

SUPLEMENTO MINERÍA

CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA

EN CONCRETO[®]



**Ampliación de la línea 12
del metro de la CDMX**





DIPLOMADOS

TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



ESTRUCTURAS DE CONCRETO



DURACIÓN 120 HORAS EN 10 MÓDULOS
\$33,000 + I.V.A. c/u

Inician el 26 de mayo de 2017, concluyen en mayo de 2018

Insurgentes Sur 1846, Col. Florida,
Delegación Álvaro Obregón, C.P. 01030

Tel. 5322 5740

www.imcyc.com

Contenido

- 2 Dovelas reforzadas con fibra de acero



- 9 Aditivos químicos en la industria del concreto lanzado en la minería mexicana



- 16 Ampliación de línea 12 de la CDMX



- 23 La norma mexicana del concreto lanzado



imcyc

INSTITUTO MEXICANO
DEL CEMENTO Y DE
CONCRETO A.C.

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente

Lic. Miguel Garza Zambrano

Vicepresidentes

Lic Pedro Carranza Andresen

Ing. Daniel Méndez de la Peña

Ing. José Torres Alemany

IMCYC

Director General

Ing. Roberto Uribe Afif

Gerencia Administrativa

MA. Rodrigo Vega Valenzuela

Gerencia de Difusión y Enseñanza

MA. Soledad Moliné Venanzi

Gerencia Técnica

Ing. Mario Alberto Hernández Hernández

SUPLEMENTO

Editor

MA. Soledad Moliné Venanzi

smoline@imcyc.com

Arte y Diseño

D.G. Norma Angélica Luna

nluna@imcyc.com

ÍNDICE DE ANUNCIANTES

IMCYC	2° DE FORROS
IMCYC	3° DE FORROS
IMCYC	4° DE FORROS
CGP APPLIED TECHNOLOGIES S.A. DE C.V.	15



/Cyt imcyc



@Cement_concrete



buzon@mail.imcyc.com



DOVELAS REFORZADAS CON FIBRAS DE ACERO



Por: Carlos F. Frutos Garmendia
Gerente Técnico y Comercial
LATAM para Bekaert Maccaferri
Underground Solutions carlos.
frutos@bm-underground.com

Fotografías: Google images

El túnel “El Torito” pudo ser desarrollado y diseñadas las dovelas de este túnel utilizando solo fibras de acero de alto desempeño basándonos en la experiencia de los resultados de ensayos de laboratorio llevados a cabo en Costa Rica y posteriormente a escala real en la Universita’ di Roma “Tor Vergata” de los segmentos prefabricados hechos para el túnel de Monte Lirio en Panamá mismos que se presentan en este documento como referencia de los valores de ingeniería obtenidos y verificados en estas pruebas de escala real. Los segmentos fueron colados utilizando únicamente fibra de acero para el refuerzo del concreto y se omitió en su totalidad el refuerzo tradicional, mediante el uso

de fibra de acero de alto desempeño de medio carbón, estos segmentos se calcularon estructuralmente utilizando pruebas de laboratorio de viga según la norma EN-14651 para la obtención de valores estructurales denominados fR1 al fR4 según los requisitos de diversos métodos de cálculo.

Las pruebas de flexión se realizaron con el fin de comprobar la capacidad de soporte de los segmentos dentro de las acciones a flexión, que se produce en las fases de desmoldado, manipulación, almacenamiento, así como en la condición in situ (debido a la presión del suelo asimétrica). Además, las pruebas de carga puntual que simulan el empuje de la maquina tuneleadora mecanizada (TBM) se realizaron, con el fin de estudiar la fase de construcción (excavación).

Los resultados muestran que la respuesta del segmento en gran parte respetan las prescripciones del diseño, permitiendo una solución real y confiable para la construcción de túneles prefabricados.

La posibilidad de utilizar concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) en sustitución de las varillas de acero tradicional como refuerzo ha sido un tema de gran interés dentro de la ingeniería civil en la actualidad. A partir de las primeras aplicaciones del CRFA en losas sobre terreno desde 1970, donde el refuerzo con malla o varilla tradicional ha sido sustituido completamente utilizando fibras de acero como único refuerzo, desde ese momento y hasta este momento se ha propuesto el CRFA para uso estructural en diferentes aplicaciones.

La utilización del CRFA como refuerzo de este tipo de estructuras prefabricadas permite obtener varias ventajas en comparación con el concreto armado tradicional, con un aumento del desempeño estructural y una reducción de los costos. No obstante, hay que notar que estas ventajas ya no se limitan gracias a nuevos materiales, fibras, certificaciones y diseños a estructuras

particulares como en este caso lo son los segmentos prefabricados para túneles, donde el proceso industrializado aumenta el beneficio de usar tal material compuesto.

En cuanto a los aspectos estructurales, el refuerzo con fibras de acero de alto desempeño mejora el rendimiento del material dentro de las acciones de tracción, es notable el aumento de la tenacidad así como la mejoría en el control de fisuración. Además, la presencia de las fibras de acero en la matriz del concreto tiene un efecto tridimensional importante en el aumento de la fatiga y en la resistencia al impacto. En cuanto a la reducción de costos, esto se puede apreciar, cuando la sustitución de refuerzo tradicional se da por fibras de acero que generalmente son menos caras ya que está relacionado con una reducción significativa en el costo de materiales almacenados con mucha antelación así como en el costo de mano de obra especializada y el tiempo.



En los últimos años hay un interés en el uso de CRFA en los segmentos de túnel prefabricado sobre todo cuando se utilizan Maquinas Tuneleadoras (TBM). La forma curva de estos elementos conduce a la utilización de refuerzo ordinario con detalles complejos. Además, estas estructuras son sometidas principalmente a más esfuerzos durante las fases de

construcción que en la etapa de puesta en servicio. Por lo tanto, es importante, para mantener la integridad estructural - limitar la fisuración del concreto - principalmente en el pasos de curado, desmoldado y montaje. Cuando el segmento puede ser sometido a cargas de impacto es durante la manipulación y es sometido habitualmente a cargas puntuales por los gatos del TBM. El refuerzo con fibras de acero de alto desempeño es particularmente adecuado para este fin. Otra de las ventajas en el uso de CRFA en los segmentos prefabricados para túneles están relacionadas con la posibilidad de quitar la protección catódica, cuando el refuerzo tradicional

importante en la resistividad del concreto. Al aumentar la concentración de fibra metálica se verifica un descenso de la resistividad. Para diferentes proporciones de fibra metálica, los valores medios son similares.” Profesor Ricardo Bonilla, Universidad Central de Venezuela.

Dos diferentes tipos de pruebas experimentales se han realizado: a) las pruebas de flexión con el objetivo de evaluar la capacidad de carga a flexión que puede ocurrir durante las etapas de transición (es decir, desencofrado, almacenamiento y la fase de movimiento y en el campo debido a la presión del terreno en forma asimétrica) b) pone a prueba el empuje capaz de reproducir la

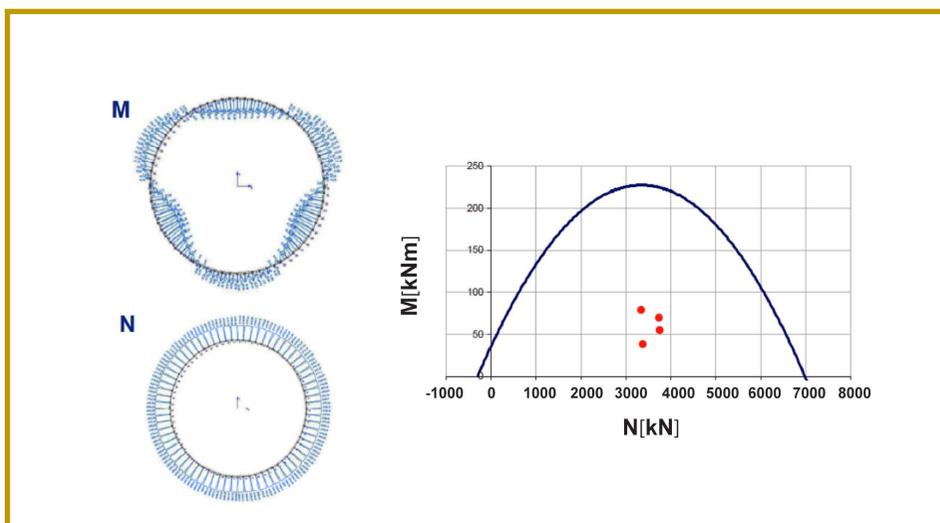


Figura 1

se omite, ya que las fibras se dispersan tridimensionalmente en la matriz del concreto de forma homogénea y la ausencia de contacto entre ellas no permite la transmisión de la corriente como ha podido ser observado en otros estudios para proyectos de diversas líneas de Metro.

“Las magnitudes reportadas, mantienen una correspondencia con los valores que se encuentran en la literatura. Se observó que la adición de micro sílice produce un incremento

acción del TBM en el segmento durante el proceso de excavación, ver Figura 1.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este diseño para el proyecto de la hidroeléctrica “El Torito” se da en condiciones muy extremas para operar. El túnel fue hecho usando 2,387 anillos de 1.5 metros para una longitud de 3,580 metros y un diámetro de 7.08 metros.

MATERIAL

Los segmentos son colados utilizando un concreto reforzado con fibras de acero de medio carbón con cuatro ganchos patentados en los extremos, encoladas y fabricadas con acero de alta resistencia ($R_{M, nom} = 1500 \text{ N/mm}^2$), módulo de elasticidad $E = 205,000 \text{ N/mm}^2$, teniendo una longitud de 60 mm y un diámetro igual a 0.75 mm (relación de aspecto igual a 80) certificadas por la norma EN-14889-1 como fibras de acero sistema 1 para uso estructural con una dosis mínima de 15 kg/me para dar los valores mínimos para el ELS y ELU citados en las normas EN-14889-1 y EN-14845-1.

El comportamiento a la tracción de los materiales se ha caracterizado realizando ensayos a flexión en una viga aserrada con la geometría que se muestra en la (fig. 2). Las pruebas se realizaron según la norma EN-14651 del Código Europeo. La resistencia a la compresión de los materiales fue medida por medio del ensayo de cubo que tiene 150 mm, por lado. Por cada colado para la producción de cada segmento, tres vigas se produjeron por cada segmento colado.

Particularmente, vale la pena señalar que, de acuerdo con la norma EN-14651, la resistencia nominal en correspondencia con cuatro diferentes aberturas de desplazamiento de la boca de fisura – CMOD (Crack Mouth Opening Displacement por su abreviatura en inglés) (0.5, 1.5, 2.5 y 3.5 mm) se evalúan para obtener los valores de diseño estructural f_{R1} , f_{R2} , f_{R3} y f_{R4} .

RESULTADOS

Pruebas a flexión

En cada prueba los desplazamientos fueron medidos por los transductores de 4 hilos y son prácticamente coincidentes, destacando que ninguna torsión del segmento estuvo presente.

Una micro-fisura apareció por primera vez para una carga de 130kN aproximadamente (relacionada con

un desplazamiento del centro del claro de aproximadamente 1.25 mm) para el segmento BK1 y para una carga de 150kN aproximadamente, (relacionado con un desplazamiento del centro del claro de aproximadamente 1.25 mm) para el caso BK2. En ambos ensayos la micro-fisura se formó cerca del centro del claro del segmento y rápidamente se propagó a lo largo de la superficie interior curva del arco (Fig. 7a).

Prueba de carga puntual

La historia de la prueba de carga la puntual se muestra en la Figura 8. Cuatro fases de carga se han impuesto:

1. una carga hasta 100kN para la disposición de sistema;
2. una carga hasta 785kN para cada zapata, que representa el valor límite de diseño;
3. una carga hasta 1,100kN para cada zapata, lo que representa la carga máxima de los gatos del TBM;
4. una carga hasta 2,000kN para cada zapata (carga máxima de los gatos de laboratorio).

Las primeras micro-fisuras aparecieron para un nivel de carga de 1,650kN (para cada zapata) entre las dos zapatas. El patrón de la fisura en la carga máxima, igual a 2,000kN (para cada zapata), con un aumento de longitud pequeño de los dos fisuras entre las zapatas cargadas.

Hay que señalar que la primera micro-fisura se produjo a un nivel de carga (1,650kN) más alto que el valor de diseño (785kN) y la carga máxima de la tuneledora (1,100kN). Además, se puede notar que el refuerzo con fibras de alta relación de esbeltez, alto desempeño y con anclajes patentados pueden controlar el desarrollo de fisuras al redistribuir estos esfuerzos con las demás fibras que se encuentran a su alrededor ayudando a generar muchas micro-fisuras como signo de la redistribución de los esfuerzos aplicados, con un aumento limitado de la longitud

de fisura aumentando la carga de 1,650kN a 2,000kN.

DISEÑO

Después de obtener los valores de ingeniería de las pruebas de viga EN-14651, teniendo los valores para el Estado Límite de Servicio (SLS) " f_{R1} " y Estado Límite Ultimo (ULS) " f_{R3} ", se procede a seguir los siguientes pasos para poder desarrollar la propuesta de ingeniería preliminar de los segmentos para cada túnel en específico:

Se deben de considerar como mínimo los siguientes puntos mínimos de la información de diseño para los segmentos del túnel donde se debe de incluir el nombre del túnel o nombre de referencia del túnel así como su longitud en metros.

1. Geometría de los segmentos:

Para un diseño preliminar con dovelas, se requiere la siguiente información:

- **Geometría de las dovelas del túnel:** espesor, radio, ancho, ángulo del segmento, número de segmentos por anillo, dimensiones de las zapatas del RAM (gato de empuje);
- **Propiedades de los materiales:** resistencia a compresión y resistencia residual a flexión, a edad temprana y a largo plazo;
- **Factores de seguridad de los materiales:** concreto, CRF y barras de acero dependiendo de las condiciones de carga (EC2);
- **Factores de seguridad de carga:** para el desmoldado, el factor dinámico es $\gamma_D = 3.00$; para el apilado $\gamma_F = 1.35$ (factor de carga



2. Geometría de las juntas:
3. Información del concreto:
4. Información sobre el desmoldado o desencofrado:
5. Información sobre el estibado o almacenamiento:
6. Datos de la maquina tuneleadora (TBM):
7. Fuerzas de la sección generadas por cargas del terreno (cargas persistentes y transitorias (ULS)):

estático) y $\gamma_D = 1.50$ (factor de carga dinámica) para las cargas de empuje de los gatos del TBM, $\gamma_j = 1.05$ (para carga máxima);

- **Desmoldado y manipulación:** Tipo de dispositivo de izaje (mecánico o succión), separación de los puntos de izaje o ancho de la succión;
- **Almacenamiento de las dovelas:** n° de segmentos apilados, espaciamiento de apilamiento, excentricidad de los soportes;

- **Cargas de empuje del TBM:** carga máxima del TBM, n° de gatos, dimensiones de la zapata, excentricidad;
- **Fuerzas axiales N, momentos flexionante M, fuerzas de corte V (carga del suelo).**

Una vez obteniendo todos estos valores preliminares de diseño y conociendo los resultados de las pruebas de viga según la norma EN-14651 para la resistencia de concreto y la dosis y tipo de fibras de acero seleccionadas previamente y señaladas, entonces se puede iniciar el modelado de la propuesta preliminar de ingeniería.

Con esta información de valores de ingeniería, podemos proceder al desarrollo de nuestra propuesta preliminar ya que conocemos que el tipo de fibra a utilizar cumple con las certificaciones necesarias para uso estructural según la norma EN-14889-1 y conocemos su dosis mínima certificada para obtener los valores mínimos requeridos para cualquier fibra de acero para el Estado Limite de Servicio y Estado Limite Ultimo, estos valores mínimos se deben de dar con una cuantía mínima de fibra que cada proveedor deberá certificar.

El diseño estructural de elementos reforzados con fibras de acero se basa en la resistencia residual post-fisuración proporcionados por refuerzo de las fibras de acero. En otros casos, como son el control de las fisuras en edad temprana o la resistencia al fuego, están consideradas como uso no estructural de CRFA.

Para el uso estructural, se debe garantizar un desempeño mecánico mínimo del CRFA. Las fibras se pueden utilizar para mejorar el comportamiento en SLS, ya que pueden reducir el espaciamiento de las micro-fisuras y el ancho de ellas, mejorando así la durabilidad del elemento reforzado. Las fibras pueden usarse para mejorar el comportamiento en ULS donde pueden

parcial o totalmente sustituir el refuerzo de acero convencional, para este caso se buscara la sustitución total del acero de refuerzo convencional, las propiedades mecánicas de una matriz de concreto se modifican cuando se añaden fibras, sin embargo, las propiedades elásticas y la resistencia a la compresión no se ven afectadas por el uso de las fibras, a menos que se use un altas dosificaciones.

El valor correcto para el registro ULS de la flexión combinada y la sección esfuerzo de compresión, se obtiene dividiendo el valor característico de resistencia a la tracción residual $f_{t,uk}$ por el factor de seguridad del concreto $\gamma_c = 1.5$ (para el concreto reforzado con fibra es el mismo en compresión y tensión y se puede reducir hasta 1.3), conforme al Model Code 2010:

En todas las estructuras de CRF sin el mínimo refuerzo convencional, una de las siguientes condiciones que deben cumplirse son:

$$\delta_U \geq 20 \delta_{SLS}; \delta_{Peak} \geq 5 \delta_{SLS}$$

donde δ_U es el desplazamiento ultimo, δ_{Peak} es el desplazamiento a la carga máxima y δ_{SLS} es el desplazamiento a la carga máxima de servicio computadas por un análisis de desempeño elástico lineal con los supuestos de concreto no agrietado y módulo de Young inicial.

Usualmente, δ_U está relacionada con el requerimiento de deformación máxima de la estructura. La carga ultima P_U siempre debe ser mayor que la carga al comienzo de la fisura P_{cr} y más alta que la carga máxima de servicio P_{SLS} .

Para clasificar la resistencia post fisuración del CRFA, se debe de asumir un comportamiento lineal elástico, considerando los valores característicos de la resistencia residual que serán significativos para los valores en condiciones de servicio ($fR1k$) y último ($fR3k$).

En particular dos parámetros, llamados $fR1k$ (representado los intervalos de la resistencia) y una letra a, b, c, d ó e (representados por la relación $fR3k/fR1k$).

Los intervalos de la resistencia son definidos por dos números subsecuentes en esta serie:

1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, ... [Mpa]

Mientras que las letras a, b, c, d, e corresponden a las relaciones:

a si $0.5 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k} \leq 0.7$

b si $0.7 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k} \leq 0.9$

c si $0.9 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k} \leq 1.1$

d si $1.1 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k} \leq 1.3$

e si $1.3 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k}$

El diseñador tiene que especificar la clase, la relación de la resistencia residual y el material de la fibra. Refuerzo de fibra puede sustituir (también parcialmente) refuerzo convencional en estado límite último, si se cumplen las siguientes relaciones (Figura 13):

$$f_{R,1k} / f_{Lk} > 0.4 f_{R,3k} / f_{R,1k} > 0.5$$

CONCLUSIONES

Las pruebas a flexión y de carga puntual han demostrado la eficacia de las fibras de acero de alta relación de esbeltez de medio carbón para asegurar los resultados requeridos. Las cargas de fisuración han sido mayores que las acciones del TBM reales demostrando que la presencia de fibras de acero controla de forma eficiente la apertura de fisura.

La solución adoptada es sostenible con respecto a las soluciones tradicionales con varillas de acero, con ventajas económicas, junto con un buen comportamiento estructural.

No obstante, con el fin de obtener los resultados deseados en cada proyecto en específico, vale la pena señalar la necesidad de desarrollar un estudio preciso del material cuando menos en la prueba de viga EN-14651, para obtener la tipología de fibra adecuada para una matriz específica y sus valores de diseño estructural como se ha visto en este documento. **C**

REFERENCIAS

Bonilla R., Medición de la resistividad del concreto con diferentes contenidos de fibra metálica – Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, 2005

Frutos, C., Uso de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas en túneles, Obtención de los valores de diseño – Revista Construcción y Tecnología – Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto – Julio 2015, pp. 27-29

Falkner, H., Huang, Z., and Teutsch, M.: Comparative Study of Plain and Steel Fiber Reinforced Concrete Ground Slabs – Concrete International, V. 17, No.1, pp. 45-51, 1995.

Romualdi, P., and Batson, G.B.: Mechanics of Crack Arrest in Concrete – ASCE Journal of Engineering Mechanics, V. 89, No. EM3, pp. 147-168, 1963.

De Rivaz, B., Meda, A., Perruzza, P., Rinaldi, Z., Romualdi, P.: Full scale test on precast tunnel segments made in concrete reinforced with high strength steel fibers, World Tunneling Conference 2012 paper Z2

Meda, A.: Design of precast tunnel segments with fiber reinforced concrete according to Model Code 2010, 2010

Walraven, J.: The evolution of Concrete – Structural Concrete, V. 1, 1999, 3-11, 1999.

Di Prisco, M., Plizzari, G. A., Felicetti, R.: 6th RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concretes (BEFIB 2004), RILEM Publications, Bagneaux (France), 2004.

Alberto Meda, Zila Rinaldi: Tests On Precast Tunnel Segment Of The Monte Lirio (Panama) Tunnel, Università di Roma "Tor Vergata" 2011

Burgers R., Walraven J., Plizzari, G.A. and Tiberti, G., (2007): "Structural behaviour of SFRC tunnel segments during TBM operations", in World Tunnel Congress ITA-AITES 2007, Praga, pp. 1461-1467.

Plizzari, G.A. and Tiberti, G., (2006): "Steel fibers as reinforcement for precast tunnel segments", in World Tunnel Congress ITA-AITES 2006, Seoul (S. Corea), April 22-27.

Caratelli A., Meda A., Rinaldi Z., Romualdi P.: Structural behavior of precast tunnel segments in fiber reinforced concrete – Tunneling and Underground Space Technology. doi:10.1016/j.tust.2010.10.003.

Frutos, C., Segmental Linings Design & Case Studies – ITACET – 4th International Tunnel course "Tunneling in Soft Soil" December 2016, Mexico City, Mexico

Fib Bulletins 55-56: Model Code 2010 – First complete draft. 2010.

EN 14651: Test method for metallic fiber concrete. Measuring the flexural tensile strength. 2005.



ADITIVOS QUÍMICOS EN LA INDUSTRIA DEL CONCRETO LANZADO EN LA MINERÍA MEXICANA



Por: **Ángel Jiménez**
R&D Engineer-México

Angel.jimenez@gcpat.com
CGP Applied Technologies

PANORAMA GENERAL

Desde el desarrollo del concreto lanzado en los Estados Unidos a principios del siglo XX, este tipo de concreto ha ido expandiéndose a más y más aplicaciones dentro de la industria de la construcción. Esta gama de aplicaciones que va desde el recubrimiento de piscinas hasta soporte de roca en túneles de infraestructura carretera y minera, ha experimentado el uso de toda clase de tecnologías a nivel global en cuanto a aditivos químicos se refiere. México no es la excepción al ser un país eminentemente minero desde su colonización en 1521. Si se toma como punto de partida esta fecha histórica, en México se han extraído y se siguen extrayendo un gran variedad de minerales de las entrañas de la Tierra por lo que a medida que la investigación y el desarrollo de nuevos productos químicos avanza, los retos dentro de la industria minera en cuestión de concreto lanzado van siendo mayores.



Figura 1. Ataque químico al concreto lanzado en túnel de minería.

Si bien para realizar una mezcla de concreto simple se requiere de cemento, agregados y agua, cuando se habla de concreto lanzado se debe tener en cuenta que el objetivo principal de este tipo de concreto es proveer la máxima adherencia a la superficie a la que se proyecta y, desarrollar resistencia en un lapso de tiempo en extremo corto. Teniendo en cuenta estos dos objetivos, la industria minera se apoya de los aditivos químicos para conseguir esto.

Partiendo del conocimiento de las fases químicas del cemento, hay que resaltar el importante papel del C3A para el concreto lanzado; este complejo compuesto químico llamado Aluminato Tricálcico es el responsable principal de que el concreto lanzado tenga un fraguado inicial de cuestión de minutos, entonces, el aditivo conocido como acelerante de fraguado será responsable de reaccionar con esta fase del cemento para alcanzar dicho tiempo de fraguado. Éste es uno de las etapas finales en la producción del concreto lanzado; pero

¿qué hay al inicio de este proceso? Para tener un panorama más claro, vale la pena mencionar de manera general que en México se pueden distinguir dos tipos de minas (una manera práctica de clasificarlas en función de los productos químicos a usar), las minas con alta temperatura y humedad relativa elevada, por ejemplo en zonas como Guerrero, zonas de Zacatecas, Sonora, etc., donde las temperaturas al interior de mina alcanzan los 40 °C y humedades relativas del 90% y, las minas con temperaturas y humedad relativa baja, por ejemplo, el corredor minero de Chihuahua, donde las temperaturas no superan los 23°C y poseen una humedad relativa de alrededor de 30–40%.

Tomando el primer grupo de minas donde las temperaturas alcanzan los 40 °C y la humedad relativa alcanza 90% o más, la industria echa mano de los aditivos base Policarboxilato (PC) buscando que estas condiciones tan agresivas tengan el menor impacto posible a la hora de producir, transportar

y colocar el concreto que servirá como soporte de roca al interior de las minas. Si se plantea el caso en una mina en cuya temperatura interior es de 35°C con una humedad relativa del 95 %, donde la planta de concreto se encuentra en la superficie fuera del sitio donde se localiza la mina, y un tiempo de traslado de 4 hr al frente de excavación y/o zarpeo, los aditivos reductores de agua convencionales casi por seguro no podrán proporcionar el desempeño requerido para que el concreto llegue al sitio con las propiedades necesarias para ser lanzado (causando taponamientos a la bomba, redosificaciones, dificultades para lanzar, en pocas palabras, un sobre costo para el contratista), por ello, el uso de un policarboxilato diseñado a la medida de las necesidades de la obra, es ventajoso en este tipo de situaciones. ¿Qué hace a este tipo de aditivos tan especiales? Sin duda que los fabricantes de este tipo de polímeros pueden adaptar su estructura atómica de tal manera que al momento de ser dosificados, el efecto sea el deseado, la permanencia extendida. Para tener más claro este concepto, es necesario resaltar que existe un conjunto de moléculas de policarboxilato enfocado a este fin, las moléculas de cadena principal larga y cadenas laterales cortas. Hoy en día, los fabricantes de PC pueden alargar o acortar las cadenas principales y laterales tanto como lo deseen a nivel de síntesis orgánica. En general, este tipo de PCs, proveen alrededor de 2 a 3 horas de permanencia a nivel industrial (dependiendo del diseño, materiales, etc). Ahora bien, regresando al ejemplo de planteado, considerando que se pueden tener hasta 2-3 hr de permanencia con un aditivo base PC, el uso de aditivos retardantes/estabilizadores de la hidratación, hace más fácil alcanzar las 4 horas o más de permanencia de revenimiento o extensibilidad, a mayor dispersión, más eficiencia de los estabilizadores de la hidratación.

Para el segundo grupo de minas donde las condiciones ambientales son menos agresivas, es recomendado utilizar otro tipo de policarboxilatos distintos a los que se mencionan en el párrafo anterior que se conocen como polímeros de cadenas laterales largas y cadena principal corta (a veces puede ser relativamente larga también pero depende del fabricante de estos polímeros), ya que este tipo de polímeros proveen una alta reducción de agua, mejorando la dispersión e hidratación de las partículas de cemento y proveyendo una permanencia de revenimiento o extensibilidad que funciona para estas condiciones ambientales.

Cabe señalar que cuando se menciona el uso de aditivos base policarboxilato para minería, se busca explotar al máximo las propiedades que ofrece este tipo de tecnología al concreto que son: trabajar con relaciones agua cemento más bajas, tener el máximo nivel de hidratación de las partículas de cemento con el mayor contenido de éste por metro cúbico, generar mejores y más rápidas resistencias iniciales que al final se traducen como una ganancia para el contratista.

DURABILIDAD Y SEGURIDAD EN EL CONCRETO LANZADO

En los años más recientes cada vez más compañías productoras de concreto y dueños de grandes obras a nivel global están preocupados por la seguridad de sus empleados y por la durabilidad de los trabajos de concreto que contratan; la industria química debe estar a la altura para satisfacer las necesidades de la industria a nivel internacional y dentro del mundo del concreto lanzado como soporte de roca para minería, esto no es la excepción. Como muestra se tiene la utilización de Microsilíce como material cementicio en mezclas de concreto lanzado.

Uno de los conflictos que enfrentan las empresas mineras y lanzadoras de concreto son los ambientes y suelos altamente agresivos para el concreto convencional donde los altos contenidos salinos (entiéndase como salino presencia de sulfatos, carbonatos, fosfatos, etc.) en el suelo cercano a los trabajos de excavación así como las grandes cantidades de agua, filtraciones y fallas de las rocas presentes a nivel subterráneo, hacen que el concreto sufra toda clase de ataques químicos disminuyendo de manera importante la durabilidad del concreto lanzado y principalmente, aumentando el riesgo en materia de seguridad para las personas que laboran en el sitio.

Al adicionar humo de sílice o Microsílice, se disminuye en gran medida el ataque químico de estas sales presentes en el suelo al densificar la matriz cristalina de cemento generando que dichas sales se vean impedidas para reaccionar con los agregados utilizados en las mezclas de concreto; además, otra de las propiedades de la Microsílice al ser un material cementicio, aporta resistencia a la compresión al tener reacción de cristalización similar a la del cemento con el agua y aditivos; asimismo, el uso de la Microsílice permite reducir el porcentaje de rebote del concreto lanzado actuando como un tipo de modificador de viscosidad.

Sin embargo, el uso de este material cementicio trae una serie de limitaciones asociadas a su uso, tanto a nivel operativo como a nivel de seguridad industrial. La primera limitación es la pureza de este material ya que su procedencia hace que haya variaciones en cuanto a la cantidad de sílice presente, provocando una variación significativa en el desempeño de la mezcla de concreto lanzado. La Microsílice contiene una importante cantidad de impurezas que puede causar efectos no deseados dentro para el concreto lanzado como retrasos en el tiempo de fraguado. La segunda limitante es su manejo ya que

su presentación es en polvo, que al ser aspirado puede provocar enfermedades crónicas al operador como silicosis.

Como resultado de estas limitaciones, surge la necesidad de apoyarse en la industria química para reemplazar el humo de sílice por otra sustancia que tenga un desempeño similar resolviendo los retos asociados con el uso de la Microsílice. La industria de aditivos para concreto ha desarrollado aditivos puzolánicos controladores de la reología (la así llamada Nanosílice) del concreto como producto alternativo a la Microsílice que proveen un desempeño superior o en el peor de los casos equivalente al del humo de sílice evitando las limitaciones mencionadas previamente.

Este tipo de aditivos viene en presentación líquida al ser un compuesto generado en el laboratorio utilizando nanotecnología, lo que hace que el producto sea totalmente estable en cuanto a variaciones en su pureza. Al ser un producto generado por nanotecnología, el tamaño de partículas es 1000 veces más pequeño que el de la Microsílice, lo que provoca que este material (aditivo) tenga una reacción de hidratación puzolánica más rápida y controlada comparada con el humo de sílice.

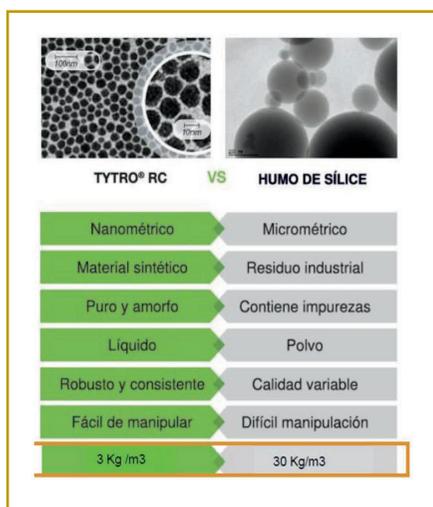


Figura 2. Comparativa de propiedades físicas de la nanosílice vs Microsílice.

Citando a Yurdakul et al. (2015), "cuando se añade este aditivo a la mezcla de concreto fabricado por vía húmeda, se incrementa significativamente la cohesividad de la mezcla reduciendo sangrado y segregación. Por ende, se mejora la bombeabilidad, se reduce el porcentaje de rebote y se incrementa el grosor de capa del concreto lanzado por pasada".

A nivel microscópico, el tamaño de partícula de la nanosílice, hace que ésta reaccione de manera más rápida al haber una superficie de contacto mayor con el agua y aditivos. De igual forma, el tamaño de la nanosílice favorece el llenado de los espacios de la matriz de cristalina de cemento mejorando la estructura microscópica. Al ser un material con actividad puzolánica, la nanosílice reacciona con el hidróxido de calcio incrementando la cantidad

de gel de CSH (uno de los compuestos químicos responsables del desarrollo de resistencia a la compresión). Lo anterior se reduce en pocas palabras a la mejora de la durabilidad del concreto lanzado. En comparación con la Microsílice y adicionada en la proporción adecuada, la nanosílice puede acelerar a el proceso de hidratación a edad temprana de la mezcla utilizada para el concreto lanzado, disminuyendo el tiempo de fraguado y aumentando en desarrollo de resistencias a muy tempranas edades en comparación con mezclas donde se utiliza la Microsílice.

Si se piensa en las propiedades que trae la utilización de un producto como la nanosílice en combinación con la última tecnología de aditivos base policarboxilato, aspectos como alta permanencia de revenimiento o extensibilidad, mejora en la hidratación

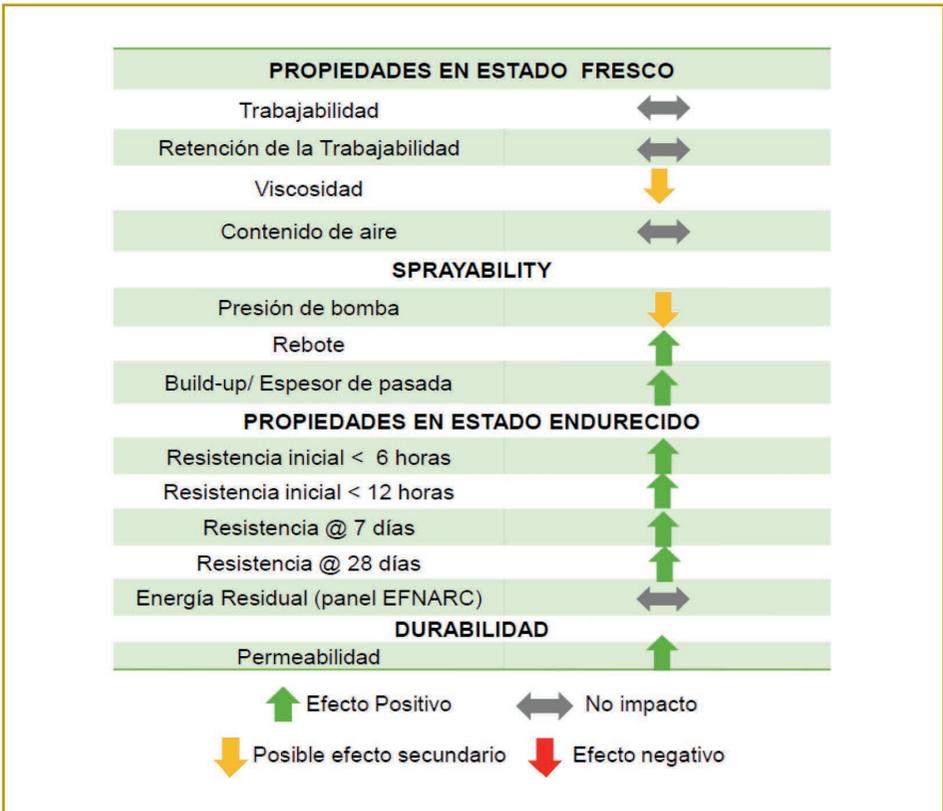


Figura 3. Comparativa del uso de la nanosílice vs Microsílice en concreto lanzado.

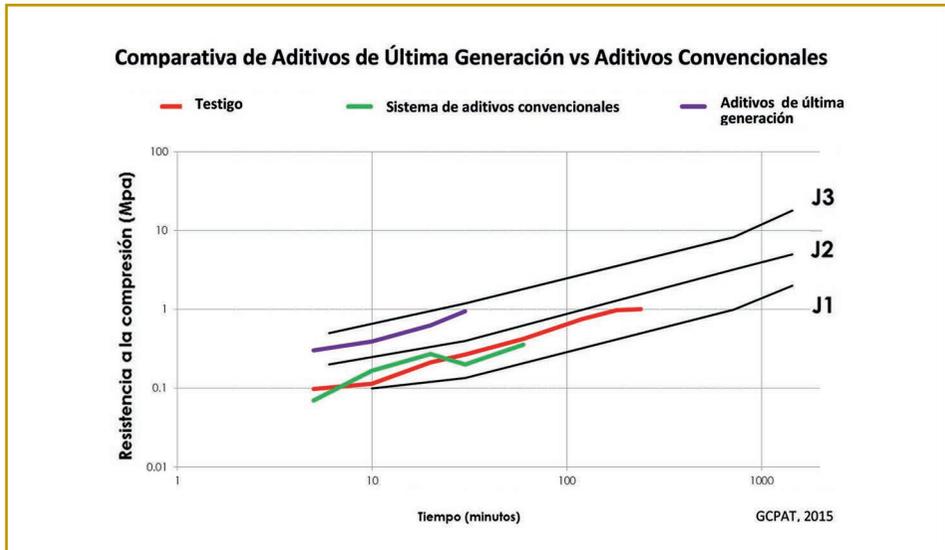


Figura 4. Comparativa de aditivos convencionales vs Aditivos de última generación (Policarboxilato + Nanosílice).

del cemento al trabajar con la mínima relación agua/cemento posible en conjunto con mayor espesor de capa por pasada, reducción del porcentaje de rebote, mejora en tiempos de fraguado del concreto lanzado y mayor desarrollo de resistencia a compresión a muy tempranas edades, se puede alcanzar una alta eficiencia en cuestión de avance de obra en un menor tiempo, lo que resulta fundamental a nivel de extracción de minerales apoyado en el concreto lanzado. Menores tiempos en el avance de la obra, resulta en un menor costo de producción al verse reducidos los tiempos de espera para continuar la excavación, mayor eficiencia de trabajo en horas/hombre, etc. Con una visión de lo que esto puede resultar a largo plazo en términos de ahorros para la industria de la minería, la industria química de aditivos para concreto, ofrece su toda su tecnología para alcanzar estos objetivos. Con un panorama un poco más amplio de lo que puede ofrecer la industria de aditivos para concreto a la producción de concreto lanzado, vale la pena hacer una evaluación detallada de qué tan eficiente se puede ser en términos de producción

de concreto lanzado, durabilidad, seguridad para el trabajador y costo de producción teniendo en cuenta la tecnología de aditivos para concreto existencia hoy en día en el mercado. Vale la pena pensar también a largo plazo donde el desarrollo de una mezcla de concreto lanzado enfocada en los puntos mencionados arriba (eficiencia, durabilidad, seguridad, etc.) puede traer los máximos beneficios para la industria minera en México que aún tiene mucho que dar en los años por venir. **C**

REFERENCIAS

- Yurdakul et al. (2015). A Case Study on the Impact of Pozzolanic-Based Rheology Control Agent on Wet-Mix Shotcrete Performance in Underground Applications. Boston, Estados Unidos.
- Ovstaas, G., Heere, R., Horth, R., and Yurdakul, E. (2015). Evaluation of the use of colloidal silica as a silica fume replacement in wet mix shotcrete. Proceedings of the 5th International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications, Whistler, Canadá.

GRACE



Enfocados en el Conocimiento



Grace Construction Products, la marca conocida y de confianza, tiene un nuevo nombre – GCP Applied Technologies.

Una larga historia con mentalidad de liderazgo y una base de conocimiento siempre creciente son el motor de la cultura en GCP Applied Technologies.

Nuestros científicos e ingenieros han generado grandes descubrimientos en las industrias del concreto premezclado, materiales de construcción y empaques industriales por décadas y se han adjudicado más de 900 patentes. El conocimiento es la fuente de nuestra innovación y el descubrimiento construye nuestro creciente portafolio de tecnologías aplicadas.

GCP Applied Technologies
Transformando conocimiento en innovación



AMPLIACIÓN DE LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CDMX



Por: **Secretaría de Obras y Servicios
de la Ciudad de México.**

Fotografías: Secretaría de Obras y
Servicios de la Ciudad de México.

La Ciudad de México, la metrópoli más grande de América Latina, mueve cada día alrededor de 20 millones de personas: ocho millones de habitantes y 12 de visitantes. Por ello, realiza múltiples esfuerzos para mejorar la conectividad y disminuir los tiempos de traslados de los ciudadanos.

El próximo año el Tren Interurbano México-Toluca llegará a Observatorio y diariamente transportará a 270 mil usuarios; la Línea 1 del Metro es la única que operará para transportar a este número de personas.

exitoso a nivel mundial debido al control que existe para conformar los túneles, y cuya resistencia es mayor, ya que, inmediatamente después de la excavación parcial del terreno, se instala la estructura de soporte.



Por lo anterior, y para reforzar la Línea 1, la Línea 12 del Metro se extenderá 4.6 kilómetros, de Mixcoac a Observatorio. Con esta extensión, este corredor de transporte masivo alcanzará más de 30 kilómetros de longitud y será el más largo de la Ciudad de México, ofreciendo más opciones para los traslados a los diferentes puntos de la Capital y brindando mejores alternativas de conectividad con transporte público hacia la zona de Santa Fe, la cual al día de hoy no cuenta con ningún medio de transporte masivo.

La ampliación de la Línea 12 del Metro se realiza con un método de construcción tradicional tipo austriaco que es muy

Para descender al túnel se habilitan perforaciones verticales conocidas como lumbreras, que funcionan como entrada y salida de material y maquinaria; al concluir la obra, algunas facilitan la operación del sistema de transporte para fungir como unidades de rectificación, ventilación y/o salidas de emergencia.

Una de las ventajas de este método constructivo es que las afectaciones a la vialidad son mínimas, ya que el confinamiento es menor y las obras mayores se realizan al interior de las lumbreras y en los diferentes tramos del túnel; a la par, también las molestias a los vecinos de la zona son menores.



**Figura 2. Vista aérea de la lumbrera de Calle E; el entorno opera con normalidad
Avanza la obra subterránea**

Anteriormente, para la construcción de una línea del Metro se realizaban confinamientos de vialidades enteras, por ejemplo, para la Línea 1 del Metro se paralizaron Av. Chapultepec e Izazaga, para la Línea 2 la Calzada

México Tacuba y una gran parte del Centro Histórico, para la Línea 3 Avenida Cuauhtémoc y Av. Universidad. En los últimos años, para la Línea B del Metro se cerró el Eje 1 Norte, o en la Línea 12 se confinaron los ejes 7 y 8 Sur.



Figura 3. Armado de estructura de acero de hastiales previo a su colado.

El método constructivo elegido en la ampliación de la Línea 12 del Metro nos permite que las vialidades operen con normalidad; el tránsito de peatones y automovilistas se realiza de manera habitual.

Actualmente, la ampliación de la Línea 12 del Metro registra un avance global del 16 por ciento. La primera etapa, que corresponde a la construcción

una última etapa el sistema de vías y la obra electromecánica.

El desarrollo del proyecto se realizará conforme los recursos del Gobierno Federal se transfieran al Gobierno de la Ciudad de México, ya que de los 9 mil millones de pesos que se requieren para la ejecución del proyecto, únicamente se ha destinado el 25 por ciento de la inversión.



Figura 4. El Secretario realiza recorridos de supervisión por los trabajos de ampliación de la Línea 12 del Metro

de 13 lumbreras, con una profundidad promedio de 30 metros –una de las más profundas en América Latina–, y del túnel, se prevé que esté concluida el próximo año.

La segunda etapa corresponderá a la edificación de dos estaciones (Valentín Campa y Álvaro Obregón) y la terminal (Observatorio), misma que se prevé que comience este año; y en

Al momento se tienen cuatro frentes de trabajo abiertos a lo largo del trazo:

Lumbrera y túnel Calle Jardín:

La primera lumbrera concluida es la denominada Calle Jardín, ubicada en la Colonia José María Pino Suárez de la Delegación Álvaro Obregón. Dicho pozo tiene una profundidad de 40 metros y un diámetro de 13 metros; a través de ella



Figura 5. El Secretario realiza recorridos de supervisión por los trabajos de ampliación de la Línea 12 del Metro

comenzaron a extraer el sustrato para conformar el túnel de 11 metros de alto y 9 de ancho. El túnel tiene un avance de 250 metros de longitud. Recientemente comenzó la impermeabilización del túnel, armado y colado de hastiales (borde inferior) y en el próximo mes de abril iniciará el segundo recubrimiento del túnel, el cual tiene un grosor de 40 centímetros.

Para reforzar el terreno y estabilizarlo, la excavación tanto del túnel como de las lumbreras se realiza de manera seccionada. En el caso del túnel, se excavan cada día, en promedio, 1.5 metros de longitud y se aplica un recubrimiento primario de concreto en dos capas de 10 centímetros cada una.

Al tener un avance de 20 metros de longitud se inicia el retiro del material de la base del túnel y se lanza concreto para el proceso de afianzamiento.

La excavación del túnel se realiza con máquinas llamadas rozadoras, que tienen cabezales frontales que al girar raspan el terreno, característica que permite tener mayor control del trabajo al disminuir las vibraciones y el ruido.

Lumbrera Calle E: Se trabaja en una segunda lumbrera en la Calle E, en la colonia Primera Victoria. En este punto está por concluir el armado y colado de la losa de fondo, con lo que iniciará la construcción de la borde de trabe que permitirá el inicio de la excavación del túnel. Esta excavación vertical tiene una profundidad de 36 metros y es un punto clave de la obra, ya que unirá de manera subterránea a las estaciones Valentín Campa y Álvaro Obregón.

En total serán 13 lumbreras, de las cuales 10 servirán para la construcción del túnel y tres más se habilitarán como ventilación.

Desvío de los colectores Río Becerra y San Antonio: En Río Becerra, en la Colonia Minas de Cristo, al igual que en la Avenida Prolongación San Antonio, Colonia Carola, se coloca la nueva tubería de hasta 2.13 metros de diámetro para realizar el desvío de los colectores de aguas residuales que pasan por estos puntos. Estos trabajos entraron en su etapa final y se prevé que estén concluidos en julio de este año.

Para la ampliación de la Línea 12 se contempla el desvío de tres colectores importantes; sólo restaría el de Río Tacubaya, el cual se realizará conforme avance la obra.

SEGURIDAD EN LA OBRA

La Secretaría de Obras y Servicios buscó mecanismos para blindar la calidad y seguridad de la obra, los trabajos se iniciaron hasta tener un

proyecto ejecutivo que delinearía las características que permitirán ofrecer un transporte eficiente. Actualmente, cuenta con la vigilancia de una Gerencia de Proyecto y una supervisión externa que examinan cada una de las actividades. Asimismo, se tiene un convenio de colaboración con el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), mediante el cual aportan comentarios al procedimiento constructivo y se refuerza el vínculo con el sector académico para sus contribuciones al proyecto.

Una vez que la Línea 12 del Metro opere de Tláhuac a Observatorio los 128 mil usuarios que hoy llegan a Mixcoac dejarán de usar autobús o microbús para trasladarse entre estos puntos, con lo que ahorrarán cerca de 30 minutos de su tiempo, en cada recorrido, así como el dinero que invierten en estos transportes, que oscilan entre los 4 y 12 pesos por persona en cada viaje.





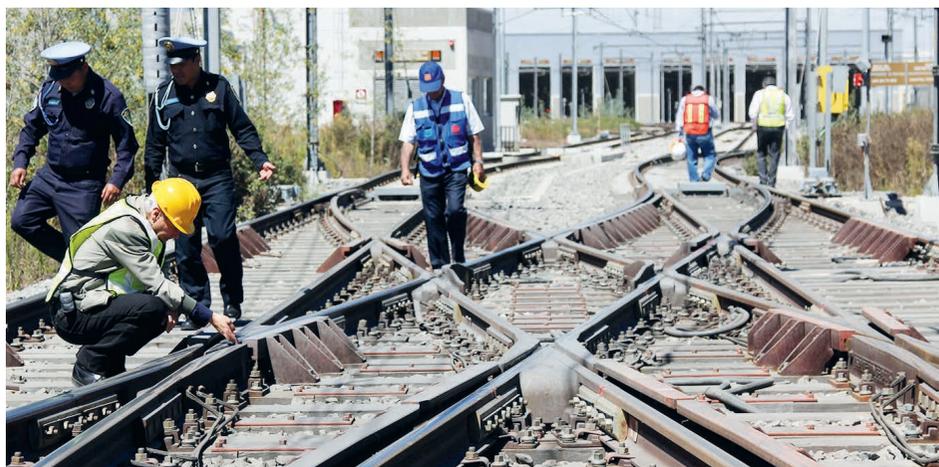
PROYECTOS SUBTERRÁNEOS

La consolidación de la urbe ha requerido que se busquen métodos de construcción que afecten lo menos posible el desenvolvimiento habitual de la misma, por lo que Obras y Servicios apuesta por proyectos de infraestructura subterránea para el crecimiento de la megalópolis.

Al igual que la ampliación de la Línea 12 del Metro, el desnivel Mixcoac

Insurgentes beneficiará la movilidad en uno de los cruces más complejos de la Capital: Circuito Interior –Río Mixcoac– e Insurgentes Sur. Este doble túnel eliminará los cruces semaforizados en la zona y permitirá un flujo ininterrumpido a lo largo de 32 kilómetros del Circuito Interior, el anillo vial más importantes de la Ciudad.

También se trabaja en el esquema financiero para la expansión subterránea de 1.46 kilómetros de la Línea 9 del Metro hacia Observatorio. **C**





LA NORMA MEXICANA DEL CONCRETO LANZADO



Por:Raúl Bracamontes

Fotografías: Google images

El concreto lanzado llegó a México en los años 60 con la construcción de la línea del metro en la ciudad de México y luego para que quedarse. A partir de los años 90 se incrementó su uso en la minería, llegando a convertirse hoy en parte fundamental de su sistema de soporte.

Actualmente, se aplican más de 150,000 m³ de concreto lanzado en México tanto en aplicaciones civiles (túneles carreteros, talud, presas, drenajes, etc.) como en proyectos mineros. Desafortunadamente sin una norma que coordine y defina dichos proyectos. Al no haber una norma mexicana que nos sirva de guía para su correcta aplicación, diseño de mezcla, muestreo y control de calidad, a pesar del gran volumen que se aplica en nuestros días.

El concreto lanzado es concreto y aunque se debe tener los mismos cuidados que el concreto convencional no se aplican los mismos criterios ya que su sistema de colocación lo hace único. El pasado mes de febrero se tuvo la primera

revisión de la propuesta de norma mexicana del concreto lanzado por parte del ONNCCE (organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación s.c.) cuyo principal propósito sería tener la norma mexicana lista para el 2018. Dicha norma es sumamente importante para la industria, ya que a lo largo de estos años se han aplicado concretos lanzados de excelente calidad, pero también se han cometido grandes errores, por lo que es indispensable tener un procedimiento correcto (normalizado) para su correcta colocación, dosificación y métodos de prueba.

El concreto lanzado se coloca a gran velocidad y se compacta con la fuerza del impacto contra la superficie, por ello es que el tipo de equipo, el contenido del cemento en la mezcla, el volumen y presión del aire son fundamentales para su correcta colocación. Pero el elemento más importante es la mano de obra especialmente el lanzador, quien le da las características finales de adecuada compactación, baja porosidad, resistencia y durabilidad de ese concreto lanzado, por lo que solo debe ser colocado por personal calificado y certificado.

Algunos aspectos que se tratan dentro la norma son los siguientes:

- A.** *Un contenido mínimo de 400 kg/m³ de cemento y que solo se utilicen cementos de 40 mpa para concretos lanzados estructurales.*
- B.** *Una relación grava-arena con un contenido mínimo de 70% de arena y 30% grava de tamaño máximo de 3/8".*
- C.** *Limitar la caída final de resistencia del concreto lanzado con acelerante a un 20% máximo (esto significa que debe de haber un diseño de 20% como mínimo de la resistencia especificada para tener al final la resistencia del proyecto.*
- D.** *La obligatoriedad de lanzadores certificados.*
- E.** *Las preparaciones adecuadas de la superficie para la correcta colocación.*
- F.** *El muestreo y ensaye representativo del concreto lanzado colocado.*
- G.** *Los tiempos máximos para iniciar el curado cuando se emplee acelerante.*
- H.** *Presiones y volúmenes mínimos de aire para su correcta colocación.*

Personalmente creo que es de suma importancia esta norma y que todos nos veremos beneficiados con ella. Estoy convencido de que no hay cosa más peligrosa que un concreto lanzado mal colocado, ya que da una falsa seguridad de no cumplir con los espesores, resistencia y durabilidad por una mala aplicación, además del enorme costo que implica. **C**





1er Encuentro del Cemento y del Concreto 2017

Del 27 al 29 de Septiembre de 2017
Hotel Secrets - Huatulco, Oaxaca

**SESIÓN DE POSTERS
TALLERES
MESAS REDONDAS
FOTOGRAFÍA
DEMOS**

www.imcyc.com/encuentro2017

COSTO GENERAL		
	HABITACION SENCILLA	HABITACION DOBLE (POR PAREJA)
GENERAL	\$ 14,000.00	\$ 19,000.00
PROFESORES*	\$ 13,000.00	\$ 18,000.00
ESTUDIANTES*	\$ 11,000.00	\$ 14,000.00

PRONTO PAGO (Hasta el 18 de agosto de 2017)		
	HABITACION SENCILLA	HABITACION DOBLE (POR PAREJA)
GENERAL	\$ 13,000.00	\$ 18,000.00
PROFESORES*	\$ 12,000.00	\$ 17,000.00
ESTUDIANTES*	\$ 10,000.00	\$ 13,000.00

*Es indispensable acreditar con **CREDENCIAL VIGENTE** o **CONSTANCIA DE LA INSTITUCIÓN**
Estos precios no incluyen I.V.A.

CONTACTO

Adriana Villeda
Tel. (55) 5322 5740 Ext. 216
avilleda@imcyc.com

Berenice Salas
Tel. (55) 5322 5740 Ext. 234
bsalas@imcyc.com

Carlos Hernández
Tel. (55) 5322 5740 Ext. 212
chernandez@imcyc.com

Verónica Andrade
Tel. (55) 5322 5740 Ext. 230
vandrade@imcyc.com

Victoria Barrera
Tel. (55) 5322 5740 Ext. 212
vbarrera@imcyc.com

“COMPARTIR EL CONOCIMIENTO”



Insurgentes Sur 1846, Col. Florida, C.P. 01030, Del. Álvaro Obregón, Ciudad de México
Tel. (55) 5322 5740 www.imcyc.com



La tecnología de las turbinas
nos lleva de un lado a otro.

La tecnología del **CONCRETO**
nos lleva al **FUTURO**.

Infinitas posibilidades con el **CONCRETO**.

