreto convencional, minimizando los efectos negativos durante la operación, con los argumentos validados y las experiencias nacionales e internacionales, donde es inminente la necesidad de impermeabilización y construcción de un revestimiento en concreto convencional, por ser la decisión técnica, económica y en términos de seguridad más favorable para los proyectos y su futura puesta en operación. 

45 AÑOS

**COMO NO. 1
EN EL MERCADO**

SU EMPRESA NO PUEDE QUEDAR POR FUERA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL MEJOR DIRECTORIO



ORDENE YA SU AVISO CON DESCUENTOS DE CIERRE

Llamando al **425 52 01** en Bogotá o a la línea gratuita nacional **01 8000 510 888**

Tecnología bajo tierra

Túneles mecanizados en proyectos hidroeléctricos

Peter Schmaeh

Miembro de la Junta Directiva, Business Unit Utility Tunnelling, Herrenknecht AG, Alemania

Fotos: Cortesía Herrenknecht AG



↑ La tecnología mecanizada incluye máquinas capaces de excavar a través de cualquier roca y en condiciones de suelos cambiantes, también bajo nivel freático y a cualquier profundidad, con mínimo impacto sobre el entorno.

La mayor parte de los proyectos de generación hidroeléctrica se encuentran en regiones montañosas, remotas o en zonas ambientalmente sensibles, lo cual crea desafíos para el acceso y la logística. Este artículo destaca la importancia de desarrollar pequeñas centrales hidroeléctricas y da un repaso general de las tecnologías disponibles para la construcción mecanizada de túneles. Una selección de casos reales dará una idea de las posibles aplicaciones en proyectos hidroeléctricos y de los retos superados en los últimos años de la mano con la tecnología de la construcción.

Introducción

La demanda de energía hidroeléctrica, como fuente de energía limpia, está ganando importancia en los últimos años en todo el Mundo, y en consecuencia se construyen nuevas plantas de generación, al tiempo que se planea renovar las ya existentes. Gestionar la conducción de agua y la posterior descarga necesaria para generar energía exige tecnologías innovadoras para excavar largos trayectos de túneles horizontales, inclinados, ascendentes o descendentes que incluyen revestimientos resistentes a ciertas presiones, según las necesidades del proyecto.

Hoy en día las plantas hidroeléctricas pequeñas y medianas reclaman el máximo interés, ya que estos proyectos tienden a ser ejecutados en plazos breves. Además, se utilizan para descentralizar el suministro de energía y no requieren de una extensa infraestructura eléctrica. Las plantas hidroeléctricas pequeñas exigen con frecuencia túneles cortos de diámetros pequeños, aunque, por lo general, los presupuestos de inversión son limitados. Por lo tanto, han de tenerse en cuenta tecnologías alternativas tanto para la excavación como para el revestimiento al escoger la solución más económica y eficiente de cada proyecto. Los argumentos más frecuentes contra el empleo de las máquinas de perforación continua o tuneladoras TBM (Tunnel boring machine) son la inversión inicial y el plazo de entrega, pero investigaciones detalladas en centrales hidroeléctricas pequeñas y medianas demuestran que la relación entre el costo y el rendimiento que se obtiene con las soluciones mecanizadas es un factor digno de tener en cuenta.

Pequeñas centrales hidroeléctricas

No hay en la actualidad un consenso internacional sobre un índice para la clasificación técnica de las plantas hidroeléctricas pequeñas, medianas y grandes. El índice más común, utilizado en los países alpinos, considera una capacidad máxima de 10 MW para instalaciones hidroeléctricas pequeñas¹. Durante las últimas décadas del siglo XX, el foco de la generación hidroeléctrica fue el desarrollo técnico y la instalación de grandes centrales de más de 100 MW². Rara vez se consideró la posibilidad de utilizar pequeños caudales de agua para generar energía porque no parecía económicamente rentable. Sin embargo, desde principios de 1990 la búsqueda internacional de recursos energéticos alternativos se reorientó hacia las pequeñas centrales hidroeléctricas con tamaño de hasta 5 MW en proyectos que aprovechan las condiciones locales para generar energía. Estas plantas garantizan el suministro local y estable de electricidad, pero además se consideran como un precursor para el

crecimiento económico y el desarrollo social en regiones remotas. Las centrales hidroeléctricas pequeñas y descentralizadas son a menudo la única posibilidad de generar energía de bajo impacto ambiental para las viviendas y la industria en las regiones más aisladas, donde la conexión a la red de distribución eléctrica resulta excesivamente costosa. Esta energía también es una alternativa para alimentar la red pública. Muchos países industrializados están instalando pequeñas centrales hidroeléctricas, pues suponen un cambio eficiente y sostenible en la política energética en favor de las energías renovables. En los países en desarrollo, las pequeñas centrales hidroeléctricas representan una opción favorable para reemplazar centrales térmicas.

En la actualidad se utiliza tecnología de última generación en la construcción de centrales hidroeléctricas pequeñas. La experiencia obtenida de las grandes plantas, así como la investigación y desarrollo de la industria de energía hidroeléctrica han sido vitales para el desarrollo de pequeñas centrales. Mientras que las grandes centrales convierten la energía potencial de una masa de agua en energía eléctrica, las hidroeléctricas pequeñas están diseñadas principalmente con un esquema *run-of-river*, que no requiere un depósito grande de agua y los proyectos tienden a ser de escala más pequeña³. En un proyecto de este tipo, la generación de energía es física sencilla: la potencia viene de la energía que produce un caudal de agua que pasa a través de una turbina. La cantidad de energía generada depende del volumen y de la diferencia de altura entre el origen y el nivel de flujo de salida del agua. Por tanto, los proyectos *run-of-river* deben construirse a lo largo de un río con flujo constante y estable (generalmente natural).

La topografía del terreno determina el diseño de la planta hidroeléctrica y establece la alineación del túnel de aducción y la línea de descarga al río. En este caso, el diseño de la línea de transmisión no solo depende de la diferencia de altitud y de la pendiente, sino también del volumen de agua que fluye. Esto significa que un gran volumen de agua puede compensar una pequeña diferencia de altura y una inclinación mínima del túnel.

Túnel mecanizado vs. método convencional

En general, hay dos maneras de excavar túneles: mediante perforación y voladura, o utilizando tuneladoras. Frente a los métodos de perforación convencionales, las opciones mecanizadas tienen ventajas y –dependiendo de las condiciones del terreno– es posible utilizar tuneladoras con o sin escudo. Las tuneladoras con escudos ofrecen alto grado de flexibilidad: ante todo, son capaces de excavar a través de cualquier roca y en condiciones de suelos cambiantes, también bajo nivel freático y a cualquier profundidad, con mínimo impacto sobre el entorno. En segundo lugar, para

1. Platform Water Management in the Alps, 2011, Situation report on hydropower generation in the Alpine region focusing on small hydropower, Alpine Convention.

2. Giesecke, S. Heimerl, E. Mosonyi, 2014, Wasserkraftanlagen, Springer Verlag, p. 110, 127.

3. Y. Chen, R. Hardman, Cleantech Magazine, Canada, <http://www.cleantechinvestor.com/portal/renewable-energy/1777-the-run-of-river-energy-sector.html>

túneles largos ofrecen aumentar los beneficios económicos y los rendimientos. Y, por último, permiten planificar proyectos más confiables y aumentan la seguridad en el sitio. Por otra parte, y en comparación con el método convencional, en algunos casos las tuneladoras requieren una inversión inicial relativamente alta y el inicio de los trabajos de excavación puede retrasarse varios meses hasta cuando esté disponible en la obra una tuneladora. La tecnología actual en túneles mecanizados ofrece soluciones para realizar la mayor parte de los proyectos hidroeléctricos, así como diferentes posibilidades de revestimiento para garantizar la seguridad, incluso en condiciones cambiantes e inestables del suelo.

Tecnología sin zanja para la construcción de centrales hidroeléctricas

Casi todas las tecnologías mecanizadas de excavación de roca disponibles en la actualidad pueden aplicarse en la mayoría de los proyectos hidroeléctricos subterráneos. La necesidad de tecnologías de excavación en terrenos blandos es menos frecuente.

Inclinación del túnel

Debido a que la generación de energía hidroeléctrica se basa en la gravedad o diferencia de alturas, los túneles inclinados o pozos verticales son un elemento esencial de estos sistemas. Hasta una inclinación aproximada de 5% la solución mecanizada no será significativamente diferente a la que se aplica en túneles horizontales. El sistema de suministro de la TBM es adaptable a ángulos que varían entre 5% y 15%. Esto incluye los sistemas de

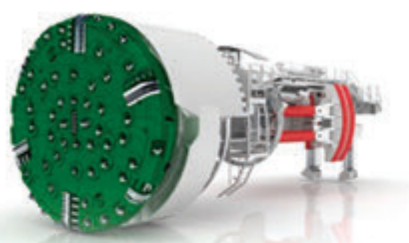
manipulación de materiales y grúas en la tuneladora, especialmente los sistemas de abastecimiento y evacuación de materiales en el túnel. Las necesidades que agregan las inclinaciones entre 15% y 25% se determinan con base en el proyecto y el diseño de la tuneladora. En estos casos no sólo varían el manejo y el modo de suministro de túnel, sino también el funcionamiento básico de la excavación y los sistemas primarios de evacuación de material de la TBM que deben reconsiderarse junto con pasarelas, acceso y estaciones de trabajo. Otros aspectos puramente técnicos de la tuneladora, tales como hidráulica, sistemas de lubricación, cargas sobre el rodamiento, etc., deben ser revisados y diseñados en detalle⁴.

Concepto de máquina tuneladora

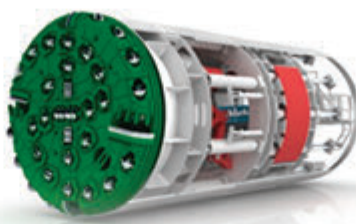
Las máquinas de perforación continua en roca dura son una opción mecanizada para las grandes centrales hidroeléctricas y ofrecen variados métodos de revestimiento del túnel adaptados a las necesidades específicas de cada proyecto. En centrales hidroeléctricas pequeñas y medianas —que necesitan túneles de menor diámetro y a menudo también de corta longitud— es posible aplicar tecnologías alternativas como hincar tubería o utilizar la perforación horizontal dirigida PHD.

Entre estas opciones, la máquina más adecuada tiene que ser escogida en función de las condiciones del terreno, el diámetro de proyecto, la alineación y la longitud del túnel. Realizar las adaptaciones técnicas en

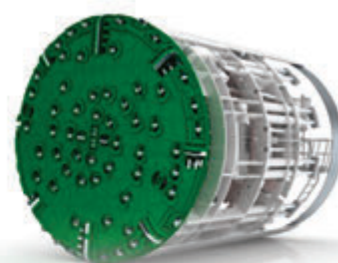
↓ Visión general de las máquinas para las líneas de conducción de agua.



► TBM con apoyo



► TBM de Doble Escudo



► TBM de Escudo Sencillo



► Máquina trituradora de conos (AVN)



► Máquina de perforación horizontal dirigida (HDD)

4. Brockway, J. 1983. Incline/decline Boring with Tunnel Boring Machines, Rapid Excavation and Tunneling Conference Proceedings, p743-760

función de los requisitos específicos del proyecto –por ejemplo un diseño específico de la rueda de corte– asegura mejor rendimiento de la tecnología seleccionada.

Revestimiento del túnel

El revestimiento del túnel y las opciones de soporte dependen del tipo de máquina y del diámetro. El revestimiento tiene que cumplir su función en dos escenarios de carga: en roca inestable y suelos debe soportar la presión externa que le rodea; cuando se utiliza como un túnel a presión o tubería de carga, el revestimiento tiene que soportar altas presiones internas. Los tubos de hincapueden ser diseñados para cumplir con ambas condiciones de carga. También es posible utilizar dovelas de concreto con la ayuda de inyecciones de consolidación entre el sobre-corte y la roca circundante; el túnel revestido puede soportar presiones internas de hasta 20 bar⁵. En la siguiente tabla se encuentra un resumen de las diferentes opciones de revestimiento. Dado que la mayoría de los proyectos hidroeléctricos se lleva a cabo en condiciones de roca, hay un énfasis en el desarrollo de soportes y soluciones mecanizadas para roca. En la hincade tubería es posible utilizar diferentes tipos de tubería, como tubos de acero, fibra de vidrio de plástico reforzado (GRP) o tubos de concreto armado.

	Diámetro directriz	Hinca de tubos	Segmentos de revestimiento	Sin revestimiento	Con anclajes	Malla y viga	Concreto lanzado
TBM con apoyo	≥ 2800 mm			✓	✓	✓	✓
TBM de Doble escudo	≥ 3400 mm		✓	✓	✓	✓	✓
TBM de Escudo Sencillo	≥ 4200 mm	✓	✓				
Máquina trituradora de conos (AVN)	≥ 4200 mm	✓	✓				
Máquina de perforación horizontal dirigida (HDD)	≥ 1500 mm	Tubería de acero					

↑ Soporte de túneles en roca, según el tipo de máquina.

Tuneladoras diseñadas para ser flexibles

Cuando se considera una solución de túnel mecanizado para un proyecto hidroeléctrico pequeño, la inversión requerida en maquinaria y equipos es un factor decisivo. Especialmente en proyectos más pequeños, la tuneladora tiene que ser diseñada para un uso flexible que permita utilizarla en diferentes casos. La flexibilidad en la geología, la inclinación y longitud de tramo, por un lado, y unas cualidades técnicas adecuadas por otro, deben tenerse en cuenta para mantener los costos de inversión en el mínimo posible y para asegurar la eficiencia de la planta hidroeléctrica y la inversión. Una pauta común para calcular la inversión es un rango entre 2 a 4 millones de dólares por MW instalado, dependiendo de la ubicación y de las condiciones específicas del proyecto.

5. A. Vigl, R. Gerstner. 2009. Grouting in pressure tunnel construction, Geomechanics and Tunneling 2 (2009), no. 5



LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

METALDECK

El Sistema que cambió el concepto en la Construcción de Entrepisos

- ✓ Construcción más limpia y amigable con el medio ambiente.
- ✓ Gran resistencia y seguridad.
- ✓ Se instala más rápido que la losa tradicional.
- ✓ Se adapta a todo tipo de estructuras.
- ✓ Reduce el uso de concreto, sin desperdicios ni formaletas.
- ✓ Menor peso y espesor de la losa.
- ✓ Fabricado bajo norma NTC 5805.
- ✓ Acero 100% reciclable.
- ✓ Producto con Autodeclaración Ambiental.

ACESCO 
Mejores Materiales. Mejores Obras.

SÍGUENOS EN:



 018000 514 514
www.acesco.com



↑ Montaje del doble escudo TBM en obra.

Ejemplos en el mundo

Doble Escudo de Roca TBM, Proyecto Multifuncional Uma Oya, Sri Lanka

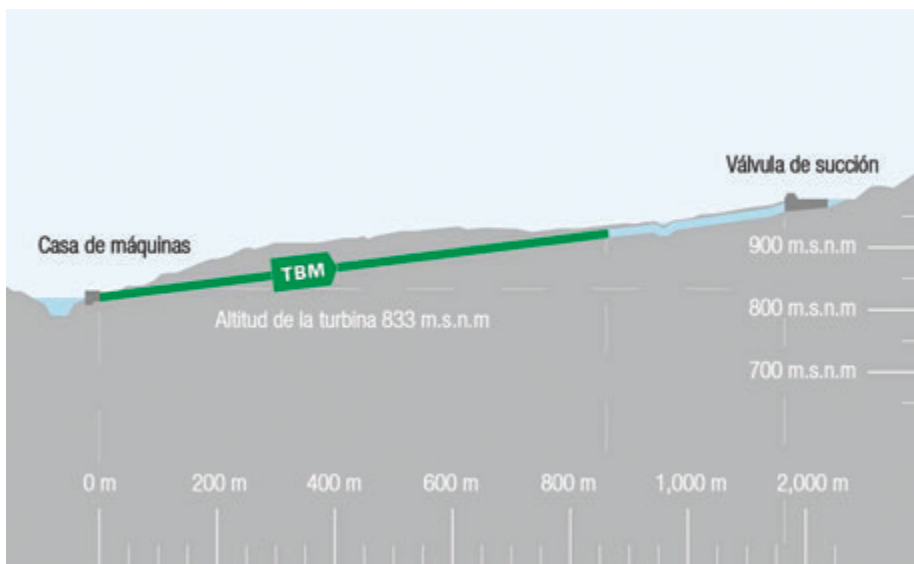
El proyecto de Uma Oya, que se realiza actualmente en Sri Lanka, es un proyecto multifuncional que incluye dos presas de concreto compactado con rodillo (RCC) y una planta hidroeléctrica subterránea con 134 MW de capacidad y unos 25 km de túnel subterráneo con revestimiento en concreto. El objetivo principal del proyecto es transportar agua del río Uma Oya a la región sur oriental de Sri Lanka y construir una planta de energía hidroeléctrica. Desde principios de 2014, dos máquinas de doble escudo de roca han estado en funcionamiento en un entorno exigente para excavar el túnel de descarga de 3,3 kilómetros de longitud y el túnel de aducción de 15,6 kilómetros, con diámetro máximo de 4,3 m. Hasta la fecha se ha requerido la utilización de un poco más de 2.000 m³ de concreto. Las máquinas han debido excavar en roca dura que alcanza resistencias a la compresión de hasta 250 MPa. El revestimiento del túnel con segmentos de concreto se realiza de forma segura en la parte trasera de la tuneladora. El diseño de las herramientas de corte se ha adaptado a las condiciones de dureza extrema de la roca. Para garantizar una producción alta en obras de este tipo, la logística y la gestión en obra han sido fundamentales, y la obra en general también ha exigido planear en detalle las afectaciones a los habitantes y al medio en el cual se construye el proyecto, puesto que es una zona de cultivos.



↑ Vista del túnel terminado, revestido con concreto.

AVN, Hinca de tubería para una central hidroeléctrica pequeña en Zillertal, Austria

Un total de 2.800 pequeñas centrales hidroeléctricas proporcionan electricidad a 1,7 millones de hogares en Austria, lo que representa un 9% de la demanda eléctrica del país. El Maerzenbach, en la región del valle del Ziller, albergará una planta hidroeléctrica más. Con un desnivel de 144 m, se espera una producción de 1,7 MW. Debido a las estrictas regulaciones ambientales, el túnel de presión de 863 m de largo sólo puede perforarse utilizando la tecnología mecanizada.



La instalación en la obra de los elementos en concreto, en un terreno inhóspito y con inclinación de 6° en condiciones de terreno difíciles están entre los principales retos que afrontó el equipo de la obra. La excavación del túnel de 863 m de largo posee una pendiente inicial de 11% en roca. El trazado termina en una curva casi paralela al arroyo. Se desarrolló un sistema especial de monitoreo que dio a esta obra una gestión de máxima calidad y facilitó identificar las sobrecargas críticas en los tubos de concreto durante su

↑ Trazado del túnel.

↓ Instalación en obra y puesta en marcha de la máquina de hincado de tubería donde se ubicará la futura casa de máquinas.

hincado en una fase temprana, ya que el sistema calculaba la fuerza de empuje máxima admisible en tiempo real y la mostraba en una cabina de control. Esto permitió que el equipo de construcción de túneles evitara sobrecargas críticas en las tuberías y así se lograra la construcción de estructuras duraderas y de alta calidad. Las obras se iniciaron en julio de 2008 y se concluyeron en tan solo seis meses. Entre el punto de inicio del túnel y el final hay un desnivel de 90 metros y un recubrimiento de hasta 80 metros.

Conclusiones

La disponibilidad y el uso de tecnologías de excavación mecanizada han abierto nuevas vías para la ejecución de proyectos hidroeléctricos. En cuanto a las centrales hidroeléctricas pequeñas y medianas, existen diferentes alternativas de excavación mecanizada de túneles y variados tipos de revestimiento, de entre los cuales se puede elegir la solución más acertada para un proyecto específico. Para optimizar el uso del alto potencial de las energías renovables es esencial mejorar el desarrollo y la adaptación a las condiciones específicas del proyecto. Estas tecnologías de túneles serán finalmente capaces de proporcionar una alternativa mecanizada y sostenible a los métodos de perforación y voladura que se aplican hoy en algunas estructuras subterráneas complejas necesarias para los desarrollos hidroeléctricos.





Tomando en cuenta que las posibles ubicaciones de las grandes centrales hidroeléctricas ya son conocidas y utilizadas, todavía existe un gran potencial sin explotar para centrales hidroeléctricas pequeñas y medianas, especialmente en América Latina y Asia como también en Europa, donde se explota sólo la mitad del potencial. En 2010, en los 27 países de la UE había 21.800 pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad total instalada superior a 13.000 MW, que generaban 41.000 GWh de electricidad al año. Para elevar estas cifras y aumentar la participación de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el mix energético, se necesita diseñar pequeños proyectos hidroeléctricos con el fin de cumplir con los requisitos ambientales locales para aprovechar el potencial aún disponible⁶.

Referencias

1. "Platform Water Management in the Alps, 2011", Situation report on hydropower generation in the Alpine region focusing on small hydropower, Alpine Convention.

↑ Solución especial de transporte para los equipos y tuberías de concreto a la obra.

2. J. Giesecke, S. Heimerl, E. Mosonyi, 2014, Wasserkraftanlagen, Springer Verlag: p. 110, 127
3. Y. Chen, R. Hardman, Cleantech Magazine, Canada, <http://www.cleantechinvestor.com/portal/renewable-energy/1777-the-run-of-river-energy-sector.html>
4. "Double Power" Project, Switzerland, 2015, <http://www.doppelpower.ch/projekt/beschreibung/>
5. Brockway, J. 1983. Incline/Decline Boring With Tunnel Boring Machines, Rapid Excavation and Tunneling Conference Proceedings, p743-760
6. Burger, W. 2012. Mechanized excavation for Hydropower Projects, Montreal TAC 2012
7. A. Vigl, R. Gerstner. 2009. "Grouting in pressure tunnel construction", Geomechanics and Tunneling 2 (2009), no. 5
8. ESHA – European Small Hydropower Association, 2009-2012, Small Hydropower Roadmap for EU-27 

6. ESHA – European Small Hydropower Association, 2009-2012, Small Hydropower Roadmap for EU-27

ESTRENAMOS AÑO, ESTRENANDO IMAGEN.



Ahora los empaques de Argos tienen una nueva imagen para seguir dándole Luz Verde a tus obras.

Reconoce el Cemento Blanco y Gris Uso General por su color verde y el Cemento Uso Estructural por su color kraft.

Argos. Luz Verde.



Túnel hidroeléctrico de las Cataratas del Niágara Geomembrana integrada con detección electrónica de fugas

Dr. Markus Haager, Gerente Técnico de Inestimientos AGFU, Austria
Fotos: Cortesía Polypro & Strabag

Noticreto

↑ Interior del túnel revestido con geomembrana

Introducción

Las cataratas del Niágara marcan el límite entre Canadá y Estados Unidos y son un espectáculo natural único que atrae a millones de turistas cada año. Además de las impresionantes cascadas, el río Niágara ofrece un atractivo adicional: una alta capacidad para generar energía, que se aprovecha desde hace más de 250 años. La primera persona en desviar un pequeño canal para suministrar energía mecánica a su aserradero fue Daniel Joncairs, en 1759. En 1881, una estación generadora comenzó a suministrar corriente continua a los poblados cercanos a las cataratas.

Las cataratas tienen una altura de caída de 53 m, ante lo cual se decidió abrir un canal de 20 km de largo que desvía el agua por



encima de las cataratas y la libera en la parte inferior del río. La primera estación generadora, llamada Sir Adam Beck I, fue puesta en servicio en 1922 y tiene una altura de caída de 89 m. En 1950 se hizo una importante expansión y desde 1954 están en funcionamiento dos túneles, cada uno con un diámetro de 13,7 m y longitud de 8 km, que suministran agua a la estación generadora Sir Adam Beck II. Hoy en día, las dos plantas generadoras Sir Adam Beck, en el lado canadiense, y la central Robert Moses, en Estados Unidos, conforman una de las mayores fuentes de energía hidroeléctrica de América del Norte, con capacidad de 5.000 MW.

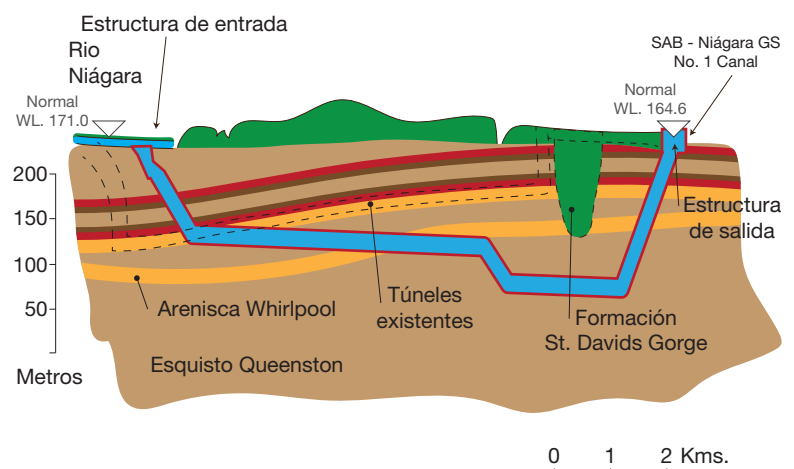
En la actualidad está en marcha una nueva expansión significativa. En 2006 comenzó la construcción del proyecto de instalación del Túnel del Niágara (NTFP por su sigla en inglés). Este proyecto comienza arriba de las cataratas en el International Niagara Control Works. Luego desciende paralelo a las cataratas a unos 100 m de la ciudad de Niágara y 10,2 km después termina en el complejo de Sir Adam Beck.



LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN
↑ Trazado del túnel de NTFP.

Para este gigantesco proyecto se utilizó una de las máquinas de perforación de túneles en roca dura (TMB) con mayor diámetro en la actualidad: 14,4 m. Las condiciones geológicas fueron un gran desafío. La TBM tuvo que perforar a través de la Formación Queenston, integrada por diferentes capas de arenisca y esquistos. Por un lado, el esquisto Queenston es quebradizo y poroso, lo que causó casi desde el comienzo un exceso de ruptura que disminuyó los índices de avance (Wallis 2011). Por otra parte, dicho esquisto se expande cuando se empapa continuamente con agua. Para evitar cualquier desplazamiento de las formaciones geológicas que pudieran elevar el terreno por encima del túnel o inducir sismos, fue esencial un sistema de cierre hermético para la estructura.

SECCIÓN LONGITUDINAL DE ALINEACIÓN DEL TÚNEL



↑ Formaciones geológicas a lo largo de la ruta NTFP
(www.opg.com - 10. Febrero 2012).

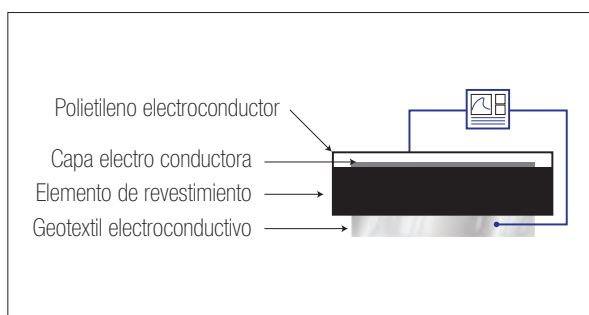
Sistemas de revestimiento en polímeros

La aplicación de geomembranas poliméricas en el sellado de túneles es una técnica de gran innovación desde hace muchos años. Generalmente exigen una atención muy especial a la vulnerabilidad del revestimiento durante el proceso de construcción. Los daños que puedan resultar del proceso de instalación y construcción son muy difíciles de reconocer, por lo cual la reparación de las fugas que se detecten posteriormente sólo es posible mediante procedimientos complejos de inyección y relleno.

Desarrollo de las geomembranas con detección de fugas integradas

Ante la estricta condición de impedir que el agua del túnel tenga contacto con el esquisto de Queenston, hubo que apelar a un sistema confiable para detectar daños en el revestimiento. Al comienzo se pensó en utilizar un sistema de doble capa que incluía paneles prefabricados de concreto que pudieran probarse al vacío. Sin embargo, este sistema demostró no ser factible porque incluso pequeñas variaciones en el diámetro del túnel no podían ser compensadas. Finalmente se desarrolló una nueva geomembrana multicapa de poliolefina flexible.

La siguiente figura muestra un esquema de las geomembranas recién desarrolladas. Poseen una capa interior de polietileno electroconductor y además están laminadas con un geotextil también electroconductor. Este innovador sistema ofrece la posibilidad de hacer inspecciones electrónicas del revestimiento del túnel antes y después del proceso de instalación para asegurar que esté intacto.



↑ Geomembrana electroconductor de multicapas conectada al dispositivo de detección de fugas.

Para comprobar la integridad de la geomembrana, ambas capas electroconductoras se conectan a un dispositivo especial de vigilancia, para lo cual se utiliza una pinza especial. Después se inicia un procedimiento automático que aumenta continuamente el voltaje hasta 10.000 voltios. Esto sólo es posible si el cuerpo principal del revestimiento del túnel está completamente intacto. En caso de que el revestimiento esté averiado, la

electricidad fluirá entre las dos capas electroconductoras y el voltaje se descargará. Los 10.000 voltios se eligieron considerando la resistencia eléctrica del polietileno, que es mucho mayor que la del aire. Como resultado, este método no sólo detectará agujeros, sino también una reducción significativa del espesor de pared.



↑ Dispositivo de monitoreo (B) utilizado en el túnel de Niágara que está conectado a la geomembrana con un tipo especial de pinza (A).

Ubicación del área averiada

En caso de que el método descrito detecte daños en el revestimiento, es de suma importancia localizar la avería, para lo cual se desarrolló un procedimiento especial. Al principio, el dispositivo de monitoreo se pone en el denominado modo "quemado". Al suministrar continuamente 14.000 voltios, las chispas conectarán las dos capas conductoras eléctricas en el área dañada. El flujo de electricidad aumentará la temperatura local. Enseguida se puede explorar la superficie del revestimiento con ayuda de una cámara de infrarrojo para encontrar el punto con más alta temperatura, que corresponde al área dañada.



↑ Ubicación del área dañada con la ayuda de una cámara de infrarrojo.

Este nuevo desarrollo hace posible comprobar la integridad de las geomembranas instaladas en los túneles. Incluso los daños más pequeños (agujeros de alfiler) y su ubicación exacta se pueden identificar en una etapa temprana del proceso de instalación. Esto permite realizar los trabajos de reparación antes de fundir la estructura interna de concreto y reducir significativamente el riesgo de fugas en el túnel. La reparación en una etapa temprana puede evitar costosos procedimientos de inyección.

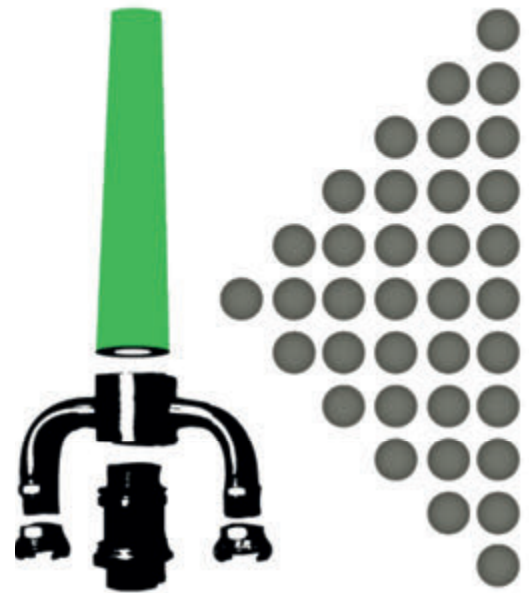
Resumen y conclusiones

La geomembrana electroconductora que permite comprobar la integridad de la geomembrana se aplica con éxito en la actualidad en el proyecto del túnel de Niágara. Inmediatamente después de la producción, se verifican las geomembranas con el método descrito para asegurar que solo se entregue un buen material en el sitio. Finalmente, el revestimiento del túnel fue inspeccionado una vez más después de la instalación antes de fundir la estructura interna de concreto en el túnel. En consecuencia, fue posible demostrar que el revestimiento instalado está completamente intacto.

Durante el proyecto se obtuvo valiosa información sobre este procedimiento de reciente desarrollo. Además, hay consideraciones para aplicar esta tecnología no sólo para mediciones en un solo punto sino para detección continua de fugas en aplicaciones como tanques, cubiertas y depósitos, entre otras.

Referencias

1. Haager, M. y Komma, N. (2012). "Geomembranas poliméricas controlables electrónicamente para túneles", Bajo la Ciudad, ITA Croacia, Dubrovnik, Croacia, 122-123.
2. Hutchinson, A. (2012). "The Very Big Dig", Canadian Geographic, 27-38.
3. Wallis, T. (2011). "Avances terminan en un desafiante viaje en el Niágara", Revisión anual, Comentarios del Túnel, 5-6.

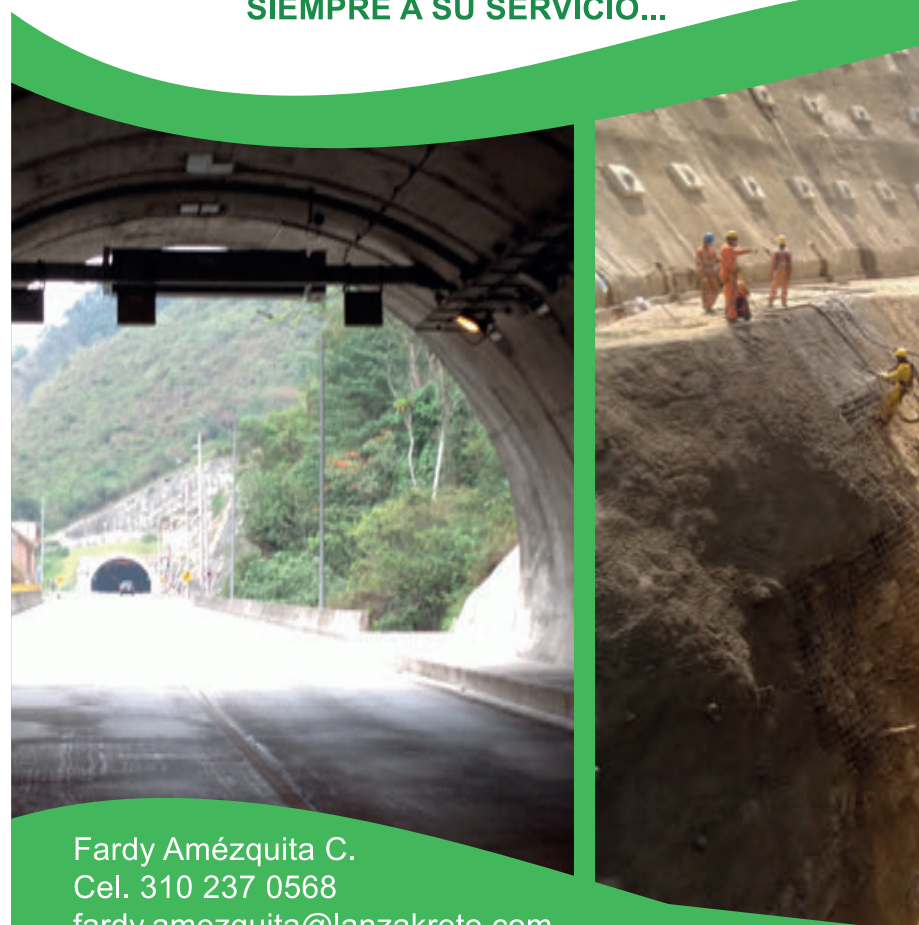


LANZAKRETO

10 AÑOS

Siendo el aliado estratégico de los más importantes constructores en la ejecución y desarrollo de las grandes obras de infraestructura del país.

SIEMPRE A SU SERVICIO...



Fardy Amézquita C.
Cel. 310 237 0568
fardy.amezquita@lanzakreto.com
www.lanzakreto.com

Túneles con estética: El metro de Washington



↑ La singular arquitectura en las estructuras subterráneas del sistema de Metro de Washington, ha sido ganadora de numerosos premios.
FLICKR - ELI DUKE

El metro de Washington D.C., en Estados Unidos, es un sistema regional de tránsito rápido que está integrado por seis líneas, 92 estaciones, y unos 190 km de ruta sobre rieles, de los cuales 80 km son subterráneos. Beneficia no solamente al distrito de Columbia sino también a condados vecinos en Maryland y Virginia. La mayor parte de estos tramos están bajo la zona central de Washington y las localidades cercanas, que tienen alta densidad poblacional. Por su arquitectura original e innovadora, el sistema ha obtenido numerosos galardones. En enero de 2014, el Instituto Americano de Arquitectos lo premió por "un diseño arquitectónico de importancia duradera" que "ha resistido la prueba del tiempo al incorporar la excelencia arquitectónica durante más de 25 años".

➔ Además de ayudar al transporte de la población, el metro de Washington se convirtió en atracción turística gracias a su arquitectura y a su estructura con predominio del concreto

FLICKR - CHRISDAG



La construcción del Metro de Washington

empezó el 9 de diciembre de 1969 y la primera línea fue inaugurada en marzo de 1976. Desde entonces, se han agregado al sistema original diversas ampliaciones. Hay una estación exclusiva para el aeropuerto Internacional Dulles y numerosas líneas que atraviesan el centro de la capital, muchas de ellas en inmediaciones de edificios gubernamentales y de atracciones turísticas. El metro mismo es también una atracción turística por su arquitectura y la estructura en concreto en los túneles del sistema. La frecuencia de paso de los trenes del sistema es alta, especialmente en las horas pico; los trenes pueden alcanzar una velocidad máxima de 120 km/h, aunque rara vez exceden los 95 km/h. Las

líneas se diferencian por colores –rojo, amarillo, verde, azul, naranja y plateado– que se distribuyen por todo el sistema: en las entradas de cada estación hay luces que alumbran el entorno subterráneo, y en el recorrido del metro hay señales iluminadas que orientan a las plataformas de las diferentes rutas. El sistema del metro es totalmente climatizado, tanto en los trenes como en las estaciones subterráneas.

Todas las estaciones tienen acceso a la movilidad exterior con ascensores y/o escaleras eléctricas. Posee un sistema estratégico de vigilancia que incluye un circuito cerrado de cámaras de seguridad, y puntos de información a la entrada de cada estación.

➔ En medio de los carriles de separación de los trenes hay lámparas fluorescentes que dan mayor visibilidad a todo el sistema.

FLICKR - NCINDC



Construcción y arquitectura

El sistema de metro de Washington comenzó con la línea roja que incluía tan solo cinco estaciones. Para la construcción se subcontrató el trabajo a tres empresas de consultoría: una que trabajara en la arquitectura, otra en la ingeniería y otra en la construcción. La construcción del sistema se completó utilizando una diversidad de técnicas. Muchas secciones se construyeron bajo el sistema tradicional *cut-and-cover*; otras fueron excavadas en lo profundo de la tierra y otras al nivel de la superficie o elevadas.

Las estaciones parecen similares entre sí, pero arquitectónicamente tienen estilos diferentes. Los techos de todas las estaciones subterráneas son abovedados, bien sea en bóvedas de arco, o con diseño de tres espacios diferentes. En las estaciones predominan las plataformas y algunas de ellas cuentan con espacios laterales dobles, dependiendo de las necesidades de cada una. Seis de las estaciones son puntos de transferencia y están diseñadas en dos niveles, y en cuatro de ellas se cruzan dos líneas del metro en diferentes niveles. Las estaciones elevadas y a nivel tienen principalmente cubiertas en ala de gaviota, y varias de ellas tienen techos con picos en el centro. Otras, entre ellas Franconia-Springfield, Huntington, Prince George's Plaza y West Hyattsville tienen diseños únicos.



↑ Estaciones tales como: Franconia-Springfield, Huntington, Prince George's Plaza, West Hyattsville; tienen diseños exclusivos y únicos. CORTESÍA OMAR JAVIER SILVA R.



Los encargados de la arquitectura del metro, tuvieron una idea visionaria del metropolitano de Washington. Su concepción monumental y limpia pretendía ser la antítesis del metro de Nueva York; se propusieron bóvedas, convirtiendo las estaciones en equivalentes subterráneos de las clásicas estaciones de ferrocarril del siglo XIX, con sus trenes de hierro fundido. Las bóvedas

↑ En la mayoría de las estaciones se nota el concreto a la vista, y el ritmo repetitivo de sus elementos muestra el carácter brutalista del diseño. CORTESÍA OMAR JAVIER SILVA R.

permitieron prescindir de columnas, mejorar las líneas de visión y dar a los espacios una sensación de amplitud. Las bóvedas icónicas en las estaciones subterráneas están revestidas con paneles reticulares prefabricados de concreto, difusamente iluminados por accesorios empotrados detrás y debajo de las plataformas de la estación. En la mayoría de las estaciones se nota el concreto a la vista y el ritmo repetitivo de sus elementos muestra el carácter brutalista del diseño. También reflejan la influencia de la arquitectura neoclásica de Washington en sus cúpulas y techos. Todas las estaciones diseñadas bajo este concepto se encuentran ubicadas en el centro de Washington y los corredores urbanos de Arlington, en Virginia.

Estructura

El sistema estructural del metro fue ideado con el fin de mantener la mayor continuidad posible, sosteniendo el movimiento longitudinal de la estructura dentro de los límites de tolerancia de los pasadores de los rieles de los carriles. La construcción de pilares y vigas de vía integrados eliminó la articulación en las intersecciones. El uso de la superestructura continua se logró con la utilización de concreto pretensado que, con las juntas de expansión, ofreció la facilidad de proyectar elementos relativamente superficiales con pequeñas flexiones verticales. Las cargas muertas, el peso propio y las flexiones por deslizamiento son de menor magnitud que las contraflechas de compensación. Al eliminar la necesidad de las contraflechas, la construcción se simplificó consiguiéndose un soporte en las vías mucho más uniforme, lo que contribuyó a mejorar la calidad de los recorridos. Esta modalidad de construcción facilitó introducir las estructuras elevadas y en espiral necesarias en las curvas de las vías.



↑ El uso de la superestructura continua se logró con la utilización de concreto pretensado que, con las juntas de expansión, permitió proyectar elementos relativamente superficiales con pequeñas flexiones verticales.

FLICKR-KEVIN HARBER

Como parte del sistema se integran dos puentes que atraviesan el río Potomac en Virginia y el Anacostia en Maryland. El puente que atraviesa el río Potomac, es de 922,3 m de longitud, consta de 22 vanos con curvas opuestas en los extremos. Los pilares en concreto y las vigas de acero se seleccionaron para actuar como conductos y resistir las cargas torsionales. Tienen una estructura interna cruzada y en la parte superior una barra destinada a mantener la forma del cajón y proporcionar rigidez torsional durante la construcción y vaciado del concreto en el tablero. Se usaron dos tipos de vigas cajón: uno para el tramo recto y otro para los tramos curvos. Las vigas cajón del tramo recto se proyectaron con almas verticales de diferentes espesores y alas horizontales en la parte inferior. La otra viga cajón, simétrica, se acomodó a la variación del peralte.



↑ El puente sobre el río Potomac, está conformado por pilares en concreto y vigas de acero; elementos seleccionados para que actuaran como conductos y resistieran las cargas torsionales.

FLICKR-MATTHEW AND HEATHER

Aunque las vigas cajón generalmente se fabrican unidas, en este caso los tableros de las vigas se hicieron como unidades separadas a 15 mm. En este proyecto se prestó especial importancia a la estética por la importancia simbólica de estar en la capital de Estados Unidos. Las vigas cajón se hicieron en acero y se pintaron de gris claro. El puente sobre el río Anacostia, de 2.330 m y conformado por 55 vanos, fue construido en parte sobre terraplén y otra como estructura aérea. Como se hizo con el puente sobre el Potomac, se escogió concreto para los pilares y acero para el tablero a fin de resistir mejor las cargas torsionales y para que la estructura se integrara visualmente al entorno.

Realizamos ensayos sobre materiales para la construcción e industria. De igual manera, calibramos equipos de medición en fuerza, masa y longitud.



Extracción de núcleos

Contamos con ensayos acreditados por:



**Conozca nuestro
portafolio de servicios:**

- ✓ **Geotecnia** ✓ **Patología**
- ✓ **Laboratorio Satélite** ✓ **Ensayos Mecánicos**
- ✓ **Pavimentos** ✓ **Metrología**

Sede Bogotá

Calle 63D No 71A- 70
PBX: (571) 223 5656

Sede Barranquilla

Carrera 15 Sur No 76 - 82 Bod.2
Avenida Circunvalar
PBX: (575) 385 5169

www.concrelab.com | Síguenos   



↑ El puente sobre el río Anacostia, de 2.330,2 m y conformado por 55 vanos, fue construido en parte sobre terraplén y otra como estructura aérea.

FLICKR - MR.TINDC

El sistema del metro de Washington tiene aproximadamente 24 km de túneles perforados en roca, 20,6 km de túneles de tierra y 35,4 km de túneles realizados mediante una zanja que después se cubrió. Para los túneles de roca se usaron métodos convencionales de laboreo de minas, pero las limitaciones también llevaron a emplear técnicas automáticas y explosivos; por ejemplo, en un tramo bajo la Avenida Connecticut, una de las principales arterias de la ciudad, se utilizó una máquina que alcanzó velocidades notables de penetración y logró con éxito la estructura subterránea. Uno de los tramos más exigentes pasa por debajo del río Anacostia (en Maryland), y fue construido con unidades prefabricadas de concreto. Los demás tramos del sistema en túneles poco profundos, con estaciones de cubiertas, abiertas o en trinchera, fueron construidos con concreto reforzado y cubiertos con elementos prefabricados.



↑ Hay seis estaciones como puntos de transferencias, las cuales cuentan con diseños de dos niveles, y en cuatro de estas estaciones por ejemplo dos líneas del metro se cruzan en diferentes niveles.

FLICKR - VIA TSUJI

Detalles y materiales

El material más usado en esta construcción fue el concreto, especialmente en los túneles, las estaciones subterráneas y en los pilares que soportan las estructuras elevadas. Las áreas de todas las plataformas están compuestas por azulejos hexagonales de gres y una superficie antideslizante. Los bordes de las plataformas son de granito y sobre ellas tienen luces

que destellan cuando los trenes se acercan. En medio de los carriles de separación de los trenes se encuentran lámparas fluorescentes que dan mayor visibilidad a todo el sistema. Algunos ductos para el aire acondicionado están localizados en los pilares de concreto para el caso de las estaciones de metro elevadas, y en las otras se encuentran en las bases de las paredes. En techos, entradas, paredes de túneles y otros lugares hay paneles acústicos que ofrecen al sistema un buen grado de reducción del ruido. La iluminación de las estaciones combina lámparas de vapor de mercurio (parte superior de los pilares) y tubos fluorescentes (en la base de las paredes de las estaciones). También posee detectores de fuego que, junto con el concreto, funcionan eficientemente en caso de emergencia.

Conclusiones

El metro de Washington D.C., además de ser un gran ejemplo de arquitectura única, innovadora y perdurable, es una realización memorable para la ingeniería. Los trabajos que acudieron principalmente al concreto para las obras subterráneas y para dar mayor estética a las formas arquitectónicas garantizan la durabilidad exigida y dan resistencia a todo el sistema. 



↑ En techos, entradas, paredes de túneles y algunos otros lugares hay paneles acústicos que ofrecen al sistema un buen grado de reducción del ruido.

CORTESÍA OMAR JAVIER SILVA R.

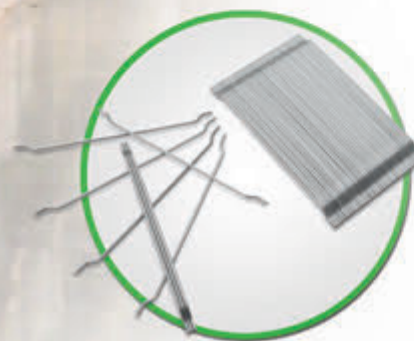
Referencias

http://www.nycsubway.org/wiki/Washington,_D.C
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/2455/2767>
<http://architectofthecapital.org/posts/2016/6/22/metro-under-construction>



**Por su mayor eficiencia,
rapidez y facilidad,**

Noti **cr** **eto** **Diga Sí**
a las fibras de acero



Ventajas de las fibras de acero SUPERCAM:

- ✓ Reemplaza la malla electrosoldada reduciendo horas de trabajo y espacio de almacenamiento.
- ✓ Aumenta el desempeño de las estructuras gracias al efecto de refuerzo en todo el espesor de las losas.
- ✓ Aumenta la resistencia a la abrasión de los pavimentos exteriores, parqueaderos residenciales y comerciales.
- ✓ Cuenta con asesoría especializada para cada proyecto.
- ✓ Mayor rapidez en la ejecución de sus proyectos.

Producido y distribuido por

Supercam
fibras de acero para concreto



Tel(57-4)4446767
ventas@camejia.com · Marinilla - Colombia



Túneles y viaductos: Una combinación sana, económica y segura

Ing. Carlos Felipe Sabogal Ocampo
Consultor, Colombia

En un momento especial para la infraestructura en el País, nos enfrentamos a un reto de la mayor importancia: plantear diseños que permitan desarrollos viales con velocidades de diseño superiores a los 100 km/h y brinden seguridad vial a los usuarios, e igualmente emprender los máximos esfuerzos para que las autopistas de cuarta generación se construyan como han sido concebidas, una solución con proyección hacia el futuro del transporte que cuenta con obras ambiciosas y de alta complejidad técnica, pero que deben realizarse.



↑ Combinación de túneles y viaductos en la vía Bogotá Villavicencio.
ARCHIVO COVIANDES

Teniendo en cuenta la orografía de Colombia y sus condiciones particulares de una cordillera andina con tres grandes brazos que recorren el país, la única forma de lograr este gran reto es planteando viaductos y túneles como la mejor propuesta para superar los frecuentes cambios de pendiente y salvar accidentes geográficos. Por supuesto, esta es una solución que se aplica por parte de la consultoría del país desde hace bastante tiempo. No obstante, han surgido dudas por parte de las administraciones en torno a los sobrecostos de los proyectos que, en buena parte de los casos, han sido consecuencia de no invertir los suficientes recursos en investigar y caracterizar las zonas de ejecución de las obras, y de la aplicación inadecuada de los procesos. Estas condiciones han llevado durante los últimos años al proceso de aprendizaje que implica mirar desde una posición crítica las necesidades de mejora por parte de las entidades públicas, los gremios y las asociaciones de profesionales. Con ello podemos sentirnos mucho

mejor preparados para los retos que plantea la ejecución de proyectos que comienzan en este momento.

A partir de la experiencia de la observación de la infraestructura vial podemos enunciar las ventajas de ejecutar vías combinando túneles y viaductos frente al tradicional diseño a media ladera y a la construcción de terraplenes, que pasaremos a resumir en un panorama general, sin pretender hacer una profundización científica.

Estabilidad de Taludes

Este es un aspecto del que se tienen noticias todos los días en el sector de infraestructura vial. Los deslizamientos han generado tragedias que han tenido como consecuencia la pérdida de vidas, que es lo más importante, pero además conllevan grandes pérdidas económicas como resultado del cierre del tránsito, lo que en nuestro sistema económico lleva a alzas inmediatas en los costos de los productos, a desconectar regiones del país, a disminuir los parámetros de seguridad y, de alta importancia, a millonarias inversiones en movimiento de tierras con grandes magnitudes de necesidad de maquinaria, costos elevados por la dificultad de acceso a la zonas y la urgencia. Durante estos trabajos se requiere alto nivel de gestión del riesgo y protección a los operarios de maquinaria, y su ejecución está sujeta a las condiciones climáticas y la luz solar.

Los deslizamientos parecen inevitables en los sectores donde se ha excavado la vía a media ladera, por las condiciones de saturación del suelo y porque en gran parte del país existen importantes depósitos de ceniza volcánica, aluviones, meteorización y otros fenómenos que hacen que el riesgo sea una constante, principalmente en temporadas de lluvias, asociadas en gran medida a inconvenientes en el manejo de las cuencas y a fenómenos de erosión generalizados a consecuencia de procesos antrópicos.

Notablemente, los problemas de estabilidad de taludes generan la necesidad de grandes obras de contención. Estas obras representan inversiones de gran magnitud, que frecuentemente elevan el costo de los proyectos y no tienen efectividad total. Se ha avanzado en las técnicas de estabilidad de taludes, una solución que requiere aplicación continua por la forma en que tradicionalmente se han desarrollado nuestras vías.

Los impactos de un proyecto de túneles con la gestión adecuada son menores que las afectaciones en los sectores de cielo abierto.

Túneles y viaductos

La construcción de túneles en reemplazo de grandes cortes de ladera tiene importantes ventajas: garantiza la continuidad del tránsito; reduce el impacto sobre el equilibrio natural en la geotecnia del suelo; se trabaja sobre suelos intactos y se disminuyen en un porcentaje importante los movimientos de tierras. En este caso, la estabilización de taludes se limita a la construcción de los portales del túnel.

En lo económico, los costos de ejecución del proyecto se amortizan por la disminución de los costos de operación y mantenimiento, por

reducir la accidentalidad vehicular y generar ahorros de combustible. Además, los proyectos de túneles reducen el recorrido de las vías, lo que impacta positivamente en los fletes y disminuye el costo de las mercancías, un componente con un peso específico bastante alto en nuestra dinámica económica.

Similares beneficios presentan los viaductos, en su actual concepción como estructuras con suficiente capacidad para soportar eventos torrenciales y avenidas fluviales. En la modalidad tradicional, el paso por ríos, quebradas y cauces naturales se efectuaba salvando las mínimas distancias en estos accidentes, limitándose a tender un puente o una tubería de menor magnitud. Esto podía convertirse en un magnificador de los riesgos porque la capacidad de las estructuras podía ser excedida fácilmente durante las avenidas torrenciales y podían aumentar los materiales que arrastran las avalanchas sobre las vías y las poblaciones aledañas. Los viaductos prevén suficiente margen para aumentos súbitos de los caudales y evitan la tradicional configuración vial de descender hasta la zona de la corriente y volver a subir, que siempre genera grandes impactos sobre las laderas.

Aspectos ambientales

El manejo del impacto ambiental en la ejecución de proyectos se ha desarrollado de forma continuada a partir de la ley 99 de 1993 y sus desarrollos normativos. Los proyectos de infraestructura de transporte que se realizan en la actualidad incluyen capítulos ambientales transversales a la ejecución de los proyectos, con seguimiento de la Autoridad Ambiental, que también ha mostrado mejoras e independencia. Por estos días se presenta un interesante debate acerca de la conectividad ambiental y sus posibles interrupciones por concepto de los proyectos de infraestructura lineal.

Volviendo a lo expuesto sobre la estabilidad de taludes, cada deslizamiento puede catalogarse como un episodio que afecta gravemente las condiciones ambientales: se pierden hábitats naturales, se presentan grandes movimientos de tierra que implican pérdida de la calidad del suelo, hay necesidad de utilizar zonas de depósito y, por lo general, se alteran corrientes de agua. No debe olvidarse que la recuperación de los ecosistemas es lenta y gradual. Los túneles y viaductos permiten la conectividad natural de los ecosistemas, lo que disminuye los impactos en los sectores montañosos y ahorra costos de recuperación de sistemas naturales, de captura de fauna y traslado de flora. Las dinámicas naturales en zonas tan ambientalmente ricas como las que tiene Colombia, hacen que diferentes etapas de un mismo ciclo natural se desarrollen en diferentes altitudes de una misma cuenca. Por lo tanto, el paso de una carretera de media ladera causa una abrupta interrupción de los ciclos, lo que ha hecho que en proyectos la autoridad requiera pasos o puentes naturales, pero para el caso de los túneles y viaductos constituyen pasos sin restricción.

Por supuesto que lo descrito tiene un beneficio ambiental adicional y es la disminución de impactos arqueológicos, los cuales requieren un manejo especial solo en las zonas de portales y pilas. Esto es una garantía para la conservación de nuestro patrimonio cultural y aumenta la posibilidad de control de las autoridades en zonas puntuales, frente a las dificultades que presentan los grandes movimientos de tierra para obras lineales.

Se ha generado una discusión acerca del equilibrio de los sistemas hidrológicos en el desarrollo de proyectos de túneles, donde se presentarían riesgos de



➔ Obras anexas del túnel de La Línea.
ARCHIVO INVIAS

pérdida de capacidad de almacenamiento y afectaciones a los acuíferos. Para estos impactos eventuales ya se han diseñado tratamientos que parten de un estudio hidrogeológico con los suficientes parámetros y datos de campo, tal y como se está practicando en diferentes proyectos en el país. Los impactos de un proyecto de túneles con la gestión adecuada son menores que las afectaciones en los sectores de cielo abierto de los afloramientos naturales, las cuencas hidrográficas, la vegetación y, por tanto, los ecosistemas, especialmente es zonas vulnerables sobre las que debería evitarse la intervención directa, tales como páramos. Acogerse a los parámetros que impone el cambio climático y afrontar los retos que nos impone esta política, requiere la ejecución de infraestructura que evite la intervención directa de bosques naturales, que tenga la capacidad de superar eventos naturales de magnitud, que evite la afectación de ecosistemas frágiles y donde se presente un menor nivel de emisiones. En consecuencia, la infraestructura que responde a los nuevos retos y se adecúa a los parámetros de desarrollo sostenible que espera el país son los túneles y viaductos bien gestionados.

Mejoramiento de los diseños

Un factor que aumenta los tiempos de recorrido y reduce las condiciones de seguridad vial son las altas pendientes típicas de nuestras carreteras, debido a que para viajar de una ciudad principal a otra siempre habrá que superar complejos obstáculos de geografía. La disposición de túneles y viaductos permite una reducción de la pendiente que se ve reflejada en un mayor promedio de velocidad de operación y un menor consumo de combustible en los ascensos, mayor seguridad y menos operaciones del sistema de frenos en el descenso, con lo cual los ahorros en costos de operación son evidentes. Adicionalmente obtener vías más rectas mediante el uso de túneles y viaductos, genera velocidades de diseño superiores que se reflejan en confort al conducir y disminución de la accidentalidad, lo cual se traduce en ahorros en los costos operativos y aumento de la seguridad para los usuarios.

Conclusiones

A manera de conclusión, encontramos que la orientación de la infraestructura que se desarrolla en la actualidad es la correcta y como gremios, profesionales y ciudadanos debemos verificar que los diseños de los proyectos contemplen obras como túneles y viaductos que, a pesar de la complejidad inicial que proponen son las mejores soluciones en ingeniería para adaptarse a las condiciones del país.

Debemos garantizar la suficiente inversión en pre construcción para que los diseños incluyan la necesaria exploración, estudios y ensayos, además de estudios ambientales de gran bagaje técnico que faciliten a la autoridad la expedición de las licencias. Es necesario realizar el seguimiento adecuado que permita, a través del diagnóstico ambiental de alternativas, demostrar la solución ambiental más favorable.



↑ La infraestructura debe responder a los nuevos retos y adecuarse a los nuevos parámetros de desarrollo sostenible.

CORTESÍA GEOTUNEL

Para el estudio de estos corredores con túneles y viaductos es necesario, además de comparar en las alternativas los costos iniciales, realizar un estudio detallado de los costos operativos, de transporte, seguridad, macroeconómicos y de beneficios ambientales a largo plazo, los cuales en su integridad redundarán en proyectos técnico-económicos eficientes y eficaces. 



↑ La combinación de túneles y viaductos se traduce en ahorros en costos operativos y aumento de la seguridad para los usuarios.

CORTESÍA GEOTUNEL

"El concreto satisface las obras subterráneas de cualquier tipo"

Manuel Arnaiz Ronda, Presidente de la Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas



↑ El Doctor Manuel Arnaiz Ronda es el actual presidente de la Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas, AETOS.
CORTESÍA AETOS

Si alguien tiene conocimientos y experiencia que le permiten hablar con autoridad sobre túneles es el español Manuel Arnaiz Ronda. Es doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid y tiene más de 40 años de carrera dedicada a las obras de infraestructura de transportes en Madrid. Es, además, presidente de la Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas, AETOS.

Aceptó compartir con los lectores de Noticreto los esfuerzos que realiza su gremio para difundir y ampliar los conocimientos y técnicas en los proyectos, construcción y explotación de obras subterráneas.

El interés profesional del ingeniero Manuel Arnaiz Ronda por los túneles comenzó en 1990, “cuando se me encargó la dirección de obra del Túnel de Sinesio Delgado en la ciudad de Madrid. Es un túnel urbano que da continuidad a una calle de doble carril en cada sentido y que discurre bajo el parque de la Dehesa de la Villa. Se inició su construcción en 1989 y se puso en servicio en 1992. El terreno que atraviesa es arcillo/arenoso denominado ‘Tosco de Madrid’. Para su construcción se aplicó el para la época nuevo método austriaco, con sostenimiento provisional de concreto lanzado y revestimiento definitivo de concreto armado puesto en obra mediante encofrado deslizante. La obra consistió en dos túneles paralelos con una sección de 76 m², ancho de 9 m y un espesor mínimo entre túneles de 6,5 m. La longitud de los túneles es de unos 400 m cada uno y el recubrimiento máximo del terreno de dos diámetros.”

Arnaiz fue hasta 2016 el Consejero Apoderado de Madrid Calle30, una empresa mixta que se encarga del mantenimiento de los túneles de la carretera de circunvalación en la capital española. Nos habla de lo que considera el mayor avance en la construcción de túneles de concreto, desde el punto de vista de materiales:

“Desde el concreto reforzado de alta resistencia al concreto lanzado con fibra, que permite deformaciones del macizo rocoso en que se excava un túnel, existe una gran variedad de concretos que le hacen imprescindible en la evolución de las técnicas utilizadas en la construcción de obras subterráneas. A mi entender —complementa—, las características del concreto en masa y armado han hecho posible que se adapte a las exigencias que demandan las obras subterráneas en cualquier tipo de terreno y con distintos niveles freáticos.”

Ventajas del concreto de los túneles subterráneos

El ingeniero Arnaiz destaca a continuación las ventajas del concreto de los túneles subterráneos:

“Como solución constructiva, el túnel permite reducir los costos de desplazamiento, así como el tiempo empleado en los recorridos. Las infraestructuras de transporte de trazado complejo o que habían agotado su capacidad encuentran soluciones o alternativas en las obras subterráneas. Los grandes túneles de base que evitan trazados peligrosos apuestan claramente por la sostenibilidad reduciendo los impactos ambientales producidos por infraestructuras antiguas que resolvían problemas de comunicación, sobre todo en zonas montañosas.”

Advierte que es definitiva la logística exigida para que las características que debe tener el concreto en una estructura subterránea, sean las que efectivamente lleguen al frente de la excavación y se adapten a las condiciones especificadas en el proyecto.

“Es fundamental que el terreno excavado quede fortalecido con la estructura portante diseñada, que en la mayoría de los túneles corresponde a una estructura de concreto: dovelas de alta resistencia prefabricadas en planta, revestimiento realizado in situ, sostenimientos provisionales de concreto, o cualquier combinación de ellos.”

“El concreto en masa y armado se adapta a las exigencias que demandan las obras subterráneas en cualquier tipo de terreno y con distintos niveles freáticos”.

¿Qué impacto genera el concreto durante la etapa de la construcción?

¿Qué impacto genera el concreto durante la etapa de la construcción?, preguntamos. Responde sin vacilar: “Condicionan los ritmos de construcción, y por tanto los plazos de ejecución. Si los medios con los que se aborda la excavación de un túnel vienen determinados por las características del terreno donde se desarrollan, la estructura que soporta el túnel —que, como he comentado, es en muchos



↑ El concreto se adapta a las exigencias para la construcción de túneles de todo tipo.

FLICKR – MINISTERIO DE FOMENTO

casos de concreto— este tiene que ponerse en obra en el menor tiempo posible para evitar colapsos o deformaciones indeseadas, y tener las características de diseño. Esto obliga a que la puesta en obra del concreto debe ser lo que marque el ritmo de ejecución y deberán disponerse los medios necesarios para conseguirlo (plantas de fabricación de dovelas y de concreto, medios de transporte y medios de puesta en obra), y todo ello debe de funcionar de forma sincronizada para evitar incidentes o accidentes o retrasos indeseados.”

El tema de moda

El diálogo nos condujo a un término de moda en la ingeniería de infraestructuras, la sostenibilidad, y planteamos una inquietud: ¿será posible ver dentro de dos mil años túneles de concreto que se están construyendo hoy en día?

“Creo que sí será posible. Hoy seguimos usando túneles romanos con más de dos mil años de antigüedad, así como todo tipo de construcciones hechas con mampostería y que usaban mezclas de cal y arena como conglomerante. El concreto que lleva como aglutinante el cemento hidráulico está llamado a tener una vida tan longeva, al menos, como las construcciones romanas cuyas infraestructuras permanecen todavía. En España nos lo recuerdan ejemplos de puentes y acueductos.”

“De todas maneras, el concreto va resolviendo los problemas que se han presentado a lo largo del tiempo. Se han mejorado paulatinamente las principales características del mismo —por ejemplo, resistencia mecánica, resistencia a agentes agresivos, impermeabilidad, estanquidad, resistencia al fuego, fluidez—, y se han alcanzado resultados totalmente satisfactorios como solución a las necesidades demandadas en los procesos de construcción de túneles. La investigación en el uso de fibras en las mezclas de concreto ha conseguido mejorar de forma manifiesta las características resistentes del mismo, concretamente en la resistencia al fuego.”

Experiencias y desafíos

Comenta algunos aspectos de su vasta experiencia profesional en túneles de concreto:

“En los últimos treinta años he participado en las sucesivas ampliaciones de la Red de Metro de Madrid, concretamente en los periodos que



van desde 1991 hasta 2007. Durante estos años la Red de Metro se ha más que triplicado tanto en longitud como en cantidad de estaciones. Su trazado se ha extendido por el ámbito metropolitano de la región y más del 90% discurre en subterráneo.”

Más aún, desde el periodo del 2003-2011 fue responsable de la transformación de la vía de circunvalación M-30 de Madrid, una autovía urbana de gran capacidad que discurría en más de 6 km por las márgenes del río Manzanares. En este ámbito se “enterró” la autovía y se recuperó el espacio que ocupaba, lo cual se aprovechó para crear un gran parque lineal con equipamientos culturales y deportivos para disfrute de los madrileños. La inversión fue de 3.700 millones de euros, la obra se culminó en tres años y la zona subterránea soporta hoy un tráfico de más de medio millón de vehículos por día. El proyecto, anota Arnaiz, “se convirtió en un referente de obra viaria subterránea y urbana.”

“Parece que el gran avance que se realizó en España desde los años 90 en la construcción de túneles ha permitido un avance y un aprendizaje que ha mejorado el estado del arte en esta materia. La inversión en el desarrollo de nuevas infraestructuras de transporte trajo consigo la adquisición de una experiencia que pudiera ser utilizada por los países que en estos momentos están realizando un gran esfuerzo inversor en la mejora de sus infraestructuras, como es el caso de América Latina y, en particular, Colombia.”

↑ La vía de circunvalación M-30 de Madrid se enterró, y se convirtió en un referente de obra viaria subterránea y urbana.

FLICKR – DANIEL LOBO

↓ España tiene, entre otros, experiencia en la construcción de túneles para vías de ferrocarril.

FLICKR – CONTANDO ESTRELLAS

“España tiene gran experiencia, dadas las realizaciones llevadas a cabo durante los últimos 30 años en extensión de Redes de Ferrocarril Metropolitano (Metro), Líneas de Alta Velocidad Ferroviaria (AVE) y comunicaciones viarias (autovías y autopistas). Esta experiencia puede aplicarse en países que están empeñados en mejorar sus infraestructuras, pero siempre hay algo que aprender, y la oportunidad que ofrecen los países latinoamericanos en su esfuerzo por progresar puede ser una oportunidad de aprendizaje para las empresas y profesionales que se dedican a las obras subterráneas.”

ES



Vivir el Progreso.



Visítenos en:

Conexpo 2017

Marzo, 07 – 11
Las Vegas, Nevada, EUA

Estand exterior:
Gold Lot, G4637
Estand de componentes:
South Hall 4, S84230



La nueva grúa Flat-Top 85 EC-B 5b

- Fabricada en Brasil
- Hasta 46 m de altura de gancho sin arriostamiento
- Mecanismo de elevación de 22 kW con convertidor de frecuencia
- Tramos torre de 1.2 m x 1.2 m para optimizar el transporte





© NAM GONGSUN



© NAM GONGSUN

TWO MOON

Lugar: Ilsam, Corea del Sur

Año: 2015

Diseño: Moon Hoon Architect

Two Moon son dos viviendas unidas de uso mixto que se alinean entre sí, ubicadas en Ilsan, Corea del Sur y cuya estructura en concreto expone una particular fachada cóncava. El predio se dividió en dos sitios con capacidad para dos cajas sencillas orientadas con el fin de proporcionar suficiente espacio de parqueadero y un camino de paso entre los dos edificios. Cada edificio consta de tres plantas a las que se puede acceder directamente a través de escaleras individuales. Las dos cajas tienen un encuentro con una gran esfera, teniendo así un espacio cóncavo distinto en forma de luna. El lado derecho tiene un balcón y el izquierdo le da un corte horizontal. Las demás caras de los edificios también tienen puntos de contacto con pequeñas esferas, proporcionando profundidad y aberturas al conjunto.

Control de calidad en túneles

Ing. Carlos Andrés Gil
Director Nacional de Procesos, SGS Laboratorios Contecon Urbar, Colombia

Ing. Ximena Alba
Directora Nacional de Infraestructura, SGS Laboratorios Contecon Urbar, Colombia



Un túnel es, por definición, “una obra subterránea de carácter lineal que comunica dos puntos para el transporte de personas o materiales; normalmente es artificial”. Los túneles son construcciones civiles, y no cualesquiera: son obras de gran envergadura cuyo principal cimiento es la seguridad, desde el instante mismo de iniciar su construcción.

La diversidad de túneles que ahora mismo tenemos en Colombia es sorprendente y el futuro que nos espera aún más; en un abrir y cerrar de ojos estamos debajo de la tierra con una cobertura (nivel por debajo de la superficie) de 200 m, o sin ni siquiera enterarnos, estamos justo encima pasando por un túnel. Y es que existen túneles en Colombia no solo viales sino para todas las necesidades imaginables: como transvase de ríos para llenar hidroeléctricas, túneles de carga y descarga hidráulicos, para el paso de animales silvestres, para vías férreas, túneles mineros, la catedral de sal de Zipaquirá hecha de túneles, túneles como refugio de personas y para todas las necesidades imaginables.

↑ La diversidad de túneles actualmente es muy amplia pero el futuro que nos espera será aún más.

FLICKR-MARCOS NOZELLA

→ Túnel en la vía Bogotá-Villavicencio.
CORTESÍA LABORATORIOS CONTECON URBAR



Cualquiera que sea el túnel, se construye con seguridad y la seguridad es sinónimo de control. Estas obras de ingeniería son lugares de nacimiento y desarrollo para mentes creativas, que ante las necesidades y exigencias de la obra, encuentran en el uso de los materiales un reto a superar; entonces aparecen en el argot del constructor el uso de nuevas tecnologías, el diseño de mezclas de concreto especializadas y a la medida, el empleo de aceros como elementos de anclaje y de soporte estructural, micro y macrofibras metálicas o sintéticas, acelerantes, retardantes, superplastificantes, sílica, microsílica, nanosílica, metacaolín, tubos con obturadores o a manguitos, láminas de soporte, y muchos otros. Hablando específicamente de los concretos: lanzados de todas las gamas de resistencias, lechadas de inyección y lechadas de consolidación, concretos de relleno y con espumantes, concretos convencionales y de fraguado inmediato, prefabricados de concreto; y todos estos materiales combinados en una sola estructura.

El ingeniero que construye un túnel debe saber que necesita estar familiarizado con todo esto y saber específicamente de todo, pues la seguridad de su obra depende de los materiales, el personal, el equipo y la experiencia. Por lo tanto, el control de calidad de los materiales de construcción en un túnel se concibe desde el mismo diseño del proyecto y se fortalece durante toda la etapa constructiva porque, a diferencia de las demás obras civiles, el túnel exige la presencia total de controles, supervisores de calidad y laboratoristas que estén midiendo

al segundo la calidad de los materiales empleados, y su correcta ejecución en la obra. El ingeniero de túneles debe asegurarse de tener a su lado un laboratorio en el cual pueda apoyarse para efectuar el control de calidad de materiales, y estar seguro de que todo se hizo bajo los parámetros especificados en el diseño.

Aunque existe la programación de obra, en el momento mismo de la construcción de un túnel las necesidades cambian con tal rapidez, que la urgencia no da tiempo a la espera y todo debe estar disponible ante cualquier imprevisto. La ingeniería es acelerada, y tomar decisiones es cosa de valientes. Por eso, cuando se va a construir un túnel hay que asegurarse de estar bien acompañado: del personal idóneo, de los equipos necesarios, de los proveedores adecuados y del laboratorio de control que garantice la confianza y la experiencia que el ingeniero necesita en la obra.

Control de calidad en el diseño del proyecto

Habrà que planear al detalle un adecuado plan de inspección y ensayo sobre todas las etapas de construcción del túnel. Una buena etapa de planeación evitará sobrecostos futuros al no presupuestar una alta carga de ensayos sobre las materias primas que se emplearán y de controles sistemáticos que habrá que desarrollar en los diferentes ciclos de excavación del túnel. La diversidad de materiales es tal que sorprende, y habrá que estar seguro que cada material o pieza que se utilice es lo más adecuado para el proyecto: barras de acero, pernos autoperforantes, cementos, bentonita, concretos, láminas, mallas electrosoldadas, aditivos, explosivos (si son del caso), adiciones al concreto, membranas y geomembranas, platinas, etc. Para no ir muy lejos, la boquilla de la máquina de lanzado debe traer su respectivo certificado de calidad (en caso contrario, ordenar que se ensaye) para establecer su resistencia y duración, pues de su calidad depende la seguridad de todo el personal que interviene en el proceso de colocación de concreto neumático, el cual puede manejar altísimas presiones y proyectar inadecuadamente agregados, generando segregación.

Durante la construcción de un túnel encontramos diferentes tipos de terreno, los cuales pueden agruparse, por ejemplo, desde Tipo I a Tipo V o Tipo VI. Esta clasificación se basa en la información geológica y geotécnica recopilada como parte del estudio de diseño y los resultados de los análisis mismos. Los tipos de terrenos son atribuidos a las condiciones esperadas a nivel del túnel: variación de la dureza de las rocas, desde fracturado a poco fracturado y desde altamente meteorizado a poco meteorizado. Estas clasificaciones determinan el método constructivo a emplear y la longitud de avance de los ciclos de perforación, las cantidades adecuadas de explosivo que garanticen una buena

quema y el aprovechamiento racional de los recursos. También orientan al ingeniero sobre el tipo de soporte que debe proporcionar al túnel para que este mantenga la estabilidad durante su construcción y tenga larga vida de servicio. Así, por ejemplo, un suelo tipo V exigirá que el soporte del túnel incluya la colocación de pernos sistemáticos, el empleo de concretos lanzados primarios y secundarios, además de consolidación del terreno alrededor con el empleo de inyecciones de lechadas de cemento, un caso diferente al de un terreno tipo I, conformado básicamente por roca sana, capaz de soportarse por sí sola sin necesidad de elementos adicionales.

Control y aseguramiento de calidad previo al inicio del proyecto

Justo antes –solo un poco antes– de iniciar la construcción de un túnel, el ingeniero deberá tomarse el tiempo necesario para garantizar que tiene todo lo que necesita y que todo va a funcionar según las especificaciones del proyecto pues, como estamos hablando de una gran excavación, debemos asegurar y efectuar ensayos previos de:

- **Compatibilidad entre los pernos y el adherente a emplear:** bien sea empleando una lechada de cemento o usando barras de resina, teniendo en cuenta si se van a emplear barras de acero de diámetros comerciales o barras especiales de pernos autoperforantes. Para ello se debe disponer de una zona rocosa de pruebas cercana al proyecto, donde se pueda validar que la longitud y el diámetro del perno, sumado a la cantidad de adherente a emplear y su calidad, garantice que ese conjunto es capaz de soportar el esfuerzo a tensión requerido en la especificación. Con este ensayo no solo se mide la resistencia del conjunto a tensión, sino que se evalúa la metodología de colocación de la resina o de la inyección de la lechada. Hay que verificar si el equipo de inyección es el adecuado, si son suficientes las obturaciones en las mangueras, y determinar el tiempo adecuado para el fraguado de la lechada que garantice el soporte, comprobar el gato hidráulico y garantizar que el manómetro para las mediciones ofrezca lecturas estables y confiables.
- **Compatibilidad del cemento con los aditivos:** Siguiendo la norma europea EFNARC y empleando el ensayo de Vicat modificado, se realiza una mezcla de cemento, agua y diferentes porcentajes de aditivo acelerante para buscar con cuál de esas proporciones (la menor necesaria) se obtiene el fraguado de la mezcla en los tiempos especificados para la resistencia requerida.
- **Verificación de los diseños de mezcla de los concretos hidráulicos:** Deben realizarse muestras de cilindros de concreto de acuerdo con los procedi-

mientos de la Norma Técnica Colombiana NTC 550 para verificar que los concretos producidos bajo un diseño de mezcla teórico realizado empleando los materiales propios de la obra, cumplen con las resistencias de diseño requeridos f'_{cr} , ensayados bajo los criterios de la norma de ensayo NTC 673. Estas pruebas no solo permiten visualizar las propiedades de resistencia de los concretos endurecidos, sino también evaluar propiedades en estado fresco como asentamiento, tiempos de fraguado, segregación, exudación y manejabilidad de la mezcla.

- **Lanzados de prueba:** Verificadas previamente las características físicas de los concretos hidráulicos, se deben realizar lanzados de prueba por fuera de la excavación del túnel, pero simulando las mismas condiciones ambientales que se esperan, haciéndose necesario elaborar artesas tronco-piramidales para la extracción de núcleos de concreto y artesas planas (60 x 60 x 10 cm) con el objeto de validar la resistencia a la compresión y la tenacidad (capacidad de absorción de energía) del concreto respectivamente. En estos lanzados de prueba se verifican la forma de trabajar del lanzador, la distancia de lanzado, la bombeabilidad del concreto y hasta el acabado del mismo.

Validación de la dosificación de las lechadas: Al igual que para los concretos hidráulicos, es importante verificar las propiedades físicas de las lechadas en estado fresco y endurecido, con el fin de que estas cumplan con las especificaciones del proyecto. Normalmente las propiedades de exudación y sedimentación se miden en probetas, la fluidez de la lechada medida en el cono de Marsh modificado y la resistencia a la compresión en cubos de 50 mm.

Además de los ensayos previos, el ingeniero deberá demostrar la calidad de ciertos materiales, sumando una carpeta de certificados de fabricación o producción de barras de acero, mallas electrosoldadas, epóxicos, fibras, bentonitas, aditivos, adiciones, etc. También deberá adjuntar una carpeta de documentos con los certificados de calibración y verificación de: el manómetro del gato hidráulico para el tensionamiento de pernos, el penetrómetro Proctor o tipo canguro para ensayos de adaptabilidad del concreto lanzado, el Vicat modificado para realizar los ensayos de compatibilidad del cemento con el aditivo, las básculas empleadas para el pesaje de las materias primas para la producción de concreto, los cuenta litros o medidores de flujo para el agua y los aditivos utilizados, las balanzas con las que se contará en el laboratorio ya sea en obra o externo, las prensas para la realización de los ensayos de compresión, flexión y tenacidad de los concretos, y los certificados de todos los equipos de medición que se requiera emplear.

Control de calidad en los procesos de soporte del túnel

El tipo y la cantidad de soportes que deben instalarse inmediatamente después de la etapa de excavación están directamente relacionados con la clasificación del terreno:

Concreto neumático

El concreto neumático (también conocido como lanzado) es un concreto hidráulico de características particulares que es transportado al sitio de instalación por medio de una manguera y se aplica expulsado a presión neumática por un equipo sobre la superficie de aplicación a alta velocidad mediante una boquilla. Durante toda la ejecución de la obra, el cemento que se utilice en la producción de este concreto debe provenir de una sola fuente de producción para asegurar la calidad constante y la compatibilidad con los demás componentes de la mezcla.

Los agregados empleados deberán ser limpios, duros, estar bien gradados, y no deben contener polvo, barro, arcilla o impurezas orgánicas. Deben someterse a análisis petrográficos que confirmen lo anterior y corroboren que no presentan incompatibilidad al ser mezclados con el cemento y los aditivos; se deberán realizar ensayos para determinar la permeabilidad al ion cloruro en la masa de cemento con los agregados, determinar los porcentajes de contenido de partículas planas y alargadas; el tamaño máximo de los agregados no debe exceder de 20 mm para el proceso seco y de 12 mm para el proceso húmedo. Los agregados deben almacenarse preferiblemente bajo techo por lo menos 48 horas antes de usarse, controlando constantemente el contenido de humedad. La curva granulométrica deberá estar entre las curvas especificadas, tanto para el proceso seco como para el húmedo.

Los aditivos acelerantes que se utilicen en la mezcla de concreto deben ser compatibles con el cemento empleado; la resistencia a la compresión del concreto neumático en el sitio debe desarrollarse progresivamente hasta obtener la resistencia final. La resistencia mínima del concreto neumático, a los 28 días debe ser de 28 kg/cm².

Con el objeto de medir el proceso de fraguado y el desarrollo de la resistencia del concreto neumático, deberán efectuarse ensayos de adaptabilidad en campo durante el lanzado, colocando concreto en artesas de ensayo cuyas dimensiones son 50 x 50 x 20 cm. Cada espécimen de muestra debe someterse a ensayo de compresión usando un penetrómetro próctor con un pistón de penetración de 9 mm de diámetro. La resistencia a la penetración medida da una indicación del fraguado y de la resistencia inicial desarrollada por el concreto neumático. La mínima resistencia requerida a la penetración es:

- Después de 2 minutos de la colocación de la muestra en la artesa: mínimo 260 N.
- Después de 5 minutos de la colocación de la muestra en la artesa: mínimo 380 N.
- Después de 10 minutos de la colocación de la muestra en la artesa: mínimo 450 N.



↑ Proceso de extracción de núcleos en artesas de concreto.
CORTESÍA LABORATORIOS CONTECON URBAR



↑ Artesa de concreto lanzado inadecuada.
CORTESÍA LABORATORIOS CONTECON URBAR

El desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto neumático debe determinarse ensayando cilindros tomados de dichas artesas hasta la falla por rotura (núcleos), a las edades de 1, 7 y 28 días. Las muestras (núcleos) deben obtenerse por perforación en las artesas de ensayo, las cuales han de curarse en condiciones similares a las del túnel. Para cada edad especificada se deben ensayar cinco núcleos. El valor promedio de los cinco ensayos debe cumplir con los requisitos de resistencia especificados para el concreto neumático.

Es cada día más común que al concreto neumático en estado fresco se le adicione fibra metálica o sintética. El principal objeto de esta práctica es mejorar su resistencia tanto a la flexión como a los esfuerzos cortantes, permitiendo incluso en algunos casos, sustituir el uso de mallas o barras de refuerzo. El concreto neumático con fibra es un concreto más tenaz, es decir, con mayor capacidad de soportar cargas de impacto cíclicas y continuas. Esta propiedad fundamental en la construcción de túneles se mide a través del ensayo sugerido por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5721 – *Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de energía (tenacidad) de concreto reforzado con fibra* (basada en la norma EFNARC), el cual consiste en aplicar una carga central cortante (pistón cuadrado de 10 x 10 cm) sobre una placa o artesa de concreto cuyas dimensiones (60 x 60 x 10 cm) deben ser muy precisas. Las artesas para este ensayo de tenacidad o capacidad de absorción de energía deben llenarse en el proyecto con el mismo concreto neumático que se está instalando en el túnel y bajo las mismas condiciones de proyección del concreto.

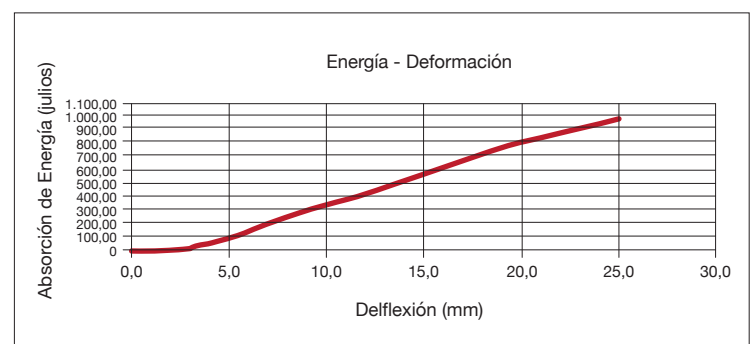
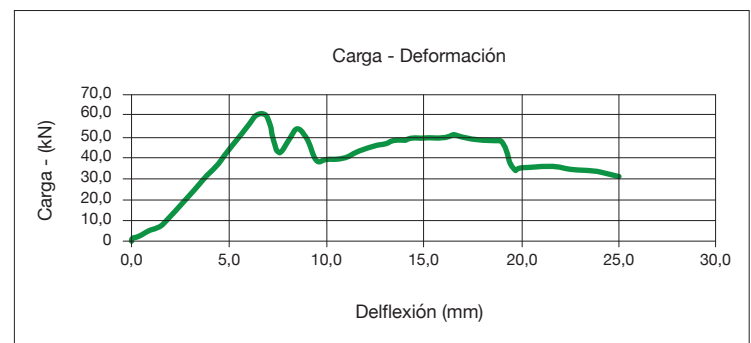
Ya en el laboratorio, y sobre la máquina de ensayo en que se realiza la prueba, a medida que se aplica la carga se debe ir midiendo la deformación en el centro de la placa de manera constante hasta alcanzar los 25 mm de deformación, y los dos datos de carga vs. deformación se registran a intervalos constantes de deformación y se grafican, obteniendo una línea semejante a un electrocardiograma con variaciones en la carga. En esta puede observarse con claridad el pico máximo de carga soportada, la cual corresponde al momento mismo de rotura del concreto. Es en este instante cuando las fibras redoblan sus esfuerzos de trabajo y otorgan ductilidad al concreto neumático, que como concreto ya no proporciona mayor resistencia.

Se realiza una segunda gráfica cuyas variables son energía vs. deformación. La energía se calcula estableciendo el área bajo la curva carga vs. deformación y en el punto donde intercepte los 25 mm de deformación se establece el valor de tenacidad del concreto con fibra, o su capacidad de absorción de energía medida en julios.

Un buen resultado en este ensayo depende también del manejo correcto de la placa de muestra. Cualquier cambio en las dimensiones, especialmente en el espesor de la probeta, afecta directamente el resultado, pues las medidas deben ser exactas como lo solicita el estándar de 60



↑ Ensayo de absorción de energía (tenacidad) placas método EFNARC.
CORTESÍA LABORATORIOS CONTECON URBAR



↑ Modelo del registro de ensayo de capacidad de absorción de energía (tenacidad)
CORTESÍA LABORATORIOS CONTECON URBAR

x 60 x 10 cm, ya que estas medidas no se tienen en cuenta en el cálculo de la capacidad de absorción de energía, pero existe la relación que indica que entre menos espesor tengamos más frágil será el concreto y más baja su tenacidad. Caso contrario, si tenemos mayor espesor, encontraremos mayor resistencia en el concreto y aumentarán los resultados de la tenacidad o capacidad de absorción de energía.

Los concretos se clasifican según su capacidad de absorción de energía (tenacidad) en tres tipos principalmente:

Clasificación de tenacidad	A	B	C
Energía absorbida a 25 mm (julios)	500	700	1.000

Malla electrosoldada, enfilajes, arcos de acero y cerchas metálicas

Los trabajos consistirán en el suministro y colocación de estos elementos en los sitios establecidos en los planos, de acuerdo con el tipo de soporte a implementar.

Pernos de anclaje

Los pernos de anclaje están fabricados de acero corrugado o tubular, e instalados con lechadas o resinas, dependiendo de su uso, y forman parte del sistema de soporte del túnel. Pueden ser instalados puntualmente para soportar una roca, o sistemáticamente para el soporte de toda la estructura. Durante la construcción del túnel deberá realizarse un programa de ensayos sobre pernos, con el objeto de garantizar que los elementos empleados en su conjunto sean capaces de soportar las cargas especificadas. Para ello, el laboratorio del proyecto deberá suministrar un gato hidráulico con su manómetro debidamente calibrado, y realizar 5 ensayos por cada 50 pernos instalados, o 10 ensayos por cada 100 pernos instalados; este criterio en la cantidad de ensayos por tamaño de lote de pernos apela al criterio de cada supervisor técnico o de la especificación particular de la obra. La carga mínima aplicada en el ensayo a tensión de pernos instalados es de 15 KN o una carga capaz de llevar al perno hasta el 95% de f_y , sin que se haya generado el colapso del conjunto del perno (perno, arandela, tuerca)

Registro de información

Al finalizar la construcción del túnel se hace fundamental tener bien documentada la totalidad de los ensayos realizados tanto a los materiales como a los procesos constructivos, tramo a tramo y ciclo a ciclo, y la razón es simple: un túnel es una estructura con un entorno extremadamente heterogéneo, en la que puede presentarse una novedad inesperada en cualquier momento o lugar y, por lo tanto, se requiere conocer cuál fue el tratamiento que se le dio al túnel en ese lugar exacto.

Conclusión

El ingeniero de túneles debe asegurarse de tener a su lado un laboratorio en el cual pueda apoyarse para adelantar el control de calidad de materiales y tener la confianza que todo se hizo bajos los parámetros especificados en el proyecto de la obra.

CONTRIBUYENDO CON
NUEVAS TECNOLOGÍAS
PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE OBRAS DE SANEAMIENTO
DE GRAN DIÁMETRO.



DOVELAS PARA TÚNEL - TUBERÍA PARA HINGADO Y BOX CULVERT

WWW.TITANCEMENTO.COM

EMAIL: VENTAS@TITANCEMENTO.COM

Bogotá (1) 3353550

Autopista Medellín entrada 2,4 km al Occidente del río Bogotá



OFICINAS Y PLANTAS EN
BOGOTÁ, BARRANQUILLA, MEDELLÍN, PANAMÁ Y PERÚ

Experiencias en impermeabilización de túneles

Ing. Lina María Gaviria Valencia
Structural Waterproofing, Sika Colombia, S.A.



↑ Túnel vial de Hidrosogamoso en Colombia.
CORTESIA SIKI COLOMBIA S.A.

La impermeabilización de un túnel constituye una de las labores principales en la etapa de su construcción, ya que protege el revestimiento final contra los agentes agresores del suelo, proporcionando una vida útil superior a cien años. La impermeabilización debe garantizar la absoluta estanqueidad de la galería o túnel y se realiza, por lo general, con membranas de PVC flexible de espesores entre 1,5 mm a 3 mm, dependiendo de los requisitos particulares del proyecto.

Estos revestimientos (impermeabilización) se aplican sobre la totalidad del perímetro del túnel o en parte de la bóveda. La elección del tipo de membrana vendrá indicada por la naturaleza del terreno, el caudal del agua y por el tipo de concreto estructural. Más de un siglo de experiencia en la impermeabilización de

túneles y obras subterráneas ha dado como resultado un procedimiento para impermeabilizaciones principales basado en membranas de PVC-P para túneles a cielo abierto, galerías de presión y túneles excavados mediante el método australiano (NATM).

Este procedimiento tiene varias etapas: colocación de una capa drenante sobre el soporte excavado una vez regularizado, mediante un geotextil de polipropileno de gramajes comprendidos entre 300 y 500 g/m², sujetos mediante discos especiales de PVC; fijación de la geomembrana de PVC-P, de espesor apropiado según características determinadas, en anchos prefabricados de 2,2 m, con andamios mecanizados, y soldadura en traslapes utilizando la técnica de soldadura termoplástica, con doble soldadura y canal central para control.

Se analizan la tensión y la fuerza mecánica de la doble soldadura creada de esta manera y se comprueba que soporte una presión aproximada de 2 bares durante un período de 15 minutos y con pérdida de presión que no supere el 10%, según la Norma UNE 104481-3-2:2010 – *Método de ensayo de membranas impermeabilizantes. Parte 3-2: Ensayo de estanqueidad de las uniones entre láminas impermeabilizantes mediante el método de aire a presión en el canal de prueba.*

De acuerdo con la Norma UNE 104242-1:1999 – *Impermeabilización. Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Láminas de betún modificado con elastómeros*, se diferencian entre láminas Tipo A (lámina armada con hilo sintético) y láminas Tipo B (lámina homogénea sin armar), diferenciando en función del tipo de tajo:

- Construcción de túneles con superficies lisas - Tipo A o Tipo B.
- Construcción de túneles con avance convencional (explosivos) o con máquina excavadora a sección parcial - Tipo B.

A continuación se mostrará la experiencia en diferentes proyectos de América Latina en la impermeabilización de túneles:

Pasos bajo nivel – Buenos Aires, Argentina

Descripción del proyecto

A partir del año 2013, comenzó la construcción de un gran número de pasos bajo nivel de ferrovías tanto en la provincia de Buenos Aires como en la Capital Federal. Estos pasos bajo nivel suprimen barreras,

permiten aumentar significativamente la frecuencia de los trenes sin perjudicar la circulación vial, mejoran la seguridad y reducen la contaminación ambiental. Los grandes beneficiarios son miles de usuarios que diariamente se desplazan entre el Conurbano y la ciudad. A su vez, favorecen la seguridad vial al evitar los riesgos por contacto de trenes de cualquier tipo con los automotores y los peatones. Mejoran, además, la conectividad entre las zonas divididas por las vías, dando mayor fluidez al tránsito. Además de disminuir los tiempos de viaje de los usuarios tanto de trenes como de automóviles y buses, los pasos bajo nivel implican una disminución en el impacto sobre el ambiente gracias a que las emisiones de los automóviles no se concentran en determinadas zonas frente a los cruces a nivel de vías férreas donde decenas de autos se concentran en un punto específico y deben esperar por varios minutos con sus motores encendidos el paso de un tren.

Requerimientos

Los pasos bajo nivel son estructuras subterráneas construidas por debajo de las vías ferroviarias que permiten el paso de vehículos y peatones de un lado al otro de dicha vía. La profundidad a la que debe excavarse para la construcción depende tanto del desarrollo del paso bajo nivel como de la altura de los vehículos que deban circular por él: pueden alcanzarse profundidades aproximadas a 10 m. Es común encontrar la capa freática en profundidades de ese orden; por lo tanto, estas estructuras estarán “sumergidas”, quedando expuestas a presión hidrostática. El desafío es evitar el ingreso del agua a la estructura para evitar inconvenientes en el tránsito, y maximizar la durabilidad de la misma antes que preservar la estética. Por lo tanto, es necesario colocar un sistema de impermeabilización capaz de resistir la presión hidrostática a la que estará sometida la estructura, y las vibraciones generadas por el paso de trenes y de vehículos.

Solución

Como solución a este problema se adopta el sistema de impermeabilización de membrana de PVC, que cumple con todos los requerimientos



↑ Paso bajo nivel construido por debajo de las líneas ferroviarias, cuya impermeabilización se realizó con membranas flexibles de PVC. CORTESIA SIKA COLOMBIA S.A.

ya mencionados. El sistema consiste en una membrana flexible de PVC con capa de señalización. Esta membrana, al ser flexible, es capaz de resistir las vibraciones generadas por el paso del tren y de los vehículos sin presentar alteraciones. Además, dadas las características del material, resiste la presión hidrostática del agua sin presentar filtraciones.

Por ser el PVC un material que se encuentra ensayado para tener 100 años de durabilidad, la membrana empleada garantiza la estanqueidad de la estructura para toda su vida útil, además de no requerir mantenimiento alguno. Como ventaja adicional, al quedar el sistema de impermeabilización protegiendo la estructura se eliminan problemas de durabilidad de la misma.

Metro de Buenos Aires. Taller Metro Línea H

Descripción del proyecto

El Subte de Buenos Aires es la red de trenes subterráneos de la capital de Argentina, con extensión total de 53 km. La primera línea se inauguró en 1913 como la pionera de su tipo en América Latina y en todo el hemisferio Sur. La red se extendió rápidamente durante las primeras décadas del siglo, pero el ritmo de ampliación disminuyó drásticamente en los años que siguieron a la Segunda Guerra Mundial. Hacia fines de la década de 1990 se comenzó un nuevo proceso de expansión de la red, con el planeamiento de cuatro nuevas líneas. La red está conformada en la actualidad por seis líneas denominadas con letras —de la A hasta la E, más la H— e identificadas mediante colores, y una línea pre-metro. La totalidad de la red es subterránea, con excepción del pre-metro, y cuenta con 100 estaciones (83 de subterráneo y 17 de pre-metro). Es usado por cerca de un millón de pasajeros diarios durante los días hábiles. El propietario de la red, es la misma empresa encargada de estudiar, diseñar y realizar los planes de expansión de toda la red de transporte subterráneo de la ciudad. Además, es el órgano de control del operador del servicio.

En el año 2014 se inició la expansión de la línea H, la cual es fundamental, pues con su traza transversal mejora la operatividad y permite combinaciones con las Líneas A, B y E. Al finalizar la obra, conectará también con la Línea D.

Requerimientos

Los túneles son estructuras cuya vida útil debe superar los 100 años, por lo cual los estándares para construirlos son de alta exigencia, especialmente en aquellos que exigen un sistema de impermeabilización. Existen distintos grados de permeabilidad según el uso que se dé al túnel. Los talleres son espacios donde hay diversos tipos de maquinaria y personal en labor permanente.

Por lo tanto, el nuevo túnel debía ser totalmente estanco, es decir, no se admitía humedad en la superficie del mismo. Dados estos estrictos requerimientos, hubo que proyectar un adecuado sistema de impermeabilización capaz de cumplirlos. Por todo lo dicho, el principal desafío fue lograr un eficiente sistema de impermeabilización capaz de ser colocado en un ambiente húmedo, además de soportar las grandes presiones hidrostáticas y resistir los movimientos del terreno sin presentar fisuras. De esta manera, se busca evitar completamente el ingreso de filtraciones a lo largo de toda la vida útil del túnel.

Solución

El sistema de impermeabilización se proyectó con membrana de PVC, que satisface todos los requerimientos mencionados. Se colocaron rollos de membrana flexible de 2 mm de espesor con capa de señalización de color amarillo, que fijados puntualmente al sustrato mediante discos de fijación y soldados entre sí por calor con soldadura automática, lograron revestir el túnel brindando una impermeabilización que cumple con los estándares requeridos. El sistema cuenta, además, con un mecanismo de compartimentación e inyección que se logró generando recintos cerrados utilizando barreras de agua externas de 40 cm de ancho. En estos recintos se colocaron sistemas de control que dan la posibilidad de aplicar inyecciones después de construido el revestimiento final del túnel, en caso de que aparezcan filtraciones por daños en la membrana. Los compartimentos cerrados facilitan detectar daños eventuales y acotar el área de inyección.



↑ Impermeabilización de la bóveda — sistema de membrana de PVC-P de 2mm de espesor en el Metro de Buenos Aires.
CORTESIA SIKA COLOMBIA S.A.

Metro de Sao Paulo

Descripción del proyecto

La construcción del metro de Sao Paulo comenzó en 1972 y realizó su primer trayecto comercial dos años después. En la actualidad el sistema tiene 5 líneas en operación, 75 km de red, 65 estaciones y más de 150 trenes que transportan más de 4,6 millones de pasajeros por día. El metro está integrado a otros sistemas de transporte como la CPTM (Trenes de Periferia) a los principales terminales de buses de la ciudad y

a la mayoría de corredores metropolitanos de autobuses de Sao Paulo. En 2014 fue entregada la estación Adolfo Pinheiro de la línea 5, con lo cual se amplió la malla del metro en 0,6 km. Esta línea del metro está en ampliación en la actualidad, y cuando esté finalizada alcanzará 11,5 km integrados por túneles individuales y dobles, excavados con métodos australianos y/o métodos mecánicos. Adicionalmente, la línea 5 cuenta con 11 estaciones, 13 pozos y 26 trenes que se integrarán con la línea 1, 3 y 17 (monocarril) del metro.

Requerimientos

Los requisitos de la obra exigían un sistema de impermeabilización total de la estructura que ofreciera, al mismo tiempo, un método de back-up ante la eventual necesidad de efectuar reparaciones después de finalizada la construcción. Como para otras obras de impermeabilización para túneles subterráneos, se requería total estanqueidad en la estructura y un sistema de alta flexibilidad fácil de aplicar y resistente a las exigencias de presión por el nivel freático y los movimientos del terreno.

Solución

La solución indicada fue el sistema de membranas de PVC-P, el cual cumple todos los requisitos mencionados. Se aplicó membrana flexible de 3 mm de espesor de PVC-P debido al sistema definido en el proyecto. La membrana se fijó por medio de discos de PVC colocados sobre un geotextil que separa el concreto primario lanzado (sin función estructural) del concreto secundario (concreto estructural). Como sistema de back-up, fue usado el método de compartimentación de membranas para tener áreas más pequeñas de reparación en caso de falla en alguna parte del sistema. Para realizar tales compartimientos fue utilizada una barrera externa de 40 cm de ancho. Además, y por primera vez en el metro de Sao Paulo, se especificó el sistema de mangueras de inyección a lo largo y ancho de la superficie de las membranas. Este sistema fue posicionado estratégicamente y se colocaron cajas de inspección para aplicar la inyección de resina acrílica en caso de falla en algún compartimiento en el sistema de membrana. Se determinó utilizar



↑ Construcción de la ampliación de la línea 5 del Metro de Sao Paulo, donde se observa la impermeabilización con membranas de PVC-P.

CORTESIA SIKA COLOMBIA S.A.



Túnel Sochi
Rusia



Túnel Churriana
España



Túnel RN88
Francia

**Múltiples soluciones
en sistemas de
encofrado para
construcción
de túneles.**

Tendrá éxito construyendo
con PERI

PERI

PERI S.A.S.
Encofrados Andamios Ingeniería

Bogotá
Km 2 Vía Briceño Zipaquirá
Parque Industrial TIBITOC Bodega 10A
Tel: +57 1 878 57 67
Móvil: +57 1 318 349 24 29

Medellín
Cra 35 A # 15 B OF 206 Edificio Prisma
Tel: +57 4 268 96 19
Móvil: +57 1 318 827 71 68

peri.colombia@peri.com.co
www.peri.com.co

las mangueras ante la ventaja de reinyección, que permite efectuar múltiples inyecciones a lo largo de la vida útil de la estructura.

Metro de Caracas – Líneas 3 y 5

Descripción del proyecto

La construcción de la Línea 5 del Metro de Caracas es una de las obras más representativas que se construyen en la capital venezolana. Se trata de un sistema de transporte masivo que se fusionará al existente para unir cuatro municipios del Este capitalino. La Línea 5 iniciará su recorrido en la urbanización Bello Monte y empalmará con el sistema masivo Caracas-Guarenas-Guatire para ofrecer a los habitantes de la ciudad una nueva opción de transporte. La técnica utilizada en la construcción de la Línea 5 del Metro de Caracas se conoce como túnel minero, un sistema que evitará afectar el tránsito tanto vehicular como peatonal en la ciudad. El Tramo El Valle-La Rinconada de la Línea 3 del Metro de Caracas, fue inaugurado en dos etapas. La primera el 15 de octubre del año 2006 y la segunda etapa, conformada por tres estaciones, el 9 de enero de 2010. Este tramo permite transportar a los usuarios del sector hacia otros destinos mediante una conexión directa con las Líneas 1 y 4 del sistema, a través de la estación Plaza Venezuela. La obra de gran envergadura, cuenta con casi 10 km de longitud y su puesta en marcha permite acceso a unos 260 mil pasajeros diarios.

Requerimientos

Además de garantizar la total estanqueidad a la estructura, el sistema de impermeabilización tenía que poseer

alta resistencia a los ataques químicos provenientes de gasolina, sales inorgánicas, ácido sulfúrico y otros agentes químicos. Según las especificaciones del proyecto, era necesario el uso de anclajes en el revestimiento primario los cuales servirían como zonas de amarre para la colocación del acero de refuerzo del concreto secundario y, por lo tanto, eran necesarias la protección y la seguridad adicional para estos anclajes.

Solución

Para el sistema de impermeabilización se estableció una membrana de PVC-P de 3 mm de espesor. Esta membrana tiene una alta resistencia química que la hace apta para resistir todos los requisitos del proyecto. Para realizar la compartimentación de la membrana fueron especificadas barreras externas de 50 cm de ancho. Antes de instalar la membrana se colocó una capa de drenaje conformada por el geotextil de polipropileno de 600 g/m², el cual fue fijado al concreto lanzado por medio de discos de PVC, que también sirven para la fijación de la membrana de PVC. Adicionalmente fue colocado un sistema de mangueras con cajas de control para inyectar resina acrílica, en caso de alguna falla en las membranas de PVC.

Metro de Río de Janeiro

La primera fase del proyecto de metro en Río de Janeiro fue inaugurada en marzo de 1979, con sólo 4,3 kilómetros de largo y cinco estaciones, conectando puntos cercanos a la ciudad. Después de más de 30 años, el metro de Río tiene ahora tres líneas en operación (1, 2 y 4) y en licitación las líneas 3 y 5. Hay 36 estaciones repartidas entre las líneas 1 y 2. Hay otras 28 estaciones



➔ Metro de Río de Janeiro.
FLICKR – CLAUDIO BORBA

planeadas para completar las líneas 3, 4 y 5. La línea 4 de metro está diseñada para conectarse a zona suroeste de la ciudad. La sección tendrá seis estaciones y tendrá 16 km de longitud, beneficiando a más de 300 mil personas al día. Adicionalmente retira de las calles alrededor de 2.000 vehículos en las horas pico.

Requisitos

El sistema de impermeabilización requirió modernas tecnologías, de acuerdo con los métodos de excavación elegidos. Aplicó sistemas de inyección y juntas que garantizaran la máxima estanqueidad en la estructura.

Solución

En algunas secciones de la línea 4, el sistema de membrana de PVC-P fue la solución para cumplir los requisitos técnicos de la impermeabilización de túneles. Debido a la alta complejidad del proyecto se aplicó membrana flexible de 3 mm de espesor y se fijó por medio de discos de PVC colocados en un geotextil de separación con concreto lanzado. Para el sello de juntas de construcción se utilizaron mangueras de inyección que permitan efectuar reparaciones sencillas y rápidas en caso de filtraciones que afecten la estructura.

Túneles viales Hidrosogamoso

La Hidroeléctrica del Río Sogamoso, Hidrosogamoso, es una central hídrica ubicada en el departamento de Santander, en Colombia. Forma parte de este proyecto un túnel de 1.300 metros de longitud. La especificación de impermeabilización consistió en un sistema tipo sombrilla o impermeabilización parcial mediante una membrana de PVC-P de 1,5 mm de espesor.



↑ Impermeabilización túnel vial Hidrosogamoso.
CORTESÍA SIKA COLOMBIA S.A.

Conclusión

Las membranas de PVC-P son una alternativa importante a considerar al momento de la impermeabilización de túneles y obras subterráneas, debido a su versatilidad, facilidad de instalación, rapidez y durabilidad, entre otros.

¡LLEGAMOS A CARTAGENA!

Ahora los constructores de la ciudad tienen la **libertad de elegir calidad, cumplimiento y respaldo**, con la apertura de nuestra nueva planta de Concreto en la ciudad, con la que apoyamos el crecimiento de nuestro país.



ULTRACEM
CEMENTO
La libertad de elegir



Dirección: Zona Franca Parque Central - Manzana ZF-H Lote 89
Segunda Etapa - Variante Cartagena - Sector Aguas Prietas
Línea nacional: 01 8000 123 987 **o desde el celular:** #399

La influencia de los aditivos químicos en el comportamiento del grout bicomponente para relleno en túneles del tipo TBM

Noticreto

Ing. Geniclesio Ramos dos Santos
Director técnico, GMG Engenharia e Consultoria, Brasil.

Dra. Camila Mamede dos Santos
Gerente de investigación y desarrollo, GMG Engenharia e Consultoria, Brasil.

Fotos y gráficos: Cortesía Toxement S.A.

Los aditivos químicos se utilizan ampliamente en concretos, argamasas, pastas y otras mezclas que usan como aglomerante principal el cemento hidráulico. Tales productos están reglamentados en diversos países, y se conocen ampliamente los efectos y eficiencia que esos químicos pueden acarrear a los compuestos que los utilizan. Sin embargo, cuando el material incluye bentonita en su composición y se altera la relación agua/cemento, los conceptos sobre el funcionamiento de los aditivos en esa nueva mezcla tienen variación, como es el caso del grout bicomponente para tuneladoras TBM. Este material está compuesto por cemento hidráulico, bentonita, agua y aditivos, y su comportamiento está totalmente influenciado y promovido por los aditivos químicos que se mezclan al grout fresco, en el túnel.



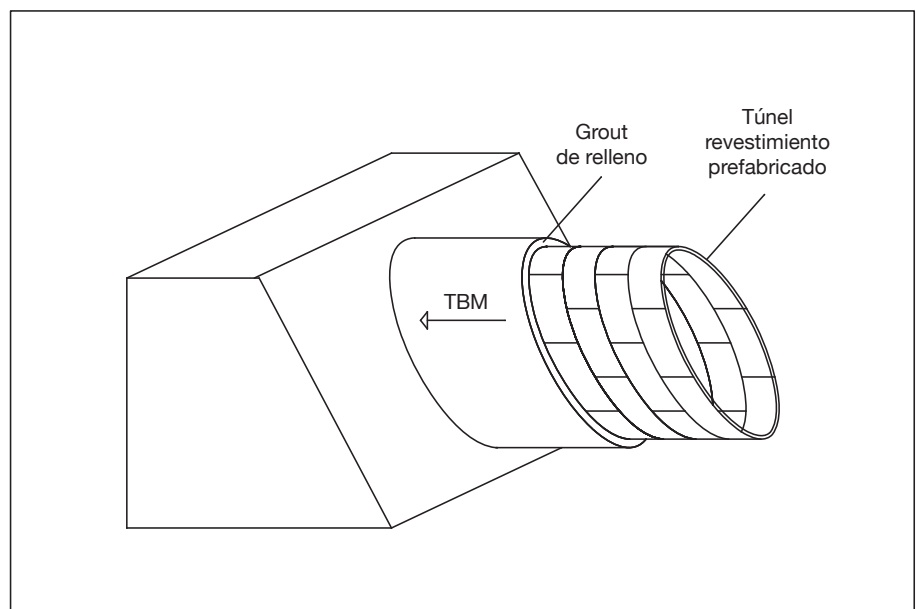
↑ Figura 1. Vista interna de túnel excavado con TBM y revestido con prefabricados de concreto.

En este artículo se abordan el comportamiento y las características generales del grout bicomponente y se detallan los tipos de aditivos usados, sus principios de funcionamiento y la respuesta del grout después de su inclusión. También se aborda el comportamiento del grout bicomponente al usar de forma racional los aditivos químicos, tanto los ya existentes para concreto como los desarrollados específicamente para esta aplicación.

Introducción

Entre las decenas de metodologías que se usan en el mundo para la perforación de túneles se cuentan las excavaciones mecanizadas que, en cuanto a seguridad y economía, presentan mayor eficiencia en determinados tipos y longitudes de túneles. Las excavaciones mecanizadas tienen mayor aplicación en ambientes urbanos y de material variable, principalmente con presencia de suelos y rocas sedimentarias, pues son extremadamente vulnerables a procesos de explosión (drill and blast), bien sea por excavación directa o por el método austriaco (NATM). En la categoría de excavaciones mecanizadas se destacan las que utilizan tuneladoras TBM (Tunnel Boring Machine), que tienen gran capacidad de avance en el túnel, además de alta eficiencia.

Los equipos TBM pueden usar un revestimiento para soporte del material envoltorio del túnel, sea suelo o roca. Tal revestimiento normalmente está compuesto por prefabricados de concreto, aunque también puede elaborarse con diversos materiales metálicos o sintéticos. Cuando se utiliza un revestimiento en concreto, el material se coloca en el espacio excavado por la tuneladora, pero este espacio tiene un diámetro superior al túnel prefabricado e instalado, por lo cual es necesario contar con material para relleno. El material que rellena este espacio debe atender rigurosos requisitos técnicos y se trata de un grout extremadamente fluido que puede o no usar aditivos. Este espacio puede variar entre 13 y 18 cm (Thewes et. al. [09]). Entre los grouts que pueden usar aditivos químicos están los grouts bicomponentes. Tienen cemento como aglomerante principal y la interacción directa con los aditivos determinará las características del grout, tanto en el estado fresco como endurecido.



→ Figura 2. Esquema representativo de proceso de excavación de túnel con TBM revestido en prefabricados de concreto.

Tipos de grout de relleno para TBM

La selección del tipo de grout para rellenar el espacio que queda entre el túnel excavado y el revestimiento prefabricado depende de unos factores que se analizan desde la concepción del proyecto y durante la selección del equipo de excavación. El tipo de material del macizo, el equipo, los materiales disponibles y las propiedades requeridas indicarán la mejor solución para el relleno. Según la EFENARC [03], los tipos de grout se pueden clasificar así:

Grout inerte

En el sistema inerte, el grout no contiene ningún tipo de cemento hidráulico y se compone por materiales granulares como cascajos, arenas, fillers y cenizas, siendo que su comportamiento como grout depende principalmente de la granulometría y de la capacidad de retención de agua de sus componentes en medio acuoso. Según la AFTES [01]: *“El control del material inyectado y su endurecimiento durante la producción e inyección son realmente complejos, debido a la renuncia progresiva de la mezcla de cemento y sustitución por otros con reacción lenta (reacción puzolánica), contribuyendo a una baja resistencia a la compresión. Este producto se inyecta directa y continuamente a lo largo de los tubos puestos al interior de la parte trasera del TBM en el último anillo, rellenando el espacio anular entre el anillo y el macizo”*.

Grout semi-inerte

En el sistema semi-inerte, el grout se compone básicamente de los mismos elementos encontrados en el tipo inerte, pero incluye un pequeño porcentaje de un material que le genera un grado de hidratación, por ejemplo, <100 kg/m³ de cemento hidráulico. No obstante, el grout puede tardar un tiempo considerable para empezar a endurecerse, aunque el endurecimiento suceda más rápidamente.

Grout activo

En este tipo de grout las reacciones de hidratación se dan por completo y, normalmente, el consumo del material ligante supera los 300 kg/m³. Según Pelizza et. al. [06] *“la mezcla está constituida por agua, cemento, bentonita y aditivos químicos necesarios para modificar la relación agua/material cementante y los tiempos de inicio y fin de fraguado. Es una mezcla activa con fluidez elevada. Se debe bombear fácilmente y generalmente es de efecto retardado (algunas horas), para evitar el riesgo de taponar la tubería durante el transporte y la inyección. La presencia de cemento ayuda en el desarrollo de la resistencia mecánica, que puede alcanzar valores elevados (15 - 20 MPa a los 28 días, aunque no sea realmente necesario). Este tipo de mezcla también se afecta negativamente por variaciones en sus componentes, lo cual puede llevar al taponamiento de la tubería. Esta mezcla se debe inyectar lo más cerca posible*

a las paredes para proporcionar un rápido soporte al segmento del anillo. La inyección a través de la pared del TBM en el anillo puede causar serios problemas de taponamiento”.

Monocomponente

Un grout activo desarrollado para atender los requisitos logísticos y mecánicos, sin necesidad de aditivo alguno posterior a la mezcla, se considera un grout monocomponente. Este posee mayor resistencia mecánica, aunque la logística y la composición deben ajustarse constantemente para evitar problemas de taponamiento o inicio de pegado durante el proceso de bombeo e inyección.

Bicomponente

A las ventajas de un grout monocomponente, se agregan los beneficios de un material estable hasta el momento de la aplicación, que es rápidamente reactivo después de su aplicación. Normalmente es un grout extremadamente fluido, estable en cuanto a la segregación y exudación y con la ventaja de permanecer así durante horas. Este grout recibe su segundo componente justo antes de su inyección en el espacio anillar del túnel, y en cuestión de segundos se transforma de un material estable y líquido en un material gelatinoso y con las reacciones de hidratación iniciadas.

Después de la formación del gel se inician las reacciones de hidratación que típicamente evolucionan a 50 kPa/hora, Peila et. al. [07]. Por ser extremadamente fluido, rellena eficientemente alrededor del túnel e incluso rellena algunas fallas del macizo o del suelo, dependiendo de la permeabilidad. Después de la mezcla, es posible mantener este grout estable hasta por 72 horas con poca pérdida de fluidez y sin problemas de exudación y segregación. Por tal motivo, la mezcla se puede hacer en la superficie para transportarla por tuberías hasta el lugar de aplicación.

Las dosificaciones son, en gran medida, bastante próximas, aunque los requisitos difieren en cada proyecto y los materiales usados pueden generar una dosificación diferente de las usuales. En el siguiente cuadro se encuentra una franja de dosificación típica de grouts bicomponentes usados en Brasil.

Componente A	Cemento	250 – 450 kg
	Bentonita	20 – 80 kg
	Agua	650 – 850 kg
	Controlador de hidratación	2 – 6 kg
Componente B	Acelerador	50 – 100 kg

↑ Tabla 1. Franja de dosificación de grout bicomponente.

Es necesario conocer el comportamiento del grout en el vacío de la TBM, para relacionar las condiciones operacionales de relleno con las presiones del grout en el espacio destinado, Talmon, et. al. [08]. En la Figura 3 se destaca un detalle del lugar en donde se encontró una



fuga de grout, causado probablemente por insuficiente aislamiento de las cuchillas que protegen el cuerpo del TBM contra la entrada de agua y grout.

Figura 3. Grout que superó las cuchillas de aislamiento del TBM.

Aditivos químicos para grouts bicomponentes

Los grouts en general requieren aditivos químicos para alterar sus propiedades, ya sea en estado fresco o endurecido, y lo mismo es válido para el grout bicomponente para inyección en TBM. Aunque uno de los aditivos se dosifica por separado, el “acelerador” no solo acelera, sino que principalmente altera la viscosidad del grout. De tal forma, el “acelerador” se conoce como el componente “B” del grout, y la mezcla fluida es el componente “A”. El grout fluido (componente “A”) puede emplear más de un aditivo. Aunque normalmente se usa apenas el controlador de hidratación, también se pueden usar otros aditivos como superplastificantes, modificadores de viscosidad, compensadores de retracción, etc., de acuerdo con la necesidad específica de cada grout. Se exponen a continuación los principales tipos de aditivos que se pueden usar en grouts y se da un breve resumen de su comportamiento y mecanismos de acción.

Controladores de hidratación

Es el principal aditivo del componente B del grout. Estabiliza la mezcla por horas e incluso por días, manteniéndola con la misma fluidez y viscosidad. Debe ajustarse su dosificación para que el tiempo de estabilización sea

superior al necesario para aplicación, aunque no mucho más que eso, pues su mayor dosificación aumentará la demanda del acelerador. Este aditivo actúa reduciendo la hidratación del cemento y en altas dosificaciones inhibe esta hidratación. En este último caso es imprescindible el uso de un acelerador. Conforme a lo observado por Kosmatka et. al. [05] apud. Kinney, este aditivo no presenta una normativa específica.

Superplastificantes

Existe en el mercado gran cantidad de superplastificantes y de diversas bases químicas. Por lo tanto, en un grout bicomponente cualquier superplastificante para concreto puede atender a la necesidad, desde que el controlador de hidratación se encuentre en las dosificaciones necesarias. Los superplastificantes pueden ser incompatibles con el cemento, con la bentonita o con el controlador de hidratación, por lo cual es necesario realizar pruebas previas.

Modificadores de viscosidad

El grout bicomponente incluye bentonita en su composición, aunque en algunos casos el efecto de retención de agua de la bentonita puede ser insuficiente para evitar la exudación y la segregación, generando la necesidad de incluir un aditivo que cumpla el mismo papel. Esta acción se evita siempre, principalmente cuando se tiene en cuenta el costo adicional. Cuando no haya otra opción, se utiliza el modificador de viscosidad para ayudar a retener el agua en la mezcla y mantener un sistema estable desde el punto de vista físico. Existen

variados tipos de modificadores de viscosidad, aunque lo más importante es verificar la compatibilidad del modificador con los aditivos ya presentes en la mezcla.

Compensadores de retracción

En algunos casos, principalmente cuando se utilizan cementos más reactivos, puede ser necesario el uso de aditivos que provoquen una expansión controlada del grout durante las reacciones de hidratación y que compensen las retracciones de la mezcla inyectada. Las bases químicas pueden ser diversas, pero el óxido de calcio y el polvo de aluminio son las más utilizadas y las más eficientes. Esos expansores permanecen sin reaccionar hasta el inicio de las reacciones químicas del cemento, siempre y cuando el aditivo controlador sea compatible y se encuentre en cantidad adecuada.

Aceleradores (componente B)

Aunque se conocen como aceleradores, son mucho más que eso. Cuando el producto se agrega al componente A del grout, en pocos segundos transforma una mezcla extremadamente fluida (líquida) en gel. Esa propiedad del acelerador es fundamental para la aplicación de tal tecnología, de manera que la acción principal del acelerador en el grout bicomponente no es acelerar el pegado, sino cambiar instantáneamente la reología de la mezcla, aumentando drásticamente su viscosidad y transformándola de un fluido pseudo-plástico a uno semi-sólido en segundos, que se hace sólido pasados unos minutos. Después de un cambio brusco de viscosidad en la mezcla, la saturación de algunos iones provenientes del acelerador actúa interfiriendo en el controlador de hidratación, reduciendo su efecto e iniciando el proceso de hidratación del cemento, aunque lentamente; por lo mismo, la ganancia de resistencia se produce de acuerdo con lo ya explicado. Tal tipo de acelerador se utiliza casi exclusivamente en grouts bicomponentes, ya que en otras aplicaciones esa baja ganancia de resistencia casi nunca es deseable para un acelerador.

Comportamiento del grout bicomponente con aditivos químicos

Según Guglielmetti et. al. [04] “un proyecto correcto de grout de relleno para TBM debe considerar los diversos parámetros que se refieren a tres principales campos de aplicación:

1. Aspectos prácticos, relacionados con la funcionalidad del grout que será inyectado.
2. La eficacia del grout inyectado respecto al control de asentamiento y a la interacción con el macizo y la máquina de perforación.
3. Consideración económica relacionada con el material localmente disponible y probablemente más barato frente a la mezcla ideal para el desempeño requerido”.

El grout bicomponente para TBM es distinto del que en la construcción civil se llama comúnmente grout, y ambos difieren incluso en su composición. El contenido de agua es elevado en comparación con otros tipos de grout y el posible impacto negativo se compensa con la presencia de la bentonita, pues ese mineral arcilloso retiene grandes cantidades de agua y proporciona a la mezcla viscosidad y estabilidad reológica adecuadas a la aplicación. Por ese motivo casi nunca se usa el modificador de viscosidad pero, de acuerdo con la Tabla 2, es posible notar que la calidad de la bentonita influye directamente el desempeño del grout.

Una parte de la reducción del desempeño de las bentonitas en la Tabla 2 está asociada al comportamiento del mineral arcilloso con el aditivo controlador de la hidratación, y en otra el desempeño estuvo afectado por el contenido de impurezas presentes en las bentonitas. Solo la bentonita C atendió los requisitos. El controlador de hidratación tiene impacto directo sobre la capacidad del grout bicomponente de mantener su fluidez y estabilidad por 72 horas. En caso que un controlador sea incompatible con determinada mezcla, de inmediato hay que buscar otra solución, ya sea cambiar el aditivo o los componentes del grout como cemento y bentonita, pues normalmente resulta más fácil y conveniente alterar el aditivo controlador de hidratación. El exceso de controlador de hidratación puede desestabilizar la mezcla y provocar exudación y pérdida de eficiencia del acelerador, ampliando el tiempo de formación de gel a niveles no aceptables en el proceso.

El acelerador puede formar cristales en su composición debido a un cambio brusco en la temperatura, o por contaminación. Esos cristales se depositan en el fondo del reservorio y la solución pierde concentración, creando la necesidad de emplear más producto para un mismo tiempo de formación de gel. Se presentará un problema mayor en caso que la formación de cristales se produzca en las tuberías que llevan el acelerador hasta el lugar de inyección, provocando taponamiento de las tuberías y conexiones del sistema. Según Pelizza et. al. [06] “No existe una prueba adecuada para prever su comportamiento futuro, pero el grout debe tener dos características que indican su durabilidad:

	BENTONITA A	BENTONITA B	BENTONITA C	BENTONITA D	BENTONITA E
Exudación (24 horas)	5,3%	0,9%	0,5%	8,0%	4,5%
Exudación (48 horas)	6,5%	2,0%	0,6%	8,5%	4,6%
Exudación (72 horas)	6,7%	2,5%	0,8%	8,8%	4,6%

↑ Tabla 2. Exudación de grouts bicomponentes con diferentes bentonitas, conforme EN BS EN 480-4:2005 [02].

- *La indeformabilidad: este parámetro se presenta de inmediato como el más significativo, ya que el gel está compuesto principalmente por agua. Si el agua no se pierde (por evaporación o filtración), el material permanecerá estable para siempre. Por eso es esencial que el suelo mantenga su humedad natural.*
- *La impermeabilidad técnica del suelo (10-8 m/s) es el parámetro físico que favorece la creación de la situación arriba descrita.*

Ambas características mencionadas se pueden medir en laboratorio y se pueden asumir como indicadores de durabilidad”.

Consideraciones finales

Teniendo en cuenta lo expuesto, es posible identificar la importancia de los aditivos químicos en el grout bicomponente, que es un material fundamental en el avance de las tuneladoras del tipo TBM.

Además de contribuir para que el grout se desempeñe con propiedades especiales, los aditivos químicos funcionan como una herramienta de corrección en situaciones de pequeñas desviaciones en el desempeño del grout debido a variaciones ambientales o de materiales. Es de fundamental importancia la divulgación de los estudios realizados para la viabilidad de los grouts bicomponentes usados en obras de túneles, debido a las particularidades de cada sistema, así como la contribución a las investigaciones y desarrollos de nuevos materiales, incluyendo tecnología de aditivos, que permitan cada vez más superar los obstáculos con soluciones técnicas en uso de los grouts bicomponentes.

Referencias

- [01] AFTES, (French National Tunneling Association), Choosing mechanized tunneling techniques (2005) Paris.
- [02] BS EN 480-4:2005. Admixtures for concrete, mortar and grout — Test methods - Part 4: Determination of bleeding of concrete, BSI.
- [03] EFENARC (2005). Specification and guidelines for the use of specialists products for mechanized tunneling (TBM) in soft ground and hard rock, www.efnarc.org.
- [04] Guglielmetti, V., Mahtab A. and Xu, S. (2007). Mechanized tunneling in urban area, Taylor & Francis, London.
- [05] Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Hooton, R. D. and McGrath, R. J. (2011). Design and control of concrete mixtures, Eighth Canadian Edition, Cement Association of Canada, Ottawa.
- [06] Pelizza, S., Peila, D., Borio, L., Dal Negro, E., Schulkins R. and Boscaro, A. (2010). Analysis of the Performance of Two Component Back-filling Grout in Tunnel Boring Machines Operating under Face Pressure, Proceedings of ITA-AITES World Tunnel Congress 2010: “Tunnel vision towards 2020”, Vancouver, 14-20 May 2010.
- [07] Peila, D., Borio, L., Pelizza, S. (2011). The behavior of a two-component backfilling grout used in a Tunnel-Boring Machine. In: Acta Geotechnica Slovenica n. 1, pp. 5-15.
- [08] Talom, A. M., and Bezuijen, A. (2006). Grout pressures around a tunnel lining, In: Tunnelling. A Decade of Progress - GeoDelft 1995–2005, Netherlands, pp. 77-82.
- [09] Thewes, M., and Budach, C. (2009). Grouting of the annular gap in shield tunneling – An important factor for minimisation of settlements and production performance, Proceedings of the ITA-AITES World Tunnel Congress 2009 “Safe Tunnelling for the City and Environment”, Budapest, 23-28 May 2009.

RINOL



RINOL PISOCRETO S.A.S

Número 1 en Sistemas para la ejecución de pavimentos industriales



RCR Silifibre

RCR Silifibre

El sistema **RCR SILIFIBRE** ofrece un pavimento industrial de hormigón armado con fibras de acero. Pavimento industrial de gran rendimiento, con instalación de una superficie de rodadura de gran resistencia y juntas constructivas especiales. Diseñado en losas de gran superficie (técnica “**gran panel**”) utilizando métodos mecanizados de nivelación, vibrado y aplicación de capa de rodadura.



RCR Conductil VRS

RCR Conductil VRS

El sistema **RCR CONDUCTIL VRS** (Volumetric Retraction Stability) ofrece un pavimento que exige un mismo mantenimiento, debido a la ausencia total de juntas de retracción y a una gran impermeabilidad superficial.

Diseñado para losas y pasillos estrechos, permite relaciones desiguales largo - ancho, acomodando las losas a la geometría del proyecto. Al igual que con los métodos mecanizados más avanzados de nivelación. Este sistema, además, dota al pavimento de una menor porosidad lo que lo convierte en muy adecuado para zonas donde puedan producirse vertidos o manchas.



Rinol Pisocreto S.A.S.

Calle 168 No. 21 - 20

Bogotá D.C., Colombia

Teléfonos (57)(1) 878 9848/52/51/53

pisocretosa@rinolpisocreto.com.co

www.rinolpisocreto.com.co

www.rcrindustrialflooring.es

www.rocland.es



↑ Los segmentos prefabricados de concreto para revestimiento de túneles han tenido importantes evoluciones.
FLICKR-MATT BROWN

Cuatro casos de estudio:

Innovaciones en prefabricados de concreto para túneles

Desde su introducción hace varios años, los segmentos prefabricados de concreto para revestimiento de túneles han tenido importantes evoluciones. En este artículo se presentan cuatro proyectos de túneles en desarrollo en distintos países donde estos elementos cumplieron las desafiantes exigencias de cada caso gracias a las innovaciones presentes hoy en la industria.

La tendencia continúa hacia la utilización de prefabricados de concreto reforzado con fibras de acero (SFRC). A continuación, se harán breves demostraciones de cuatro proyectos: un metro subterráneo en una zona sísmica en el oeste de los Estados Unidos; un gran revestimiento con prefabricados por debajo de una ciudad; la aplicación de un revestimiento permanente en el sudeste de Asia, y un túnel de gran diámetro que conecta un aeropuerto con una gran urbe.

Central Subway, San Francisco

El proyecto del Central Subway en San Francisco, Estados Unidos, consta de aproximadamente 3.218 m de línea ferrocarril con tramos superficiales y subterráneos y se extenderá del noreste al sureste de la ciudad, atravesando el

centro. El proyecto de la Agencia de Transporte de San Francisco conectará Chinatown con el centro y el sur de las áreas Market Street, incluyendo el AT&T Park. Comprende, entre otras obras, la construcción de dos túneles idénticos con longitud total de 2.736 m.

Segmentos de revestimiento

El contrato original incluía un revestimiento que se planteó con segmentos convencionales. Sin embargo, el propietario autorizó rediseñar los segmentos para el revestimiento de tal manera que las cargas, tanto temporales como de construcción, se tomaran a través de la combinación de soldar las fibras de acero con el acero de refuerzo de alta resistencia. De este modo se complementó la capacidad de diseño para resistir las cargas permanentes. La geometría de los segmentos prefabricados también fue modificada con un sistema 5+1 con diseño trapezoidal de 22,5° y cinco segmentos de 67,5°, cuatro de ellos en forma de rombo, y una contrafigura trapezoidal con el mismo ángulo. El proyecto suministró elementos de 1,3 m de ancho en un lado que se reduce a 4 cm en el otro; esto explica porqué el proyecto plantea curvas muy cerradas (137 m radio mínimo) en algunos puntos a lo largo del túnel. Los elementos trapezoidales de 1,5 m que se reducen a 28 cm fueron introducidos para las secciones más rectas en la mayor parte a lo largo del proyecto. La resistencia de los cilindros de concreto se especificó de 41 MPa y se usaron fibras de polipropileno con relación de 0,8 kg/m para controlar el desprendimiento en caso de incendio.

Innovaciones

El refuerzo en los segmentos fue rediseñado para cambiar el armado tradicional de resistencia 410 MPa a un conjunto híbrido de concreto con fibras de acero (SFRC) con un armado de barras lo cual resultó mucho más liviano y con resistencia de 550 MPa. El túnel está en un área de alta sismicidad y pasa a través de suelo blando y roca moderadamente fuerte. Dentro de las limitaciones del tiempo disponible para el diseño y las aprobaciones en un proyecto de construcción que tiene en cuenta el factor sísmico, el enfoque híbrido fue la selección para proporcionar los beneficios del SFRC, al tiempo que la armadura de acero de refuerzo proporciona mayor capacidad de resistir esas cargas sísmicas. Aunque el uso de fibras permite que se utilicen menos barras de refuerzo, los códigos de diseño de los Estados Unidos impiden que los diseñadores combinen el beneficio de las fibras y el refuerzo en el mismo cálculo, por lo que el acero corrugado debe diseñarse para soportar la carga estructural completa en el túnel.

Para la carga temporal relacionada con las fuerzas de empuje de la tuneladora TBM, la rotación de las uniones y las fuerzas de ruptura de los segmentos se pueden

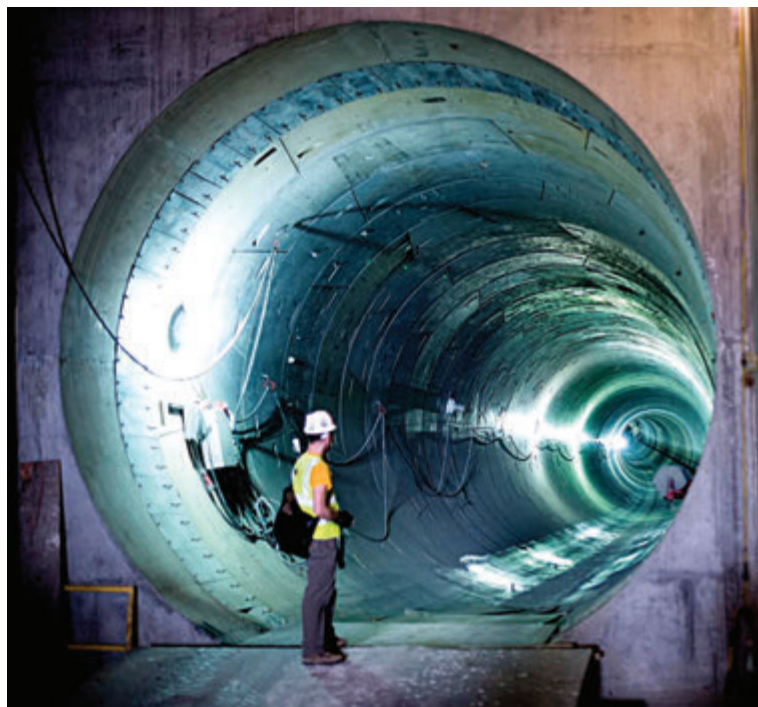
considerar fibras, lo que permite reducir la cantidad de barras de refuerzo en las áreas de empuje y de unión. La cantidad de refuerzo tradicional con barras para los segmentos rediseñados fue de 94 y 91 kg/m³ para los segmentos de 1,2 y 1,5, respectivamente, con adición de 27 kg/m³ de fibras de alto desempeño. Se compararon los costos de un segmento tradicionalmente reforzado con barras frente a la variedad híbrida y se determinó que eran más o menos iguales, pero también se demostró que el uso de fibras producía menor daño en el segmento durante la instalación, mejorando la durabilidad y reduciendo los costos de reparación. Hasta la fecha se ha producido muy poco daño en los segmentos de revestimiento en las diferentes secciones del túnel.

Conexión entre dovelas

Las especificaciones exigían que las conexiones circulares usadas en las dovelas fueran de alta resistencia (95 kN en la prueba de pullout). Esas dovelas tienen conexiones acanaladas de alto relieve, y debido al espesor y la compresión, requerían diferentes tolerancias. El ajuste perfecto se logró en el molde y en el proceso de fabricación. Debido a que las estaciones van a construirse después de terminados los túneles, ha sido necesario un método para separar fácilmente los anillos de los segmentos. Esto significa usar un núcleo de fibra de vidrio en las juntas de la dovela, que puede ser cortado con sierra.

Transporte de los prefabricados en tren

Los segmentos prefabricados están viajando 643,7 km por ferrocarril desde la planta de prefabricación en Nevada al sitio de trabajo. Los ensayos se realizaron antes de comenzar la producción en la planta con el fin de planear la manera más eficiente para apilar los segmentos y verificar que no sufran daños por vibraciones durante el transporte.



↑ Para el túnel del Central Subway de San Francisco se formuló un conjunto híbrido de concreto con fibras de acero (SFRC) con un armado de barras lo cual resultó mucho más liviano y con buenas propiedades de resistencia.

FLICKR-CHRISDAG

Crossrail de Londres

El Crossrail es uno de los proyectos de infraestructura más grandes que se construye en Europa, que entregará una línea de ferrocarril de 118 km que conectará a Maidenhead y Heathrow en el oeste con Shenfield y Abbey Wood en el este de Londres, a través de dos túneles idénticos de 21 km para un total de 42 km de túnel. Crossrail entrará en operación en 2018. Cuando se complete, el transporte ferroviario en la capital británica se transformará y el sistema transportará a más de 1,5 millones de personas por debajo de la ciudad en menos de 45 minutos. El Crossrail tendrá 37 estaciones, incluyendo ocho nuevas estaciones del metro. La construcción del túnel se ha realizado mediante diferentes unidades de TBM con segmentos prefabricados de concreto para el revestimiento.

Revestimiento

En las secciones típicas de los túneles, los segmentos de revestimiento de diámetro interno 6,2 m, son prefabricados de concreto, reforzados solo con fibras de acero. Únicamente en dos casos se utiliza refuerzo con barras de acero: en los lugares donde se espera una condición elevada de carga desbalanceada —por ejemplo, debajo de los pilares de los puentes—, y bajo las secciones de la pista de la placa flotante donde las cargas puntuales de rodamiento podrían causar fisuras a través del segmento. Cada elemento está conformado a su vez por 7 segmentos de 30 cm de espesor y 1,6 m de largo con un segmento clave o junta principal en cada anillo. Las TBM que instalaron estas piezas adoptaron anillos cónicos tanto en el lado izquierdo como en el derecho para permitir que el segmento clave siempre se colocara por encima del eje del túnel.

Otras TBM adoptaron un anillo universal; en ellas se incluyeron anclajes en las uniones radiales y las conexiones de las dovelas en las juntas circulares. Los segmentos fueron fundidos en una fábrica externa, dependiendo el tramo de túnel. Debido al uso de fibras de acero como refuerzo no se permitieron los vibradores convencionales, así que se emplearon motores de vibración fijados al molde de las piezas en las fábricas. Para las estaciones que se perforaron con TBM, la tuneladora se situó a través del área de la plataforma. Antes de posicionar la máquina se aplicó un revestimiento de concreto lanzado y se introdujeron segmentos especiales temporales de 1,0 m de longitud para coincidir con la velocidad típica de avance. Debido a que los segmentos temporales se eliminarán durante la ubicación definitiva de los elementos prefabricados alrededor de la plataforma, se utilizaron pernos tanto para las juntas circulares como para las radiales a fin de facilitar la secuencia de desmontaje de los segmentos.

Innovaciones

Durante la fabricación de los elementos prefabricados de concreto se ensayó el desempeño de las fibras de

acero mediante la prueba de viga a flexión. El resultado mostró una dispersión relativamente grande frente a los ensayos a compresión y de separación a tracción. La dispersión más grande se derivaba a veces de las resistencias características estimadas por debajo del objetivo de desempeño mínimo requerido. De otra parte, la viga y la resistencia a corte generalmente presentaban resultados de ensayo consistentes y sobre-especificados. El modelo de material modificado se utilizó para reevaluar la capacidad del segmento de la junta y para establecer la aceptabilidad de partes de segmentos basándose en las características de resistencias a flexión medidas a partir de las pruebas de producción de los segmentos. Con los resultados de la reevaluación fue posible determinar la sobrecarga máxima que podían soportar esos segmentos. Con ello se pudieron identificar las diferentes zonas a lo largo del túnel y la manera de instalar con seguridad los segmentos sin que se rompan.



↑ El transporte ferroviario en la capital británica se transformará y el sistema transportará a más de 1,5 millones de personas por debajo de la ciudad en menos de 45 minutos.

FLICKR-MATT BROWN

Downtown Line, Singapur

El Downtown Line Singapur (DTL), hace parte del sistema masivo de tránsito rápido de la ciudad-estado de Singapur (MTR). Esta línea tendrá más de 42 km de longitud y este año 2017 conectará las regiones noroccidental y oriental con el Distrito Central de Negocios y el área de la Marina Bay. DTL será la quinta línea del MRT e incluirá 34 estaciones, de las cuales 10 intercambiarán con el sistema existente. Cuando esté completa, la Downtown será la línea de metro automatizada más larga de Singapur. Para cada etapa de las obras, la ruta se subdivide en varios contratos directamente relacionados entre sí, cuyas obras incluyen más de 8 km de túneles.

Revestimiento

Para revestir la estructura permanente de los túneles se utilizaron dos tipos de segmentos prefabricados: en uno de los tramos se adoptó un segmento tradicional reforzado con barras de acero, y para otros un segmento reforzado con fibras de acero. Ambos segmentos de revestimiento tienen 1,4 m de largo y 275 mm de espesor. Para los segmentos

tradicionales reforzados con barras de acero, se utiliza una segmentación 5 + 1 (tres segmentos ordinarios, dos placas superiores y un segmento clave) y para los reforzados con fibra de acero se utiliza segmentación 7 + 1 (cinco segmentos ordinarios, dos placas superiores/contra esquinas y un segmento clave o dovela central). La cantidad de segmentos se incrementó en el diseño de fibra de acero para reducir el daño potencial durante la manipulación y la instalación de las piezas. El segmento clave siempre se inserta sobre el eje del túnel y se adopta un anillo cónico tanto izquierdo como derecho. Normalmente se ha asumido una conicidad de +/- 20 mm para que se pueda lograr un radio de alineación horizontal de 300 m. Los segmentos se conectan mediante tornillos de lanza en las juntas radial y circular, y estas fijaciones quedan permanentes en el túnel.

Para el diseño del segmento de fibra de acero, todas las piezas fueron prefabricadas con un sistema de carrusel en una planta construida específicamente en Jurong. El concreto se compacta utilizando vibradores externos montados en el molde, como en el método de mesa vibradora. Después de fundidos, los segmentos están completamente revestidos para evitar la pérdida de humedad del concreto. Se recubren y se trasladan al área de almacenamiento antes de ser apilados y protegidos con madera para evitar daños.

Innovaciones

En la planificación inicial del Downtown Line, línea 3 en el centro de Singapur, se estudiaron las potenciales ventajas del concreto reforzado con fibras de acero (SFRC), un nuevo material alternativo al concreto convencional reforzado con barras que aportaría productividad e innovación a la industria de la construcción de Singapur. Se realizaron estudios y pruebas en colaboración con la Universidad Tecnológica de Nanyang para desarrollar un diseño basado en el desempeño comparable con los estándares vigentes en el país. Es la primera vez que se utiliza el SFRC para la estructura permanente en Singapur y el Sudeste de Asia. Los criterios de diseño y el Código de Prácticas de Singapur consideran los segmentos de revestimiento como columnas cortas sujetas al momento de flexión y a la carga axial. Con el fin de permitir la aprobación de las autoridades técnicas, se preparó un diseño detallado que comparaba los diseños existentes de los segmentos de revestimiento con SFRC y la orientación del sector con las normas de Singapur, los criterios mínimos de desempeño definidos con base en pruebas específicas, y pruebas de mezcla realizadas conjuntamente entre el contratista y el proveedor de fibras. Se llevó a cabo la modelación de elementos finitos de los segmentos de las juntas para evaluar el comportamiento de rotura conjunta del SFRC tanto en la junta radial como



↑ En el Downtown Line se ha utilizado por primera vez el SFRC para una estructura permanente en túneles, en Singapur y el Sudeste de Asia.

FLICKR - BROWN LE03

REVESTIMIENTOS



VLDPE para Túneles

AGRU, empresa de Austria con más de 60 años en el mercado de plásticos cuenta con la Solución de Revestimientos en poliolefinas VLDPE para túneles. El revestimiento está conformado por una capa negra y una capa brillante blanca como indicador de daños mecánicos. Presentación de ancho hasta de 4m y espesores de 2,0; 2,5 y 3,0 mm

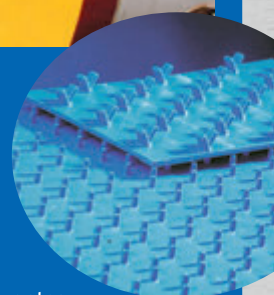
Ventajas:

- Vida útil >100 años
- Material que es atóxico en presencia del fuego y no se cristaliza. Libre de plastificantes
- Flexible y Elástico
- Opción de disco-velcro para instalación
- Cuenta con perfiles para frenar el agua y tubería especial para drenajes
- A conformidad con ZTV-ING, RIL 853, ÖVB



Protección para Concreto

Agru cuenta con una línea de Revestimientos para protección del Concreto de diferentes estructuras como tubos, tanques, cimientos, puentes y demás construcciones de hormigón. Evitan la corrosión y prolongan la vida útil de la estructura. Desarrollado en diferentes materiales termoplásticos como PP y PE. Estos revestimientos cuentan con anclajes en forma de "V" moldeadas directamente sobre las placas durante el proceso de extrusión, permitiendo un anclaje mecánico seguro.



en la circular. Para asegurar que los segmentos no tuvieran averías durante la perforación con las TBM, se acordó un límite de empuje de TBM con el propietario y el contratista basándose en las propiedades específicas del material del proyecto. El concreto reforzado con fibras de acero para los segmentos de revestimiento del túnel resultó ser un material sostenible, eficiente y rentable, según los expertos del proyecto.

Autopista al aeropuerto de Brisbane

La conexión entre la ciudad australiana de Brisbane con los suburbios del norte y las instalaciones del aeropuerto, llamada Airport Link, es una autopista de 6,7 km, subterránea en su mayor trayecto. Es la parte inicial del proyecto más grande de infraestructura de transporte de Australia. Airport Link se compone de dos túneles idénticos, extensas estructuras de corte e importantes obras en la superficie. Cuando esté terminado será el túnel de vía más largo del país, con sus 11 km de línea principal y sus rampas. Además de los métodos tradicionales de corte, se utilizaron explosivos entre las colinas de Bowen y Lutwyche y para las rampas de túnel en Kedron (para facilitar la conexión del Eastbound Onramp y el West-Off-Ramp), y perforación con tuneladoras TBM entre Lutwyche y Toombul. Los túneles de la línea principal se conectan a la superficie a través de estructuras de corte en las colinas de Bowen (conexión del sur) y Toombul (conexión del este)

Los túneles perforados con TBM utilizaron dos máquinas de 12,28 m de diámetro a través de una mezcla de suelo de condiciones entre mixta y tierra mojada, con variaciones de roca y sedimentos altamente gradados. Cada unidad de TBM comenzó en Toombul (conexión del este) y procedió hacia las cavernas de Lutwyche, donde las TBM fueron enterradas en la terminación del túnel. La longitud aproximada de cada túnel perforado (incluyendo la travesía Kedron Cavern) es de 2,4 km, con diámetro exterior de 12,14 m.

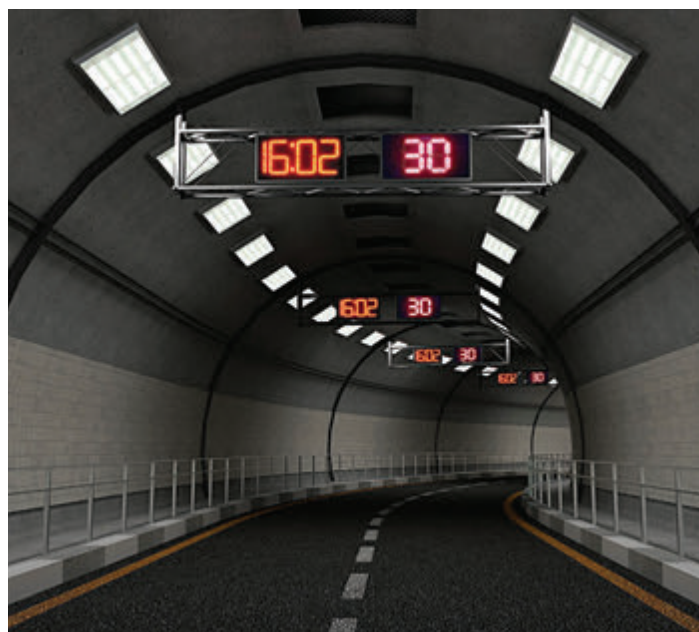
Segmentos de recubrimiento

Las TBM recubrieron el túnel a partir de anillos universales, uno izquierdo y uno derecho. Ambos anillos se fundieron para permitir que la junta principal se mantuviera por encima del eje para la mayoría de la estructura del anillo. El diámetro interno del segmento de revestimiento fue de 11,34 m, el espesor del segmento fue de 40 cm y la longitud del anillo de 2,0 m. Para los anillos se adoptó una segmentación de 9 + 1 que comprendía siete segmentos rectangulares, dos segmentos de contrafuerza y un segmento de trapecio.

Innovaciones

La tecnología/material más utilizada en los segmentos fue el concreto reforzado con fibra de acero (SFRC). Aproximadamente el 65% de la extensión del túnel principal perforado con TBM se construyó a partir de segmentos reforzados con solo SFRC, 25% de los segmentos con SFRC y con barras de refuerzo adicionales en las juntas radiales y convencionalmente los demás segmentos reforzados con barras de acero. Se sabe que la aplicación de SFRC en lugar del concreto reforzado con barras de acero convencional proporciona beneficios significativos para la durabilidad a largo plazo y mantiene en buen estado el revestimiento de los segmentos de los túneles. Sin embargo, la capacidad estructural del SFRC puro es típicamente más baja que la del concreto armado convencionalmente para segmentos del mismo espesor.

Las juntas circulares del revestimiento están sujetas a una carga concentrada proveniente de la fuerza de la TBM. La carga de empuje de la máquina fue desarrollada por 19 pares de cilindros de empuje y se aplicó a la junta circular por 19 espaciadores igualmente separados de 900 mm de largo x 360 mm de ancho. El empuje máximo instalado fue de aproximadamente 89 MN. El empuje operacional típico varió hasta unos 60 MN. El análisis de diseño reveló que a medida que el empuje de la tuneladora se acercaba al máximo instalado, la división en la cara de la junta circular entre los espacios de empuje adyacentes eran una limitante para los segmentos estándares de SFRC. Posteriormente se realizó un análisis de sensibilidad para determinar el empuje limitador para controlar el empuje de la división. En el caso más pesado, la limitación de empuje requerida todavía permitía aplicar el 87% del empuje máximo instalado.



↑ Render del Airport link, la conexión entre la ciudad australiana de Brisbane con los suburbios del norte y las instalaciones del aeropuerto.
FLICKR- CERESOLA-FORMS

Referencias

<http://tunnelingonline.com/innovations-precast-concrete-segmental-linings-case-studies/>

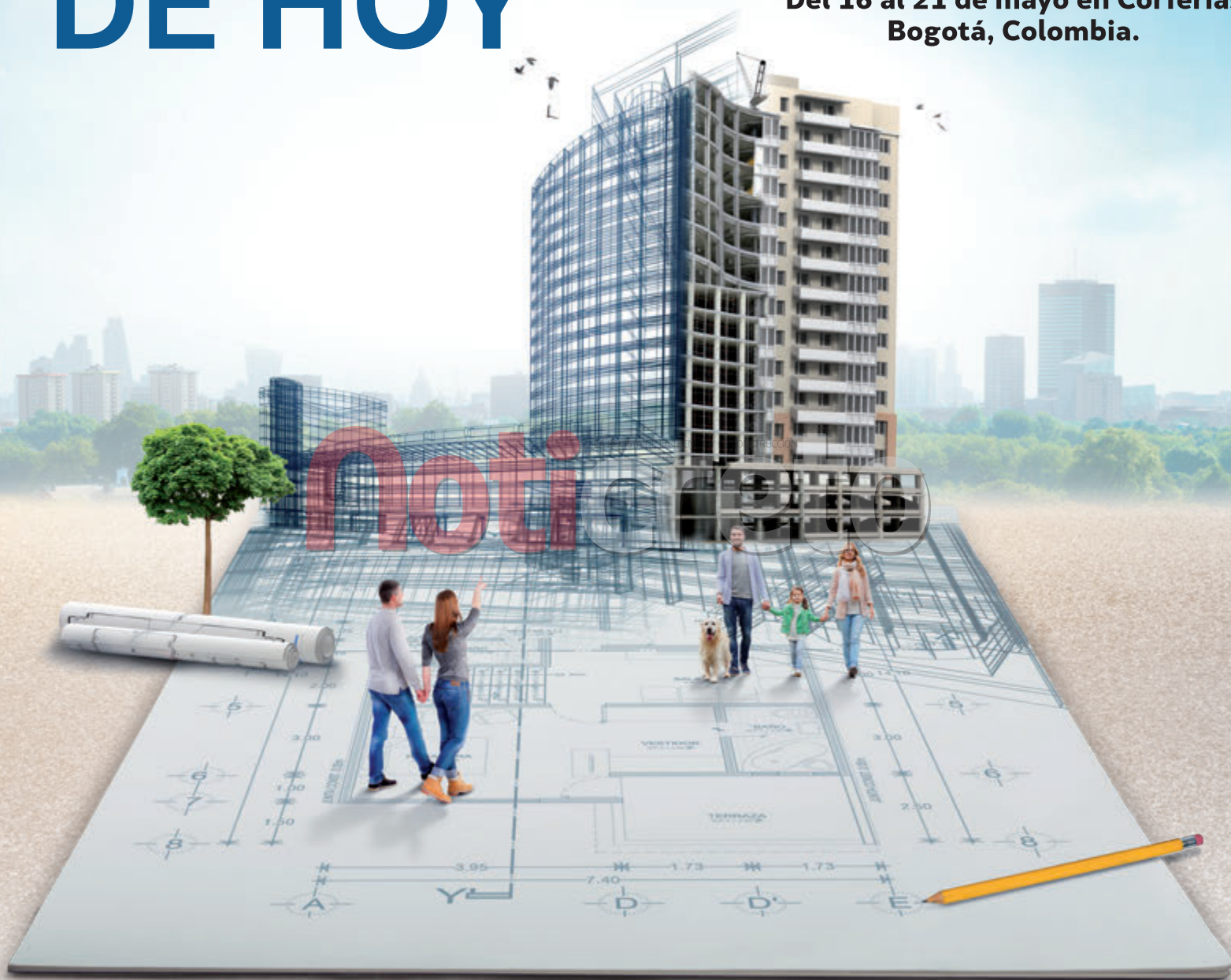
CONSTRUYENDO EL FUTURO CON IDEAS DE HOY



XIV

**expoconstrucción
expodiseño 2017**

**Del 16 al 21 de mayo en Corferias
Bogotá, Colombia.**



Viva la experiencia de Expoconstrucción y Expodiseño.

El escenario ideal para generar negocios, promover el desarrollo del sector y conocer de primera mano las actualizaciones de una industria más sostenible.



**Agenda
Académica**



**Muestra
comercial**



**Escenarios
de Networking**

Patrocina:



expoconstruccionyexpodiseno.com

Apoyo Institucional:



Apoya:



Copatrocin:



Organiza:



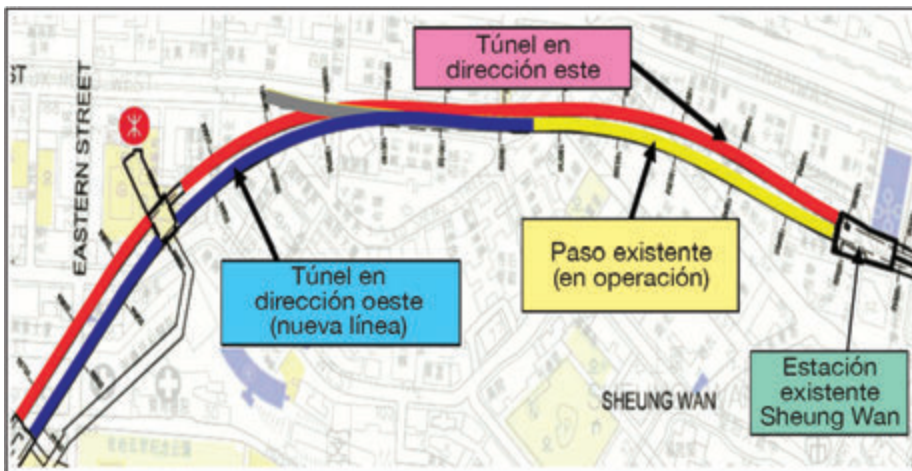
**Generadores de
Oportunidades y Progreso**

La nueva línea del Metro de Hong Kong: Congelando el suelo para construir túneles

El Metro de Hong Kong o MTR (Mass Transit Railway) es el sistema de transporte ferroviario metropolitano de la urbe China. Tiene en la fecha diez líneas –tres de ellas suburbanas–, 89 estaciones y 175 km de longitud total y presta servicio diario a unos 4,5 millones de personas. La rápida urbanización de la isla de Hong Kong y el implacable incremento del transporte público llevaron a emprender en 2009 una profunda revisión del sistema de transporte hacia el oeste y el sur de la ciudad.



↑ Fue necesario consolidar volúmenes de tierra mediante la congelación para construir una galería temporal.
CORTESÍA DRAGAGESHK



La línea en West Island es un proyecto ferroviario emprendido por el Mass Transit Railway de Hong Kong para extender la línea que existe bajo áreas densamente pobladas en la parte occidental de la isla, y se construye con el fin de aumentar el cubrimiento de la red ferroviaria de la ciudad. Extender una línea subterránea que opera en una urbe tan densa como Hong Kong representa grandes desafíos a la ingeniería y al medio ambiente y exige ideas y técnicas innovadoras que superen obstáculos como la presencia de cimentaciones de múltiples edificios en la superficie. El proyecto comprende perforar dos túneles idénticos de 6,40 m de diámetro interno, la demolición de un túnel existente para conectarlo con la línea nueva, así como la excavación y perforar nuevas galerías y aditamentos. Por las condiciones de población y las complejidades urbanísticas, se requirió la máxima capacidad técnica y humana de la ingeniería en Hong Kong para realizar lo que hasta la fecha es una de las más complejas obras subterráneas del MTR.

↑ Diagrama de extensión del MTR, que decidió extender la línea de la Isla hacia el distrito occidental de Sai Yin Pun y el área de crecimiento de Kennedy Town.

CORTESÍA CALVIN TSE AND JENNIFER LUK

o de detonación, junto con detonadores electrónicos, y las explosiones se efectúan dentro de un recinto para gran ruido. Por primera vez en Hong Kong se excavó un pozo en una zona urbana mediante voladura. Para este proyecto de infraestructura, durante las diferentes etapas de construcción se han instalado dispositivos para monitorear los túneles y las estructuras que cubren la superficie de la ciudad.

Durante el proceso también se ha implementado una máquina llamada Tunnel Dismantling Machine (TDM), que se aplicó en la demolición de elementos prefabricados existentes para reemplazarlos por nuevas estructuras y hacer la conexión entre los túneles, evitando colapsos. Otra de las metodologías para lograr el cumplimiento de este proyecto ha sido la utilización de la técnica de congelación de tierra para alcanzar consolidación en algunos tramos del recorrido en el terreno. Para las obras subterráneas de esta nueva línea de metro, el material elegido ha sido el concreto, tanto reforzado como en elementos prefabricados a lo largo del trazado de la línea.

Principales desafíos de la SCL y su conexión con la existente

Implementación de TDM

Los nuevos desafíos han llevado a buscar soluciones innovadoras tanto en el sector de la construcción como en el de infraestructura, entre ellas la mencionada máquina TDM. Es una solución innovadora que satisface el desafío que ha implicado conectar un túnel nuevo con uno existente, con un diámetro de 15 m. Como reto adicional, con la TDM también se logró excavar con éxito tierra suelta en un área con alta densidad de

↓ Para hacer frente a las complejas condiciones geológicas, para perforar ambos túneles se han utilizado seis tuneladoras TBM, equipadas con rigurosas características de seguridad.

CORTESÍA DRAGAGESHK

Para esta línea, denominada SCL, (Shatin to Central Link), ya se han realizado excavaciones mediante voladura para un túnel de 2.475 m así como un túnel bitubo de 1.400 m perforado con una tuneladora de presión de lodos de 7,4 m de diámetro excavado. Las obras comenzaron en octubre de 2012 y su duración, según los constructores, será de 68 meses. La construcción de la línea SCL se ha organizado en diez lotes principales y consiste en realizar 12 km de trazado subterráneo, construir 4 nuevas estaciones y acondicionar 2 estaciones de interconexión.

Para hacer frente a las complejas condiciones geológicas, para perforar ambos túneles se han utilizado seis tuneladoras TBM, equipadas con rigurosas características de seguridad. A la vez, para el proyecto se han adoptado varias tecnologías que marcan rumbo para una construcción sostenible. En todo el proceso de voladura se ha utilizado el agua como lastre de explosión



redes de servicios públicos y rascacielos con todas sus cimentaciones. Funciona mediante una tecnología de aire comprimido y se desplaza hacia atrás dentro del túnel a desmontar, quitando uno por uno los segmentos de arco, empleando una presión de 2,8 bares. Mientras la TDM se mueve hacia atrás, con un brazo mecánico aplica concreto lanzado en la pared del túnel para asegurar la estabilidad temporal del suelo. Luego, cada 2 metros, la cavidad del túnel se rellena con un concreto pobre. Este modelo ayuda a evitar colapsos y fugas de agua, y limita inmersiones difíciles.

Congelación de tierra

Fue necesario consolidar volúmenes de tierra mediante la congelación para construir una galería temporal en el entorno urbano denso; posteriormente se procedió a perforar los túneles y a construir el sistema actualmente en curso.

Dificultades técnicas

Uno de los retos técnicos fue el potencial de las obstrucciones subterráneas a lo largo de la alineación de los túneles. Se encontró que uno de los túneles se enfrentaba con arcos de acero instalados hacía más de 20 años durante una operación para reparar las pilas de algunos cimientos. Estos arcos se hallaban entre 25 y 30 metros por debajo del nivel del suelo y aproximadamente a 20 m del túnel existente. Un estudio geofísico que realizó una compañía participante en el proyecto identificó las obstrucciones del arco de acero y posteriormente el consorcio de empresas decidió retirarlas antes de perforar el túnel con TBM. Para facilitar la extracción de los arcos, se optó por excavar una galería horizontal temporal. La naturaleza de los suelos indicaba que las

técnicas convencionales de inyección no iban a lograr el grado de consolidación requerido para evitar que el suelo se asentara durante la excavación de la galería. Se desarrolló entonces una solución robusta y ecológica utilizando tecnología de congelación para resolver el problema de la estabilización del terreno. Debido al espacio confinado, a la proximidad de una estación existente y a las dificultades logísticas asociadas con el uso de nitrógeno líquido, la congelación se llevó a cabo utilizando salmuera de cloruro de calcio (CaCl_2). La planta convencional de refrigerante de amoníaco fue reemplazada por otra que utiliza un gas ecológico y no tóxico.

La congelación del suelo con CaCl_2

La congelación se logró haciendo circular salmuera a -25 y -30 °C a través de tubos coaxiales. La salmuera fue bombeada a través del tubo interno hasta el punto más lejano. A su regreso, a través del anillo entre el tubo exterior y el interior, con la salmuera se extrajo el calor del suelo. A continuación, la salmuera se transfirió a un refrigerante que seguía un ciclo termodinámico (evaporación, compresión, condensación y expansión).

Perforación

El acceso para la perforación se hizo dentro de la infraestructura MTR existente. Se montó una plataforma de acero especial de trabajo para permitir la perforación a través del terreno mixto e instalar la plataforma de congelación. Se utilizó un diámetro de 1,20 m, que fue apretado por el martillo perforado con monitorización automática de los parámetros de perforación. Con una cabeza de 20 m de agua, se utilizaron inyectores en cada localización establecida. La técnica de congelación de tierra requiere una estricta tolerancia de posición y la

➔ Las unidades de congelación fueron diseñadas especialmente para introducirse dentro de la excavación MTR existente. Se movilizaron dos unidades de congelación de 100 kW.

CORTESÍA DRAGAGESHK



Concreto en obra garantizado

alineación de cada agujero se verificó sistemáticamente cada 4 m con un dispositivo especial. En general, en el suelo se instalaron 22 tubos de congelación de una longitud media de 33 m. Los tubos eran termosoldados para evitar problemas durante la posterior perforación del túnel con TBM. Se taladraron 6 agujeros adicionales para instalar un sistema de monitoreo en tiempo real que incluía cuerdas de transmisión, sensores de presión y células de presión de agua para controlar el espesor de la pared de hielo y otros parámetros de la planta de congelación.

Funcionamiento de la congelación

Las unidades de congelación fueron diseñadas especialmente para introducirlas dentro de la estación existente. Se movilizaron dos unidades de congelación de 100 kW a un sitio donde fuera posible congelar una pared de hielo de 2 m de espesor en el programa trazado de 7 semanas. Una vez que se formó la pared de hielo, la congelación se mantuvo durante otras 8 semanas durante las cuales se excavó la galería, los conjuntos de acero se cortaron y se retiraron y luego se rellenaron.

Conclusiones

La construcción de la Shatin to Central Link (SCL), ha sido un verdadero desafío para la ingeniería en Hong Kong, pues la necesidad de trabajar en obras subterráneas bajo la altísima densidad poblacional de la ciudad China no ha sido un trabajo fácil. Gracias a la implementación de tecnologías nuevas y existentes, acompañadas de las ventajas que proporciona el concreto para este tipo de obras, se ha logrado la transformación del sistema del metro de Hong Kong y, al mismo tiempo, dar un ejemplo de ingeniería nueva y sostenible para el mundo.



↑ Las obras del proyecto de la nueva línea del metro comenzaron en octubre de 2012 y se estima que tenga una duración de 68 meses.

CORTESÍA DRAGAGESHK

Referencias

<http://www.bachy-soletanche.com.hk/nindex.php?serial=79&specialserial=44>

<http://www.mtr-shatincentrallink.hk/en/construction/progress-update.html>

<http://www.bouygues-construction.com/en/innovation/all-innovations/tunnel-dismantling-machine-tdm-next-generation-tunnellers>

<http://dragageshk.com/projects-post/mtr-west-island-line-shw-to-syp-tunnels/>

<http://dma.lsgi.polyu.edu.hk/JISDM-Proceeding/Proceeding/Full%20paper/49.pdf>

Al adquirir una planta OMEGA, usted puede producir el concreto más fresco que existe, en cualquier lugar donde se localice su proyecto, sin límite de horarios, y en las cantidades que desee.



Productos y Servicios

- Venta, Garantía, Repuestos y Servicios de Planta Móvil de Concreto Omega.
- Alquiler de Plantas Omega.
- Maquila de Concreto con Materiales del Cliente.
- Suministro y Producción de Concreto Certificado, a Nivel Nacional.
- Aditivos Químicos para Concreto (BRK).



INOMEGA
INGENIERÍA Y CONCRETO OMEGA

Bogotá D.C. - Colombia
Tels: (57) 1 4660025 - (57) 304 4060590
www.omegacolombia.com
info@omegacolombia.com

Argos renueva sus sacos de cemento



CORTESIA ARGOS

Los sacos de cemento de Argos estrenan imagen. Según la compañía, la nueva imagen refleja con coherencia lo que la empresa ha sido, y ayuda a fortalecer la presencia de marca y el portafolio de productos. Los nuevos diseños permiten diferenciar con facilidad los cementos de uso general y

uso especializado y así mismo tener mayor versatilidad en las nuevas referencias de productos que llegarán al portafolio de cementos durante el 2017: Cemento Uso Mampostería Tipo N, Microcemento Uso Inyecciones y Cemento Uso Estabilización de Suelos.

Según Argos, la distribución de los nuevos sacos comenzará así: 1 al 20 de febrero: Cemento Uso General Gris (50 kilos); 20 de febrero al 30 de marzo: Cemento Uso General Gris (42,5 y 25 kilos); 1 al 20 de marzo: Cemento Uso Estructural; 15 de abril al 15 de mayo: Cemento Uso General Blanco.

Cemex, construyendo paz en Colombia

Durante más de medio siglo, el Cañón de las Hermosas ha sido escenario de los conflictos y la violencia que han marcado al país. El sueño y el cansancio no hicieron mella en las ganas de llegar hasta este lugar, al sur del Tolima, una zona anteriormente inaccesible debido a la presencia de grupos armados, para empezar realmente a construir un mejor futuro para Colombia.



CORTESIA CEMEX

Convencidos de la importancia de su compromiso con este propósito, 24 colaboradores de Cemex Colombia dijeron "Sí a la PAZ, yo soy voluntario" para participar en la campaña de la Fundación ANDI 'Vamos Colombia, Vamos Tolima' que movilizó a 500 voluntarios de 24 empresas privadas. Fueron cinco días trabajando bajo sol y lluvia, hombro con hombro, junto a la comunidad, el Ejército, entidades del Gobierno, y personas en proceso de reintegración, con el fin de mejorar directamente la calidad de vida de sus habitantes y dar con ello, un paso hacia la paz.

Sensible fallecimiento de Alfredo Santander Palacios

El ingeniero Alfredo Santander Palacios (1944-2017) fue uno de los más reconocidos diseñadores estructurales de puentes en nuestro país. Participó en el desarrollo de más de 500 puentes, bien sea en el diseño, construcción o interventoría.

Además de su vocación por el diseño estructural, también se desempeñó como docente universitario, en pregrado y posgrado. Fue galardonado con diversos reconocimientos entre los que se destacan el Premio 'Guillermo González Zuleta' y el Galardón a la Vida y Obra 2009 de la Sociedad Colombiana de Ingenieros.



↑ Ingeniero Alfredo Santander Palacios (QEPD).
ARCHIVO ASOCRETO

Línea de atención al cliente:
(57 - 1) 472 2000 en Bogotá
01 8000 111 210 a nivel Nacional
.....
www.4-72.com.co

El servicio de **envíos**
de Colombia



TODO EL Concreto ESTÁ EN Asocreto

CEMENTO CONCRETO PREFABRICADOS

Manténgase informado y actualizado
en todo lo relacionado con
**el Cemento, el Concreto
y los Prefabricados**

Noticreto

La revista de la técnica y la construcción



Información práctica sobre las últimas tecnologías de construcción en concreto, en ediciones temáticas de circulación bimestral.

Suscríbase en contactcenter@asocreto.org.co

Instituto del Concreto

Actualización y capacitación en tecnología del concreto



Seminarios, jornadas y visitas técnicas, dirigidos a Entidades, Gremios y Universidades; con conferencistas de amplio reconocimiento y experiencia en el medio.

Más información: instituto@asocreto.org.co

Laboratorio del Concreto

Control y aseguramiento de la calidad abierto a toda la industria y el sector de la construcción del país



Más de 30 ensayos acreditados por el ONAC en las áreas de Concretos y morteros, Agregados y materiales granulares, Cementos y adiciones, Prefabricados, Patología Estructural, Química, Metrología, Suelos y Pavimentos.

Más información: laboratorio@asocreto.org.co

Boletines Virtuales

Novedades, información técnica y eventos del sector

Suscripción gratuita en nuestra página web



- Arquitectura en concreto
- Sostenibilidad & Concreto
- Infraestructura y Pavimentos
- Vivienda y Edificaciones
- Prefabricados de concreto

Más información: osilva@asocreto.org.co



El máximo evento de la construcción sobre concreto, cemento y prefabricados

Cada dos años se convierte en el punto de encuentro de profesionales de ingeniería y arquitectura, constructores, directores y residentes de obra, interventores, consultores, empresarios, estudiantes y técnicos; gremios y entidades nacionales e internacionales, reunidos en torno a la actualización, negocios, contactos comerciales y actividades sociales de integración y encuentro.

Más información: reunion@asocreto.org.co

Publicaciones

Información y actualización sobre temas del sector de la construcción en concreto

Somos distribuidores de:



- BÁSICAS
- TÉCNICAS
- ESPECIALIZADAS

Más información: contactcenter@asocreto.org.co

Biblioteca del Concreto



American Concrete Institute
Always advancing



Online Center

Más de 40.000 documentos para consulta especializados en el concreto y sus aplicaciones, además de temas afines como la construcción y la arquitectura entre otros.

Horario: Lunes a viernes de 8:30 a.m. a 12:30 p.m.

Catálogo en línea en
<http://www.asocreto.org.co/biblioteca/>

Más información: doc@asocreto.org.co

Publicaciones

Información y actualización sobre temas del sector de la construcción en concreto

MANUAL PRÁCTICO SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

2^{da}
EDICIÓN



Luego de éxito de la primera edición del Manual Práctico de Supervisión de Estructuras de Concreto, Asocreto publica la segunda edición de esta publicación, revisada y actualizada, en la cual se han incluido algunos detalles de refuerzo que se han estimado de gran utilidad en las obras, así como un capítulo especial de tanques, con el fin de mejorar las especificaciones de este tipo de obras, en las cuales predomina el criterio de durabilidad.

Calle 103 No. 15 - 80, Bogotá-Colombia

PBX: (+571) 618 0018

FAX: (+571) 756 0990

Correo electrónico: asocreto@asocreto.org.co

www.asocreto.co



70

EVENTOS

EVENTOS ASOCRETO

JORNADAS

Problemas y Soluciones en el Manejo del Concreto en Obra. Evite Problemas en su Obra

Bogotá: 15 de marzo de 2017

Medellín: 17 de marzo de 2017

Cali: 22 de marzo de 2017

Barranquilla: 24 de marzo de 2017

Ley de Vivienda Segura y su Reglamentación. Impacto en Ingenieros, Arquitectos, Curadores y Constructores

Bogotá: 29 de marzo de 2017

Barranquilla: 31 de marzo de 2017

Medellín: 4 de abril de 2017

Cali: 6 de abril de 2017

SEMINARIO

Implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo SG SST

27 de abril de 2017

Bogotá

CURSO

Análisis de Ensayos de Laboratorio. Módulo Materiales

24 al 28 de abril de 2017

Bogotá

Curso para Residentes de Obra de Edificaciones

28 de abril de 2017

Bogotá

MAYOR INFORMACIÓN: www.asocreto.co

OTROS EVENTOS

Convención de primavera del Instituto Americano del Concreto ACI

26 al 30 de marzo de 2017

Organiza: American Concrete Institute

Detroit, Michigan - Estados Unidos

Mayor información: www.concrete.org

II Congreso Iberoamericano de Vivienda

7 al 11 de marzo de 2017

Organiza: Federación Interamericana del Cemento (FICEM), Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado (FIHP)

Salvador de Bahía, Brasil

Mayor información: www.ficem.com - www.hormigonfihp.org

Servicio al cliente: (+5 71) 618 0018 / (+5 71) 756 0990
servicioalcliente@asocreto.org.co / Bogotá, Colombia

**NADIE PUEDE DUDAR
QUE NUESTRA CÁRCEL
RESPECTÓ TODOS LOS
PRINCIPIOS DE
PLANEACION. POR ESO
INCLUYE EL TÚNEL DE
FUGA.**





CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO LANZADO

ILUSTRACIÓN: LUIS EDUARDO LEÓN

HOLA JOSÉ. COMO EL CONCRETO LANZADO ES MUY UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES, QUISIERA SABER ¿CÓMO SE DEBE REALIZAR SU CONTROL DE CALIDAD?

HOLA SOFÍA. DE ACUERDO CON LOS PARÁMETROS DE ACI Y ASTM DEBES TENER EN CUENTA VARIOS ASPECTOS IMPORTANTES

PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DEL CONCRETO LANZADO EN LAS OBRAS.



¿CUÁLES SON ESOS ASPECTOS Y DE QUE DEPENDEN?

EXISTEN DOS MÉTODOS DE COLOCACIÓN DEL CONCRETO LANZADO: POR VÍA SECA Y VÍA HÚMEDA.

COMO PRIMERA MEDIDA HAY QUE DETERMINAR QUE MEZCLA SE VA A USAR Y EL EQUIPO CON EL CUAL SE VA A COLOCAR EL CONCRETO



TAMBIÉN SI SE REQUIERE LA ADICIÓN DE FIBRAS METÁLICAS O SINTÉTICAS CON EL FIN DE INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE CARGA Y LAS PROPIEDADES DE DUCTILIDAD DE LA MEZCLA.

Y FINALMENTE TENER EN CUENTA LOS ENSAYOS PREVIOS QUE SE DEBEN REALIZAR A LA MEZCLA CON EL FIN DE AJUSTAR DOSIFICACIONES Y LA PÉRDIDA DE MATERIAL POR REBOTE.



ESTAS DEBEN REALIZARSE CADA DÍA DE TRABAJO O POR CADA 38 M³ DE CONCRETO.

DEBE PERMANECER HÚMEDA Y A UNA TEMPERATURA ENTRE 15 Y 27 °C HASTA QUE SEA TRASLADADA AL LABORATORIO.

LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA DEBEN TOMARSE YA SEA DE LA ARTESA O DEL CONCRETO COLOCADO EN SITIO. Y DEBERÁN ENSAYARSE DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM C 1140.



DEBES VERIFICAR LOS SIGUIENTES ASPECTOS: LA CANTIDAD DE AGUA REQUERIDA, LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS,

LOS ADITIVOS PARA REDUCIR EL REBOTE Y MEJORAR LA PLASTICIDAD A LA VEZ QUE BAJAN LOS CONTENIDOS DE AGUA.



¿CÓMO SE REALIZAN LOS ENSAYOS A LA MEZCLA?

PARA LAS MEZCLAS SECAS SE EMPLEAN LOS PLASTIFICANTES, LUBRICADORES Y MEJORADORES DE TEXTURA,

DEBES SEGUIR LAS INDICACIONES DE LA NORMA ACI 506, LA CUAL ESPECIFICA QUE PARA EL CONTROL DE CALIDAD

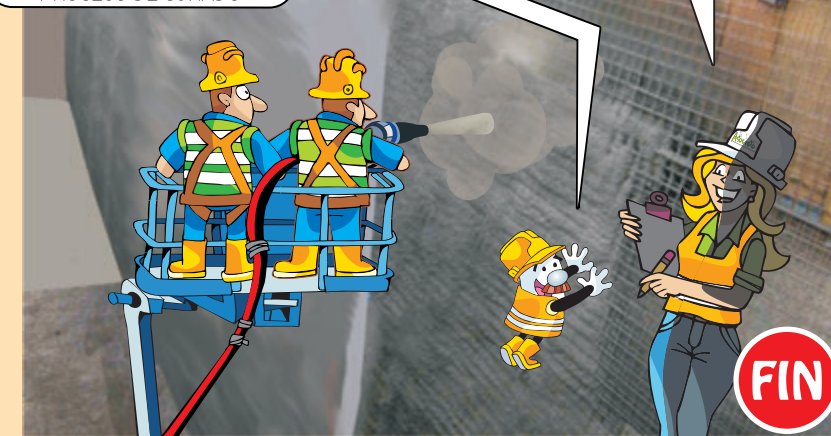
SE DEBE FABRICAR UNA ARTESA PARA CADA TIPO DE MEZCLA CON EL FIN DE ENSAYAR EL CONCRETO DEPOSITADO EN LAS MISMAS.



SIN EMBARGO, SE RECOMIENDA QUE NO SE HAGA EXTRAYENDO LOS ESPECÍMENES DE LA ESTRUCTURA POR LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA Y PORQUE EL PROCESO DE CURADO

PUEDEN QUE NO HAYA SIDO UNIFORME. ADEMÁS, LA CALIDAD DEL CONCRETO PUEDE VERSE INFLUENCIADA POR EL AGUA DE INFILTRACIÓN.

GRACIAS JOSÉ. CON TODO LO ANTERIOR PUEDO LOGRAR UNA ADECUADA CALIDAD DEL CONCRETO LANZADO.



FIN

¿SU ÚLTIMA IMPERMEABILIZACIÓN DEJÓ UNA GRIETA EN SU REPUTACIÓN?



PINTUCO® TRAE A COLOMBIA LA NOVEDOSA TECNOLOGÍA
AUTO-SELLANTE KRYTON®
QUE IMPERMEABILIZA SU CONCRETO
DEFINITIVAMENTE.



Única tecnología capaz de auto-sellar fisuras nuevas que aparezcan.



Impermeabiliza a altas presiones hidrostáticas, Certificado British Board of Agreement (BBA) N°05/4217.

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO PARA COLOMBIA
www.pintuco.com @pintucocolombia

f pintucocolombia pintucocolombia

Servicio al cliente ☎

018000 111 247
Desde Medellín al 325 25 23
Pintuco Colombia S.A



CONSTRUCCIÓN

LA CALIDAD DE NUESTRO PORTAFOLIO, SE VE REFLEJADA EN EL ÉXITO DE SUS PROYECTOS



Conozca el **portafolio** que **Toxement**
le ofrece para el **desarrollo de proyectos**
en **infraestructura**
#SOMOSINFRAESTRUCTURA

Proyecto • Doble Calzada Bogotá - Villavicencio

OFICINA PRINCIPAL: Calle 20C N° 43A - 52 Int. 4 Bogotá, Colombia
PBX: (1) 208 86 00 • FAX: (1) 208 86 00 Ext 133 - WWW.TOXEMENT.COM.CO
OFICINAS NACIONALES: • Medellín: (4) 448 01 21. • Cali: (2) 524 23 25. • Barranquilla: (5) 380 80 23
/ 382 05 22. • Bucaramanga: (7) 690 96 51 / 691 52 14. • Cartagena: (5) 653 62 31 / 653 62 47.



Síguenos como [/toxement.col](https://www.facebook.com/toxement.col)



**EUCLID GROUP
TOXEMENT**