



GRANDES OBRAS:

El puente canal para barcos más largo de Europa

El puente canal de Magdeburgo fue completado en 2003 para conectar dos importantes canales en Alemania: el canal Elba-Havel y el Mitte-landkanal. En 1997 se iniciaron los trabajos que duraron poco más de un lustro. Con un costo de 500 millones de euros se culminó la obra que une el puerto seco de Berlín con los puertos a lo largo del río Rhin. La amplia vía creada para el transporte fluvial sobre el Elba ahorra un recorrido adicional de 12 kilómetros a través del sistema de esclusas de Rothensee y Niegripp para la circulación de barcos. Fue construido a lo largo de toda su longitud como una estructura mixta de acero y concreto. La longitud total de 918 metros se divide en un puente sobre el agua de 228 m de longitud y un puente sobre tierra de 690 m. El ancho de soporte máximo del puente fluvial es de alrededor de 106 m.

Con el fin de asegurar un flujo continuo de barcos contenedores de tres niveles sobre el Elba se garantizó una lámina de agua de 6.5 m en la zona del puente para ese tipo de naves. El puente terrestre, que como puente de inundación también ayuda en el desagüe de las crecientes del Elba, contiene 16 secciones con soportes de 42.85 m de ancho. El nivel de agua normal del canal es de 4.25 m y el ancho utilizable entre los muelles es de 32 m. Para la construcción de las pilas en el agua del río, se exigía garantizar que la protección de la excavación tuviera una pared de fácil manejo; por lo que se utilizaron tablestacados metálicos que facilitaron las labores de construcción y limpieza.

Los pilares fueron contruidos con concreto antideslave, el cual fue colado por debajo del agua evitando estrictamente la segregación mediante una gran cantidad de un agente viscoso conformado por un polímero soluble en agua. La construcción de las pilas en el río fue una parte importante y técnicamente muy difícil debido a la corriente continua del Elba; pero el reto técnico iba más allá de las dificultades de construcción, puesto que una vez llenados con agua y abiertos al servicio, cada una de las pilas

debía transmitir de manera eficiente y segura un peso de alrededor de 13 mil t al estrato portante sobre el fondo del río.

La cimentación de las 17 pilas sobre el terreno se realizó sobre pilotes de medio metro de diámetro y 12 m de longitud, que fueron colados con concreto en el sitio. Para las pilas terrestres se elaboraron alrededor de 15 mil m de pilotes de concreto. Sobre el entramado de pilotes se levantaron las pilas, que tienen forma de costilla y que, adicionalmente, son de interés arquitectónico. La superestructura del puente sobre el agua se realizó con dos vigas metálicas de borde, ambas con unos 4 m de ancho y 8 m de alto, hacia afuera como un entramado y hacia el interior como una construcción de pared completa; las cuales están unidas mediante una placa ortotrópica. El puente fluvial fue empujado sobre un riel previamente instalado para el montaje final sobre el río. La sección del puente sobre el agua se compone de una gran caja de acero en voladizo, cuyos elementos de construcción principales están formados por la pared, el riel de la conducción y las láminas del piso de los cajones. El diseño planteó los refuerzos necesarios para las cuerdas superiores e inferiores, además de las diagonales y las estacas del entramado exterior. En los extremos se dispusieron vigas de borde sobre las cuales, en su parte superior, se concibieron andenes de servicio de 3 m de ancho en cada lado. La sección transversal del piso tiene un ancho de 34 m y está formada por un entramado de vigas transversales y longitudinales. El puente terrestre se construyó como un sistema de 16 vigas. El montaje de la viga cajón de acero se efectuó iniciando desde la mitad de la longitud total en ambas direcciones. Las estructuras prefabricadas se llevaron al lugar en barcazas y se colocaron sobre zócalos de almacenamiento dispuestos en el lugar.

El puente terrestre es una viga de casi 691 m de longitud total, con 16 secciones de 42.85 m de longitud cada una y voladizos de 4.9 m en el espolón oeste de 4.9 m en el espolón este y de 1.2 m en el paso oriental hacia el puente. En el corte transversal se dispusieron 7 vigas horizontales sobre el piso de 1.9 m de altura y dos vigas de borde de 6.27 m de altura que conforman una especie de caja en la parte superior. Al igual que en el puente sobre el agua, la parte superior de la viga de borde sirve como camino de servicio. **C**



Por I. Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil
Maestría en Ingeniería

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

REFERENCIA:
"El puente canal para barcos más largo de Europa",
Revista NOTICRETO No. 86, Enero-Febrero 2008, Pág. 42.



CONCRETO LIGERO:

Vigas pretensadas de concreto ligero en puentes

El Concreto Ligero de Alta Resistencia (CLAR) está ganando cada día un uso más extensivo en los puentes, especialmente en vigas pretensadas. Ofrece ventajas tales como: la construcción de tramos más largos, menores costos de transporte y la reducción de costos de toda la estructura; porque la superestructura pesa menos. Es un material que se produce utilizando agregados ligeros, que se pueden obtener mediante el procesamiento de esquisto, arcilla o pizarra a altas temperaturas.

Las principales especificaciones de un CLAR son las propiedades de los agregados y su absorción, la resistencia a la compresión del concreto, así como su densidad, contenido de aire y la resistencia a los ciclos hielo-deshielo. En algunos casos suelen también ser importantes propiedades como: módulo elástico, fluencia y contracción; especialmente si se trata de estructuras complejas, en donde las deformaciones u otros efectos dependientes del tiempo, son significativos. En general, los agregados que se usan son de peso ligero, por medio de los cuales es posible la obtención de concretos estructurales de baja densidad. El agregado y el concreto ligero deben cumplir entonces con los mismos requisitos estructurales y de durabilidad que se exigen al concreto de peso normal.

El agregado ligero deberá satisfacer los requisitos mínimos indicados en AASHTO M 195 "Especificación estándar para Agregados Ligeros para Concreto Estructural", que establece varias características y propiedades tanto para el agregado ligero como para el concreto ligero (CL). Se especifican en esta norma requisitos para la granulometría, densidad aparente, y resistencia a tensión y a compresión; también se especifican la resistencia a los ciclos hielo-deshielo del agregado, la resistencia a la abrasión, la reactividad, y el contenido de sílice.

La absorción de los agregados ligeros es mayor que la de los agregados de peso normal. El contenido de humedad del CL antes de la dosificación debe ser cuidadosamente vigilado; especialmente cuando se utilizará en concretos bombeados. Especificaciones

de esta índole establecen que el proveedor de concreto presente un plan de control de calidad para la producción del CL, en el que se pueda verificar el control de la humedad. Por su parte, han sido exitosamente utilizados CLAR con resistencia a la compresión de diseño de hasta 69 MPa, y una densidad de equilibrio de 1920 kg/m³. La resistencia mínima a la compresión especificada debe ser compatible con la densidad especificada. Como con cualquier tipo de agregado, la resistencia a la compresión del CL puede ser limitada por la resistencia del agregado. Los diseñadores deben consultar entonces a los proveedores del concreto, para confirmar que la combinación deseada de la resistencia y la densidad del concreto sean alcanzables.

En la mayoría de los casos, el concreto ligero se utiliza en una estructura para reducir la carga muerta; por lo que debe ser especificada la densidad. Los documentos del contrato deben especificar la "densidad de equilibrio", definida en la ASTM C567, como la densidad después de la exposición a una humedad relativa del 50% y a una temperatura de 23 °C durante un tiempo suficiente, para llegar a una masa constante. Se necesita generalmente un mínimo de 90 días para obtener esta densidad. La densidad del CL fresco se mide en el punto de colocación y se utiliza para la aceptación. Los diseñadores pueden especificar la densidad fresca. Alternativamente, puede requerirse que el proveedor de concreto proporcione una densidad fresca en correspondencia con la densidad de equilibrio especificada. Se recomienda especificar densidades máximas, en lugar de densidades con alguna tolerancia.

En el caso del contenido de aire atrapado, este debe medirse en el punto de colocación, utilizando el método volumétrico por AASHTO T 196; también el CL se utiliza para reducir aún más la densidad del concreto. Cuando es importante la resistencia a los ciclos hielo-deshielo, deben seguirse las especificaciones del procedimiento A, de AASHTO T 161. El método de prueba estándar debe ser modificado para CL, permitiendo el secado de las muestras antes del ensayo, tal y como se especifica en AASHTO M 195. **C**

REFERENCIA:

Castrodale R. W. and Harmon K. S., Carolina Stalite Company, "Specifying High Strength Lightweight Concrete for Bridges". <http://www.hpcbridgeviews.com/i59/Article3.asp>, Julio 15.



CONSERVACIÓN DE PUENTES:

Soluciones para la conservación de puentes de concreto deteriorado

De acuerdo con el Departamento de Transporte de Pennsylvania (PennDOT), este estado es líder nacional en la cantidad de puentes clasificados como “estructuralmente deficientes”.

Se afirma en la fuente que 25 mil puentes estatales están envejeciendo (con edad promedio de más de 50 años) y se necesita su reparación. El Ing. Farshad Rajabipour y sus colegas se encuentran trabajando en algunas soluciones. “Estamos estudiando prácticas de mantenimiento mejoradas, y específicamente de la forma de reducir los costos, mientras se mejora la seguridad y la longevidad. Tradicionalmente, no hemos tenido mucho cuidado preventivo de nuestra infraestructura, hasta llegar a los baches u otros signos más significativos de daños como el fallo. Entonces tienen que hacerse reparaciones de urgencia. El mejor enfoque ante esta situación, es uno de mantenimiento preventivo, lo que permitirá ahorrar dinero, reducir el tráfico y mejorar la longevidad de puentes y carreteras. Es algo similar a la atención médica para las personas; las medidas preventivas pueden hacernos más saludables y extender nuestra vida”.

Rajabipour explica también que la corrosión de las barras de acero de refuerzo y el agrietamiento son, entre otros factores, los que contribuyen a la degradación de la infraestructura. Él y sus estudiantes trabajan para entender y predecir cómo estos daños ocurren y cómo prevenirlos. “Digamos que se tiene un puente con 5 años de uso”, comenta. “Ese puente tiene determinada salud, con un cierto grado de daño; y queremos predecir ¿cómo será su salud en 10 o 20 años, cuáles acciones de mantenimiento ha de requerir, y qué se debe incluir para que se tenga un puente más seguro y duradero en el futuro?”.

En un esfuerzo cooperativo con PennDOT, los investigadores están evaluando 220 puentes en Pennsylvania para prevenir la formación de grietas en el tiempo y trabajar en la optimización del tipo y el momento del mantenimiento. Mediante la recopilación y análisis de datos sobre el mantenimiento que se ha hecho en los

últimos 15 años, se pueden determinar los costos y beneficios de realizar el mantenimiento de inmediato, en lugar de esperar algunos años. Lo más importante es que están trabajando para llegar a un programa de mantenimiento óptimo, que ayude a determinar qué puente debe ser reparado este año, el próximo año, y aún más en el futuro. Además de los problemas de mantenimiento y durabilidad del concreto, Rajabipour y colegas exploran opciones para la fabricación de un concreto más ecológico y amigable con el medio ambiente. Con fondos de la Fundación Nacional de Ciencia, este equipo trabaja para producir nuevos cementos con importantes ahorros de energía y beneficios medioambientales. Estudian, por ejemplo, materiales reciclados como botellas de vidrio esmerilado y subproductos industriales como las escorias de alto horno y residuos de la combustión del carbón (cenizas volantes).

“Cuando se están utilizando materiales reciclados y de desecho, es muy probable que se consiga hacer algo beneficioso para el medio ambiente, y agrega: “pero al mismo tiempo, no se quiere que sea a expensas de la vida útil y del desempeño. El cemento Portland tiene alrededor de unos 200 años y mucho se conoce de sus propiedades y desempeño; pero en el caso de los cementos alternativos, al tratarse de un nuevo material, se sabe poco acerca de su calidad a largo plazo. Esto no quiere decir que este material sea tan bueno o mejor, es sólo que no se sabe aún”. Para abordar este problema, los investigadores están comenzando a utilizar simulaciones por ordenador para predecir cómo los materiales se comportan durante un largo período de tiempo. Están llevando a cabo lo que Rajabipour llama “experimentos virtuales” que simulan y aceleran el proceso de envejecimiento para el concreto. Utilizándose modelos de computadora, se estima la mejor receta para la combinación de diferentes materiales, para la obtención de un cemento óptimo, y para determinar cómo los concretos elaborados con estos cementos se desempeñarán durante varias décadas de vida útil. **C**

REFERENCIA:

Weidner K. (2015), “Concrete solutions to aging Bridges”. <http://news.psu.edu/story/345604/2015/02/23/research/concrete-solutions-aging-bridges>, visita julio 15.



TÚNELES:

Drenaje profundo de la Ciudad de México

El Drenaje Profundo constituye la mayor obra de su época en la Ciudad de México, fue creado para desalojar agua de lluvia; aunque después se decidió que las del desagüe serían enviadas al túnel. La generación de finales de los años 60 e inicios de los 70 decidió no hacer más tajos a cielo abierto para desalojar el agua de lluvia del Valle de México; sino ir bajo tierra a unos 200 metros de profundidad. Fue la obra más grande construida en la Ciudad de México. Se trata de un túnel de 68 kilómetros excavado a punta de taladro desde la zona norte del Valle de México y que culmina en el estado de Hidalgo.

Los interceptores que llevan el agua de la ciudad hacia el túnel central tienen una profundidad de 30 a 50 metros. El Emisor Central, el alma del drenaje, corre a una profundidad de 50 y hasta 237 metros. El túnel tiene una pendiente de dos metros por kilómetro para permitir que el agua corra por acción de la gravedad. La mañana del 9 de junio de 1975, el entonces presidente Luis Echeverría pulsó el botón que echó a andar las compuertas que permitieron el ingreso de las aguas de lluvia de aquellos días al drenaje. En el diario *Excelsior*, el presidente y el entonces Regente de la Ciudad de México, Octavio Senties, afirmaban que se abría una nueva era en la ciudad, en donde las inundaciones serían historia.

Las cifras publicadas por este diario parecían darles la razón. Se habían empleado un millón 310 mil metros cúbicos de concreto, suficientes para formar un bloque del tamaño de la Plaza de la Constitución, y de 10 metros de alto. Fueron excavados 3 millones y medio de metros cúbicos de tierra y piedra, equivalentes a 3.5 veces la pirámide del Sol; además se emplearon 40 mil toneladas de acero y laboraron en él 11 mil 500 trabajadores.

El Drenaje Profundo sólo desalojaría agua de lluvia y descansaría para su mantenimiento en época de estiaje; sin embargo, ante el

crecimiento de la ciudad, las autoridades de la Comisión Nacional del Agua y de la entonces Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) decidieron que también las aguas del drenaje de la ciudad serían enviadas al túnel de 7 metros de diámetro. En abril de 2007 el Instituto de Ingeniería de la UNAM, mediante una cámara de video colocada en una lancha, realizó un recorrido por un sector del Emisor Central del Drenaje Profundo, en el que se detectó que el túnel tenía desprendimientos de concreto en su interior y mostraba parte de su revestimiento de metal.

El nuevo Túnel Emisor Oriente (TEO) es un proyecto hidráulico en construcción desde agosto de 2008, que corre paralelo al Emisor Central del Drenaje Profundo y al Gran Canal del Desagüe. El TEO es construido por Comissa, un consorcio integrado por las constructoras ICA, CICSA, COTRISA, Lombardo Construcciones y Construcciones Estrella. Para edificar el TEO se requirió de la construcción de 300 mil bloques de concreto (dovelas) con los que se formarán los 43 mil anillos de la estructura. El inicio del túnel en la Lumbreira 0 tiene 26 metros de profundidad y la última, en Huehuetoca, Estado de México, alcanza 150 metros. Se calcula que la obra estará completada a finales de este año y depositará las aguas del Valle de México en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco, en Hidalgo. **C**

REFERENCIA:
Páramo, A. (2015). "Una solución a 200 metros bajo el suelo". Adaptación de lo publicado en *Excelsior* (en línea).
<http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2015/06/14/1029379>