TRANSFERENCIA DE HUMEDAD EN MORTEROS DE CEMENTO UTILIZANDO VIDRIO VOLCÁNICO Y POLÍMERO SUPERABSORBENTE COMO AGENTES DE CURADO INTERNO

M. A. LÓPEZ-ARELLANES, P. F. DE J. CANO-BARRITA, F. M. LEÓN-MARTINE

CIIDIR Unidad Oaxaca/Instituto Politécnico Nacional, Calle Hornos No. 1003,
Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

RESUMO

Algunos materiales porosos de origen natural o artificial son capaces de absorber y retener agua, por lo que son usados para curado interno de concreto hidráulico. Esto con el fin de mitigar la retracción autógena en sistemas cementicios con baja relación agua/cemento. Los mecanismos de transferencia de humedad desde el material de curado hacia la pasta de cemento y la velocidad a la que ocurren dependen de las propiedades de transporte del agente de curado y de la pasta de cemento. En este trabajo se utilizó la imagenología y relaxometría de resonancia magnética de ^1H para observar la transferencia de humedad entre un polímero superabsorbente o un vidrio volcánico saturado hacia la pasta de cemento durante la hidratación del cemento.

Se elaboraron especímenes mortero con dos relaciones a/c (0.30 y 0.42) con cada uno de los materiales de curado. Los especímenes fueron cilindros de 2.5 cm de diámetro por 4 cm de altura. Al centro del cilindro se colocó una pastilla de 1 cm de espesor del material absorbente saturado con agua dopada con sulfato de cobre, con una de sus caras sellada para evitar transferencia de humedad, mientras que la otra cara estuvo en contacto con la pasta de cemento. La transferencia de humedad a distintos tiempos de hidratación desde 0 hasta 28 días se estudió por medio de técnicas de resonancia magnética nuclear de ^1H .

Los resultados permiten observar las poblaciones de poros y su reducción de tamaño debido a la hidratación del cemento. También se observa la transferencia de humedad desde los agentes de curado interno hacia la pasta de cemento (8 horas después del colado) conforme avanza el proceso de hidratación. Además, fue posible demostrar que la pasta de cemento que se encuentra en contacto con el agente de curado aumenta su grado de hidratación.

1. INTRODUCCIÓN

El curado del concreto es importante para poder mantener las condiciones de humedad necesarias para alcanzar un óptimo desarrollo de sus propiedades mecánicas y de durabilidad, además de que reduce la retracción a edades tempranas y evita el desecamiento de la pasta de cemento. Los problemas por cambios volumétricos dentro del concreto se generan por la autodesecación del material y además por la pérdida de humedad debido al secado externo. El concreto puede experimentar retracciones de tipo químico, autógeno, plástico, térmico o por carbonatación (Neville & Brooks, 2010). La contracción autógena procede de la autodesecación de la pasta de cemento a medida que el cemento se hidrata. En concretos de resistencia normal, la contracción autógena es típicamente de 50 a 100 $\times 10^{-6}$ mm, pudiéndose incrementar en concretos de alta resistencia (Neville & Brooks, 2010). La autodesecación es crítica para concreto de con relación $a/c < 0.42$.

El curado interno se define como: proceso de mediante el cual la hidratación del cemento continúa debido al suministro de agua interna que no forma parte del agua de mezclado, mediante agregados de peso ligero prehumedecidos, que liberan con facilidad el agua a medida que sea necesaria para la hidratación o como remplazo de humedad perdida por evaporación o autodesecación (ACI). Algunos materiales absorbentes ya sea de origen natural o sintetizados son usados para proporcionar humedad en el interior del concreto, y así mitigar o reducir la contracción autógena. Weber y Reinhardt (Weber & Reinhardt, 1997) propusieron reemplazar parcialmente un 25% de volumen de agregados de peso normal por un agregado de peso ligero prehumedecido para crear un almacenamiento de agua dentro del concreto. Esto les permitió un curado interno continuo y pudieron minimizar la retracción autógena.

El uso de materiales artificiales como reservorios de agua extra se han convertido en otra alternativa para reducir las deformaciones volumétricas internas en materiales cementantes siendo Jesen y Hansel (Jensen & Hansen, 2002), los primeros en proponer el uso de polímeros superabsorbentes (PSA) para proporcionar agua extra de curado durante el mezclado y contrarrestar la retracción autógena. Los PSA fueron capaces de minimizar la deformación autógena y mantener una humedad relativa alta dentro de la pasta de cemento. El RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) por su parte, recomienda un método (RILEM TC 260-RSC), para determinar la cantidad de polímero superabsorbente necesario como uso de material de curado interno. Bentz y Lura (Bentz, Lura, & Roberts, 2005) propusieron ecuaciones para estimar el nivel de reemplazo necesario para garantizar la cantidad de agua necesaria para el curado interno de concreto.

En el presente trabajo se utiliza la resonancia magnética nuclear (RMN) como una técnica no destructiva y no invasiva para monitorear cambios en el agua evaporable dentro del material utilizado para almacenar agua, así como la pasta de cemento que puede utilizarla, además de identificar las poblaciones de poro que se forman en la pasta debido a la hidratación.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Se utilizó un cemento de tipo CPO 30RS y agua desionizada para la elaboración de pastas (control) y morteros con dos relaciones a/c (0.30 y 0.42). El análisis químico del cemento Portland se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del cemento utilizado

Componentes	(% peso)
SiO ₂	21.5
Al ₂ O ₃	4.5
CaO	1.8
MgO	62.5
K ₂ O	2.5
Na ₂ O	1.5
SO ₃	1
Pérdida por ignición	3.0

Los agentes de curado interno utilizados fueron un vidrio volcánico y un polímero superabsorbente. El vidrio volcánico (Nombre de origen: Tepexil) se obtuvo de Perote, Veracruz, México, con una absorción de 30 % y una composición química mostrada en la Tabla 2. El agua utilizada para saturar el vidrio volcánico fue una solución de CuSO₄ a una concentración de 18.03 mM. Esta solución se utilizó para reducir los tiempos de relajación de resonancia magnética del agua en los poros del material y por lo tanto reducir el tiempo de adquisición de la señal. El polímero superabsorbente (copolímero de acrilamida acrilato de potasio) 3005K2 (Tornado, México), posee un pH de 2.5-4.5 a una disolución de 5 g/L y una absorción de 230 %. La saturación de este material fue con agua desionizada.

Tabla 2. Composición química de vidrio volcánico

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	PxC a 950°C	Suma
% en masa	67.5	14.52	2.41	1.7	5.63	3.8	0.07	3.1	99.6

2.1 Relaxometria de agentes de curado interno

El vidrio volcánico se saturó con agua desionizada dopada con sulfato de cobre (CuSO₄) para reducir el tiempo de decaimiento T₂ del agua dentro de los poros del vidrio volcánico. El polímero superabsorbente se saturó con agua desionizada. Ambos a vacío por 24 horas.

Los materiales saturados se secaron superficialmente con un paño húmedo y se midieron sus masas saturados y superficialmente secos. Con la técnica CPMG (Meiboom & Gill, 1958) se determinó el decaimiento de la magnetización transversal de resonancia utilizando un espectrómetro Maran DRX HF 12/50 NMR operando a una frecuencia de 12.9 MHz. La información obtenida se ajustó a una función de decaimiento exponencial para obtener las constantes de decaimiento T₂ y las intensidades de la señal a cada constante de decaimiento.

2.2 Perfiles de distribución de humedad durante curado interno de pastas de cemento

Se elaboraron especímenes cilíndricos (25 mm de diámetro y 40 mm de altura) dentro de un tubo de vidrio, en el cual se colocó una pastilla de vidrio volcánico o una capa de polímero superabsorbente con un espesor de 10 mm en el centro del tubo. Se colocó pasta de cemento con una relación a/c de 0.30 a cada uno de los extremos del tubo, manteniendo solo un extremo de la pasta en contacto con el agente de curado interno saturado, mientras que la otra fue aislada con un revestimiento impermeable (Fig. 1). El espécimen fue sellado y se mantuvo en un ambiente de 23°C ±2°.

Figura 1. Especimen utilizado para obtener perfiles de humedad en las muestras de pasta de cemento y en el agregado de ligero. Una muestra de pasta de cemento está en contacto con el agregado y la otra está aislada

Se realizaron mapeos de T_2^* por medio de la técnica Single Point Imaging (Emid & Creighton, 1985) utilizando 11 tiempos de codificación a los tiempos t_p (desde 50 hasta 250 ms) a tiempos de hidratación de 0.2 h, 3 h, 6 h, 8 h, 12 h, 24 h, 3 d, 5 d, 7 d, 14 d y 28 d, para observar los cambios de distribución de humedad dentro de la pasta de cemento y el agente de curado interno.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Relaxometria de agentes de curado interno

Se determinaron los tiempos de relajación del agua dopada dentro del vidrio volcánico saturado. Se calcularon tres componentes de T_2 y sus respectivas intensidades, las cuales fueron asociadas a tres distintos tamaños de poro (Fig. 2). En el polímero superabsorbente solamente se observó una componente con un valor similar al que posee el agua libre (del orden de 3 segundos).

Figura 2. Tiempo de relajación T_2 , en pastillas de vidrio volcánico y polímero superabsorbente saturados de tamaño de 10 mm de altura y 25 mm de diámetro (P-C= Poros chicos, P-M= Poros medianos, P-G= Poros grandes, I-P-C= Intensidad de poros chicos, I-P-M= Intensidad de poros chicos y I-P-G= Intensidad de poros grandes)

3.2 Perfiles de distribución de humedad en pastas de cemento con y sin contacto con agentes de curado interno

La figura 3 muestra un ejemplo del contenido de agua obtenido a través del mapeo de T2* (Beyea et al., 1998). A tiempos de hidratación mayores a seis horas se observa que el contenido de humedad en la pasta de cemento en contacto con el vidrio volcánico o con el polímero superabsorbente saturados (zona azul), es mayor que en la pasta de estuco aislada (zona roja). Esto es resultado del agua extra proporcionada a la pasta de cemento por los agentes de curado.

Figura 3. Perfiles de humedad en pasta de cemento relación $a/c=0.30$, con vidrio volcánico (izquierda) y polímero superabsorbente (derecha), en contacto (zona azul) con pasta de cemento y aislada (zona roja)

4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en pasta de cemento con agente de curado interno se concluye que la transferencia de humedad desde los agentes de curado hacia la pasta de cemento se lleva a cabo durante las primeras 24 horas, iniciando el transporte y utilización del agua extra a partir de las primeras 8 horas después del mezclado inicial.

El uso de un polímero superabsorbente puede resultar más conveniente debido a la capacidad de almacenar y ceder mayor cantidad de agua en comparación con el vidrio volcánico a edades tempranas. Por su parte el vidrio volcánico puede retener cierto porcentaje de agua en porosidad más pequeña, la cual puede ser utilizada para continuar con el proceso de curado interno por medio de difusión a edades posteriores.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Conacyt al proyecto clave CB 239727, así como a la SIP del IPN por apoyar el proyecto clave SIP 20196038

6. REFERENCIAS

- Bentz, D. P., Lura, P., & Roberts, J. W. (2005). *Mixture proportioning for internal curing*. Concrete International, 27(2), 35–40. Retrieved from <http://concrete.nist.gov/~bentz/Mixpropfin/CI2702Bentz.pdf>
- Beyea, S. D., Balcom, B. J., Prado, P. J., Cross, A. R., Kennedy, C. B., Armstrong, R. L., & Bremner, T. W. (1998). *Relaxation time mapping of short T₂* nuclei with single-point imaging (SPI) methods*. Journal of Magnetic Resonance, 135, 156–164. <https://doi.org/10.1006/jmre.1998.1537>

- Emid, S., & Creighton, J. H. N. (1985). *High Resolution NMR Imaging in solids*. Physica, 128B, 81–83.
- Jensen, O. M., & Hansen, P. F. (2002). *Water-entrained cement-based materials: II. Experimental observations*. Cement and Concrete Research, 32(6), 973–978. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00737-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00737-8)
- Meiboom, S., & Gill, D. (1958). *Modified Spin-Echo Method for Measuring Nuclear Relaxation Times*. Review of Scientific Instruments, 29(8), 688–91.
- Mendez Mariano, R. R. (2008). *Determinación de la reactividad puzolánica de adiciones minerales de origen natural con el cemento Portland*.
- Neville, A. M. M., & Brooks, J. J. J. (2010). *Concrete Technology*. Building and Environment. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(76\)90009-3](https://doi.org/10.1016/0360-1323(76)90009-3)
- Weber, S., & Reinhardt, H. W. (1997). *A New Generation of High Performance Concrete: Concrete with Autogenous Curing*. Advanced Cement Based Materials, 6(2), 59–68. [https://doi.org/10.1016/S1065-7355\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1065-7355(97)00009-6)