

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

VPU e IE en la evaluación de concreto sometido a altas temperaturas

La exposición de una estructura de concreto reforzado a elevadas temperaturas afectan su durabilidad y sus prestaciones mecánicas. El concreto sufre cambios físicos y químicos, en muchos casos irreversibles cuando se le expone a un calor elevado; el tiempo de exposición, de la composición del material y del tipo de enfriamiento.

En la microestructura del concreto se presentan fisuras y otras imperfecciones que en numerosas ocasiones se extienden hasta la macroestructura. Cuando el material se somete a elevadas temperaturas se crean cambios volumétricos diferenciales en todos los componentes de la mezcla, al tener diferentes coeficientes de dilatación. En general, se genera una acción combinada de contracción y expansión de la pasta cementicia, que afecta su microestructura. Hasta los 105 °C la pasta se deshidrata y contrae. Cuando las temperaturas se elevan, los agregados se expanden y predomina la expansión de ellos sobre la contracción de la pasta. A 180 °C comienza la deshidratación del silicato de calcio hidratado. A partir de los 500 °C la mayoría de los agregados dejan de ser estables y las afectaciones son irreversibles, con una importante densidad de microfisuras en la interface agregado-pasta.

Este proceso puede agravarse según el tipo de enfriamiento al que se exponga la estructura. En un enfriamiento acelerado, como el que se produce por la acción de los bomberos, se presenta un cambio brusco de temperatura que genera un shock térmico, con la consecuente aparición de microfisuras en la masa del concreto que afectan a su estructura interna. Por ello es



vital poder diagnosticar esta estructura dañada con la mayor precisión posible.

Algunos de los métodos que se pueden utilizar en este diagnóstico son la determinación de la Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU) y el Índice de Rebote o Esclerométrico (IE). Ambas técnicas permiten estimar la calidad del concreto de una forma no destructiva, rápida y económica. En este trabajo se presentan resultados de estudios en Argentina a una serie de probetas de concreto con distintas relaciones agua-cemento, empleándose canto rodado como agregado grueso. Con el fin de analizar las posibles situaciones, las probetas se exponen a diferentes temperaturas; desde la temperatura ambiente hasta 750 °C, durante un período de exposición de 1 hora y, posteriormente enfriadas de varias formas: al aire, o rociadas con distintas cantidades de agua.

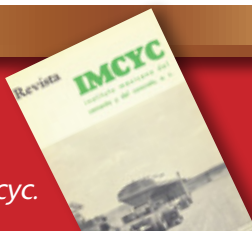
Se realizó la determinación de la VPU y se estableció el IE de las distintas probetas antes y después de exponerlas a las condiciones descritas. Para estimar la resistencia del concreto se contrastaron los resultados de estas dos pruebas con la rotura de probetas a compresión. Se elaboraron probetas cilíndricas de 15 x 30 cm, que se sometieron a condiciones similares a las que se presentan habitualmente en la práctica; o sea, que no fueron curadas según las normas (inmersión en agua), sino que se colocaron dentro de bolsas plásticas durante unos 60 días. Durante los primeros 7 días se humedecieron con un rociado superficial, luego se expusieron al ambiente de laboratorio hasta la realización de los ensayos.

De los resultados obtenidos se pudo constatar que las dos pruebas resultan útiles para la evaluación y auscultación de estructuras ubicadas en lugares en donde no se pueden extraer testigos, o no es conveniente hacerlo; permitiendo cuantificar el deterioro estructural, al observarse notorios descensos tanto del IE, como del VPU. No obstante, debido a sus limitaciones, estas técnicas deben emplearse con cuidado; considerándose que para analizar el estado de deterioro resulta más confiable el uso del VPU. ©

Referencia: Ercolani, G. D.; Ortega N. F.; Señas L., "Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría en el diagnóstico de estructuras de hormigón afectadas por elevadas temperaturas", en *IV Conferencia Panamericana de END*, Buenos Aires, octubre de 2007.



1963 En enero, inició la publicación de la *Revista Imcyc*.



1963 La biblioteca del IMCYC abrió sus puertas de lunes a viernes de 16 a 18:30 horas.

SUSTENTABILIDAD

Resistencia eléctrica y electroquímica en concretos

En la actualidad se proyecta mejorar la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado y el remplazo de sus ingredientes por materiales reciclables. Entre los materiales alternativos más utilizados se encuentran las adiciones cementantes suplementarias (ACS) como el humo de sílice (HS), la ceniza volante (CV), y la escoria de alto horno; así como los agregados de concreto reciclado como remplazo parcial o total de los naturales. En este documento están los resultados de un estudio en el que se evaluó la resistividad eléctrica y su relación con la microestructura y resistencia a la corrosión electroquímica de concretos sustentables; es decir, elaborados con agregados reciclados y ACS.

La resistividad eléctrica del concreto está íntimamente relacionada con la microestructura de la matriz cementante y con la estructura y distribución de poros. Por la naturaleza de sus ingredientes es de suponer que los concretos sustentables propuestos presentan diferente microestructura y porosidad, que las de un concreto convencional; motivo por el cual se analizó la respuesta eléctrica y electroquímica de dichos sistemas mediante la técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIE).

Se fabricaron cuatro series de probetas, todas con relación agua-material cementante (a/c) de 0.5. La serie de referencia se fabricó con agregado natural (AN) y 100% de Cemento Portland Compuesto (CPC). La segunda serie fue elaborada con agregado grueso reciclado (AR) y 100% CPC, la tercera con AR y 30% de CV como remplazo del CPC, y la cuarta con AR y 10% de HS como remplazo del CPC. Cabe decir que el AR procedió de la trituración de probetas de concreto fabricadas con agregados naturales, CPC y a/c de 0.50; así como los AN procedieron de roca

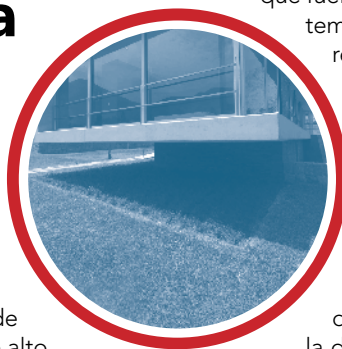
triturada de banco y arena de río. Asimismo, como ACS se utilizó CV clase F según la norma ASTM C618, y HS con los requerimientos de la ASTM C1240.

Para evaluar la resistividad eléctrica y la resistencia a la corrosión se utilizaron probetas cilíndricas de 30 x 15 cm, que fueron curadas durante 28 días en una cámara con temperatura de 23 ± 2 °C y $98 \pm 1\%$ de humedad relativa. A cada probeta se le embebieron dos barras de acero al carbono 1018 de 9.5 mm de diámetro, con un área expuesta de 64 cm² y 4.5 cm de recubrimiento.

Las probetas fueron expuestas en solución acuosa al 3.5% de NaCl y se evaluó tanto la variación de la resistencia electrolítica (Re) (que se relaciona con la resistividad del concreto), como la variación de la resistencia de transferencia de carga (Rtc) (relacionada con la densidad de corriente de corrosión (i_{cor}) del refuerzo). La evaluación de los dos parámetros (Re y Rtc) se hizo por EIE utilizando un Potenciostato/Galvanostato/FRA. Finalmente, bajo las condiciones experimentales de este estudio se pudo concluir que el remplazo del 100% de AR por AN disminuye la resistividad eléctrica del concreto, y por tanto aumenta la cinética de corrosión del refuerzo. También puede afirmarse que la CV y el HS contribuyen de manera importante en el aumento en la resistividad eléctrica del concreto por la densificación de la matriz cementante y el refinamiento de poros. Asimismo, aunque la magnitud de la resistividad eléctrica del concreto con HS es dos veces más grande que la del concreto con CV, la resistencia a la corrosión de ambos se presenta muy similar, debido al alto contenido de Al₂O₃ de la CV con respecto al HS.

En general, el uso de CV y HS aumenta la durabilidad del concreto con 100% de agregado grueso reciclado, y este puede ser usado en estructuras expuestas a ambientes agresivos; contribuyendo además en la sustentabilidad de la industria del concreto. **C**

Referencia: Corral, R.; Arredondo, S. P.; Neri, M. A.; Orozco, V.; Gómez, J.; Almeraya, F. y Almaral J. L., "Propiedades dieléctricas y electroquímica de concretos sustentables", publicado en *XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica*, mayo/junio de 2010.



1963 Se realiza para la revista la primera traducción del Reglamento ACI-318.



1963 La Revista IMCYC se maneja como correspondencia de segunda clase por la dirección general de correos, con fecha 25 de marzo.

FIBRAS

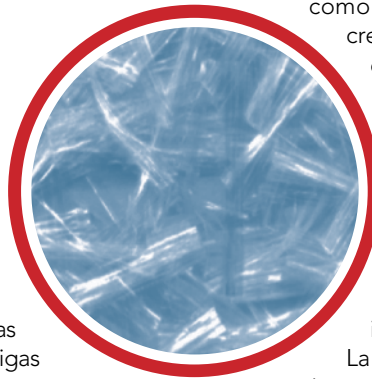
Uso de fibras en el concreto

Las fibras se emplearon en la antigüedad para el refuerzo de materiales quebradizos. La paja, los pelos de cola de caballo, el yute, el bambú, entre otras fibras naturales fueron utilizadas para mejorar la calidad de ladrillos secados al sol, bloques y morteros.

En 1910 se comprobó que el concreto podía mejorar algunas de sus propiedades físicas mediante el uso de pesuñas cortadas y de espigas de trigo, logrando aumentar principalmente la resistencia. Luego de la II Guerra Mundial, Romualdi y Williamson describieron el incremento de la resistencia a tensión del concreto usando fibras de acero. Sin embargo, el precursor determinante en el agregado de fibras al concreto fue el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano. Durante los años 60 y 70 del siglo XX ese cuerpo trabajó para encontrar adiciones que mejoraran la resistencia del concreto a los más altos esfuerzos y que además soportaran la potencia de los explosivos para aplicarlos a diversas construcciones militares. Desarrollaron toda una tecnología con los más diversos materiales: acero, sintéticos, polímeros y hasta fibras vegetales. Ya en la década de 1980, la industria civil continuó este desarrollo con la colaboración de las universidades.

Dentro de la gama de fibras de uso en el concreto, las más comunes son las fibras de acero redondas que se producen a través del corte de alambres con diámetros que varían entre los 0.25 y 1 mm. Estas se emplean en los concretos generalmente en cantidades entre 0.3 y 2% en volumen, y excepcionalmente hasta un 4%

El concreto reforzado con fibras de acero mejora la resistencia al impacto en hasta tres veces la del concreto simple, y exhibe mayor ductilidad en la falla a compresión, flexión y torsión. Las aplicaciones más comunes de estos concretos son las ligadas a absorber cargas de impacto o de flexión, que incluyen entre otros a pavimentos de carre-



teras, aeropuertos, apoyos de puentes, pisos industriales, estructuras marinas y bases de máquinas. De las fibras mencionadas, las que mejor satisfacen técnicamente y además tienen la mejor relación desempeño-costos son las de polipropileno. Estas fibras son las más utilizadas como refuerzo secundario tridimensional en concretos, reemplazando a la malla electrosoldada, colocada también como refuerzo secundario.

Cabe decir que la inclusión de fibras en el concreto reduce significativamente la fisuración. Su uso reduce considerablemente la tendencia del concreto a fisurarse debido a la contracción plástica provocada por el secado prematuro.

En el concreto endurecido la presencia de fibras reduce la contracción por secado e incrementa todas las resistencias en general.

La resistencia al impacto aumenta un 40% con la incorporación de fibras de polipropileno, y más aún con las de acero. Asimismo, la naturaleza isotópica de las fibras de polipropileno ayuda a mejorar la resistencia a los choques y a las cargas de fractura del concreto. En virtud a lo enunciado, es lógico suponer que la adición de fibras al concreto permite que estructuras sin altas exigencias de cargas, puedan hacerse más delgadas, que las que usualmente se refuerzan secundariamente con acero.

La construcción de paneles reforzados con fibras implica diversas economías, menos concreto por elemento (puede disminuirse el espesor), ausencia de mallas de acero, facilidad de operación, y menores costos de transporte al ser los elementos más livianos. La resistencia a la abrasión también es sensiblemente mayor en los concretos fibrados. Además, las fibras de polipropileno brindan una mayor durabilidad al concreto, especialmente si está sometido a ciclos alternados de congelamiento y deshielo. Al evitar la fisuración, aumenta la impermeabilidad y se protege de la corrosión a las armaduras, especialmente en los medios marinos. En general, estas fibras también mejoran la textura superficial del elemento. **C**

Referencia: Masciotra, G., "Fibras para refuerzo de concreto y morteros. Cuando la tenacidad es lo importante", en *Revista Hormigonar*, año 3, edición No. 7, diciembre 2005.



1963 En mayo, la *Revista IMCYC* se define bimestral.



1963 En julio, la Canacem hace una donación de libros a la Biblioteca del IMCYC.

Desarrollo de los puentes de concreto

1^{era} parte.

Se desconocería el punto de inicio de los puentes, si el hombre primitivo no hubiera utilizado los árboles caídos y otros materiales de origen natural para cruzar las barreras geográficas. Algunos de los primeros puentes que sobreviven datan del siglo II a.C., por lo general construidos con base en arcos de piedra, una forma que dominó la construcción de puentes hasta la llegada del hierro forjado y el acero en el siglo XVIII, y del concreto, 150 años después. La mayoría de los puentes fueron construidos por la Iglesia. Dos puentes de piedra todavía pueden verse en París (el *Notre Dame*, de 1305 y el *Neuf*, de 1606).

En el siglo XVIII, el diseño de puentes se convirtió en toda una ciencia. En la escuela de ingeniería fundada en París, su director Jean Perronet perfeccionó el sistema basado en arcos de mampostería con el uso de esbeltos pilares. Tiempo después, la atención se desplazó hacia Inglaterra, en donde la invención de la locomotora de vapor exigió la creación de puentes con mayores prestaciones estructurales. En 1794, el hierro se utilizó por primera vez para la fabricación de los cables en el puente colgante sobre el río Tees. Posteriormente, en 1779 se construyó el primer puente de hierro con un arco de más de 30 metros de longitud, tendido sobre el río Severn, en Coalbrookdale que aún se encuentra en servicio.

Justo cuando a principios del siglo XX los puentes de arco de albañilería estaban llegando a su clímax, el concreto armado llegó a la escena. Desde entonces, éste se ha convertido en el principal material de construcción para los puentes; debido a sus mejores aplicaciones ingenieriles y estructurales, a su versatilidad intrínseca, a su flexibilidad de diseño y sobre todo, a su durabilidad natural.

Aunque muchos ingenieros británicos utilizaron el concreto a principios del siglo XIX, su uso en el diseño

de puentes no se desarrolló hasta la segunda mitad del siglo XX, de ahí que se estima que al menos el 75% de los puentes carreteros de concreto en Gran Bretaña, fueron construidos a partir del año 1960. En contraste, puentes de arco de concreto se construían en la década de 1850 en Europa continental.

El puente de concreto en masa más antiguo que se conoce en el Reino Unido, se encontraba cerca de Cromwell Road, al oeste de Londres. Este puente lo diseñó Thomas Marr Johnson para Sir John Fowler y se construyó en 1865. Otros ingenieros británicos comenzaron también a utilizar concreto en masa en la construcción de superestructuras de puentes; uno de ellos, Philip Brannan, erigió un arco de tres vanos de concreto en Seaton, Devon, en 1877.

Por otra parte, algunos ingenieros ferroviarios también estuvieron activos en esta época. Por ejemplo, con concreto en masa se construyó el viaducto de Dochart a finales del siglo y adicionalmente se utilizó concreto simple en el viaducto de Carrington (1903). Los primeros puentes de ferrocarril de concreto los diseñaron Mouchel (Bristol, 1907) y Coignet (Bargoed, Gales). El primer puente de ferrocarril de concreto reforzado en Gran Bretaña tuvo aproximadamente 5 metros y medio de claro y fue construido en Dundee, Escocia, en el año 1903.

El uso del concreto armado comenzó probablemente con la construcción del puente de Homersfield sobre el río Waveney en la frontera Norfolk/Suffolk en 1870, cuando el acero de refuerzo se adicionó a la masa de concreto. Sin embargo, no fue hasta la primera década del siglo XX que el refuerzo en el concreto se introdujo, tal y como lo conocemos hoy en día. Gran parte de lo que hoy se conoce se le debe a L. G. Mouchel, que en el Reino Unido aplicó la teoría del concreto armado, que previamente había sido desarrollada por François Hennebique. El primer proyecto en el Reino Unido fue el de un puente de 5.4 metros de largo, en Chewton Glen en el condado de Hampshire, en 1902. Dos años después, se concibió un puente de losa y vigas de aproximadamente 12 metros de longitud, en el drenaje de Sutton en la ciudad de Hull. **C**

Referencia: Adaptado y traducido de "History of concrete gridge", en Concrete Bridge Development Group, <http://www.cbdg.org.uk/intro2.asp>



1963 La Tolteca envía a la Biblioteca del IMCYC una serie de libros para su biblioteca.

1963 El ing. Rafael Cuadros escribe sobre el empleo de cimbras deslizantes para construcción de silos.