

## DE LIBROS, REVISTAS, MEMORIAS

### **"Diseño sísmico de puentes"**

V.R. Mireles y E. Reinoso

*Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Veracruz, México, 1997, 10 pp.

Este artículo proporciona un panorama actual del estado del arte en el diseño sísmico de puentes y propone parámetros para el análisis, diseño y detallado sísmico de puentes urbanos en la república mexicana, particularmente en la ciudad de México. Se analizan las alternativas que presentan ocho reglamentos o manuales vigentes.

### **"Respuesta dinámica de un edificio considerando el efecto de desprendimiento de la cimentación"**

Juan C. Botero P. y David Murià Vila

*Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Veracruz, México, 1997, 9 pp.

Se estudia el efecto de desprendimiento parcial de la cimentación de un edificio desplantado e instrumentado en la ciudad de México en suelo blando. Para lograr esto, se recurre al "modelo de dos resortes" y al "modelo de Winkler".

### **"Corrosion protection in concrete repair: Myth and reality"**

Peter H. Emmons y Alexander M. Vaysburd

*Concrete International*, marzo de 1997, 10 pp.

La corrosión es uno de los problemas principales a los que se enfrentan los ingenieros de hoy día. Esto se puede ilustrar por el hecho de que 40 por ciento del acero producido cada año se emplea para reemplazar acero corroído. La corrosión trae como resultado la reducción del área de sección transversal efectiva de las varillas de refuerzo, y también da por resultado el agrietamiento, astillamiento y delaminación del recubrimiento de concreto.

### **"Specifying fly ash for durable concrete"**

Roy H. Heck y Eugene H. Riggs

*Concrete International*, abril de 1997, 4 pp.

Este artículo intenta mostrar cómo la ceniza volante beneficia al concreto y cómo se especifica su empleo. Quizá esto pueda aumentar el nivel de comodidad para quienes especifican y no están familiarizados con las mezclas de concreto de ceniza volante.

## **"Thermal effects during the curing of concrete pavements"**

D. Kapila, J. Falkowsky y J.L. Plawsky

*ACI Materials Journal*, marzo-abril de 1997, 10 pp.

Se emplearon los principios fundamentales de transferencia de calor y de masa para simular la temperatura, la fracción de mole de agua y los perfiles de fracción de cemento sin reaccionar en un sistema de pavimento de concreto durante las primeras 72 horas de curado.

## **"Strength uniformity of ready-mixed concrete"**

Alex Leshchinsky

*Concrete Precasting Plant and Technology*, abril de 1997, 6 pp.

En este trabajo se enmarca la estructura del aseguramiento de calidad de una planta de concreto premezclado y se continúa el tema desde el punto de vista de la uniformidad de resistencia del concreto. Se presenta un modelo analítico de la resistencia del concreto premezclado y se conduce una evaluación de la influencia de diferentes factores sobre la uniformidad de la resistencia.



# CONSERVACIÓN DE ADITIVOS PARA CONCRETO

Hoy día el concreto puede adaptarse mejor a las necesidades específicas de una obra gracias a la acción de productos que lo modifican. Esta afirmación cobra validez especial en momentos en que un enemigo muy poderoso de los aditivos, la descomposición microbiana, puede ya evitarse con el empleo de productos especialmente formulados para prevenirla.

(TEXTO DEL ARTÍCULO:)

Los requerimientos planteados por el desarrollo de nuevas técnicas constructivas han promovido cambios cuyo alcance toca a los materiales mismos con que se construye. Así, el concreto ha visto mejoradas sus propiedades físicas y químicas merced a la adición de productos que lo modifican, tanto en el momento de preparación de la mezcla como una vez alcanzado su estado sólido.

Estos productos son los aditivos. Los efectos que provocan en el concreto varían según su formulación y ello ha permitido clasificarlos en los siguientes tipos:

## . Plastificantes y superplastificantes

Su función es aumentar la resistencia mediante una reducción de la demanda de agua. Con frecuencia también facilitan el manejo de la mezcla.

Cuando se trata de plastificantes, lo usual es agregar de 0.2 a 0.5 por ciento de producto, calculado sobre el peso total del concreto.

Los superplastificantes reducen aún más la demanda de agua y esto mejora las propiedades de cohesión, tanto inicial como final, en los concretos fluidos. Estos aditivos

## . Antiespumantes

Los principales antiespumantes son el tributil fosfato (inhibidor de espuma T) y los antiespumantes de silicón (Baysilone®), que sirven para eliminar las burbujas de aire que quedan atrapadas.

## Microbicidas

A pesar de ser minúsculos, los microbios provocan daños incalculables: destruyen el concreto y el acero, y también la madera, ocasionando perjuicios millonarios en las estructuras arquitectónicas. Los líquenes, las algas y el moho atacan los monumentos y afean las fachadas. Sin embargo, se puede lograr una protección segura con la utilización de fungicidas y conservantes para pinturas, aditivos y maderas.

Todos los productos de base acuosa, lo mismo que los higroscópicos, están expuestos al ataque microbiano. Esta susceptibilidad es mayor cuando el ingrediente activo representa un medio adecuado para el desarrollo de microorganismos, como es el caso de los azúcares y los polímeros sulfonados que, como se ha dicho, son la base para formular varios aditivos para concreto.

Podemos tomar como ejemplo los plastificantes y superplastificantes que contienen carbohidratos: se degradan rápidamente, especialmente por la acción de levaduras. Como resultado de este ataque microbiano hay formación de gas, así como mal olor, notable reducción en la viscosidad y pérdida de algunas propiedades deseables.

El sulfonato de melamina libera formaldehído

se dosifican en un rango de 0.8 a 2.0 por ciento.

Las materias primas más utilizadas en ambos tipos son los sulfonatos de lignina, los sulfonatos de melamina, los naftalén sulfonatos, los poliacrilatos y las melazas y sus derivados.

#### . Componentes de arrastre de aire

La adición de estos aditivos introduce en el concreto pequeñas cantidades de aire, que incrementan la resistencia al escarqueo. Los componentes de arrastre de aire se elaboran a base de varios surfactantes tales como resinas de raíces naturales o bien tensoactivos sintéticos.

#### . Componentes de resistencia al agua

Reducen la absorción de agua al provocar dificultad para la penetración de este líquido en el concreto. La materia prima más usual en su fabricación es el estearato de calcio.

#### . Retardantes

Se adicionan para retardar el fraguado del concreto. Se formulan principalmente a base de sacarosas, gluconatos y fosfatos (Bayhibit® AM).

#### . Aceleradores

A la inversa de los anteriores, estos aditivos aceleran el fraguado y endurecimiento del concreto, incluso a muy bajas temperaturas. Las materias primas más empleadas en su elaboración son silicatos, aluminatos y formiatos.

#### . Aditivos para retener agua

y la mezcla, ya acelerada, libera formalina; así se imparte a los aditivos una capacidad de "autoestabilización". Muchos fabricantes de aditivos han buscado sustituir este método de conservación debido a la alta presión de vapor de la formalina. En tales casos, es esencial el empleo de conservadores efectivos.

Esto puede resolverse con la utilización de microbicidas liberadores de formaldehído (Preventol® D2 y Preventol® D4), puesto que la presión de vapor es mucho menor que la de la formalina y, por ende, la expulsión de gas desde el medio líquido es también menor.

También son efectivos los conservadores a base de isotiazolinonas (Preventol® D6 o Preventol® D7), aunque tienen ciertas desventajas: sólo son efectivos en un rango de pH de 2.5 a 9.0 y no son estables a la temperatura.

Los conservadores ideales por su efectividad y resistencia a la temperatura son los fenólicos (Preventol® CMK, Preventol® O-Extra y Preventol® WB). Además, estos productos pueden emplearse en combinación con liberadores de formaldehído, tienen muy baja toxicidad y son biodegradables.

Este producto tiene un muy fuerte efecto retardante del fraguado del concreto. Dicho efecto es relevante, por ejemplo, cuando el concreto debe ser bombeado a larga distancia o cuando debe ser almacenado en forma de líquido durante toda una noche o un tiempo largo.

Los aditivos para concreto que contienen Bayhibit® AM también son empleados para permitir la limpieza de los contenedores de los camiones mezcladores que, una vez descargados, todavía contengan residuos de concreto.

Son estabilizadores que previenen el "sangrado" del concreto y mejoran la fuerza de cohesión mediante la retención de agua. Normalmente utilizan éteres de celulosa y almidón como materias primas.

#### . Componentes para lechada

Estos componentes sirven para rellenar completamente cualquier cavidad. El efecto de expansión deseado se obtiene partiendo de aluminio metálico que reacciona en un medio alcalino para producir hidrógeno.

Dadas las restricciones ecológicas que cada vez son más estrictas, este producto logra la disminución de las descargas residuales al medio ambiente sin que el concreto sufra alteraciones, por lo que puede ser reutilizado.

El Bayhibit® AM en soluciones sobresaturadas de carbonato de calcio inhibe el crecimiento de cristales de  $\text{CaCO}_3$  y tiene además un efecto defloculante de los sólidos inorgánicos presentes. Ambas características desempeñan un papel clave en el fuerte efecto retardante del fraguado.



## ¿PUEDE EL CONCRETO HACER FRENTE A LOS SISMOS?

Ingeniero Federico Garza Tamez

Después del terremoto de 1985, el empleo del concreto se ha reducido en la denominada Zona del Lago de la ciudad de México. Sin embargo, este estudio demuestra que su utilización en estructuras de mediana altura podría ser aceptable y hasta ventajosa cuando fuera acompañada de un sistema de aislamiento basado en la acción pendular: el sistema GT-BIS de aislamiento sísmico.

El rápido crecimiento de la población en ciudades ubicadas en zonas sísmicas propició que se incrementara en las mismas la construcción de edificios de baja y mediana altura. Muchos de estos edificios, supuestamente preparados para resistir los efectos de los temblores, han sido dañados o destruidos por sismos ocurridos en las últimas décadas.

En la mayor parte de los edificios fijos en su base, la reducción de las fuerzas cortantes sísmicas se ha apoyado en la disipación histerética de energía, disipación basada en la ductilidad de los miembros de la estructura y en la formación en éstos de articulaciones plásticas. Sin embargo, cuando se presentan tales condiciones, la estructura sufre en muchos casos daños apreciables, por lo regular más severos si en la misma se ha utilizado concreto. Además, se presenta otra importante consecuencia: los usualmente grandes desplazamientos horizontales relativos entre pisos consecutivos dañan también a los elementos no estructurales y pueden provocar pánico entre los moradores de los edificios.

La rigidización de la estructura de un edificio se puede lograr mediante el empleo de contravientos o de muros de cortante; sin embargo, a veces los requerimientos del proyecto arquitectónico no permiten aplicar esta solución. En tales casos, la oposición a los desplazamientos relativos es proporcionada exclusivamente por los marcos rígidos de la estructura. El estudio que se describe a continuación se refiere a este último caso, por ser el más desfavorable para la restricción de los desplazamientos relativos.

Estudio comparativo de los desplazamientos relativos en dos estructuras integradas por marcos rígidos

Se diseñaron las estructuras de dos edificios, una de acero y la otra de concreto. Estos edificios son similares al prototipo del modelo probado en Champaign, Illinois, con excepción de su planta, la que se cambió de tal manera que ambos edificios tuvieron las mismas características en las dos direcciones ortogonales (figura 8). Se supuso su ubicación en la llamada Zona del Lago de la ciudad de México, en la que el 19 de septiembre de 1985 fueron destruidos, o seriamente dañados, numerosos edificios de mediana altura. Se estudió su comportamiento bajo la acción de la componente E-W del sismo antes citado, de acuerdo con el acelerograma registrado en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (México 85, SCT), el mismo que fue utilizado en las pruebas del modelo en mesa vibratoria mencionadas anteriormente.

El diseño de las estructuras se desarrolló suponiéndolas con su base fija en el suelo,

Una alternativa para reducir los efectos de los temblores es el empleo de sistemas de control estructural. Entre los conocidos como sistemas de aislamiento de base, los que se emplean con más frecuencia son aquellos que utilizan como aisladores dispositivos compuestos por capas de hule o de neopreno.

### El sistema GT-BIS de aislamiento sísmico

El autor de este artículo ideó hace tiempo un sistema de aislamiento que, complementado y perfeccionado en los últimos años, se ha denominado GT-BIS. Se compone de varios elementos, que en las figuras 1 y 2 se muestran en una de las varias formas en que se pueden aplicar en un edificio, a saber: a) aisladores basados en la acción pendular; b) dispositivos especiales de amortiguamiento hidráulico diseñados de manera de poder regular a voluntad la fuerza de oposición al desplazamiento relativo y, en caso necesario, evitar el giro relativo de la estructura aislada; c) elementos mecánicos que pueden utilizarse cuando en los aisladores se emplean cables, con los que se puede regular la longitud libre de dichos cables en los casos en que haya necesidad de anular los efectos de los asentamientos relativos de la cimentación; d) un perno restrictor de desplazamientos, que se utilizaría solamente en los casos en que se esperase un alto desplazamiento relativo de los aisladores ocasionado por las fuerzas de viento (este perno libera automáticamente la estructura al iniciarse un sismo).

### Las pruebas realizadas en la mesa vibratoria

El Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois efectuó un estudio del sistema GT-BIS en la mesa vibratoria de los laboratorios de Investigación de Construcción e Ingeniería de las Fuerzas Armadas de Estados Unidos (USACERL). El estudio consistió en el desarrollo de pruebas del

soportando las cargas verticales correspondientes al prototipo del mencionado modelo, y siguiendo las normas vigentes en la ciudad de México para la zona correspondiente a su supuesta ubicación (zona III). Se adoptó un factor reductivo  $Q=4$ , empleándose el análisis estático. Se eligió este último procedimiento dado el propósito principal del estudio: la evaluación de los desplazamientos entre pisos consecutivos de la estructura cuando se utiliza el sistema de aislamiento de base propuesto, sujetándolo a la acción del temblor México 85, SCT. Se empleó el programa STAAD - III para el análisis y diseño de las estructuras, así como para la evaluación de los desplazamientos relativos. Las características de los miembros de las dos estructuras se muestran en el cuadro 1.

En cambio, para la determinación de los desplazamientos relativos en las estructuras dotadas con el aislamiento de base se aplicaron las fuerzas sísmicas correspondientes a las aceleraciones máximas resultantes de las pruebas desarrolladas en Champaign, Illinois, para una longitud libre de los cables de los aisladores de 66 cm (26-1/8"), y bajo la excitación del temblor mencionado anteriormente. Estas aceleraciones se muestran en la figura 6 para los niveles 1, 4, 7 y 10; al ser muy parecidos sus valores, se determinaron los de los niveles restantes por interpolación (figura 8). Como las relaciones de escala entre el modelo y su prototipo eran de 1/8 para las longitudes y 1/1 para las aceleraciones, las arriba mencionadas son las que se registrarían en las estructuras reales aisladas para una longitud equivalente de los cables de los aisladores de 5.30 m (8 x 26-1/8). De esta manera se obtendría un periodo fundamental igual al registrado para el modelo multiplicado por la relación escalar ( $1.6 \times V^8$ ), igual a 4.53

modelo de un edificio de nueve pisos, modelo que, construido a una escala de 1:8 (figura 3), fue sujeto al efecto de varios sismos. Previamente, y dotado con aisladores de hule laminado, había sido estudiado en los laboratorios de la Universidad de California en Berkeley.

El modelo estudiado en Illinois se probó tanto estando fijo a la base, como provisto del sistema de aislamiento GT-BIS. Se desarrollaron pruebas de vibración libre, de excitación por ruido blando y por los efectos de cuatro acelerogramas: el Centro, el Parkfield, el Taff y el México 1985 SCT. Se utilizaron para las pruebas tres longitudes libres de los cables de los aisladores, de manera de obtener tres periodos fundamentales de oscilación.

Se instalaron amortiguadores de diseño especial que permiten variar a voluntad el amortiguamiento deseado y que evitan además un giro que pudiera incrementar desfavorablemente los desplazamientos lineales en los extremos de la estructura; esto último es conveniente cuando no se tiene mucho espacio entre los elementos unidos a la superestructura y los fijos al suelo.

La conclusiones del estudio fueron sumamente favorables para el sistema probado. Entre los resultados más importantes están: a) su completa estabilidad; b) su ventajosa utilización para edificios de mediana altura, aun cuando estén ubicados en suelos sumamente suaves; c) la gran reducción de los efectos críticos de un sismo, reducción que puede llegar hasta 96 por ciento (figura 4); d) su apreciable ventaja sobre el sistema de aisladores de hule laminado y, de primordial interés, e) la minimización de los desplazamientos relativos entre pisos consecutivos, con lo que prácticamente se podría esperar la anulación de daños, aun

segundos. Este periodo sobrepasa apreciablemente al dominante del suelo, aproximadamente 2 segundos. Se consideró en el sistema de aislamiento una fracción del amortiguamiento crítico de 0.06, que fue la que se aplicó en el sistema de aislamiento del modelo.

En el cuadro 2 se muestran los desplazamientos relativos con respecto a la base de la superestructura. En la figura 9 se muestra la relación desplazamiento lateral relativo/altura de entrepiso. Los desplazamientos totales correspondientes a las estructuras fijas al suelo son considerablemente superiores a los que resultan cuando se emplea el sistema de aislamiento. También lo son los de entrepiso, los que sobrepasan grandemente a los permitidos por las normas vigentes. Como se mencionó anteriormente, estos desplazamientos fueron calculados mediante un análisis estático, empleado por no ser su determinación el propósito principal de este estudio; podrían ser aún mayores los que resultaran de un análisis dinámico inelástico paso a paso que se basara en el acelerograma de la componente E-W del sismo México 85, SCT.

En cambio, los desplazamientos entre pisos consecutivos calculados para las estructuras aisladas se derivan de las pruebas físicas desarrolladas en la mesa vibratoria; son muy reducidos, con un promedio de 6.6 mm en la estructura de acero y de 2.4 mm en la de concreto. El desplazamiento máximo relativo entre el suelo y la base de los edificios (nivel 1) sería de 28 cm, el que tendría lugar en el sistema de aislamiento de base.

## Conclusiones

1. El estudio demuestra que el sistema de aislamiento de base GT-BIS es muy eficiente



durante sismos intensos.

Los resultados en la nave de prensa del periódico *Reforma*

La empresa editora CICSA decidió emplear el sistema GT-BIS para reducir los efectos sísmicos en la nave de impresión de su periódico *Reforma*, y también para aprovechar la ventaja de que con él se pudieran eliminar los efectos de los probables asentamientos diferenciales en la cimentación. Este último objetivo se estimaba necesario para cumplir con las especificaciones de los fabricantes de sus rotativas, las que limitan el desnivel entre las bases de dichos equipos a 0.003".

La edificación está ubicada en la llamada Zona de Transición del área del Lago, en México, D.F. La nave de impresión tiene aproximadamente en planta 45 x 9 m y una altura de 15 m (figura 5). Se obtuvo un periodo natural de oscilación cercano a los seis segundos, muy superior al dominante del suelo. Se instalaron ocho amortiguadores especiales (figura 6) para proporcionar el amortiguamiento calculado como óptimo.

Por los resultados de las pruebas físicas desarrolladas se espera eliminar al menos 90 por ciento de los efectos que en una instalación convencional podría producir un temblor, lo que ya se ha comprobado al registrarse algunos sismos de intensidad moderada.

Para lograr los requerimientos de nivelación se implantó un sistema de monitoreo de niveles cuyos módulos se colocaron en la losa suspendida frente a cada una de las 12 columnas. Con ese equipo especial, diseñado por el autor, se detectan desniveles relativos menores de 0.001". Cuando las lecturas indican la necesidad de una corrección, los asentamientos de la cimentación se

para la reducción de las fuerzas sísmicas y los desplazamientos relativos, tanto en la estructura de acero como en la de concreto.

2. Ambas estructuras estarían siempre dentro del rango lineal de respuestas y, dado lo reducido de los desplazamientos de entrepiso, no se justifica un análisis de segundo orden.

3. Dada la pequeña excentricidad que las fuerzas sísmicas causan en la base de los edificios, su cimentación podría ser diseñada para soportar solamente los efectos de las cargas verticales.

4. Los desplazamientos de entrepiso son muy pequeños en ambos edificios; los correspondientes a la estructura de concreto son aproximadamente un tercio de los de acero. Son tan reducidos (2.4 mm en promedio) que sus efectos podrían ser prácticamente ignorados.

5. Las normas de construcción vigentes para la zona III (Zona del Lago) de la ciudad de México no prohíben el uso de estructuras de concreto para edificios de más de seis pisos. Sin embargo, su empleo ha sido reducido durante la última década. Como se demuestra en este estudio, el empleo de concreto en estructuras de mediana altura, de más de seis pisos, podría ser aceptable y ventajoso.

6. En los casos de suelos altamente compresivos, como es el de la zona a que se refiere este estudio, se producen frecuentemente altos asentamientos diferenciales en la cimentación de los edificios con estructuración convencional.

Por lo regular, estos asentamientos son corregidos mediante procedimientos complicados y costosos; sin embargo, las usualmente muy rígidas traveses de los niveles inferiores pueden haber sido permanentemente

compensan rápidamente aplicando tuercas hidráulicas sobre los extremos superiores de los tirantes y efectuando enseguida el ajuste correspondiente de sus tuercas mecánicas (figura 7).

La aplicación en edificios de baja y mediana altura

La aplicación del GT-BIS en edificios de baja y mediana altura puede ser implementada con efectividad tanto en estructuras de acero como en estructuras de concreto. Al seleccionar una longitud apropiada para los cables o barras de tensión, se puede proporcionar un periodo fundamental que minimice la respuesta de aceleración. De igual forma, con el sistema especial de amortiguamiento se puede proporcionar el amortiguamiento óptimo. Así, para obtener una respuesta sísmica baja no se requiere descansar en la flexibilidad de la estructura ni en la disipación de la energía por medio de su ductilidad. Al contrario, es conveniente agregar rigidez a la estructura, con lo que, aunado a la muy baja respuesta sísmica, se reducen los desplazamientos relativos entre pisos consecutivos de tal manera que prácticamente se anulan los daños, tanto de la propia estructura como de los elementos no estructurales.

dañadas por los efectos de esos asentamientos. Estos daños pueden incrementar el riesgo de colapso de un edificio bajo los efectos de posteriores temblores. En el caso del empleo del sistema de aislamiento propuesto, los asentamientos diferenciales pueden ser limitados a fracciones de milímetro mediante un ajuste periódico de la longitud de los cables o tirantes de los aisladores.

7. Aunque un edificio con estructura de concreto esté localizado en una zona de alto riesgo sísmico, debido a lo reducido de los efectos de un temblor podría considerarse como localizado en una zona sísmica moderada cuando, por ejemplo, se sigue lo especificado en el capítulo 21 del Código ACI 318-89. De esta manera, solamente podría ser necesario cumplir con la sección 21.9.

8. Además de ser capaz de prevenir daños a los miembros estructurales de concreto, GT-BIS los evita también en los elementos no estructurales, tales como tabiques divisorios, fachadas, ventanales, cielos falsos, instalaciones, etcétera. Así, también se evitarían los gastos correspondientes y el tiempo necesario para la reparación de estos elementos.

Un análisis preliminar comparativo de costos mostró que para la ciudad de México, considerando exclusivamente las superestructuras, el costo de la de concreto es aproximadamente 50 por ciento menor que el de la de acero. Lógicamente, esta estimación puede variar para otros casos y otras localizaciones.

El ingeniero Federico Garza Tamez es el presidente de GT Implementación Antisísmica, S.A. de C.V.



# AVANCES EN TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

## Tendencias y desarrollo en la ingeniería civil

MCI. José Antonio Tena Colunga

A manera de puesta al día, se presentan aquí los factores principales que están marcando la evolución de la tecnología del concreto así como las tendencias que guían la investigación para el desarrollo de mejores concretos y otros materiales asociados.

El desarrollo futuro de la tecnología del concreto puede partir de la visión del concreto común y los cambios que esperamos con las tecnologías actuales y las que habrán de evolucionar. Este factor de cambio se repite permanentemente en el desarrollo de la humanidad.

Por ejemplo, la literatura técnica de 1840 hablaba extensamente de las propiedades de la madera y del hierro, de las que hacía largas listas. El acero se mencionaba, pero más bien como una segunda reflexión ya que se consideraba un material extremadamente caro. En comparación con los costos de los materiales de entonces, el acero era poco adecuado para las grandes estructuras civiles. Cuarenta años después, se construyó el puente de Brooklyn en Nueva York con un factor de seguridad de 18 a 20.

Los métodos de producción y cálculo de nuestros días han mejorado tanto que permiten emplear factores que varían entre 2 y 4 para estructuras importantes y pueden ser

Respecto a los acelerantes libres de cloruro y los inhibidores de corrosión, se sigue manteniendo un interés de investigación dirigido al mejoramiento de los productos ya conocidos, el empleo conjunto de dos o más aditivos con un mismo efecto, y existen algunos intentos para emplear la combinación de aditivos que aceleran el desarrollo de resistencias e inhiben la oxidación. Se han probado algunas nuevas formulaciones derivadas de productos anteriores, pero sin gran éxito.

El campo de los aditivos es muy amplio y desde las primeras patentes comerciales no se ha detenido su investigación y desarrollo. Como se puede ver, son los causantes de los cambios más grandes y probablemente continuarán siéndolo así en el futuro cercano.

Se promueve el empleo de materiales de alto comportamiento

Los materiales de alto comportamiento son productos de ingeniería que proporcionan ventajas específicas de comportamiento, por encima de sus contrapartes elaboradas con materiales convencionales. Por ejemplo, el concreto de alto comportamiento es más resistente y más durable que el concreto convencional y, en consecuencia, las estructuras hechas con aquel cuestan potencialmente menos en cuanto a construcción y mantenimiento.

La Federal Highway Administration (FHWA), dentro de su Programa para la Investigación Estratégica en Autopistas (conocido como

tan bajos como 1.5, por ejemplo, para los factores empleados en ingeniería aeronáutica.

El concreto ha evolucionado en forma paralela, aunque este desarrollo no ha sido del mismo grado en todos los campos.

Las mejoras en el concreto ordinario son el punto de partida

Iniciaremos este recuento hablando sobre mejoras para el concreto ordinario, ya que si bien es útil conocer las tendencias sobre materiales y concretos de vanguardia, más útil es conocer las mejoras, controles y cuidados que harán del concreto de cada día un producto mejor. A fin de cuentas, no tiene mayor utilidad saber cómo se puede hacer concreto en la luna si el que realizamos en nuestra obra tiene estándares bajos de comportamiento.

El concreto común u ordinario es definido por Adam M. Neville como "el que se puede producir empleando los materiales disponibles actualmente y el saber hacer del dominio común". Para nuestra sorpresa, Neville apunta entre los factores de mejora (para acabar con los "enemigos inconscientes" de todo buen concreto) los siguientes:

- . lograr que el obrero encargado de la producción del concreto sea una persona a la que se le exija cierto grado de especialización pues, aparentemente, esto no ocurre en la mayor parte de los países industrializados del orbe;

- . modificar la actitud costumbrista de los ingenieros para aceptar el empleo de nuevos materiales;

- . tener un buen curado, ya que este pecado de omisión en el concreto es uno de los factores que ocasiona mayores problemas y, aunque a

SHRP por sus siglas en inglés) está promoviendo el empleo de estos materiales en las siguientes áreas:

- . concreto de alto comportamiento,

- . materiales compuestos de alto comportamiento,

- . aluminio, y

- . acero de alto comportamiento

- . Concreto

El concreto de alto comportamiento es uno de los materiales más promisorios. Diez estados de la Unión Americana están realizando proyectos de puentes en los que se lo emplea. Por mencionar uno, el puente del condado de Sarpy, en Nebraska, tiene concreto de 82.7 megapascales en las vigas del puente y la losa tiene concreto de 55 megapascales con una permeabilidad al cloruro menor a los 1,800 culombios. Las resistencias en este tipo de concreto han ido traspasando umbrales cada vez mayores: si en una época se hablaba de resistencias de 40 Mpa, en 1980 se citaban ya resistencias de 60 y 75 Mpa y hoy día se pueden lograr sin problemas resistencias de 100 Mpa, a lo cual hay que agregar que están al alcance de la producción las resistencias de 120 Mpa. Ejemplos más conocidos de concreto de alto comportamiento que se pueden mencionar son los nuevos rascacielos que se levantan en la ciudad de Chicago, EUA, y las torres gemelas de la ciudad de Kuala Lumpur en Indonesia. En nuestro país ya se han realizado estos concretos; cuyo mejor exponente es el ala de ampliación del World Trade Center de la ciudad de México, con resistencias entre los 600 y 800 kg/cm<sup>2</sup> y valores muy bajos de contracción.

- . Materiales compuestos

nadie escapa su importancia, nadie obliga a su realización, especialmente porque sus consecuencias no son patentes y medibles;

. lo anterior reza también para una buena transportación, colocación y compactación.

Se ha avanzado en las técnicas de medición del concreto

Por lo que toca a nuevos aparatos para el mejor control del concreto, se han logrado avances en el desarrollo de nuevas y mejores pruebas que, de una manera sencilla, fácil y precisa, proporcionan datos del concreto fresco y endurecido. Ejemplo de ello son el medidor "K" de revenimiento que da resultados en un minuto; el minimedidor de aire para determinar contenido de aire en la mezcla; el probador K-5 de resistencia acelerada donde se expone un cilindro a una presión de 10 Mpa y a una temperatura de 149° C durante tres horas y se deja enfriar dos horas antes de obtener resultados a edades tempranas, lo cual toma cinco horas en comparación con las 24 de los métodos anteriores. En lo referente a pruebas no destructivas surgen nuevas variantes a la prueba de desgajamiento (*pull-out*) y el aparato de resistencia a la penetración de punzón, el cual es similar en principio de funcionamiento a la Pistola de Windsor, aunque mucho más económico.

Sigue en pie la tendencia al desarrollo de nuevos aditivos

El empleo de subproductos como adición integrante de la mezcla es otro de los resultados de esta época, y la tendencia sigue siendo el desarrollo de mayor tecnología en ese sentido. Ejemplos de ello son los concretos con ceniza de cascarilla de arroz y los concretos con un elevado consumo de ceniza volante, ambos con un comportamiento

Los materiales compuestos de alto comportamiento tales como los materiales poliméricos reforzados con fibras, no han alcanzado su madurez en cálculo y empleo para estructuras civiles. No han surgido procedimientos confiables de análisis de predicción de falla, y los procedimientos para estructuras de viga compuesta, placa y cascarones se han desarrollado en gran parte a partir de métodos isotrópicos, sin tomar en cuenta el efecto del cortante interlaminar o haciendo suposiciones muy simplificadas. Se puede decir que están en el mismo punto de evolución que el acero de mediados del siglo XIX.

Para abreviar el periodo normal de tiempo que tal vez requeriría el desarrollo de las tecnologías necesarias, la FHWA está invirtiendo 11 millones de dólares por considerarla un área de investigación de alta prioridad de la que se esperan grandes oportunidades para la construcción de puentes atirantados. Otras aplicaciones esperadas son barras de refuerzo, rejillas, losas y anclajes para presfuerzo.

. Aluminio

Se están desarrollando nuevos sistemas de losa, aprovechando las características de bajo peso y mantenimiento del aluminio. Así, se está construyendo un puente experimental en la carretera 58, en la cañada de Little Búfalo en el condado de Mecklenburg, Virginia.

. Acero

Los aceros de alta resistencia aparecieron hace tiempo en el mercado. Sin embargo, sus problemas de soldabilidad marginal, dureza y resistencia a la corrosión han frenado su empleo. El programa se propone desarrollar nuevos aceros con mejores propiedades asociadas a su resistencia, las que serán

mecánico adecuado y el último con características de bajo calor de hidratación, contracción diferida y resistencia que lo hacen recomendable para colados masivos como son presas o losas de cimentación.

El desarrollo comercial de los aditivos comenzó a finales del siglo pasado y en los albores del presente. Algunos, por ejemplo los inclusores de aire, han marcado épocas en la tecnología del concreto, en tanto que otros han desempeñado un papel complementario dentro del desarrollo tecnológico, al servir de complemento a los aditivos nuevos.

Entre los recientes desarrollos están la nueva generación de aditivos superfluidizantes, aditivos de innovación para el colado de concreto en climas fríos, agentes inclusores de aire, desarrollo de cementos libres de macrodefectos, aditivos activadores de escoria, aditivos inhibidores de la expansión álcali-agregado, aditivos para colados bajo el agua, aceleradores de fraguado libre de cloruros, aditivos controladores de fraguado y aditivos inhibidores de corrosión.

Los nuevos superfluidizantes, desarrollados a través de procesos de sintetización, han logrado grados de eficiencia mayores en hasta 30 por ciento que los obtenidos por sus antecesores –con sus consecuencias en el consumo–, tienen mayor retención del revenimiento y un aumento relativo de resistencia. El empleo de estos aditivos ha permitido aumentar la dosis de materiales tales como la ceniza volante o la escoria de alto horno para tener concretos con mejor resistencia al intemperismo. Otro producto derivado del empleo de los superfluidizantes son los sistemas cementados densificados de baja porosidad, donde se pueden alcanzar resistencias de 269 Mpa.

puestas a prueba en puentes que se construirán tanto en Nebraska como en Tennessee, Estados Unidos.

Éstas son las conclusiones

La tecnología y el desarrollo de la ingeniería civil acompaña la marcha de la humanidad para facilitar mejores medios y estructuras que sirvan al desarrollo de las actividades de nuestras sociedades. El camino ha sido un ejemplo de mejora continua mediante un conocimiento más cercano de los materiales y el empleo de mejores técnicas para su aprovechamiento.

La rapidez del cambio ha dependido en muchos casos de la acertada administración de la investigación; a veces, de la necesidad de algún nuevo producto que surge, y en otras ocasiones, de su descubrimiento accidental.

Los nuevos materiales desarrollados son principalmente resultado de la administración de la investigación y de las tecnologías disponibles en los países avanzados. Los logros en este campo han sido generados por la necesidad de mejorar la eficiencia de los productos y llevarlos a un nivel competitivo superior al de otros sistemas y sus esquemas de financiamiento.

Es de esperar que estos desarrollos sirvan para disminuir el umbral de incertidumbre sobre el empleo y vida de servicio de los materiales y sobre la garantía de su utilización en el futuro cercano.

## BIBLIOGRAFÍA

Kuko, H. e Y. Koskinen, RILEM recommendations for concreting in cold weather, Tech. Kuko, H. e Y. Koskinen, recomendaciones RILEM para hormigonado en tiempo frío, Tech. Res. Res. Center of

Los aditivos anticongelantes suprimen el punto de congelación del agua, lo que permite un mejor control en el empleo de concreto en climas fríos. Se ha informado que la combinación de aditivos y pequeñas cápsulas de agregados ligeros ofrece buenas expectativas.

Los cementos libres de macrodefectos se obtienen mediante procesos especiales de molienda y mezclado con cortantes de alta velocidad y su complementación con polímeros como aditivos. Las pastas así producidas alcanzan resistencias del orden de los 276 Mpa, las cuales son elevadas en comparación con los 55 Mpa logrados con humo de sílice en pastas.

Uno de los campos en que se requiere mayor investigación es el de aditivos para activar la escoria de alto horno. Los principales tipos de aditivo son álcalis cáusticos (hidróxidos de sodio, potasio o litio), sales de ácidos débiles sin silicato y sales especiales de silicato. La función de éstos es activar la reacción de la escoria sin la presencia de cemento. Como decíamos, este campo requiere mayor investigación ya que si bien estos concretos tienen características de muy bajo calor de hidratación y mayor resistencia a ácidos, los resultados de las investigaciones revelan valores contradictorios de desarrollo de resistencia y de las demás características de la mezcla, así como problemas de fraguado rápido, una consistencia no dócil, eflorescencia, mayor expansión alcali-agregado, mayor carbonatación y mayores costos.

En lo que respecta a las reacciones de los álcalis del cemento con los agregados del concreto, se han presentado algunas nuevas investigaciones para disminuir sus efectos. Sin embargo, no se tiene hasta la fecha un nuevo producto comercial que dé resultados

Finland., Res. Centro de Finlandia., Res. Notes 827, 1988, p. Notas 827, 1988, pág. 52. 52.,en

Kuboyama, K., S. Nakano y M. Sukekiyo, "Improvement of freeze-thaw resistance concrete by addition of porous fine aggregates", Conf. Kuboyama, K., S. y M. Nakano Sukekiyo, "Mejoramiento de la resistencia del hormigón de congelación-descongelación mediante la adición de agregados finos porosos", Conf. on "Frost damage to concrete", Hokkaido Dev. el "daño de Escarcha a concreto", Hokkaido revelador. Bureau, Hokkaido, 1988, pp. 107-112. Oficina, Hokkaido, 1988, pp 107-112.,en

Bergh. Bergh. M. y JF Young, "Introduction to MDF cement composites", Cementing the future, vol. M. y JF Young, "Introducción a la MDF cemento composites", cementación el futuro, vol. 1, 1989, pp. 3-4. 1, 1989, págs 3-4.,en

Chemical admixtures for concrete, ACI Committee 212, 1990, p. Aditivos químicos para el hormigón, el Comité ACI 212, 1990, p. 31. 31.,en

Anon, "Delvo system", Res. Anon, "Sistema DELVO", Res. and Development, Dept. Master Builders Technologies, 1988, p. y Desarrollo, Departamento de Master Builders Technologies, 1988, p. 24. 24.,en

Mehta, PK, ceniza de cáscara de arroz - Un material único complementario cementación, avances en la tecnología del hormigón, CANMET, 1994.,en

Assaro, AT Gaynor y S. Hettiarachchi, "Electrochemical chloride removal and protection of concrete bridge components", Strategic Highway Res. Assaro, AT Gaynor y S. Hettiarachchi "remoción electroquímica de



garantizados. Se ha tratado de dar tratamiento a los agregados, pero los materiales pueden ser efectivos para un tipo de agregados e inocuos para otro.

El empleo de aditivos para colar concreto debajo del agua permite la reparación de estructuras hidráulicas sin desaguarlas. Su utilización hace posible que el concreto sea suficientemente cohesivo para permitir una exposición limitada al agua y una aceptable movilidad con pérdidas menores de cemento. A estos productos se los conoce como aditivos antideslavado; su composición se basa en éteres de celulosa o polímeros solubles. La magnitud de su efecto depende de la dosis y requieren ser empleados junto con superfluidizantes; ya se ofrecen productos para su empleo comercial.

cloruros y la protección de los componentes del puente de hormigón", Strategic Highway Res. Program., Washington, DC, 1990, p. Programa., Washington, DC, 1990, p. 53. 53.,en

Lane, Susan y Otros, "materiales de alto rendimiento: un paso hacia el transporte sostenible", Vía Pública, primavera de 1997.,en

Hargrave, Martin y Otros, "autopista aplicado el programa de la FHWA infraestructura de investigación sobre materiales compuestos", Vía Pública, primavera de 1997.,en

Este artículo reproduce una ponencia presentada por el autor en el V Congreso Nacional de Ingeniería Civil realizado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de las Américas realizado en Cholula, Puebla, en enero de 1998.

El MCI José Antonio Tena Colunga es gerente de Asesorías Técnicas en el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.



## Actualidad profesional

### NUEVOS PRODUCTOS Y EQUIPOS

#### Aserradora de juntas de pavimentos

La aserradora de pavimento RPG-2400 de Magnum Diamond & M. Inc. es altamente maniobrable y de fácil operación en una variedad de aplicaciones, tales como ranuración de pisos industriales, puentes, caminos y pistas de aeropuertos. También se emplea para instalar alarmas audibles y tiras de rumor en caminos.

La RPG-2400, con cabezal para ranurar de 60 cm de ancho (24 ") ofrece una variedad de opciones para el espaciamiento de hojas ranuradoras, además de ruedas de control de profundidad ajustable a cada lado del cabezal de corte. Está provista de un motor diesel de 80 HP enfriado por aire.

#### Nuevo Curb Fox 2000 que acelera trabajo de guarnición

Messenger, Incorporated introduce la nueva máquina 2000 con cimbra deslizante para pavimentar guarniciones pequeñas hasta de 35 cm de alto y 30 cm de ancho.

Provista de transmisión hidrostática, pavimenta a velocidades de 15.3 m por minuto. Además, reduce al mínimo el trabajo manual por dar vuelta en radios hasta de 45 cm.

La pavimentadora 2000 maneja casi cualquier tipo de aplicación de guarnición: sobre acero de refuerzo, sobre la parte superior del pavimento, adyacente al pavimento, o posición libre. Su operación es simple y confiable. Todos los mandos son hidráulicos y fáciles de aprender.

#### Concreto polimerizado para acabado de superficies

El Ultra Surface® Concrete Polymer se puede estampar en aplicaciones que son normalmente de 0.6 cm de espesor. Con él es posible lograr la misma belleza y elegancia del concreto tradicional estampado sin remover o reemplazar la superficie existente.

Es perfecto para entradas de cocheras, pisos interiores residenciales y comerciales, pisos de piscinas y patios. Es ideal para aplicaciones interiores y exteriores; pisos de restaurantes, de centros comerciales y de salas de exhibición o dondequiera que se desee una nueva vista.

#### Dobladora hidráulica de varilla

En las columnas reduce la necesidad de cimbras articuladas que consumen tiempo. Hoy día se pueden doblar las varillas después de haber removido las cimbras. Doblar después del colado permite ubicar las varillas del lecho inferior de las vigas.

Se pueden ahorrar miles de pesos al reducir la necesidad de acopladores, soldadura e

inspecciones.

