



Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: evidaud@mail.imcyc.com



VIADUCTO

Puente en México con la pila más alta de América

EL PUENTE SAN MARCOS, oficialmente denominado: Ingeniero Gilberto Borja Navarrete, se localiza en el kilómetro 862+500 de la Autopista México-Tuxpan; con una longitud de 850 metros de largo y un ancho de calzada de 18.70 metros, constituye también una extensión de la carretera que se extiende entre la Ciudad de México hasta el Golfo de México.

La columna central que sostiene al Puente San Marcos, infraestructura que forma parte de la recién inaugurada carretera México-Tuxpan, tiene 208 metros de altura (medidos a partir de la cara superior de la cimentación); es decir, mide casi lo mismo que la Torre Mayor (225 metros de altura y considerado hasta el momento, el edificio más alto de México). Entre los viaductos del mundo, solo lo supera en tamaño el Viaducto Millau en Aveyron, Francia; el cual tiene una altura de 343 metros sobre el río Tam. En general el viaducto cuenta con 4 pilas principales; además de la de 208 m, también hay otras tres de 76, 166 y 121 metros de altura.

La obra atraviesa la Sierra Madre Oriental y ha sido proyectada y construida por las contratista FCC Construcciones (española) e ICA (mexicana). Se terminó de construir en el año 2013 y fue inaugurada por el presidente mexicano Enrique Peña Nieto en el mes de septiembre del año 2014. En la actualidad este viaducto es considerado el puente más grande y más alto en el tramo entre Nuevo Necaxa-Tehuacán de la autopista México-Tuxpan, y es también el tercer puente más alto de México.

Estructuralmente, el viaducto está resuelto mediante una solución tipo viga con cajón de concreto postensado. Su longitud de 850 metros se divide en siete claros, de entre 57 y 180 m de longitud. La sección transversal está formada por una losa superior de 18.7 metros de ancho, que alberga los dos carriles de la autovía. El peralte del cajón es variable, entre 3.6 y 10.0 metros.

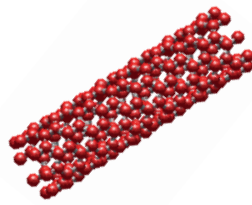
Para comprobar los efectos del viento en la estructura, en la fase de proyecto se realizaron ensayos de túnel de viento en la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid, que permitieron determinar los coeficientes de arrastre de las secciones de las pilas y de los tableros, así como descartar la necesidad de una barrera anti-viento. La empresa de *Dinamarca Force Technology*, también realizó ensayos sobre una maqueta a escala de una porción del valle, para determinar las turbulencias que llegarían al puente; así como sobre un modelo del puente completo y de una pila aislada, para comprobar si aparecían fenómenos aeroelásticos. Los resultados obtenidos fueron considerados en el cálculo de la estructura.

Para la ejecución del viaducto se excavaron más de 231 mil metros cúbicos, sin incluir las excavaciones asociadas a los más de mil pilotes de 1.5 y 1.2 metros de diámetro. En la cimentación se usaron más de 12 mil metros cúbicos de concreto, en las pilas casi 20 mil y en los tableros más de 16 mil. En general, entre acero ordinario y acero de presfuerzo, se usaron más de 8 mil toneladas.

Los primeros trabajos se iniciaron en marzo del 2009 con la cimentación. Todas las pilas de cimentación se apoyaron directamente sobre el terreno; excepto la pila 4 en la que se requirió una cimentación profunda mediante pilotes. Una vez ejecutada la cimentación se procedió a la construcción de las pilas; proceso que se llevó a cabo en un tiempo de 15 meses. Con el final de esta fase arrancó la ejecución del tablero del puente, mediante el procedimiento de avance en voladizos compensados con dovelas postensadas, coladas en el sitio. Este proceso se extendió durante 23 semanas y tuvo como dato interesante que para la ejecución de las últimas dovelas del tablero, construidas desde la pila 4, hubo que bombear a más de 200 metros de altura y en horizontal hasta 90 metros. En el año 2014 se procedió a las obras de acabado necesarias para la puesta en servicio del viaducto. **C**

REFERENCIA:

- Ventosa, J. (2014). "El Gigante de Sierra Madre", publicado en Revista Técnica: Cemento y Hormigón, Madrid, España.
- ----- (2015), "Puente de San Marcos en Xicotepic | Autopista México Tuxpan", publicado en <http://coyotitos.com/puente-de-san-marcos-en-xicotepic-autopista-mexico-tuxpan/>
- Huerta, J. (2014), "Puebla tiene el puente más imponente de México", publicado en <http://www.union-puebla.mx/articulo/2014/09/18/infraestructura/puebla-tiene-el-puente-mas-imponente-de-mexico>



NANOTECNOLOGÍA

Nanotubos de carbono y la durabilidad del concreto

AUNQUE SEAN prácticamente invisibles, los nanotubos de carbono⁽¹⁾ garantizan un concreto virtualmente libre de fisuras.

Los baches, las carreteras en mal estado y las grietas en las aceras pueden ya ser cosas del pasado, debido a que investigadores de la Universidad Northwestern en Evanston, en el Estado de Illinois, aplican la nanotecnología para crear concretos relativamente seguros contra el agrietamiento. El Doctor Surendra Shah y su equipo se encuentran trabajando en la adaptación de una tecnología novedosa para mejorar las prestaciones del concreto mediante la introducción de nanotubos de carbono, que son estructuras tubulares resistentes y flexibles, de átomos de carbono muy pequeños, difícil de ser vistos por la mayoría de los microscopios. "Normalmente cuando se piensa en cemento y concreto, piensas en edificios de gran altura y grandes estructuras", afirmó el Dr. Shah, (...) y la conexión con la nanotecnología no es a menudo muy evidente".

Pero la industria del concreto también nos plantea un dilema medioambiental. Esencialmente, el concreto es una mezcla de cemento, agua y agregados, tales como arena o grava; durante el proceso de elaboración de este material se desprende al ambiente el dióxido de carbono (CO₂). Es en este punto en que el trabajo del Dr. Shah entra en acción. En la escala atómica, el concreto se parece a un conjunto de pelotas de tenis embebidas en común. Las reacciones químicas que tienen lugar entre el cemento y el agua crean

"nanohuecos" o espacios entre las pelotas. Esto significa que los astillamientos, grietas y baches comienzan realmente a nanoescala. "Si quieres prevenir, o hacer concreto más durable, entonces asegúrese de que se eviten esas grietas a nanoescala", dijo Shah. La adición de nanotubos refuerza al concreto y hace al proceso más eficiente. Los constructores hoy en día utilizan la misma idea al reforzar el concreto con barras de acero, pero la nanotecnología ofrece esos tubos nanométricos en su lugar.

Paul Tennis, que trabaja con la Asociación de Cemento Portland (PCA por sus siglas en inglés) en Skokie, dijo que los problemas con el concreto tradicional se producen durante el tristemente célebre ciclo de hielo-deshielo, en los meses de invierno. "El concreto es poroso", dijo. Una analogía común es pensar en este como una esponja. El agua se filtra en los poros, y cuando esa agua se congela, se expande, lo que puede causar grietas. Esta situación empeora durante los meses de invierno, cuando se utiliza sal para proteger las estructuras de la congelación; sin embargo, esta sal tiende a corroer las barras de acero de refuerzo, dañando aún más las estructuras. El uso de nanotubos de carbono haría del concreto un material casi impenetrable; extendiendo en gran medida la vida útil de las carreteras, puentes y edificios. Resulta entonces en una tecnología rentable; pues además de tener en cuenta la reducción de los costos para el medioambiente, resulta en una extensión de la vida útil de las estructuras de concreto. **C**

Los nanotubos de carbono representan probablemente hasta el momento el más importante producto derivado de la investigación en fullerenes (son estructuras altamente simétricas formadas únicamente con átomos de carbono y de dimensiones nanométricas). Se componen de una o varias láminas de grafito u otro material enrolladas sobre sí mismas, y pueden ser de un sólo tubo y de varios tubos, embebidos uno dentro de otro.

Los nanotubos tienen un diámetro de unos nanómetros y una longitud que puede ser de hasta un milímetro; los de carbono son las fibras más fuertes que se conocen; un solo nanotubo perfecto es de 10 a 100 veces más fuerte que el acero por peso de unidad y poseen propiedades eléctricas muy interesantes, conduciendo la corriente eléctrica cientos de veces más eficazmente que los tradicionales cables de cobre.

Adaptado de: <http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/nanotubos.htm>

REFERENCIA:

"Crack-proof concrete set to improve roads".
<http://www.nano.org.uk/news/384/>



PRESAS

Hitos de presas a nivel mundial

A **L REFERIRNOS** a las presas podríamos hacernos varias interrogantes que se relacionaran a diferentes hitos a nivel mundial. En principio podríamos preguntarnos ¿cuál es la presa más grande del mundo?

Cuando la presa *Hoover* fue terminada en 1935 era la presa más alta del mundo y entre 1938 y 1948, la planta hidroeléctrica la más grande del mundo. Desde entonces, se han construido instalaciones más grandes, y muchos continúan preguntándose: ¿Actualmente, cuál es la presa más grande en el mundo? La respuesta depende de lo que se entienda por "más grande"; ¿se refiere a la presa más alta? ¿o quiere decir aquella que acumula mayor volumen de agua?, o tal vez, ¿la presa en la que se invirtió mayor volumen de material en su construcción?, o ¿aquella en cuyas instalaciones se haya construido la mayor central hidroeléctrica? La respuesta a cada una de estas interrogantes es diferente, e intentaremos analizarla a continuación.

En principio se hace interesante mencionar la presa, en la que se invirtieron a nivel mundial, los mayores volúmenes de material en su construcción. La Presa *Syncrude Tailings* en Canadá, se encuentra actualmente ubicada en el puesto número uno en volumen de material de construcción con 540 millones de metros cúbicos; mientras que la presa Hoover contiene solo 2.6 millones de metros cúbicos de concreto, que es mucho menor. La Presa Hoover fue construida a base de concreto macizo y fue diseñada específicamente para ser utilizada como una presa, mientras que la

Presa *Syncrude Tailings* se utilizaron los desechos acumulados, sobrantes de operaciones mineras.

En referencia a la presa más alta del mundo, actualmente, la presa que ostenta esta categoría es la Presa *Nurek* en el río Vakhsh, en Tayikistán con 300 metros de altura. La presa Hoover tiene algo más de 221 metros de altura. Hoy en día, la presa Hoover continúa ocupando un lugar en el "top" de las 20 presas más altas del mundo; pero sólo en la categoría de presas de gravedad y de arco. Muchas otras presas o diques de tierra, la han superado en altura; entre estas puede citarse a la Presa *Oroville* en el río Feather, en California (Estados Unidos) con 235 metros de altura, pero es una presa de tierra y no una estructura de concreto.

Con respecto a las plantas hidroeléctricas más grandes del mundo, la Presa *Sanxia* (o de las Tres Gargantas) en el río Yangtze en China, tiene una capacidad instalada de 22,500 MW, pero ocupa el segundo lugar en el mundo, en la generación de energía hidroeléctrica; su producción de 84 millones de kilovatios-hora (kWh) por año todavía es superada por la Hidroeléctrica de *Itaipú*, en la frontera entre Brasil y Paraguay. La planta de Itaipú tiene una capacidad de 12,600 MW, y ha producido 90 mil millones de kWh en un solo año.

La planta hidroeléctrica más grande en los Estados Unidos está en la Presa *Grand Coulee*; sus tres centrales eléctricas tienen una capacidad de 6,809 MW y generan, en promedio, alrededor de 21 mil millones de kWh; mientras que la central eléctrica de la presa Hoover tiene una capacidad de 2,074 MW y genera aproximadamente 4 mil millones de kWh al año. **C**

REFERENCIA:

Bureau of Reclamation (Última actualización, 3/12/15). "What is the biggest dam in the world?", publicado en: U.S. Bureau of Reclamation: Managing Water in the West. <http://www.usbr.gov/lc/hoover-dam/History/essays/biggest.html>





NUEVAS TECNOLOGÍAS

Las formas de concreto aisladas (FCA) en la construcción

UNO DE LOS PUERTOS más grandes del mundo se encuentra ubicado en la ciudad israelita de Cesarea, con capacidad para unas 300 embarcaciones. La construcción del puerto tomó casi 10 años y fue considerado una maravilla de la ingeniería cuando abrió sus puertas para el comercio en el año 15 a.C. Lo que hace que el puerto en Cesarea se constituyera en un notable hito; fue precisamente el material que permitió su construcción, un material entonces conocido como concreto hidráulico. Este material, a diferencia del concreto tradicional, se caracteriza por el hecho de que puede colocarse y endurecer bajo el agua; propiedad que puede hacerse realidad mediante el empleo de ceniza volcánica como adición a la mezcla de concreto tradicional, compuesta por piedra caliza, arcilla, arena y grava.

En la actualidad, el concreto y otros materiales hacen posible la resistente infraestructura de las ciudades actuales. El creciente desarrollo de la tecnología del concreto ha revolucionado, de manera que ingenieros y científicos diseñan los materiales de construcción que pueden conformar los cimientos de las ciudades inteligentes del futuro. Muchos refieren hoy a un concreto más inteligente, un material que tuvo su principal antecedente en la Antigua Roma y que resulta en la actualidad increíblemente ideal para muchos usos; desde las aceras hasta los empinados rascacielos.

Quizás la innovación más significativa al concreto en la historia reciente fue el desarrollo del concreto reforzado; por lo general conformado por la incrustación de barras de acero dentro de la mezcla de concreto. Sin dudas, este material ha hecho posibles estructuras de increíble durabilidad y resistencia a los esfuerzos de tensión. En la actualidad, no son pocos los investigadores y especialistas que por todo el mundo experimentan otros refuerzos para el concreto; utilizando diferentes materiales como

pueden ser: las fibras de acero, plásticas, e incluso de vidrio. Una versión más reciente y con mayor resistencia apunta a las soluciones innovadoras de construcción viable; tal es el caso de los FCA⁽¹⁾ (formas de concreto aisladas).

Las FCA se conforman a partir de la colocación de dos hiladas, situadas como legos, en bloques de espuma aislante que constituyen un molde para las paredes de una estructura dada. El espacio entre ambas hiladas, es relleno luego con concreto reforzado de alta resistencia. La espuma aislante forma parte de la estructura portante y por lo general está cubierta por paneles de yeso. Como resultado, se obtiene una pared resistente al agua, a los insectos y hasta al fuego; constituyendo además desde el punto de vista energético, un muro más eficiente que las paredes estructuradas con marcos de madera tradicionales.

Las ciudades que hoy se trazan como objetivo la reducción de la huella energética del sector de la construcción, se están empezando a tomar muy en serio la tecnología de las FCA. De acuerdo con la Asociación del Cemento Portland: "Un recurso importante de FCA es el potencial de reducción de energía para calentar y enfriar el edificio. Algunas estimaciones sitúan el ahorro en un 20% o más; como resultado, suponiendo una vida útil de 100 años, una sola familia en una vivienda FCA tiene el potencial de ahorrar cerca de 110 toneladas de CO₂, en comparación con un hogar tradicional a base de paredes de madera".

Debido a las muchas características ventajosas de la tecnología FCA, incluyendo hacer la construcción más rápida y sencilla, una estructura hecha usando FCA no es significativamente más cara que su homólogo tradicional. Según la PCA: "(...) utilizar FCA aumenta aproximadamente un 3% de los costos totales de construcción, en comparación con un edificio con estructura de madera convencional".**C**

REFERENCIA:

Chad vander Veen (2014). "What's Old is New: Everyday Building Materials Get Smarter", publicado en: Government Technology. Solutions for State and Local Government. <http://www.govtech.com/local/Whats-Old-is-New-Everyday-Building-Materials-Get-Smarter.html>

⁽¹⁾ Las FCA son sistemas de cimbra para concreto armado, generalmente concebido con un aislamiento térmico rígido que se mantiene en su lugar, como un sustrato interior y exterior permanente para paredes, pisos y techos.

Adaptado de: https://en.wikipedia.org/wiki/Insulating_concrete_form