

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, microsíllica, nanosíllica, 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 bajos 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 la 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 electro-soldadas, 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 encontraremos 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.

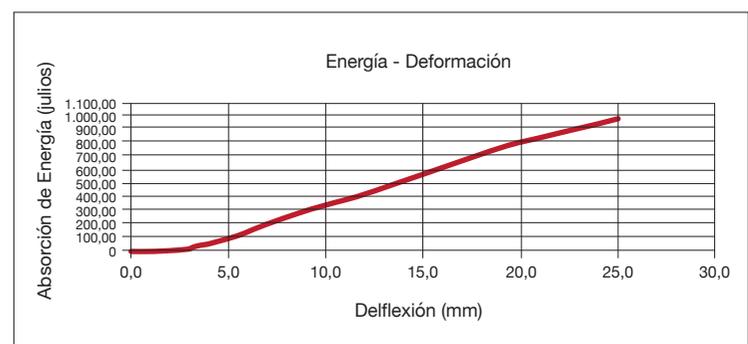
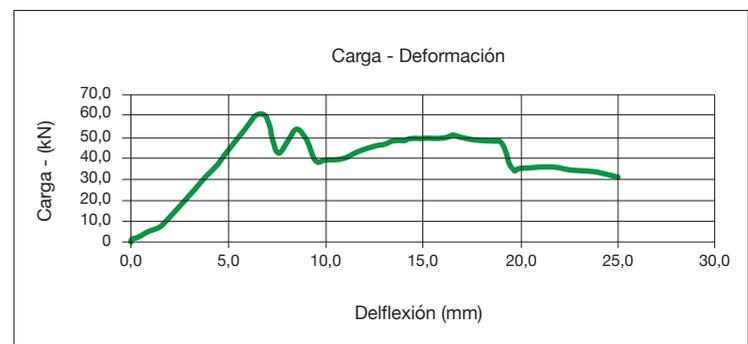
Ya en el laboratorio, y sobre la máquina de ensayo en que se realiza la prueba, a medida que se aplica la carga se debe ir midiendo la deformación en el centro de la placa de manera constante hasta alcanzar los 25 mm de deformación, y los dos datos de carga vs. deformación se registran a intervalos constantes 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.



AMPLIACIÓN AUTOPISTA NORTE, BOGOTÁ, COLOMBIA
TUBERÍA PARA HINGADO, INSTALACIÓN SIN ZANJA, Ø 1.60 M

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

T O D O E L
Concreto
 E S T Á E N
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.

Suscríbese 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



INTERNATIONAL
 Standards Worldwide
 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