



↑ 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

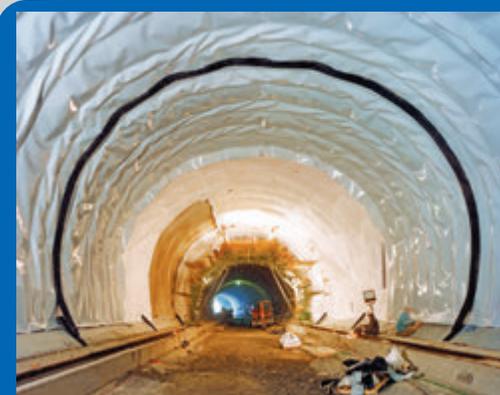
REVESTIMIENTOS

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



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 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

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/>

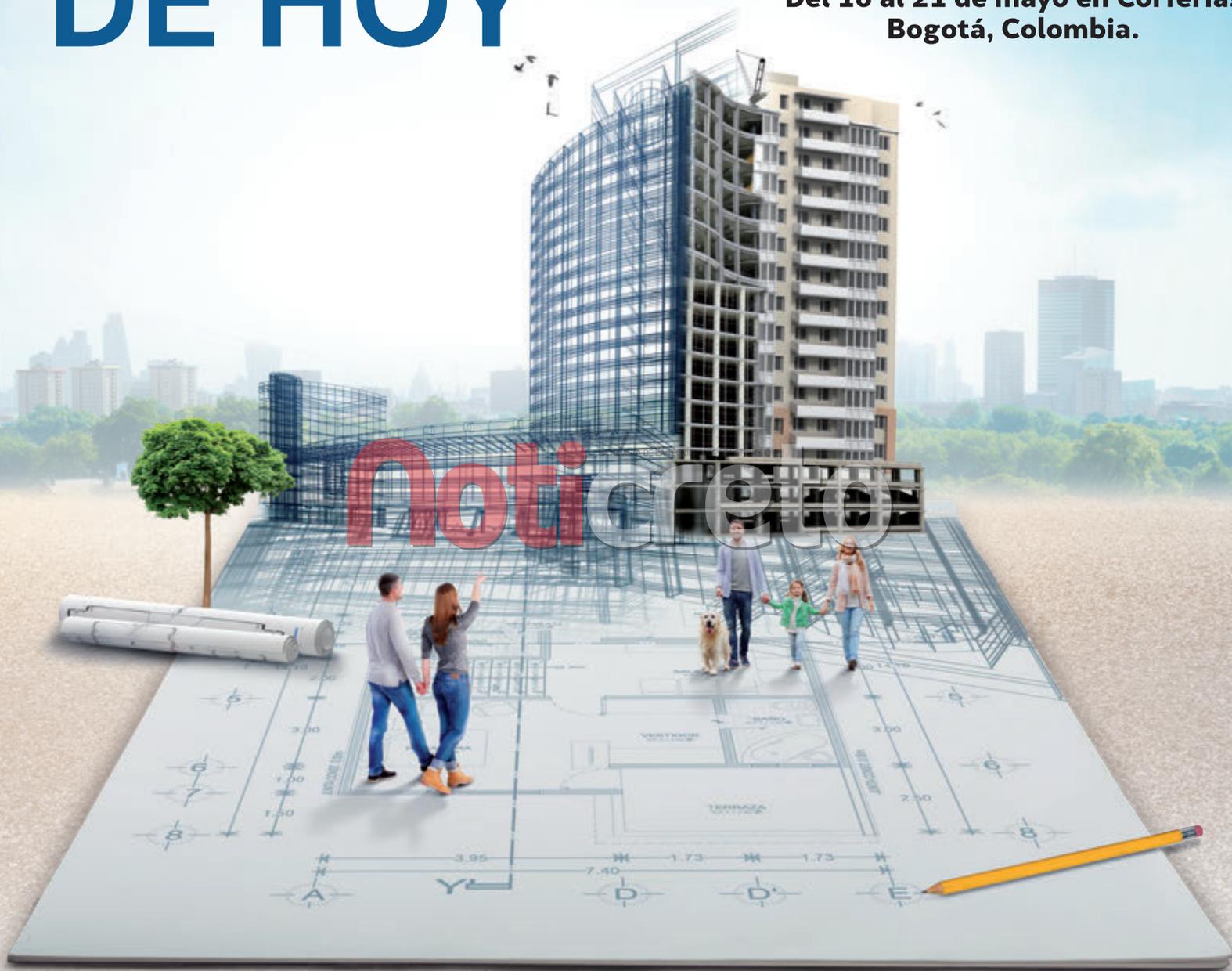
CONSTRUYENDO EL FUTURO CON IDEAS DE HOY



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:



expoconstruccionyexpodiseño.com

Apoyo Institucional:



Apoya:



Copatrocinadora:



Organiza:



Generadores de
Oportunidades y Progreso