

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

VOLUMEN IV | NÚMERO 1 | ENERO 2023



CONCRETO

LATINOAMÉRICA

Volumen IV - Número 1
Enero de 2023

El presente número de la Revista Digital Concreto Latinoamérica es un esfuerzo de los Capítulos o Secciones del American Concrete Institute (ACI) en Latinoamérica, para poner al alcance de sus miembros y afiliados los contenidos que el ACI International publica en su revista Concrete International en inglés.

CONTENIDO

Pág.

- 4** | **Demostraciones de campo utilizando nanomateriales de celulosa como aditivos para concreto**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: Colombia
- 12** | **Actividades educativas**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: Costa Rica
- 15** | **CAR mezclado en laboratorio versus mezclado en camión - ¿Cual es la diferencia?**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: Puerto Rico
- 23** | **Concreto, Preguntas y Respuestas: Resultados de baja resistencia y pruebas de núcleo**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: México Noroeste
- 26** | **Apoyo de investigación de la fundación ACI - Un perfil industrial**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: México Centro y Sur
- 33** | **Evaluación de la resistencia a la comprensión del hormigón en tiempo real**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: Panamá
- 40** | **ENACE ACI 2022**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: México Noreste

COMITÉ EDITORIAL:

Presidente del Comité Editorial:

Dr. Jorge Maurilio Rivera Torres
Presidente de la Sección Noreste de México del ACI.(2022-2024)

Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Editor Asociado:

Dr. Lucio Guillermo López Yépez

Editor Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

Traducción:

Anabel Merejildo

Comité de Noticias y Eventos Concreto Latinoamérica

Ing. Jesús Fernando García Arvisu
Ing. Jesús Arturo Angel Mellado

Comité de Artículos Originales

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Thyssen Won Chang

Revisión Editorial:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Administración y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

Dirección Creativa:

MDG. Rosa Otilia Armendariz Solís

Diseño Gráfico:

LDI. Monserrat Treviño Garza
Alejandro Martínez Sánchez
LDI. Julián Capetillo Castillo
Hannia Annett Molina Frías

"Agradecemos el apoyo a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León por la colaboración en el diseño editorial".

Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL

Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a :

Correo: concretolatam@gmail.com

Tel: +52 81 2146 4907

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de Enero del 2023. El Instituto no se hace responsable por las declaraciones u opiniones expresadas en sus publicaciones. Las publicaciones del instituto no pueden ni pretenden suplantar el entrenamiento técnico individual, responsabilidad o juicio del usuario o de quien provee y presenta la información. Con el propósito de difundir el conocimiento técnico del concreto, se autoriza la difusión de la presente edición a los Capítulos del ACI de habla hispana entre su membresía y grupos de interés, sin embargo, será necesaria la autorización del American Concrete Institute para reproducir total o parcialmente los contenidos de este número salvo que se hagan para uso personal o académico y sin fines comerciales. Todos los materiales originales en inglés, y contenidos en este número de Concreto Latinoamérica en español, están protegidos por las leyes de Derechos de autor y propiedad industrial, tanto nacionales como internacionales.

Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina
Colombia

Costa Rica
Ecuador Centro y Sur
Guatemala

México Noreste
Mexico Noroeste
México Centro y Sur
México Sureste
Panamá
Perú
Puerto Rico

Dr. Raúl Bertero
Dra. Nancy Torres Castellanos
Dr. Fabían Lamus Báez
Ing. Minor Murillo Chacón
Ing. MSc. Santiago Vélez Guayasamín
Ing. Luis Alvarez Valencia
Ing. Xiomara Sapón Roldán
Dr. Jorge Maurilio Rivera Torres
Ing. Jesús Fernando Garcia Arvizu
Arq. Arturo Rodriguez Jalili
Mtro. Josseph Eli Mandujano Zavala
Ing. Jorge L. Quirós
Ing. Julio Antonio Higashi Luy
Ing. Anabel N. Merejildo



Ícónico proyecto "Habitat 67" en Montreal, Q.C., Canadá.

Estructura clave para la Exposición Mundial Internacional "Expo 67", este proyecto no es simplemente un edificio más. Es una edificación de 354 módulos de casa habitación agrupados en unidades de 8 módulos y acomodados entre sí de muy diversas formas con voladizos hacia un lado u otro. El uso de concreto en elementos prefabricados y presforzados significó todo un reto de diseño y construcción. Entre ellos el manejo de elementos de 100 ton de peso o más, y la colocación de concreto en elementos estructurales densamente armados con la tecnología disponible en 1967.



¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo
local ACI

300+ Capítulos profesionales
y estudiantiles
www.concrete.org/chapters



American Concrete Institute
Always advancing

Demostraciones de campo utilizando nanomateriales de celulosa como aditivos para concreto

por Krishna Siva Teja Chopperla, Sivakumar Ramanathan, Robert J. Moon, O. Burkan Isgor y W. Jason Weiss

Los nanomateriales de celulosa (CNMs) se derivan principalmente de la biomasa forestal. Los CNMs no son tóxicos, son biodegradables,¹ y pueden ser producidos a partir del exceso de biomasa que de otro modo alimentaría los incendios forestales. Estudios de laboratorio han demostrado que el uso de CNM en mezclas de pasta de cemento puede tener el potencial de aumentar la reacción del clínker, mejorar la resistencia a la flexión y reducir el transporte de iones.²⁻¹³ Este artículo describe tres ensayos de campo diseñados para evaluar el potencial de uso de CNMs en el concreto para aplicaciones a gran escala.

¿Qué son los CNMs?

La celulosa en forma de fibras se ha utilizado durante mucho tiempo en el concreto, y son eficaces para reducir la contracción plástica y el agrietamiento por contracción.^{14,15} Las fibras de celulosa también se han utilizado en productos comerciales para el revestimiento de paneles de cemento.¹⁶ La investigación en la última década ha estudiado los materiales de celulosa en una menor escala (nanoescala). Los CNMs son nanopartículas a base de celulosa con propiedades y funcionalidades distintos de estos materiales tradicionales de celulosa.¹⁷

Los CNMs tienen un amplio espectro de formas, tamaños y química que surgen de tres factores principalmente: 1) la fuente de celulosa; 2) el método de extracción/producción; y 3) la química superficial. Los CNMs se han producido a partir de una amplia variedad de fuentes de celulosa, incluyendo plantas, árboles, productos de papel reciclado, pulpa de zanahoria y cáscaras de coco.¹⁸⁻²⁰ La producción de CNMs es un proceso de varias fases diseñado para la fuente específica de celulosa. Generalmente, la producción consiste en un pretratamiento para purificar y homogeneizar la fuente de material, seguido de refinamiento en partículas de tamaño nanométrico. Se utilizan dos enfoques principales de refinamiento: acción mecánica e hidrólisis ácida. El primer proceso rasga la fuente separando el material y crea partículas de tamaño nanométrico con morfología de tipo fibrilar (micras de largo, nanómetros de ancho y a menudo ramificado).¹⁹ Estas partículas se llaman nanofibrillas de celulosa (CNFs). El último proceso disuelve las regiones desordenadas del material de origen, creando partículas de tamaño nanométrico con morfología tipo fusiforme (nanómetros de longitud y ancho, con extremos cónicos).¹⁸ Estas partículas se llaman nanocristales de celulosa (CNCs). La química superficial y otras características de los CNFs y CNCs pueden resultar como producto del método de fabricación de los CNM o modificación química posterior.²¹

Los CNC producidos a partir de madera suelen tener longitudes de 50 a 350 nm, anchos de 5 a 20 nm y relaciones de aspecto de 5 a 30. Para poner esto en perspectiva, esto es similar a la escala de nanosílice, sílice precipitada y humo de sílice, pero aproximadamente 100 veces más pequeño que el tamaño de partícula del cemento portland de 1 a 50 μm .^{4,5,22} La Figura 1 muestra una imagen de un CNC en un microscopio electrónico de transmisión (TEM) producido en una planta piloto ubicada en el Laboratorio de Productos Forestales (FPL) del Servicio Forestal de los Estados Unidos.

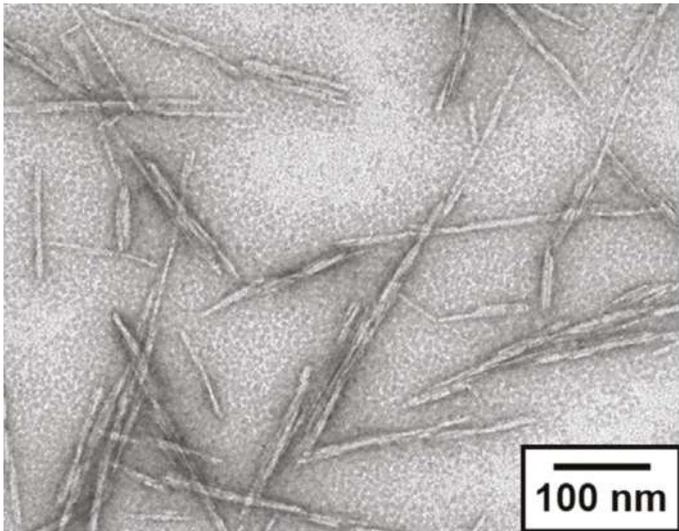


Figura 1: Imagen TEM de CNC de madera producido en la planta piloto de CNC ubicada en el Servicio Forestal de los Estados Unidos, Laboratorio de Productos Forestales. Reimpreso de la Referencia 17 con permiso de Springer

CNMs -- La Perspectiva del Servicio Forestal

CNM tiene un nivel único de importancia para el Servicio Forestal de los Estados Unidos en términos de mejora del uso de los recursos forestales y manejo de tierras forestales. La gestión de tierras forestales incluye la eliminación del exceso de biomasa forestal, como maleza, ramas y árboles de pequeño diámetro; por lo tanto es un efectivo enfoque para reducir el riesgo de incendios forestales catastróficos minimizando la "carga de combustible". Con datos recientes que muestran un total de más de 50,000 incendios forestales en los Estados Unidos,²³ la eliminación del exceso de biomasa es claramente de alta prioridad.

El raleo mecánico cuesta alrededor de \$1000 USD por acre (0,4 ha), y Estados Unidos

tiene millones de acres de tierras forestales que necesitan la restauración de la biomasa forestal.²⁴ Como los CNMs se pueden producir a partir de biomasa de bajo valor, la producción de CNMs ofrece una oportunidad de compensar el costo de eliminar el exceso de biomasa forestal.

Los beneficios de la producción de CNMs generalmente incluyen: 1) reducción de la probabilidad de incendios forestales catastróficos; 2) frenar las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) de la descomposición de la biomasa; y 3) proporcionar un producto de valor agregado en otras industrias como la construcción.

CNM como aditivo para materiales cementantes

La adición de CNMs a los materiales cementantes ha demostrado alterar la reología, los tiempos de fraguado, el grado de hidratación, y propiedades mecánicas.^{4,5} Dosis bajas (<0,3% por volumen de cementante) de los CNCs reducen el esfuerzo de fluencia de la pasta y mejoran la trabajabilidad del concreto. Por el contrario, dosis más altas de CNCs (> 0,3% por volumen de cementante) aumentan el esfuerzo de fluencia de la pasta y reducen la trabajabilidad, ya que los CNCs tienden a aglomerarse.^{2,25} La adición de CNCs retrasa el tiempo de fraguado del concreto en aproximadamente 2 a 3 horas debido a la adsorción de los CNCs en los granos de cemento²; sin embargo, los CNCs también aceleran la velocidad de reacción después de iniciado el fraguado. Trabajos anteriores han planteado la hipótesis de que la adsorción preferencial de CNCs en los granos de cemento genera la formación de vías para que las moléculas de agua ingresen a través de las capas de silicato de calcio hidratado (C-S-H) alrededor de los granos de cemento (llamada difusión de cortocircuito) y aumenta el grado de hidratación del sistema, lo que resulta en un uso más eficiente del cementante.^{4,5,26,27} Este aumento en la hidratación del cemento puede ser especialmente frecuente en edades posteriores.²⁸ La adición de CNCs a algunos sistemas cementantes ha demostrado mejorar las propiedades mecánicas como la resistencia

a la flexión (hasta un 20 a 30%) y propiedades de transporte al mejorar el grado de hidratación del cemento y reduciendo la conectividad de los poros.^{4,5,12,26,27}

Mientras que la norma ASTM C595, “Especificación estándar para Cementos Hidráulicos Adicionados”, permite cementos que contienen hasta un 15% de piedra caliza (Tipo IL o cemento portland de piedra caliza [PLC]),^{29,30} el incremento en la reacción del clínker que ofrecen las adiciones de CNCs ofrece oportunidades para reducir aún más el contenido de clínker. Un estudio reciente mostró que la adición de CNCs permitió mayores cantidades de piedra caliza (hasta un 22% en total) en adiciones realizadas con cemento portland ordinario (OPC) y piedra caliza sin comprometer las propiedades mecánicas y de transporte.¹² Aunque prometedor, se requiere investigación adicional para evaluar los efectos de los CNCs en mezclas con materiales cementantes suplementarios y una amplia gama de clinkers.

Demostraciones de campo del uso de CNCs en concreto

Se seleccionaron tres proyectos para demostrar que los CNCs podrían usarse en la colocación de concreto a gran escala. El primer proyecto fue para el pavimento de un estacionamiento en Greenville, Carolina del Sur, EE. UU., en 2018. El segundo fue para un puente de concreto prefabricado construido en Yreka, CA, EE. UU., en 2020. El tercero fue para losas sobre suelo construidas en Corvallis, OR, EE. UU., en 2022. La planta piloto de FPL preparó los CNCs utilizados en los proyectos, y los CNCs se utilizaron en forma de lodos que no se habían secado.

Estacionamiento, Greenville, SC

Este proyecto demostró la implementación exitosa de los CNCs en una estructura de concreto a gran escala sin problemas en cuanto a trabajabilidad, acabado y fraguado. El estacionamiento fue construido empleando un volumen de concreto de 46 m³ (60 yd³) que contiene los CNCs (dosificado al 0,2% de volumen sólido de CNCs por volumen de cemento) y

un volumen de 9 m³ (12 yd³) de concreto convencional (como referencia). Ambos tipos de concreto se dosificaron utilizando procesos similares; sin embargo, para el concreto con los CNCs, la suspensión de CNCs se agregó manualmente al camión de concreto después de dosificar los otros ingredientes (el agua de mezclado se redujo para compensar el agua en la suspensión). Las proporciones de la mezcla se muestran en la Tabla 1. Ambas mezclas incluyen cantidades similares de todos los demás materiales, incluidos los aditivos inclusores de aire (AEA) y aditivo reductor de agua de alto rango (HRWRA). La Figura 2 muestra la colocación de la mezcla con los CNCs.

Ambas mezclas tenían resistencias a la compresión a los 28 días que superaban la resistencia de diseño de 28 MPa (4000 psi). El concreto de referencia tenía una resistencia a la compresión a los 28 días de 36 ± 0,2 Mpa (5281 ± 26 psi), mientras que el concreto con CNC tenía una resistencia a la compresión a los 28 días de 33 ± 0,5 Mpa (4718 ± 76 psi). El coeficiente de variación entre camiones para las dos resistencias a la compresión medidas fue del 6%, lo cual está dentro de la variación aceptable entre camiones discutida en ACI 214R-11.31 Las resistencias a la tracción indirecta a los 56 días del concreto simple y concreto con CNC fueron 2,9 ± 0,2 Mpa (427 ± 36 psi) y 2,7 ± 0,4 Mpa (385 ± 58 psi), respectivamente, y eran estadísticamente similares. Este trabajo indicó que los CNCs podrían usarse en aplicaciones con lotes de concreto a gran escala y su colocación en campo.

Tabla 1: Proporciones de mezcla de concreto para Greenville, SC, estacionamiento.

Material	Mezcla base	Mezcla con 0,2% CNC
a/cm	0.41	0.41
Cemento tipo I/II, kg/m ³	353	311
Ceniza volante, kg/m ³	89	89
Arena natural, kg/m ³	197	197
Arena manufacturada, kg/m ³	460	460
Agregado grueso, kg/m ³	1068	1068
CNC sólido, kg/m ³	0	0
Agua, kg/m ³	163	163
Aire, %	3.0 a 6.0	3.0 a 6.0

Nota: a/cm es relación agua-materiales cementantes; 1 kg/m³ = 1.68 lb/ yd³ kg/m³



Figura 2: Colocación de la mezcla con CNC al 0.2% para el estacionamiento

Vigas de puente, Yreka, CA

El segundo proyecto de demostración fue la construcción de un Puente de viga cajón pretensado como reemplazo de un puente existente que cruza Moffett Creek en Yreka, CA. Las vigas fueron fabricadas en la planta Knife River Prestress en Harrisburg, OR. Cada viga tenía 8,827 m de largo, 1,048 de ancho y 0,305 m de alto (28 pies-11,5 in. x 3 pies-5,25 in. x 12 in.), y cada una pesaba 8165 kg (18000 libras). La resistencia a la compresión de diseño fue 41 Mpa (6000 psi) con un esfuerzo de liberación de 34 MPa (4900 psi).

Se utilizaron dos mezclas: un concreto con CNC (dosificada al 0,1% de volumen sólido de CNC por volumen de cemento) y una mezcla de referencia. Aditivos de conservación de la trabajabilidad, AEA y HRWRA se usaron en cantidades similares para ambas mezclas. Las proporciones de las mezclas se muestran en la Tabla 2. La Figura 3 muestra la colocación del concreto con CNC en las vigas.

El asentamiento medido fue de 180 y 150 mm (7 y 6 pulgadas) para la mezcla de referencia y el concreto con CNC, respectivamente. El contenido de aire medido en el concreto de referencia y la mezcla con CNC fue de 4,0% y 5,8%, respectivamente. La resistencia a la compresión a los 28 días de la mezcla de referencia fue 61 ± 2 Mpa (8900 ± 286 psi), mientras que el concreto con CNC tenía una resistencia de 65 ± 3 Mpa (9480 ± 488 psi); ambas mezclas excedieron la resistencia de diseño de 41Mpa (6000 psi). Las resistencias a la compresión a los 28 días de ambas mezclas fueron estadísticamente similares. La resistencia a la tracción indirecta a los 28 días de la mezcla con CNC ($9 \pm 0,6$ Mpa [1321 ± 80 psi]) fue similar a la de la mezcla de referencia ($9 \pm 0,3$ Mpa [1273 ± 46 psi]). Esta resistencia similar de la mezcla con CNC, a pesar del mayor contenido de aire en el concreto con CNC (que podría esperarse que reduzca la resistencia), se atribuye a un aumento en el grado de hidratación del cemento. Las vigas cajón cumplieron con todas las especificaciones y fueron transportadas al sitio del proyecto, donde fueron instaladas por el personal del condado local (Fig. 4). El proyecto demostró con éxito que se podía agregar CNC a las mezclas de concreto con resultados similares o desempeño potencialmente mejorado.

Tabla 2: Proporciones de mezcla de concreto para vigas cajón.

Material	Mezcla base	Mezcla con 0,1% CNC
a/cm	0.36	0.36
Cemento tipo III, kg/m ³	422	426
Agregado ¾ a ½ in., kg/m ³	351	357
Agregado ½ in. a No. 4, kg m ³	681	673
Arena, kg/m ³	719	722
Agua, kg/m ³	148	148
CNC suspensión, kg/m ³	0	2.14

Nota: a/cm es relación agua-materiales cementantes; 1 kg/m³ = 1.68 lb/yd³ kg/m³

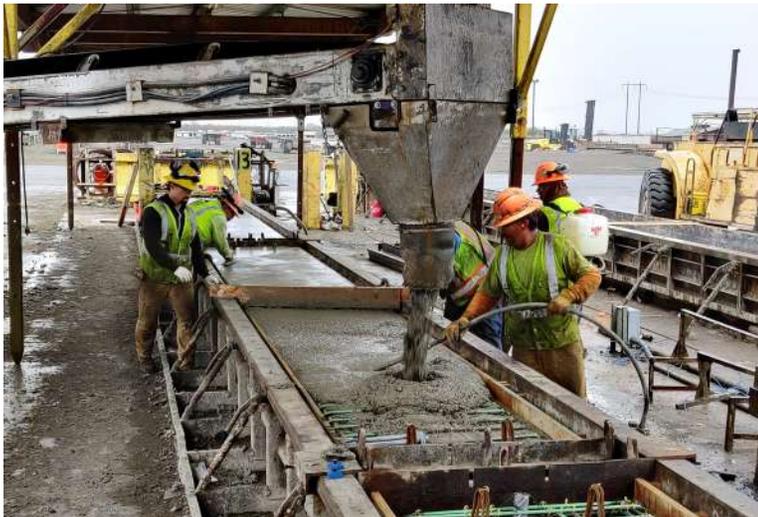


Figura 3: La mezcla con CNC al 0,1 % se coloca y se vibra en el encofrado de vigas tipo cajón pretensadas



Figura 4: Colocación de las vigas cajón

Losas sobre el suelo, Corvallis, OR

La tercera demostración consistió en losas sobre suelo colocado en la escuela secundaria Linus Pauling en Corvallis, OR, para su uso como aula al aire libre. Tres losas y una pasarela se colocaron utilizando cuatro mezclas. Las mezclas se describen en la Tabla 3 e incluyen una mezcla de referencia (OPC-CNC0.0), una mezcla con CNC dosificada al 0,2% en volumen

sólido de CNC por volumen de cemento (OPC-CNC0.2), una mezcla con piedra caliza triturada en sustitución del 20% de cemento (LS20-CNC0.0), y una mezcla con piedra caliza triturada reemplazando el 20% del cemento y con CNC dosificado al 0,2% de volumen sólido de CNC por volumen de cemento (LS20-CNC0.2). Las losas tenían 41 pies de ancho, 14 pies de largo, y 5 pulg. de espesor (12,5 m x 4,3 m x 127 mm). La pasarela tenía aproximadamente 16 pies de largo, 3 pies de ancho y 5 pulgadas de espesor (5 m x 1 m x 127 mm). La resistencia de diseño a los 28 días fue de 3500 psi (24 MPa), el asentamiento objetivo era de 4 a 6 pulg. (102 a 152 mm), y el contenido de aire fue $5 \pm 1,5\%$. La Tabla 3 muestra las proporciones de las mezclas. La Figura 5 muestra el sitio después de colocar todas las losas. Todas las mezclas lograron el asentamiento y el contenido de aire deseado. Las resistencias a la compresión a los 28 días fueron 5250 ± 546 psi (36 ± 4 MPa) para OPC-CNC0.0, 5173 ± 470 psi (36 ± 3 MPa) para OPC-CNC0.2, 4113 ± 154 psi (28 ± 1 MPa) para LS20-CNC0.0 y 3840 ± 251 psi (26 ± 2 MPa) para LS20-CNC0.2. La diferencia en los valores de resistencia entre el CNC y la mezcla sin CNC fue del 1,5 % para las mezclas OPC y del 7 % para las mezclas LS20, y las resistencias fueron estadísticamente similares para las mezclas con y sin CNC. Las mezclas LS20 tuvieron aproximadamente un 20% menos de emisiones de GHG en comparación con las mezclas con OPC debido a un mayor contenido de piedra caliza y un menor contenido de clínker en las mezclas LS20. Esta parte del proyecto demostró con éxito el uso de CNC en mezclas de bajo carbono fabricadas reemplazando OPC por piedra caliza a gran escala en aplicaciones de campo. Se está trabajando para estudiar la durabilidad a largo plazo de las mezclas convencionales con CNCs y mezclas de concreto de bajo carbono.

Tabla 3: Proporciones de mezcla de concreto colocadas en Corvallis, OR.

Material	OPC-NCC0.0	OPC-NCC0.2	LS20-NCC0.0	LS20-NCC0.2
a/cm	0.588	0.534	0.543	0.508
Cemento tipo OPC, kg/m ³	311	309	251	249
Caliza, kg/m ³	0	0	67	67
Agregado grueso (3/4 in), kg/m ³	1007	1008	1004	1014
Arena, kg/m ³	798	787	791	791
Agua, kg/m ³	183	165	173	161
NCC, kg/m ³	0	2.89	0	2.98

Nota: a/cm es relación agua-materiales cementantes; 1 kg/m³ = 1.685 lb/yd³ kg/m³; 25 mm= 1 in



Figura 5: El sitio después de colocar las losas y la pasarela.

Conclusiones

Los ensayos de campo descritos en este artículo mostraron que mezclas de concreto con CNC se pueden producir, transportar, y ser colocadas de manera similar a las mezclas de concreto convencionales. Las mezclas con CNC mostraron un rendimiento similar a mezclas convencionales en términos de trabajabilidad y resistencia. Se está trabajando más para monitorear la durabilidad a largo plazo y el desempeño de mezclas de concreto con CNCs en campo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de los EE.UU. Fondo para la Silvicultura y las Comunidades.

Referencias

1. Moon, R.J.; Martini, A.; Nairn, J.; Simonsen, J.; and Youngblood, J., "Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties and Nanocomposites," *Chemical Society Reviews*, V. 40, No. 7, July 2011, pp. 3941-3994.
2. Cao, Y., "Nano-Modification for High-Performance Cement Composites with Cellulose NanoCrystals and Carbon Nanotubes," PhD dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN, 2014, 209 pp.

3. Sun, X.; Wu, Q.; Lee, S.; Qing, Y.; and Wu, Y., "Cellulose Nanofibers as a Modifier for Rheology, Curing and Mechanical Performance of Oil Well Cement," *Scientific Reports*, V. 6, No. 1, Aug. 2016, pp. 1-9.

4. Fu, T.; Moon, R.J.; Zavattieri, P.; Youngblood, J.; and Weiss, W.J., "Cellulose Nanomaterials as Additives for Cementitious Materials," *Cellulose-Reinforced Nanofibre Composites: Production, Properties and Applications*, M. Jawaid, S. Boufi, and A. Khalil, eds., Woodhead Publishing, Sawston, UK, 2017, pp. 455-482.

5. Fu, T.; Montes, F.; Suraneni, P.; Youngblood, J.; and Weiss, W.J., "The Influence of Cellulose Nanocrystals on the Hydration and Flexural Strength of Portland Cement Pastes," *Polymers*, V. 9, No. 9, Sept. 2017, 16 pp.

6. Haddad Kolour, H.; Ahmed, M.; Alyaseen, E.; and Landis, E.N., "An Investigation on the Effects of Cellulose Nanofibrils on the Performance of Cement Paste and Concrete," *Advances in Civil Engineering Materials*, V. 7, No. 1. Sept. 2018, 15 pp.

7. Dousti, M.R.; Boluk, Y.; and Bindiganavile, V., "The Effect of Cellulose Nanocrystal (CNC) Particles on the Porosity and Strength Development in Oil Well Cement Paste," *Construction and Building Materials*, V. 205, No. 2, Apr. 2019, pp. 456-462.

8. Lee, H.-J., and Kim, W., "Long-Term Durability Evaluation of Fiber-Reinforced ECC Using Wood-Based Cellulose Nanocrystals," *Construction and Building Materials*, V. 238, Mar. 2020.

9. Goncalves, J.; Boluk, Y.; and Bindiganavile, V., "Cellulose Nanofibers Mitigate Chloride Ion Ingress in Cement-Based Systems," *Cement and Concrete Composites*, V. 114, Nov. 2020.

10. Kamasamudram, K.S.; Ashraf, W.; and Landis, E.N., "Cellulose Nanofibrils with and without Nanosilica for the Performance Enhancement of Portland Cement Systems," *Construction and Building Materials*, V. 285, May 2021.

11. Nassiri, S.; Chen, Z.; Jian, G.; Zhong, T.; Haider, M.M.; Li, H.; Fernandez, C.; Sinclair, M.; Varga, T.; Fifield, L.S.; and Wolcott, M., "Comparison of Unique Effects of Two Contrasting Types of Cellulose Nanomaterials on Setting Time, Rheology, and Compressive Strength of Cement Paste," *Cement and Concrete Composites*, V. 123, Oct. 2021.

12. Ramanathan, S.; Chopperla, K.S.T.; Isgor, O.B.; and Weiss, W.J., "Reducing GHG Emission Using Cellulose Nanocrystals, OPC, and Limestone," *ACI Materials Journal*, prepublished paper, Oct. 2022, 46 pp.

13. Zhang, Z., and Angst, U., "Microstructure and Moisture Transport in Carbonated Cement-Based Materials Incorporating Cellulose Nanofibrils," *Cement and Concrete Research*, V. 162, Dec. 2022.

14. Soroushian, P., and Ravanbakhsh, S., "Control of Plastic Shrinkage Cracking with Specialty Cellulose Fibers," *ACI Materials Journal*, V. 95, No. 4, July-Aug. 1998, pp. 429-435.

15. Kawashima, S., and Shah, S.P., "Early-Age Autogenous and Drying Shrinkage Behavior of Cellulose Fiber-Reinforced Cementitious Materials," *Cement and Concrete Composites*, V. 33, No. 2, Feb. 2011, pp. 201-208.

16. Neithalath, N.; Weiss, J.; and Olek, J., "Acoustic Performance and Damping Behavior of Cellulose-Cement Composites," *Cement and Concrete Composites*, V. 26, No. 4, May 2004, pp. 359-370.

17. Moon, R.J.; Schueneman, G.T.; and Simonsen, J., "Overview of Cellulose Nanomaterials, Their Capabilities and Applications," *JOM*, V. 68, No. 9, Sept. 2016, pp. 2383-2394.

18. Trache, D.; Hussin, M.H.; Haafiz, M.K.M.; and Thakur, V.K., "Recent Progress in Cellulose Nanocrystals: Sources and Production," *Nanoscale*, V. 9, No. 5, Jan. 2017, pp. 1763-1786.

19. Nechyporchuk, O.; Belgacem, M.N.; and Bras, J., "Production of Cellulose Nanofibrils: A Review of Recent Advances," *Industrial Crops and Products*, V. 93, Dec. 2016, pp. 2-25.

20. Zhong, T.; Jian, G.; Chen, Z.; Wolcott, M.; Nassiri, S.; and Fernandez, C.A., "Interfacial Interactions and Reinforcing Mechanisms of Cellulose and Chitin Nanomaterials and Starch Derivatives for Cement and Concrete Strength and Durability Enhancement: A Review," *Nanotechnology Reviews*, V. 11, No. 1, Jan. 2022, pp. 2673-2713.

21. Habibi, Y., "Key Advances in the Chemical Modification of Nanocelluloses," *Chemical Society Reviews*, V. 43, No. 5, 2014, pp. 1519-1542.

22. Sobolev, K., and Gutiérrez, M.F., "How Nanotechnology Can Change the Concrete World," *American Ceramic Society Bulletin*, V. 84, No. 11, Aug. 2014, pp. 113-116.

23. Hoover, K., and Hansion, L.A., "Wildfire Statistics," IN FOCUS, IF10244, Congressional Research Service, Washington, DC, 2022, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF10244>.

24. Dillon, G.K.; Menakis, J.; and Fay, F., "Wildland Fire Potential: A Tool for Assessing Wildfire Risk and Fuels Management Needs," *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-73*, 2015, pp. 60-76, www.fs.usda.gov/rm/pubs/rmrs_p073/rmrs_p073_060_076.pdf. 25. Montes, F.; Fu, T.;

Youngblood, J.P.; and Weiss, J., "Rheological Impact of Using Cellulose Nanocrystals (CNC) in Cement Pastes," *Construction and Building Materials*, V. 235, Feb. 2020.

26. Cao, Y.; Zavatteri, P.; Youngblood, J.; Moon, R.; and Weiss, J., "The Influence of Cellulose Nanocrystal Additions on the Performance of Cement Paste," *Cement and Concrete Composites*, V. 56, Feb. 2015, pp. 73-83.

27. Cao, Y.; Tian, N.; Bahr, D.; Zavattieri, P.D.; Youngblood, J.; Moon, R.J.; and Weiss, J., "The Influence of Cellulose Nanocrystals on the Microstructure of Cement Paste," *Cement and Concrete Composites*, V. 74, Nov. 2016, pp. 164-173.

28. Valadez, Y.; Washington, T.; Ghantous, R.; Ramanathan, S.; Chopperla, K.S.T.; Mateos, A.; Harvey, J.; Isgor, O.B.; and Weiss, W.J., "P3Nano – Advancing Commercialization of Cellulosic Nanomaterials," *U.S. Endowment for Forestry and Communities, Greenville, SC*, 2020, 107 pp.

29. Hooton, R.D.; Nokken, M.; and Thomas, M.D.A., "Portland Limestone Cement: State-Of-The-Art Report and Gap Analysis for CSA A3000," Report SN3053, Cement Association of Canada, Ottawa, ON, Canada, Jan. 2007, 60 pp.

30. Tennis, P.; Thomas, M.D.A.; and Weiss, W.J., "State-of-the-Art Report on Use of Limestone in Cements at Levels of up to 15%," PCA R&D SN3148, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2011, 74 pp.

31. ACI Committee 214, "Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214R-11) (Reapproved 2011)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 20 pp.

Nota: Información adicional sobre las normas ASTM discutidas en este artículo se puede encontrar en www.astm.org.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Colombia

Título: Demostraciones de campo utilizando nanomateriales de celulosa como aditivos para concreto



Traductor y Revisor Técnico:
Margareth Dugarte Coll, PhD.



Krishna siva teja chopperla, es un investigador postdoctoral en Oregon State U Oregon State University niversity, Corvallis, Oregón, EE. UU. Sus intereses de investigación incluyen durabilidad del concreto, caracterización de materiales cementantes, materiales cementantes suplementarios alternativos, y concreto bajo en carbono.



Sivakumar Ramanathan, es un investigador postdoctoral en Oregon State U Oregon State University niversity, Corvallis, Oregón, EE. UU. Sus intereses de investigación incluyen durabilidad del concreto, caracterización de materiales cementantes, materiales cementantes suplementarios alternativos, y concreto bajo en carbono.



Robert J. Monn es un Ingeniero investigador de materiales en el Servicio Forestal del USDA - Laboratorio de Productos Forestales y es un profesor adjunto en la Escuela de Ingeniería de Materiales en Purdue University, West Lafayette, IN, EE. UU., y en la Escuela de Ciencias de los Materiales e Ingeniería en Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, EE. UU. Desde 2007, ha trabajado en varios aspectos de la investigación, desarrollo y uso de los nanomateriales de celulosa. Tiene más de 60 artículos revisados por pares en revistas clasificadas por SCI sobre nanomateriales de celulosa, incluidos varios artículos de revisión.



O. Burkan isgor es profesor en la Escuela de Ingeniería Civil y Construcción en Oregon State University. Sus intereses de investigación incluyen la corrosión del acero en el concreto, la durabilidad del concreto, y el transporte y modelación termodinámica en sistemas cementantes. Es presidente del Comité 222 de ACI, Corrosión de metales en el concreto, y es miembro de los Comités ACI 236, Ciencia de los materiales del concreto y ACI 365, Predicción de vida útil.



W. Jason Welss es Profesor Distinguido "Edwards" de la Escuela de Ingeniería Civil y Construcción en Oregon State University. Es editor en jefe de la revista ACI Materials, miembro del Comité técnico de actividades del ACI y miembro de la Junta Directiva del ACI.

Actividades educativas

Breve historia de EAC del ACI y lo que nos espera para el 2023.

por Victoria K. Sicaras

Si recibió un certificado de ACI, asistió a un seminario o un seminario virtual de formación continua o ha leído un manual de ACI sobre las mejores prácticas en el diseño o la construcción de concreto, se ha beneficiado del Comité de Actividades Educativas del ACI (EAC por sus siglas en inglés). Este comité desarrolla procedimientos para aumentar la eficacia del ACI en materia de educación y es la fuerza detrás de iniciativas de clase mundial como la Universidad ACI y el Taller Anual de Profesores. Este comité siempre está en busca de personas que aporten ideas.

“Trabajamos duro para crear contenidos útiles para el público y los miembros de ACI, y agradecemos los comentarios de aquellos que quieren asistir a las reuniones del comité educativo y hacen sugerencias”, dijo la presidente del EAC, Diana Arboleda.

El EAC supervisa ocho comités educativos bajo su cobertura (véase el recuadro). Estos comités desarrollan materiales que utilizan documentos técnicos del ACI como base, complementándolos en caso necesario, para producir contenidos educativos destinados a una amplia audiencia. El contenido educativo es examinado por el comité apropiado, revisado para detectar diferencias con los documentos del comité técnico relacionados, y finalmente revisado y aprobado por el EAC.

Sólo en el 2022, el EAC y sus comités supervisaron la creación de nueve documentos educativos y treinta cursos de aprendizaje en línea y seminarios web. Como presidente del EAC, Arboleda ayudó a dirigir los esfuerzos para desarrollar recursos para instructores del documento más vendido de ACI la Guía del Contratista para la Construcción de Concreto de Calidad. El proyecto se inició con el anterior presidente del EAC, Tom Greene, FACI, y los materiales finalizados permitirán a los educadores utilizar la guía como un libro de texto en el aula.

“Es una nueva área de interés para el EAC”, dijo Arboleda. “Estamos trabajando para hacer que los materiales educativos de ACI sean más accesibles a los profesores y estudiantes universitarios”.

Educación ACI – Breve historia

Durante más de un siglo, ACI ha proporcionado documentos técnicos, normas, prácticas recomendadas y guías que contribuyen a un mejor conocimiento del concreto y a su amplia aceptación en todo el mundo. El trabajo nunca termina, a medida que la industria avanza y para facilitar ese avance, es necesario revisar las normas existentes y desarrollar otras nuevas.

Los comités técnicos del ACI se crearon para mantenerse al día con la producción de documentos técnicos y, con el paso del tiempo, se crearon comités educativos para explicar y apoyar dichos documentos.

“Los documentos técnicos pueden ser difíciles de entender, y se actualizan continuamente con la información más reciente para poder fabricar y utilizar el mejor concreto en los proyectos de construcción. Es fundamental que un público más amplio conozca las pautas en estos documentos y esté informado de las actualizaciones”, declaró Frances Griffith, FACI, ex presidenta del EAC.

Desde su creación en 1970, EAC y sus comités han ayudado a desarrollar más de 300 cursos de aprendizaje en línea, 120 seminarios web, 40 publicaciones educativas y cuatro programas de certificación. Gran parte del contenido producido está disponible de forma gratuita. Los comités educativos están abiertos a ideas sobre cómo empaquetar y compartir la información más reciente sobre temas concretos, y los comités técnicos de ACI pueden proponer desarrollar seminarios web y programas de certificación en cualquier momento.

“Los seminarios web son especialmente importantes cuando se introducen cambios en los documentos técnicos”, explica Griffith.



Durante el taller anual para profesores, destacados profesores y representantes de la industria presentan información y recursos para ayudar a los profesores a preparar o perfeccionar sus cursos relacionados con el concreto. El taller de 2022 se celebró en dos partes en julio 2022. La primera fue un evento en línea de dos días de duración y la segunda fue altamente interactiva, evento presencial de dos días celebrado en la sede mundial de ACI en Farmington Hill, MI, EE. UU. Los asistentes tuvieron la opción de inscribirse solo en la parte virtual o en el taller completo (virtual y presencial).

Universidad ACI – Educación en línea

Griffith fue miembro del EAC de 2009 a 2018 y ocupó el cargo de presidenta de 2014 a 2018. Durante su mandato, ayudó a desarrollar la Universidad ACI, así como el comité educativo que la supervisa (E710). Presentada en 2015,

la Universidad ACI ayudó a transformar el desarrollo profesional de un entorno tradicional presencial a uno que incluye contenidos y aprendizaje integrales basados en la web. El recurso global en línea brinda acceso a muchos temas de mayor demanda de la industria, incluidos los materiales, el diseño, la construcción y la reparación del concreto.

Paralelamente a la Universidad ACI, la EAC lanzó programas de certificación para apoyar a quienes completen la capacitación en línea en temas selectos de la industria. Los participantes reciben una insignia digital que acredita su experiencia en temas como diseño de anclajes, construcción de concreto, materiales de concreto y procedimientos de aplicación de reparación.

La EAC también ha hecho la transición de muchos seminarios presenciales a seminarios web en línea. “Tener acceso a estos recursos en línea fue especialmente importante durante la pandemia”, dijo Griffith.

Tomemos como ejemplo la certificación ACI. Cada año se expiden más de 20.000 certificaciones ACI. Cuando las restricciones relacionadas con COVID-19 limitaron las pruebas presenciales, la actividad de certificación se redujo en el 2020; sin embargo, repuntó a los niveles previos a la pandemia en el 2021. Esto se debió en parte a que los exámenes de certificación ofrecían opciones de pruebas a distancia para determinados programas. La capacitación de certificación ofrecida a través de la plataforma de la Universidad ACI – que incluye Pruebas al Concreto en el Campo, Ensayos de Resistencia al Concreto, Inspección y Construcción de Concreto e Instalación de Anclajes Adhesivos – siguen creciendo.

Trabajo actual

Los planes de EAC para 2023 incluye el desarrollo de tres nuevos programas de certificación para la constructibilidad, la sostenibilidad y el concreto de ultra alto desempeño (UHPC). Además, ACI está explorando la posibilidad de un programa

de certificación especialmente diseñado para ayudar a los jóvenes profesionales a navegar y encontrar el éxito en sus incipientes carreras.

Arboleda dijo que EAC está buscando maneras en que ACI puede ayudar a los programas de desarrollo de fuerza laboral universitaria y de la industria. Otro objetivo es incorporar recursos para instructores de la Guía del Contratista para la Construcción de Concreto de Calidad, en el Taller de Profesores 2023.

Antes de convertirse en presidente del EAC a principios de 2022, Arboleda fue miembro con derecho a voto durante 5 años. “Es mi forma de contribuir a la industria que amo. Creo que apporto una energía y un entusiasmo divertido a esta función”, afirmó.

Ella agradece a varios miembros del personal de Desarrollo Profesional de ACI por el trabajo que realizan en nombre de EAC, entre ellos la directora de Desarrollo Profesional, Claire Hiltz, el Director Michael Tholen e ingenieros Katie Amelio y Robert Howell. “Ellos hacen que toda la magia suceda”, afirma Arboleda

Si bien los miembros de EAC son designados por el presidente entrante de ACI, aquellos interesados en convertirse en miembros de un comité educativo bajo la cobertura de EAC pueden asistir a esas reuniones de comité y ser voluntarios para proyectos. Para unirse a un comité, comuníquese con el presidente del comité. Obtenga más información sobre cómo aplicar a los comités de ACI en www.concrete.org/committets.

Comités educativos de ACI

E701. Materiales para la Construcción de Concreto – produce una serie gratuita de documentos que incluye ACI E1, Agregados para Concreto; E2, Refuerzo para Concreto; E3, Materiales Cementantes para Concreto; y E4, Aditivos Químicos para Concreto.

E702, Diseño de Estructuras de Concreto – produce varios ejemplos de diseño gratuito.

E703, Prácticas para la Construcción en Concreto – desarrolla CCS-1, Losas sobre el terreno, y CCS-4, Concreto lanzado para el operario que se utiliza como base para los programas de certificación ACI sobre estos temas.

Además, elabora Guía del Contratista para la Construcción de Concreto de Calidad, que es lectura recomendada para varios exámenes estatales en USA para optar para la licencia de contratista y uno de los documentos más vendidos de ACI.

E706, Educación para la Reparación del Concreto – produce catorce documentos gratuitos sobre procedimientos de aplicación de reparaciones.

E707, Especificaciones para la Educación – desarrolla programas educativos y materiales didácticos en el ámbito de las especificaciones del ACI.

E710, Programa Universitarios ACI – responsable de la Universidad ACI.

E905, Programas de Formación – crea recursos, incluyendo el Libro de Trabajo del Instalador de Anclajes Adhesivos (CP-80) y el DVD que lo acompaña.

Comité de Temas de Actualidad – identifica temas de amplio interés para los asistentes a la convención de ACI y organiza sesiones oportunas e informativas sobre la convención.

Seleccionados por los editores por su interés para el lector.



Victoria (Vikki) K. Sicaras, Gerente de cuentas de Advancing Organizational Excellence (AOE), una filial de ACI que ofrece servicios de consultoría de administración de asociaciones y marketing. Tiene más de 20 años de experiencia escribiendo y editando para las principales editoriales líderes en la industria de la construcción con un enfoque en la construcción con concreto.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Costa Rica

Título: *Actividades educativas*



Traductor:
Jonathan Nieto Vásquez



Revisor Técnico:
Ing. Minor Murillo Chacón

CAR Mezclado en laboratorio versus mezclado en camión – ¿Cuál es la diferencia?

por Sherif El-Tawil, M.A. Saqif, Dewayne Rogers, y Yuh-Shiou Tai

El concreto de Alto Rendimiento (CAR) es una gran innovación tecnológica del concreto.^{1,2} Intrigados por sus propiedades únicas, muchos ingenieros han explorado cada vez más las características de CAR y el rendimiento de estructuras hechas del mismo. Esto es evidente por el incremento en publicaciones con las frases "concreto de alto rendimiento" en Google Academy (Fig 1).³ La cantidad de publicaciones de CAR ha crecido de solo 92 en el año 2005 a casi 5000 en el año 2021. Dado que en 2021 alrededor de 36,500 publicaciones contenían la frase de "concreto reforzado", es claro que CAR representa una gran parte de las investigaciones a nivel mundial.

Reconociendo su potencial, la Administración Federal de Autopistas (FHWA por sus siglas en inglés) ha promovido intensamente la tecnología de CAR a través de su Programa 3, 4 y 6 de Todos los Días Cuentan (por siglas en inglés EDC) desde el 2015 hasta 2022.⁴ Recientemente el ASTM Internacional y la ACI ha publicado guías para realizar pruebas y diseños de estructuras hechas en CAR.^{5,6} Estos esfuerzos de codificación ha culminado en la recomendación de provisiones para la adopción en las especificaciones de puentes de AASHTO. Actualmente las provisiones están bajo revisión por los comités de AASHTO.

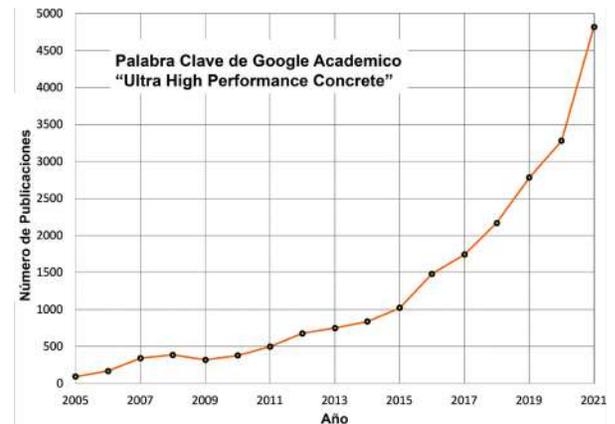


Figura 1: Desde el 2005, el número de búsquedas de artículos enfocados en concreto de alta resistencia a experimentado un alza exponencial

Uno de los obstáculos para la adopción de la tecnología CAR es la idea general de que CAR es difícil de mezclar. Muchos piensan que para mezclar CAR adecuadamente necesitan mezcladoras de alto cortante, las cuales son caras para comprar o rentar. Evidencia reciente sugiere que el uso de estas mezcladoras especializadas no es necesario. Por ejemplo, El-Tawil et al,⁷ utilizó exitosamente una mezcladora ordinaria de mezclar mortero para producir CAR en el campo. El problema de estas mezcladoras es que tienen una capacidad limitada, típicamente de $1/3$ a $1/2$ yd^3 (0.25 a 0.38 m^3), restringiendo la aplicación de CAR a grandes escalas.

Este artículo documenta nuestros esfuerzos más recientes de mezclar CAR en mezcladores ordinarios de concreto y camiones de mezcla lista, y comparar las propiedades de estas mezclas frescas con aquellas producidas con mezcladoras de laboratorio. Nuestro trabajo demuestra que

CAR no es tan difícil de mezclar como se cree, y es posible conseguir una mezcla de alta calidad utilizando equipos comunes.

Diseño de Mezcla y sus Componentes

Los autores desarrollaron una familia de recetas para mezclas de CAR utilizando ingredientes de fácil acceso como lo muestra la Tabla 1.⁷⁻¹⁰ Las mezclas varían en la cantidad utilizada de aditivos reductores de agua de alto rango (HRWRA por sus siglas en inglés). Idealmente, las mezclas de prueba se realizan para seleccionar la dosis mínima (la más económica) de HRWRA requerida que permita una buena mezcla basado en la trabajabilidad del CAR. En este trabajo, la Mezcla D, que contiene la mayor dosis de HRWRA, fue utilizada para proveer el mejor resultado sin mayores costos de experimentación. Los componentes de la mezcla incluyen:

- Cemento – El cemento utilizado fue una mezcla ordinaria de 50-50 utilizando cemento portland (OPC) Tipo I y cemento de escoria grado 100;

- Humo de Sílice – La sílice utilizada era del tipo no densificado se utilizaron dos tipos (SF1 y SF2) (mostradas en la Fig. 2). Aunque se prefiere un contenido mínimo de carbono, ya que este reduce la demanda de agua mientras promueve la alta fluidez, SF1 fue intencionalmente utilizada con alto contenido de carbono (dando un color gris oscuro) para determinar si la mezcla de este tipo de material se puede lograr en el campo;

- Arena – Dos tipos de arena sílice de cuarzo fueron utilizadas, con granulometría de 70 a 200 μm y 400 a 800 μm . Este tamaño de granos está optimizado para mejorar densificación mostrado en el El-Tawil et al.⁹;

- HRWRA – Un aditivo con base poli carboxilato fue utilizado, ya que este fue el más efectivo en investigaciones anteriores;

- Fibras de acero – La mezcla fue reforzada con fibras de acero cortas y derechas, dosificadas a un 2% por volumen (265 lb/yd³ [157 kg/m³]). Las propiedades de las fibras de acero se muestran en la Tabla 2; y

- Agente antiespumante – Un agente antiespumante fue utilizado a una razón de 0.5 lb/yd³ (0.3 kg/m³)

Tabla 1: Proporciones de Mezclas (referencia 7)

Material	Cantidad, lb/yd ³			
	Mezcla A*	Mezcla B*	Mezcla C*	Mezcla D*
Cemento Tipo I	653			
Cemento Escoria	653			
Arena Fina	398	396	395	394
Arena Gruesa	1590	1586	1582	1577
Humo Sílice	327			
Agua	276	272	268	264
HRWRA§,	20	26	33	39
Fibras de Acero	265			

*Mezclas A, B, C, y D tienen dosis de HRWRA de 1.5%, 2%, 2.5%, y 3%, respectivamente

†Tamaño de granos: 80 a 200 μm

‡Tamaño de granos: 400 a 800 μm

§ Reductor de agua de alto rango Policarboxilato con base éter

||La dosificación de HRWRA puede ser ajustada para cumplir con los requisitos de fluides. Dosificación puede variar dependiendo del tipo de humo sílice y puede variar entre 1.5% a 3.0% por peso de cemento

#Fibras de acero consta de 2% por volumen

Nota: Un agente desespumante (a una razón de 0.5 lb/yd³) es recomendado para mezclas en camiones de concreto para así reducir la formación de burbujas

Nota: 1 lb/yd³ = 0.6 kg/m³

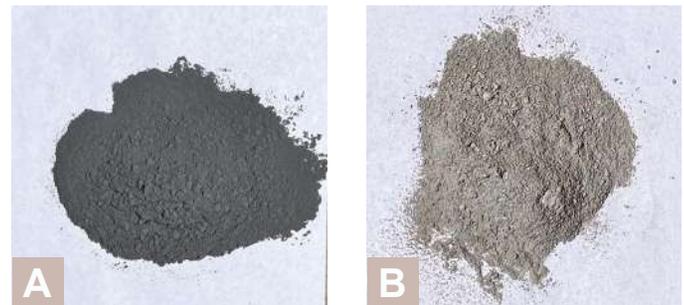


Figura 2: Tipos de humo sílice utilizadas en este trabajo: (a) SF1; y (b) SF2

Tabla 2: Propiedades de las fibras de acero utilizadas en este estudio.

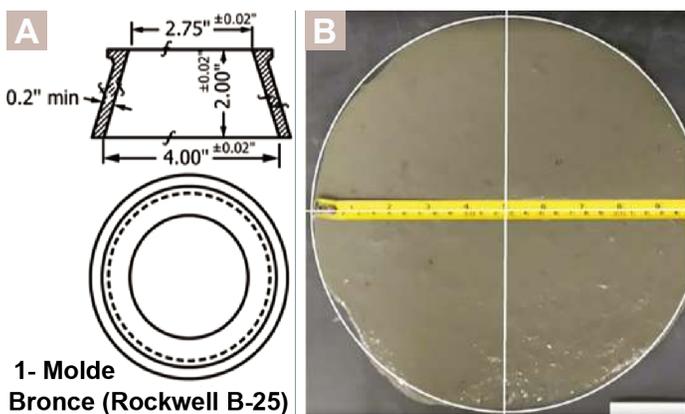
Tipo de Fibra	Densidad, kg/m ³	Esfuerzo en Tensión, MPa	Longitud de Fibra lf, mm	Diámetro de Fibra df, mm	Relación de Aspecto de Fibra lf / df
Recto, revestido de latón	7800	2850	13.0	0.20	65.0

Nota: 1 kg/m³ = 1.7 lb/yd³; 1 MPa = 145 psi; 1 mm = 0.04 in

Crterios de Aceptación para Trabajabilidad

La trabajabilidad de una mezcla fresca de CAR fue determinada midiendo el valor de propagarse de acuerdo con el ASTM C1437.¹¹ Luego de mezclarse, la pasta fresca fue colocada en un cono de extensibilidad (Fig. 3). Se tomaron precauciones para mantener el cono de extensibilidad y el plato de base al mismo nivel de humedad antes de comenzar las pruebas. Dada la naturaleza inerte de fluidez de la pasta, no se requirió compactar el CAR en el molde y tampoco se utilizó vibración. El cono fue llenado hasta el tope, se levantó a una velocidad fija, y el material que permaneció pegado al cono se raspo y se añadió al material en el plato de base. Se permitió que el material fluyera sin interrupción por 2 minutos +/- 5 segundos, para poder medir el diámetro del CAR en dos direcciones perpendiculares.

El promedio calculado del diámetro medido fue documentado como el valor de propagación.



1- Molde
Bronce (Rockwell B-25)

Figura 3: Prueba de extensibilidad:
(a) molde cónico para prueba de flujo; y
(b) prueba de propagación

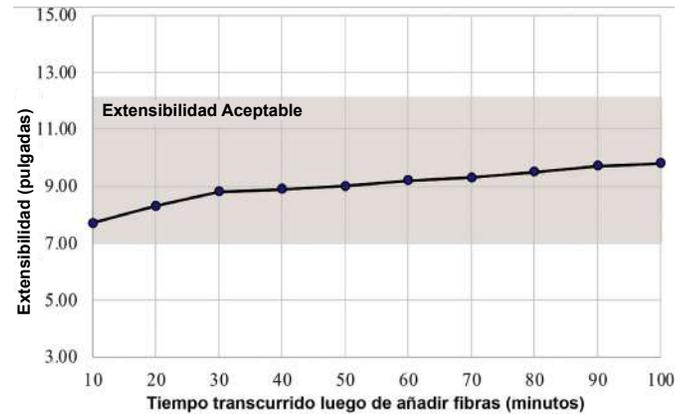


Figura 4: Extensibilidad versus tiempo de mezclado para Mezcla F2 (Nota: 1 in = 25 mm)

Una propagación entre 7 y 12 pulgadas (180 a 305 milímetros), tal como lo demuestra la Fig. 4, indica una mezcla aceptable.

Protocolo para Mezclar

El siguiente protocolo para mezclar fue utilizado tanto en los experimentos de laboratorio como en el campo:

- Añada componentes secos y mezcle por 10 minutos;
- Mezcle el agua con el HRWRA y gradualmente añádale a la mezcla sobre un periodo de 2 minutos;
- Espere por el cambio en fluidez, el cual puede ocurrir dentro de 5 minutos;



Figura 5: Tipos de equipos para mezclar utilizados en este estudio:
(a) mezcladora de tazón rotativo (F1);
(b) mezcladora de tambor rotativo (F2);
(c) camión de concreto (T)

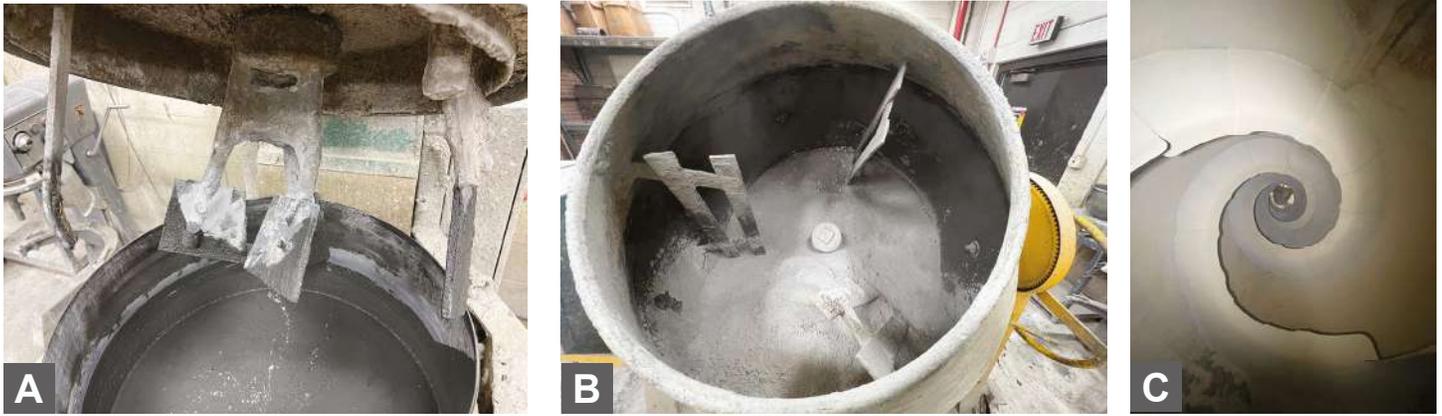


Figura 6: Detalles de los equipos de mezclar:
 (a) Mezcladora F1 con batidora de alta revolución y un raspador de pared;
 (b) F2 mezcladoras con paletas fijas; y
 (c) Mezcladora T con paletas en espiral

- Mezcle por 5 minutos más luego del cambio en fluidez;
- Añada las fibras de acero gradualmente por un periodo de 2 minutos; y
- Mezcle por otros 5 minutos antes de fundir sus especímenes.

Mezclas de Prueba

La Tabla 3 enumera varias mezclas creadas para esta investigación. Se utilizaron cuatro tipos de equipos para mezclar. Las mezclas de laboratorio se llevaron a cabo utilizando una mezcladora planetaria de Hobart (mezcladora designada H) como en El-Tawil et al.⁹ También se realizaron

Tabla 3: Resultados para mezclas de prueba

Nombramiento de Mezcla	Equipo Utilizado	Tipo SF	Volumen, yd ³	Extensibilidad ASTM C1437, in.	Esfuerzo en Compresión a 28 días, ksi	Esfuerzo en Tensión a 28 días, ksi
H	Mezcladora Planetaria Hobart	SF2	0.0065	9.8	27.6	1.64
F1	Mezcladora de tazón rotativo	SF1	0.03	8.8	26.45	1.61
F2	Mezcladora de tambor Rotativo	SF2	0.07	9.0	25.4	1.57
T1	Camión mezclador de concreto	SF2	3	29.0*	18.4	No medida
T2		SF1		8.5	25.2	1.50
T3				9.5	25.8	1.59
T4		9.0		25.9	1.65	
T5		3.5	8.5	23.7	1.82	
T6			10.25	24.0	1.74	

*Medida por error utilizando el ASTM C1611/C1611M12 y no el C1437
 Nota: 1 yd³ = 0.76 m³; 1 in. = 25 mm; 1 ksi = 6.9 MPa

mezclas utilizando mezcladoras comunes que se encuentran en el campo para trabajos pequeños: una mezcladora de tazón rotativo, designada F1 (Fig. 5(a)), y una mezcladora de tambor rotativo, designada F2 (Fig. 5(b)). Las mezclas de campo fueron realizadas utilizando un camión de concreto, designado T (Fig. 5(c)).

La figura 6(a) muestra que la mezcladora F1 tiene alcance total de las partes para mezclar con una batidora de alta revolución y un raspador de pared. La mezcladora F2 es más básica, gira lentamente (menos de 30 revoluciones por minuto) y las paletas de mezclar solo se mueven por la mezcla cuando esta está polvorienta, luego comienza a levantar y deja caer la mezcla cuando gira (Fig. 6(b)). La figura 6(c) muestra el interior de un camión de concreto con paletas en espiral que trabajan como las paletas de la mezcladora F2. Claramente, la mezcladora F2 y T no tienen la habilidad de mezclar completamente como la mezcladora F1 y H, las cuales pueden generar altos niveles de mezclado cortante.

Tabla 4: Incremento en esfuerzo de compresión con el tiempo

Días	Mezcla T1	Mezcla T2	Mezcla T3*	Mezcla T4*	Mezcla T5*	Mezcla T6*
4	9.1	12.6*	--	--	--	--
7	11.2†	24.9	25.7	17.4	--	25.0
11	22.3	--	--	--	--	--
28	18.4	25.2	25.8	25.9	23.7	24.0
56	--	--	--	--	23.8	25.1

*Curado en caliente comenzado luego de 1 día
 †Curado en caliente comenzado el día indicado

La mezcla H y F fueron preparadas a una temperatura ambiente de 70°F (21°C). Las mezclas T de la T1 a la T6 fueron preparadas en invierno dentro de un almacén el cual tenía calefacción, pero aun así relativamente más frío con unas temperaturas que rondaban entre 52 a 67°F (11 a 19°C). Los tamaños de las mezclas varían grandemente. Como demuestra la Tabla 3, las mezclas F fueron un orden de magnitud mayor a las mezclas H, y las mezclas T fueron un orden de magnitud mayor a las mezclas F.

Las mezclas H típicamente estaban listas en 25 minutos. Las mezclas F1 y F2 tomaron un poco más de tiempo, 45 y 30 minutos respectivamente, mientras que las mezclas T requerían al menos 30 minutos o más (hasta 90 minutos) mientras que se preparaban las formaletas para fundir. Aparte de esta consideración práctica, como lo es indicado en la Fig. 4, un lapso de tiempo mayor para el mezclado promueve la aceptación en los criterios de extensibilidad. Esto sugiere que las mezclas que inicialmente no cumplen con los criterios de aceptación pueden durar más tiempo en el mezclado para poder cumplir con los requisitos.

Propiedades de Mezclas de Prueba

La tabla 3 es un resumen de las propiedades de las mezclas frescas y endurecidas, mientras que la Tabla 4 muestra el aumento de esfuerzos en compresión con el tiempo para las mezclas de camiones de concreto evaluadas en este estudio. Basado en los resultados de esfuerzos, la mezcla H fue la más exitosa, pero no por mucho en comparación con las otras mezclas. La extensibilidad fue de 9.8 pulgadas (250 milímetros) y los esfuerzos en compresión y tensión fueron de 27.6 ksi y 1.64 ksi (190MPa y 11.3 MPa), respectivamente. La mezcla F1 tuvo una extensibilidad de 8.8 pulgadas (225 milímetros) y un esfuerzo en compresión y tensión de 26.45 ksi y 1.61 ksi (182 MPa y 11.1



Figura 7: CAR curado lentamente en temperaturas bajas (foto tomada 24 después de haber fundido). La temperatura ambiente estimada fue de 55°F (13°C)



Figura 8: Cubos después de realizar pruebas

MPa), respectivamente. La mezcla F2 tuvo un rendimiento similar a la de F1. Las mezclas T tuvieron un rango de extensibilidad entre 8.5 a 10.25 pulgadas (215 a 260 milímetros). Los resultados a 28 días de esfuerzos de compresión para las mezclas T estaban entre los 18.4 a 25.9 ksi (127 a 177 MPa). El esfuerzo menor de las mezclas T fue para la T1, el cual fue la primera mezcla en un camión de concreto para este programa de investigación. La razón por la cual este valor fue el menor se discute próximamente.

La temperatura ambiente para la Mezcla T1 no fue medida, pero se estima que fue alrededor de 55°F (13°C). La temperatura fue medida para las mezclas T restantes. Una vez se culminó el mezclado y el CAR fue colocado en sus moldes, se tomaron muestras y se dejaron a curarse adyacentes a los especímenes. Luego del primer día, fue claro que el CAR falló en curarse. La figura 7 muestra que los especímenes descimbrados a las 24 horas solo estaban parcialmente curados en comparación con los cubos mostrados en la Fig. 8 utilizados para las pruebas. Tal y como se enumera en la Tabla 4, los esfuerzos de los cubos de CAR para la mezcla T1 alcanzo a 9.1 ksi (63 MPa) a los 4 días y 11.2 ksi (77 MPa) luego de los 7 días. Ya que se conoce que las bajas temperaturas atrasan el curado,^{13,14} se tomó la decisión de acelerar el curado aplicando calor. Una cubierta de plástico grueso fue utilizada como una carpa para cubrir toda la viga (Fig. 9). La cubierta fue calentada a una temperatura entre 90 y 100°F (32 y 43°C). Luego del CAR haberse curado, se cubrió con una manta mojada y periódicamente suplida con agua. El calor a la viga fue aplicado por 4 días.



Figura 9: Viga compuesta de acero y CAR cubierta en plástico con calefacción integrada para promover curado de CAR

Pruebas realizadas a los 11 días mostraron que el CAR gano esfuerzo rápidamente, alcanzando 22.3 ksi (154 MPa). Pruebas subsiguientes mostraron una reducción en esfuerzo a 18.4 ksi (127 MPa) a los 28 días. No es claro por qué la reducción en esfuerzo. Sin embargo, no se levantó preocupación por estos resultados ya que excedieron los valores de diseño, y más aun, el uso de cemento escoria es conocido por incrementar los esfuerzos varios meses después de fundir dado a su lenta reacción puzolánica.

Con el conocimiento adquirido de la mezcla T1, las mezclas T subsiguientes fueron en curado caliente. Esto resulto en un incremento predecible y efectivo en esfuerzos, mostrado en la Tabla 4. En el laboratorio, las mezclas H y F fueron curadas en un baño de agua a una temperatura de 195°F (91°C) por 72 horas. Aunque estas muestras fueron sumergidas en agua, el esfuerzo a los 28 días muestra que la estrategia de curado para las mezclas T2 a T6 fue igualmente efectivo.

Lecciones Aprendidas y Observaciones

Las principales lecciones aprendidas en esta investigación incluyen:

- El mezclado correcto de CAR puede ser alcanzado con un rango de mezcladoras comunes, incluyendo la de tazón rotativo, barril rotativo y camión de concreto. Un mezclado exitoso se logró entre 30 y 45 minutos, dependiendo el tipo de mezcladora que se use;

- La prueba de extensibilidad es una manera rápida y conveniente de evaluar la calidad de una mezcla. Si la mezcla no pasa la prueba inicial, al mezclado adicional será necesario para alcanzar una fluidez aceptable; y

- El colocar CAR en un ambiente frío atrasará el tiempo de curado. Sin embargo, el proceso de curado puede ser altamente acelerado con la aplicación de calor. El calentar las vigas en este trabajo permitió que las mezclas sobrepasaran los 22 ksi (152 MPa) a las 72 horas.

Aunque las materias primas para fabricar el CAR son más costosas que aquellas de un hormigón regular, hay un rango de aplicaciones en el que el ahorro de utilizar CAR hacen que el material sea competitivo con hormigón convencional. Como se indica en El-Tawil et al.,¹⁶ esto se debe a los ahorros en peso por secciones esbeltas, y el cual reduce costos en el manejo y transporte y requiere fundaciones de menor tamaño. En el proyecto relacionado a este artículo, el uso de CAR eliminó la necesidad de curvar la viga de acero, y fueron compuestas juntos a las losas de bajo peso de CAR, llevando a reducir los costos aún más. Al final, los ahorros en costo asociados al mantenimiento y remplazo debido a la extrema durabilidad de CAR hacen que este material único sea altamente considerado. Además, el CAR abre las puertas a nuevas aplicaciones de construcción y opciones de rehabilitación estructural que no son viables utilizando concreto regular. Se espera que las experiencias documentadas en este artículo ayudara a mejorar la reputación de que CAR es difícil de mezclar y que anime futura experimentación con este material tan beneficioso.

Referencias

1. Wille, K.; El-Tawil, S.; and Naaman, A.E., "Properties of Strain Hardening Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHP-FRC) Under Direct Tensile Loading," *Cement and Concrete Composites*, V. 48, Apr. 2014, pp.53-66.

2. Wille, K.; Naaman, A.E.; and El-Tawil, S., "Optimizing Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete," *Concrete International*, V. 33, No. 9, Sept. 2011, pp. 35-41.

3. "Ultra High Performance Concrete," keyword search, Google Scholar, 2021 https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0,23&q=%22ultra-high+performance+concrete%22&scisbd=1.

4. "Every Day Counts," Federal Highway Administration, McLean, VA, 2021, www.fhwa.dot.gov/innovation/everydaycounts/

about-edc.cfm. Accessed Jun. 23, 2022.

5. ASTM C1856/C1856M-17, "Standard Practice for Fabricating and Testing Specimens of Ultra-High Performance Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 4 pp.

6. ACI Committee 239, "Ultra-High-Performance Concrete: An Emerging Technology Report (ACI 239R-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 21 pp.

7. El-Tawil, S.; Tai, Y.-S.; and Belcher II, J.A., "Field Application of Nonproprietary Ultra-High-Performance Concrete," *Concrete International*, V. 40, No. 1, Jan. 2018, pp. 30-36.

8. Alkaysi, M., and El-Tawil, S., "Effects of Variations in the Mix Constituents of Ultra High Performance Concrete (UHPC) on Cost and Performance," *Materials and Structures*, V. 49, No. 10, Oct. 2016, pp. 4185-4200.

9. El-Tawil, S.; Tai, Y.-S.; Meng, B.; Hansen, W.; and Liu, Z., "Commercial Production of Non-Proprietary Ultra High Performance Concrete," RC-1670, Michigan Department of Transportation, Lansing, MI, 2018, 162 pp.

10. Tai, Y.-S., and El-Tawil, S., "Effect of Component Materials and Mixing Protocol on the Short-Term Performance of Generic Ultra-High-Performance Concrete," *Construction and Building Materials*, V. 238, Mar. 2020.

11. ASTM C1437-15, "Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, 2 pp.

12. ASTM C1611/C1611M-21, "Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 6 pp.

13. Graybeal, B.A., "Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete," FHWA-HRT-06-103, Federal Highway Administration, McLean, VA, Aug. 2006, 176 pp.

14. Graybeal, B.A., and Baby, F., "Tension Testing of Ultra-High Performance Concrete," FHWA-HRT-17-053, Federal Highway Administration, McLean, VA, Feb. 2019, 206 pp.

15. Park, S.; Wu, S.; Liu, Z.; and Pyo, S., "The Role of Supplementary Cementitious Materials (SCMs) in Ultra High-Performance Concrete (UHPC): A Review," *Materials*, V. 14, No. 6, Mar. 2021, p. 1472.

16. El-Tawil, S.; Tai, Y.-S.; Belcher II, J.A.; and Rogers, D., "Open-Recipe Ultra-High-Performance Concrete," *Concrete International*, V. 42, No. 6, June 2020, pp. 33-38.



Serif El-Tawil, es el Profesor Colegial Antoine E. Naaman de ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Michigan, Ann Arbor, MI, EEUU, e Ingeniero Profesional en el estado de Michigan desde el 2003 y en Florida desde antes. Ha tenido un gran interés por el desarrollo de recetas de CAR y sus características y propiedades a corto y largo plazo. Esta particularmente interesado en los efectos de cargas extremas sobre sistemas estructurales y como el CAR, con sus propiedades únicas, puede ser utilizado para mitigar estos efectos.



M.A. Saqif, es un candidato a Doctorado en Filosofía en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Michigan. Su investigación se enfoca en el comportamiento de los materiales del CAR y su reacción asociada al refuerzo de CAR en componentes estructurales con el fin de proveer información que pueda ser utilizada para calibrar futuros códigos de diseño. También esta interesado en como reducir los costos de mezclas de CAR y resolver el problema de como fundir pruebas en el campo para que así sea más accesible.



Dewayne Rogers, es el Director Gerencial de la Comisión de Carreteras del Condado de Clare en Michigan. Ha implementado el uso de receta abierta de CAR en varios proyectos de mantenimientos de puentes. Esta particularmente interesado en remplazar las losas de puentes y otras super estructuras con paneles prefabricados de bajo peso utilizando CAR para así reducir costos de mantenimiento a largo plazo.



Yuh-Shiou Tai, es el Jefe de Tecnología en HiPer Fiber, LLC. Fue un científico de visita en la Universidad de Michigan entre 2013 y 2019. Su interés de investigación incluye las propiedades del enlace entre los materiales cementicios y las fibras de acero; y la modelación de CAR bajo cargas de alto esfuerzos y cuasi-estáticas.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Puerto Rico

Título: CAR Mezclado en laboratorio versus mezclado en camión - ¿Cual es la diferencia?



Traductor:
Jose M. Mejia Borrero



Revisor Técnico:
Anabel . Merejido

¿Sabías qué...

a partir de 2023 puedes publicar tus artículos de investigación y casos de estudio en nuestra Revista?

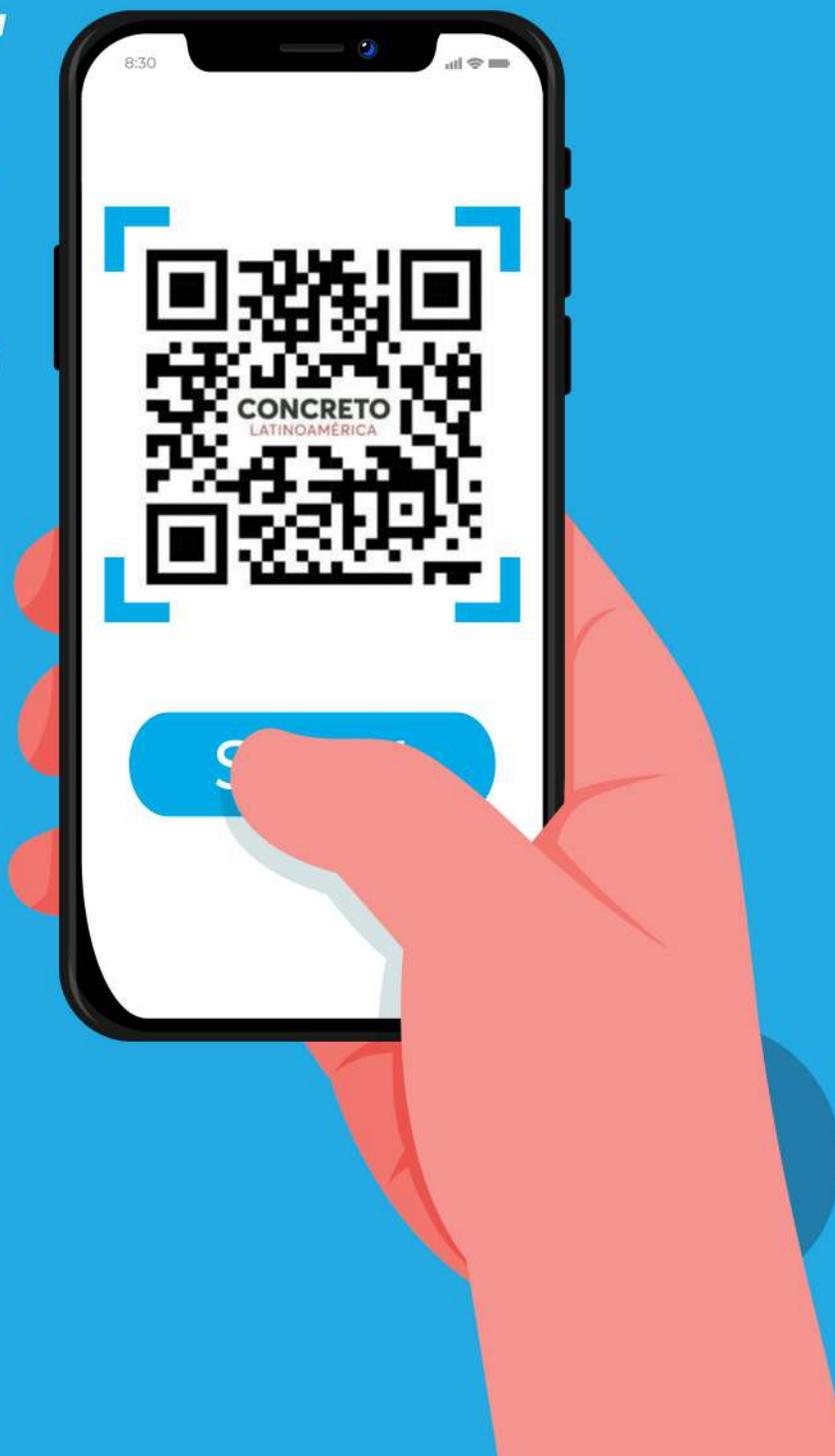
¡Es muy fácil!

Podrás descargar la Guía de Publicación y Carta de Solicitud en estos Códigos QR

Una vez descargada la Guía conocerás los requisitos para publicación, y podrás llenar la solicitud, firmarla y enviarla a la Revista Concreto Latinoamérica, a través de la dirección concretolatam@gmail.com

¡Listo!

Tú solicitud y artículo serán evaluados para su publicación.



Carta Solicitud Publicación



Concreto, Preguntas y Respuestas: Resultados de baja resistencia y pruebas de núcleo

Las preguntas de esta columna fueron formuladas por usuarios de los documentos de ACI y han sido respondidas por el personal de ACI o por un miembro o miembros de los comités técnicos de ACI. Las respuestas no representan la posición oficial de un comité de ACI. Los comentarios deben enviarse a keith.tosolt@concrete.org.

P

Recientemente completamos un edificio de concreto de mediana altura. Durante la construcción, el laboratorio de supervisión del propietario realizó verificaciones independientes de números F y revisión en todos los niveles del piso. Los resultados indicaron el cumplimiento de las tolerancias ACI 117-10(15)¹ para la planicidad del piso y las elevaciones de la parte superior de la losa establecidas en los documentos de construcción. Nos acaban de informar que el instalador de la pared de la ventana se ha quejado de que las ventanas de altura completa no caben entre las losas. Argumentando que la separación entre dos losas se considera una abertura y, por lo tanto, tiene una tolerancia más estrecha que las tolerancias de elevación de la losa, el instalador de ventanas está presionando al propietario para que nos cobre para cubrir el costo del retrabajo. No creemos que el espacio entre dos losas constituya una abertura. ¿ACI brinda orientación sobre este problema de tolerancia?

R

Los valores de tolerancia para aberturas a través de elementos de concreto se proporcionan en ACI 117-10(15) y se enumeran en la Tabla 1. Incluyen tolerancias para el tamaño de la abertura especificada en $-1/2$ pulg. (13 mm) y $+1$ pulg. (25 mm) y tolerancias para la ubicación del borde especificada de $\pm 1/2$ pulg. En ocasiones, existe confusión sobre la definición de "abertura" y qué tolerancias podrían aplicarse. Por lo general, las aberturas se crean para instalar un componente prefabricado por uno de varios oficios

de la construcción, la mayoría de los cuales se abordan en ACI 117.1R-142. Este documento establece en la Sección 5.3.1.1.2 que las tolerancias de apertura de ACI 117-10(15) "son para aberturas que están encerradas en una pared o losa (aberturas en un elemento)" como se muestra en la Fig. 1. El punto clave es que la abertura debe estar dentro de un solo elemento. Por lo tanto, el espacio entre dos losas (o dos columnas) no se considera una abertura. ACI 117.1R-14,

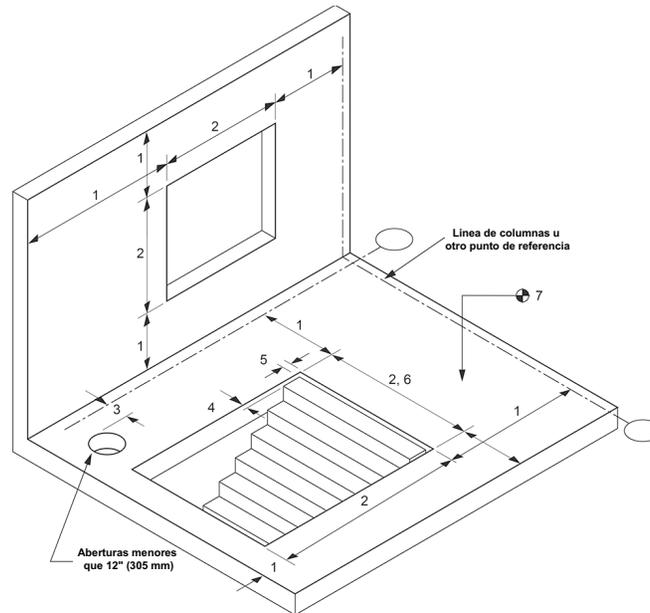


Figura 1: Tolerancias para aberturas de elementos de concreto (Fig. 5.3.1.1.1 en ACI117.1R-142)

Sección 5.3.1.1.2, lo aclara al afirmar: “El espacio libre entre pisos tiene una tolerancia de elevación de $\pm 3/4$ pulg. (± 20 mm) en cada piso. Este espacio no se considera una apertura”.

ACI 117.1R-14, Sección 4.3.3, aclara lo siguiente: “ACI 117 proporciona tolerancias de posición, ubicación y dimensión del plano, por lo que es necesario combinarlas para una tolerancia de dimensión de longitud. Por ejemplo, si la dimensión libre en planta nominal entre la superficie superior del piso de concreto del Nivel 5 y la elevación inferior de la losa del Nivel 6 es de 8 pies 0 pulg. (2440 mm), la tolerancia de elevación ACI de la superficie superior de una losa de concreto apuntalada es $\pm 3/4$ pulg. (± 20 mm). La tolerancia de elevación del techo del piso de concreto superior es de $\pm 3/4$ pulg. (± 20 mm)”. La Tabla 2 proporciona las estimaciones de altura basadas en estas tolerancias de elevación de losa.

Tabla 1: Tolerancias para aberturas para elementos de concreto provistas en ACI 117-10(15)¹

Sección	Tolerancia	Valor de Tolerancia	Aplicación
4.1.3	Aplomo	$\pm 1/2$ in.	Borde vertical
4.2.1	Desviación horizontal	$\pm 1/2$ in.	Borde vertical de la abertura del piso y bordes verticales de las aberturas en paredes, vigas o columnas
4.2.2	Desviación vertical	$\pm 1/2$ in.	Borde horizontal de aberturas en muros, vigas y columnas
4.6.1	Abertura formada	$\pm 1/2$ in. Y +1 in.	Todas las aberturas

Tabla 2: Estimaciones claras de alturas basadas en propiedades de distribución normal (Tabla 4.3.3 en ACI 117.1R-14²)

Altura libre más corta	Mayor altura libre	Probabilidad
7 pies 10-1/2 pulgs (2400 mm)	8 pies 1-1/2 pulgs (2480 mm)	Sobrestima
7 pies 10-7/8 pulgs (2412 mm)	8 pies 1-1/8 pulgs (2468 mm)	99.7% (3 desviación estándar)
7 pies 10-1/4 pulgs (2420 mm)	8 pies 3/4 pulgs (2460 mm)	95% (2 desviación estándar)
7 pies 10-5/8 pulgs (2430 mm)	8 pies 3/8 pulgs (2450 mm)	68% (1 desviación estándar)

Para obtener la dimensión clara construida, los valores extremos de las tolerancias se suman en cada dirección: $+3/4 + 3/4 = +1-1/2$ pulg. y $-3/4 - 3/4 = -1-1/2$ pulg., y luego estas tolerancias combinadas se suman/restan a/de la dimensión de altura del plano nominal. Por lo tanto, la dimensión libre construida podría ser de 8 pies 0 pulg. $\pm 1-1/2$ pulg. (2438 \pm 38 mm). En otras palabras, la dimensión libre podría variar de 7 pies 10-1/2 pulgadas a 8 pies 1-1/2 pulgadas (2400 a 2480 mm).

Las tolerancias se pueden combinar para proporcionar una estimación más realista y más pequeña. La suma de las tolerancias proporciona la estimación de tolerancia más grande y probablemente sobreestima la tolerancia combinada. Por ejemplo, si un piso fuera a tener un valor de tolerancia extrema de $+3/4$ pulg., el techo sobre él debería tener un valor de tolerancia extrema de $-3/4$ pulg. Sin embargo, es poco probable que ocurran ambos extremos en el mismo lugar. Por lo tanto, la suma de las dos tolerancias sobreestima la probable tolerancia combinada. La Tabla 2 proporciona una estimación basada en la probabilidad de la combinación de las dos tolerancias con la suposición de que las tolerancias del techo y del suelo son independientes y se rigen por una distribución normal (en forma de campana).

En conclusión, el fabricante/instalador de la pared de la ventana debería haber anticipado la dimensión de la altura libre entre las dos losas de acuerdo con ACI 117 y diseñado la pared cortina para que encajara.

Referencias

1. ACI Committee 117, "Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) (Reapproved 2015)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp.
2. ACI Committee 117, "Guide for Tolerance Compatibility in Concrete Construction (ACI 117.1R-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 47 pp.

Gracias a Jim Klinger, Especialista en Construcción de Concreto, y Bruce A. Suprenant, Director Técnico, American Society of Concrete Contractors, St. Louis, MO, EE. UU., por brindar la respuesta a esta pregunta y a Frank P. Salzano, Director de Control de Calidad, CECO Concrete Construction, USA, por revisarlo.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noroeste

Título: Concreto, Preguntas y Respuestas: Resultados de baja resistencia y pruebas de núcleo



Traductor:
Cristian Silva



Revisor Técnico:
Ing. Jesús F. García Arvizu

Apoyo de investigación de la fundación ACI – Un perfil industrial

*Relato de cómo una carrera larga culminó
en una donación substancial de Vilas S. Mujumdar*

Después de más de 40 años de ejercer la ingeniería en el sector privado, trabajo regulatorio del estado y administración de investigación federal, Vilas S. Mujumdar, FAcI, le ha retribuido a la industria a través de muchos aspectos de su carrera – incluyendo diseño civil y estructural, gestión de proyectos, investigación y docencia. Su reciente donación de \$50,000 a la Fundación ACI se destinará para apoyar la investigación con un enfoque holístico. La siguiente sesión de preguntas y respuestas pone de relieve algunos de los puntos más destacados de su carrera que han influido en su deseo continuo de impactar a la industria mediante todas las disciplinas.

Usted participó en la construcción de Habitat 67, un ícono arquitectónico en Montreal, Quebec, Canadá. ¿Cuál fue su función allí?

Para Habitat 67 fui el ingeniero de proyecto para la empresa de precolado Francon, Ltd. Coordiné la obra con la firma de ingeniería de diseño de Habitat de Monti, Lefebvre, Lavoie, Nadon & Associates, así como con el consultor estructural del proyecto, August Komendant y con las firmas de arquitectura, Moshe Safdie y David, Barott, Boulva Associates.

¿Cómo es que se convirtió en el ingeniero de proyecto de tal obra monumental?

Fue fortuito. Cuando Francon me entrevistó, yo no tenía idea de lo que era Habitat 67. Me mudé a Montreal a mediados de enero, desde Londres, Inglaterra, para

una oportunidad diferente. Respondí a un anuncio de periódico de Montreal. El anunciante, Francon, buscaba a alguien que pudiera diseñar concreto presforzado y me llamó la atención porque ya contaba con experiencia en diseño y construcción de puentes de concreto presforzado en India y en el Reino Unido.

Pronto me llamó alguien de Francon. El ingeniero en jefe me recogió, me llevó a la oficina de Francon y me hizo varias preguntas. Cuando me pidió que diseñara algo con un voladizo, coloqué el refuerzo en el lado correcto. Él estaba sorprendido y me preguntó cuándo podía empezar. Le respondí, “Bueno, tengo otro empleo en Montreal, pero tendrá mi respuesta en un par de días.”



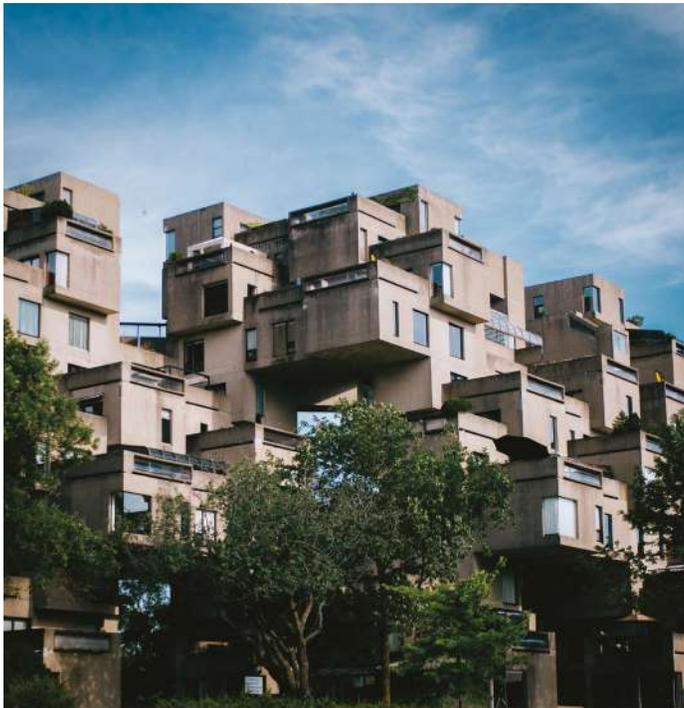
Vilas Mujumdar, FAcI, es Catedrático Asociado en la Universidad Estatal de Iowa, en Ames, IA, Estados Unidos de Norteamérica. Su carrera incluye 40 años en el sector privado, 10 años en trabajo regulatorio del estado y 6 años en administración de investigación. Ha participado en diseño estructural, gestión de proyectos, cátedras universitarias y administración de investigación. Su experiencia incluye diseño y construcción de puentes de concreto presforzado de tramos largos, diseño de torres de enfriamiento para la industria nuclear y es precursor en el uso de concreto precolado para sostener cargas sísmicas. Mujumdar es reconocido a nivel internacional por sus aportaciones para obras integrales, transdisciplinarias para reducir riesgos

naturales. En la Fundación Nacional de Ciencias, administró cinco centros de investigación en ingeniería.

Mujumdar es miembro de la Academia Nacional de Construcción, Miembro Distinguido de ASCE y autor de dos libros. En 2019, la Federación Mundial de Organizaciones de Ingeniería lo reconoció con su Medalla a la Excelencia en Ingeniería.

Es miembro de los Comités de ACI 369, Reparación y Rehabilitación Sísmica, 374, Diseño Sísmico de Edificios de Concreto Basado en Desempeño y 435, Deflexión de Estructuras de Construcción de Concreto. También es miembro del Comité Conjunto ACI-ASCE 550, Estructuras de Concreto Precolado y del Consejo de Investigación de Concreto de la Fundación ACI.

Recibió su grado de ingeniería civil por la Universidad Vikram, en India; su grado de maestría en ingeniería civil por el Instituto de Tecnología de la India; Maestría en Administración de Empresas por la Universidad Santa Clara y un doctorado en riesgo sísmico por la Universidad del Sur de California.



Habitat 67, en Montreal, QC, Canadá

Después de transcurrido ese tiempo, me llamó y me dijo, “Mire, realmente necesitamos a alguien como usted que haya hecho concreto reforzado”. En resumen, me ofreció mucho más dinero que la empresa que me atrajo para ir a Montreal, así es que tomé el empleo.

Era una oficina típica de precolado, con muchas personas creando planos de producción a partir de dibujos de diseño. Cuando llegué, me presentaron al gerente del proyecto. Tenía mucha experiencia con concreto precolado y llegó desde Manitoba para el proyecto. Aunque yo tenía mucha experiencia con puentes de concreto reforzado, no tenía idea de lo que hacía la gente de producción de concreto precolado. Pero aprendí rápido.

¿Qué hacía como ingeniero de proyecto en la empresa de precolado?

Mi trabajo consistía en coordinar la producción de precolado con el equipo de diseño y construcción. Pero el diseño no estaba completo. De hecho, el diseño del proyecto continuó durante el mismo y yo tenía que identificar problemas en planos de diseño incompletos, de manera que pudiéramos completar los planos de producción y producir el concreto precolado. Con cada plano, yo tenía que coordinar cuestiones con la gente de producción, la gente de construcción, el ingeniero estructural y con la oficina del arquitecto. Esto tuvo lugar durante aproximadamente 3 meses y después movimos la oficina completa al sitio de la construcción. En ese momento, había seis ingenieros y 30 dibujantes y cada vez más era yo la persona que resolvía problemas de diseño con el equipo de ingeniería estructural y con Komendant (quien visitaba el proyecto una vez a la semana) y coordinaba detalles con la unidad de producción y con el contratista general.

También participé muy estrechamente con la oficina de Moshe Safdie, ya que había asignado a un arquitecto senior para que resolviera los problemas de producción. Komendant también había asignado a un

asociado, un socio para que trabajara en Montreal solucionando problemas.

Debido a que estábamos produciendo piezas sobre la base de planos incompletos, literalmente trabajaba yo de las 8:00 de la mañana hasta las 8:00 de la noche todos los días. Tenía que firmar cada plano de producción antes de que el componente de precolado pudiera ir a producción. Tenía que asegurarme que todo estuviera funcionando bien.

Teníamos muchísimos problemas. Yo era el ingeniero de proyecto responsable de coordinar todo – el diseño estructural, el diseño arquitectónico, el trabajo del contratista general y el trabajo del equipo de producción.

Producíamos cuatro unidades (utilizando cuatro cimbras para los módulos de departamentos) y todo presentaba problemas. Ni siquiera había cumplido los 25 años y apenas tenía 3 años de experiencia después de mi maestría, pero lo disfruté increíblemente.

¿De qué forma usted, un inmigrante de 25 años de edad se preparó para tales responsabilidades?

Mis proyectos en India y en el Reino Unido habían sido puentes de tramos muy largos con vigas producidas en el sitio de la obra en lugar de en una fábrica y luego transportarlos. Estos puentes incluyeron largos tendones postensados fabricados utilizando el Sistema Lee-McCall (conocido en América del Norte como Stress Steel). Donovan Lee era el inventor y McCall el productor de acero.

La compañía Lee-McCall participó en la construcción de puentes de concreto presforzado en todo el mundo y para mí fue un honor conocer y trabajar con Lee. Trabajé para la compañía haciendo puentes en la India y en el Reino Unido durante aproximadamente 3 años. En ambos países, al contratista se le adjudica el contrato y diseña el puente. En un sistema así, el ingeniero de diseño no sólo diseña la estructura y obtiene la aprobación de los ingenieros del gobierno, sino que también va al sitio de la obra para averiguar si hay problemas. En ese sistema, trabajé desde el diseño hasta la construcción y aprendí muy rápido respecto a todos los problemas.

Así es que cuando llegué a Montreal, conocía las regulaciones, sabía solucionar problemas en campo y cómo tratar con la gente. Esa experiencia fue de suma importancia cuando empecé a trabajar con Francon, porque sinceramente, no tenían a nadie con esos conocimientos. También tenía experiencia con el sistema de postensado, ya que el sistema Stress Steel se utilizaba para el postensado de todos los módulos del edificio (se utilizaron hebras para el postensado de los puentes de Habitat).

¿Cuáles fueron algunos de los retos del proyecto?

Primero, había límite de tiempo. Habitat 67 iba a ser una parte importante de la Exposición Internacional y Universal de 1967 (Expo 67) que se llevaría a cabo pronto. Segundo, no era un edificio sencillo. Habitat 67 cuenta con 354 módulos habitacionales dispuestos en complejos de ocho unidades reunidas con una forma muy específica, en voladizos de esta forma y así sucesivamente. El complejo de ocho unidades se repite en formas diferentes y distintas posiciones verticales y horizontales. Pero esas ocho unidades en sí mismas fueron muy complejas. Los ocho diferentes módulos habitacionales tenían medidas fijas (largo, ancho y alto), pero el diseño estructural no era fijo. Variaba, dependiendo de la ubicación del módulo y de las cargas impuestas.

Los módulos incluían columnas para postensado vertical. Algunos módulos pesaban hasta 100 toneladas cada uno, de manera que se necesitaba mucho trabajo con grúas para elevarlos apropiadamente. Ese era el trabajo del contratista general, pero nosotros teníamos que transportar los módulos desde una fábrica de concreto precolado. Los suministrábamos por completo después de la producción y entonces se enviaban, básicamente se transportaban sólo por camión al sitio de la obra aproximadamente a media milla de distancia. Allí, el contratista general los colocaba en el sitio.

Cada semana, nuestro gerente de proyecto y yo teníamos una reunión con los diseñadores estructurales, quienes volaban desde Pennsylvania para sostener una reunión en la oficina del arquitecto. Pero yo llevaba una lista de problemas todos los días. Un plano podía mostrar una cosa, pero otro mostraba algo diferente. Me convertí en un dolor de cabeza para los diseñadores porque necesitaba saber cuál era el plano correcto y la respuesta no podía esperar.

Komendant se dio cuenta de que había un problema, así es que me invitó a comer para que le platicara sobre mi experiencia. Le expliqué mi trayectoria con los puentes de concreto. Le dije que, aunque tenía sólo 3 años de experiencia, consideraba que podía hacer un buen trabajo coordinando a todos porque esa era el tipo de labor que realicé. Me contestó, “realmente estoy complacido de que esté aquí una persona como tú”.

Para mí fue un gran honor conocerlo. Me dio una copia firmada de su libro sobre diseño de concreto postensado. Y hasta me dio una conferencia sobre cómo calculaba los esfuerzos en los módulos. En esos días no había computadoras, así es que determinaba los esfuerzos utilizando funciones de esfuerzo Airy. Los diseños se calculaban manualmente, incluso me obsequió una copia de sus cálculos.

¿Podría describir algunos de los retos más singulares?

Cuando había cambios en los planos de producción, yo tenía que coordinarme con seis ingenieros y 30 dibujantes. Tenía que mantener a todos informados respecto a quién estaba haciendo qué y qué estaba sucediendo. Y yo tenía que firmar los planos de producción.

Los planos estructurales y arquitectónicos no se coordinaban, entonces teníamos reuniones semanales para aclarar las cosas. Tenga en mente que nuestra cuadrilla de producción esperaba los planos de producción definitivos, de manera que teníamos que hacer todo. En ocasiones, yo iba a la planta y les decía que produjeran una unidad diferente hasta que resolvíamos algunos

problemas de diseño. Uno de los mayores retos era la congestión. Una columna podía tener barras No. 10 verticales, así como ductos de postensado. Los trabajadores de la planta decían, “¿cómo va a poder colar concreto sobre esto?” Yo no les podía decir, “bueno, yo no hice esto, yo sólo lo comunico”. Yo era la persona que estaba en la obra y confiaban en mí para que resolviera los problemas.

Finalmente, convencí a los ingenieros de diseño de que había demasiados problemas, así es que el conglomerado de diseño asignó a un ingeniero al sitio para que trabajara conmigo en la solución de dichos problemas. Al final, eso funcionó bastante bien y tuvimos que hacerlo porque no podíamos solucionar todo en una reunión semanal formal.

“Desde el inicio de mi carrera no consideré ninguna construcción como un proyecto. Consideré mi trabajo como parte de un sistema”.

Otro problema inesperado fue un cambio en los requerimientos del diseño. Después de unos 4 meses de producción de piezas precoladas, se tuvo que modificar el diseño. Repentinamente, la ciudad de Montreal determinó que el edificio tenía que diseñarse para soportar terremotos. Así es que los ingenieros de diseño me llamaron y me dijeron “tenemos de detener la producción”. Ya habíamos construido casi la mitad del edificio. Afortunadamente, los diseñadores convencieron a las autoridades del código de que el diseño en general estaba conforme con el diseño sísmico, de manera que no tuvimos que modificar la estructura existente. Aun así, fue una situación muy estresante.

Además de mayor postensado en algunas unidades, el diseño sísmico dio por resultado un cambio en la interfaz entre los extremos de las columnas en los módulos apilados. Con el propósito de garantizar más flexibilidad en las conexiones, tuvimos que cambiar de conexiones con lechada a conexiones más suaves con almohadillas de neopreno de ½ pulgada.

Por último, fue difícil encontrar personas calificadas. Algunos de los dibujantes no tenían ninguna experiencia en lo absoluto. De hecho, uno de ellos había estado trabajando como camarero antes de empezar a trabajar en Habitat 67. De los seis ingenieros que teníamos en Fabcon, dos tenían un certificado de una universidad comunitaria. Aunque no eran ingenieros de carrera, pudieron identificar problemas en los planos. Otros dos ingenieros tenían experiencia en Europa, pero no en la industria del concreto precolado. Nuestro trabajo no consistía en polemizar sobre la calidad del diseño estructural. Nuestro trabajo era construirlo.

¿Si hubiera podido hacer cambios en el proyecto, qué sería diferente?

Es una pregunta difícil de contestar porque creo que la forma en que lo veo es contextualmente diferente ahora, en comparación a lo que era en ese momento.

Lo que realmente me gustaría conservar es la combinación creativa de las unidades. Por ejemplo, el complejo de ocho unidades tenía balcones individuales. Yo modificaría el diseño para reducir las dimensiones de las unidades que eran demasiado grandes y muy pesadas, aproximadamente 100 toneladas – y tendría en mente la producción.

Este proyecto ganó una competencia de arquitectura. Es un proyecto único. Independientemente de lo emocionante que fue, en realidad no se adaptaba a la producción eficiente del concreto precolado. Necesitaba diseñarse para que permitiera más uniformidad, no tanta distinción entre las unidades. Yo no crearía puentes largos para conectar las diferentes unidades porque eso lo complica todo. A fin de cuentas, esto fue una producción de concreto precolado. Es necesario tener en mente que el concepto original era construir 1000 unidades con un presupuesto determinado, pero esto se redujo a 354 unidades por el alto costo provocado por su carácter peculiar. Es por esta razón por la que no se han repetido nunca más este tipo de proyectos.

¿De qué forma influyó el proyecto en su carrera?

Considero que influyó muchísimo en mi carrera. Después de Habitat, trabajé con Spancrete en Montreal 2 años antes de mudarme a Boston para convertirme en el gerente general de un productor de concreto precolado. No tenía idea de lo que iba a hacer, pero dijeron que me querían porque habían escuchado mucho sobre Habitat y nadie en los Estados Unidos tenía ese tipo de experiencia.

En 1969 inició un programa llamado Operation Breakthrough [Operación Innovación] dentro del Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano de los Estados Unidos de Norteamérica. Este departamento fue liderado por George Romney, cuya experiencia incluye ser presidente de American Motors y gobernador de Michigan. Operation Breakthrough fue un programa de vivienda muy grande del gobierno federal, bajo el cual se adjudicaban contratos a compañías para que produjeran unidades habitacionales en fábricas.

Presentamos nuestra propuesta pensando que nuestras conexiones políticas con el propietario de la compañía nos darían una buena oportunidad. Había cientos de propuestas. Sólo se adjudicaron 28 contratos y no obtuvimos uno. Aunque perdimos, mi carrera continuó en el diseño de diversos proyectos de concreto precolado. Posteriormente, los principales asociados de otra compañía fueron contratados por una unidad de Westinghouse cuyo propósito era presentar una propuesta para una licitación para construir viviendas en el área de Stuyvesant de la Ciudad de Nueva York. Contrataron como consultor a William (Bill) James LeMessurier Jr. No obstante, su compañía no tenía a nadie con experiencia en este tipo de cosas, así es que LeMessurier me invitó a comer y hablamos del proyecto. Me ofreció un puesto y finalmente estuvo de acuerdo con mis requerimientos salariales. LeMessurier y yo nos hicimos muy buenos amigos porque estuvimos trabajando en este emocionante proyecto con Westinghouse y con una firma de arquitectos en Boston.

También desarrollamos varios otros proyectos de diseño en concreto precolado. El me presentaba como el “Señor Precolado”.

Y después, registré los derechos de autor de un diseño para un sistema habitacional de poca altura. También participé estrechamente en concreto precolado y con el Instituto de Concreto Precolado / Presforzado (PCI). De hecho, estuve en el panel que escribió la primera edición del Design Handbook de PCI en 1971.

En la mayor parte del mundo, los gobiernos controlan la construcción de vivienda. Por ejemplo, dicen que quieren 1000 unidades aquí o 1500 unidades allá y las compañías privadas toman los proyectos. Las mismas compañías pensaron que podían repetir la experiencia en los Estados Unidos de conformidad con el programa Operation Breakthrough. Pero no funcionó, así es que muchas compañías perdieron millones de dólares y dejaron la industria de la vivienda en los Estados Unidos a finales de los 70s. Ahora bien, Westinghouse continuó desarrollando algunas unidades. Produjimos unas en Connecticut y en Bedford-Stuyvesant.

También hicimos algunas obras en Memphis, Tennessee en un complejo habitacional para personas mayores. En ese momento, Tennessee acababa de cambiar el código para incluir resistencia sísmica, pero el funcionario del código local no deseaba requerirlo. Aunque aclaramos que ya habíamos hecho esto en Boston, el funcionario de construcción dijo, “no me interesa lo que hagan en Boston. Estamos en Memphis y aquí no tenemos un código sísmico”. El arquitecto, HOK, sugirió que el propietario diseñara el proyecto para resistencia sísmica. Y así lo hicimos. Honestamente, esto influyó mucho en mi carrera.

Usted ha tenido varias carreras además de su trabajo con el concreto precolado, ¿podría hablar acerca de algunas de ellas?

Desde el inicio de mi carrera no consideré ninguna construcción como un proyecto. Consideré mi trabajo como parte de un sistema. Sé que ese edificio es una parte de todo este complejo y es parte de toda esta comunidad.

He sido CEO, Presidente, Socio, Ingeniero en Jefe y Propietario de muchas y diferentes empresas de consultoría. Pasé la mayor parte de mi carrera – 25 años – en California. A principios de 1990 fui socio de una empresa en San Diego. La ciudad estaba en pleno auge y nuestra empresa estaba trabajando con un desarrollador grande en muchos de los edificios altos de la ciudad. Como parte de mi trabajo, ocasionalmente publiqué artículos en el San Diego Tribune, tal vez es por ello que me llamó un miembro del equipo de un político del estado. La llamada me sorprendió porque yo no contribuí con ningún partido político, así es que le pregunté en qué podía servirle. Todo lo que me pedía eran 30 minutos con el representante de la ciudad en la legislatura de California porque “leímos que tiene usted mucha experiencia en cambiar cosas en distintas compañías”. Pete Wilson, el nuevo gobernador, deseaba cambiar la forma en la que operaba la División del Arquitecto del Estado. Esa oficina controlaba el diseño y construcción de todas las escuelas, universidades comunitarias y hospitales del estado. El Arquitecto del Estado era nombrado por el gobernador, pero el Jefe de Operaciones tenía un puesto en la administración pública. Querían que alguien de la industria privada asumiera esa función. Así es que, de repente estaba yo en el gobierno. No tenía idea de cómo trabaja el gobierno y eso era exactamente lo que querían. El departamento tenía oficinas en San Diego, Sacramento, Los Ángeles y San Francisco, cada una con aproximadamente 280 colaboradores: arquitectos, ingenieros estructurales, ingenieros especialistas en incendios y seguridad personal. El presupuesto anual era de aproximadamente \$4 mil millones, con responsabilidad de más de 4000 proyectos. El estado tenía 1008 distritos escolares y 107 distritos de universidades comunitarias, de manera que era un desafío descomunal porque cada escuela, universidad comunitaria y hospital tenía que estar certificado por la Oficina del Arquitecto del Estado para un alto nivel de resistencia sísmica. Por supuesto, proviniendo de la industria privada, había escuchado muchas veces “pero no es así como lo hacemos... somos una entidad gubernamental”. Nuestra oficina cobró

honorarios por revisar los documentos. Para abreviar, diré que empecé a reunirme con quienes estaban a cargo de las diferentes oficinas y les dije que teníamos que reducir el tiempo de revisión y trabajar dentro de nuestras cuotas. Cuando me encontré con resistencia, les informé que yo era el capitán del barco y que estaba cambiando la situación. Creamos diferentes canales para revisar proyectos, dependiendo del tipo de construcción, de manera que redujimos nuestro retraso y redujimos nuestro tiempo de revisión y en lugar de que tomara entre 6 y 10 años, tomaría sólo 3 años.

Cuando tomó posesión un nuevo gobernador, me fui y acepté un puesto en la Fundación Nacional de Ciencias. Habían oído de mi trabajo en California y deseaban que fuera yo a Washington, DC. Yo no necesitaba el trabajo, pero me hicieron una buena oferta, así es que acepté un nombramiento de 3 años como Director del Programa de Centros de Investigación en Ingeniería. En ese puesto, administré tres centros de investigación sísmica: Berkeley, Illinois y SUNY Buffalo. Consideré los centros como parte de un sistema, de manera que junto con ingenieros y geólogos integramos la ciencia social y la economía al proceso de toma de decisiones. Dejé ese puesto después de dos períodos (un total de 6 años) y ahora participo como consultor en centros de investigación, como conferencista invitado sobre cómo podemos crear resiliencia y utilizar el análisis de riesgo en nuestros procesos de toma de decisiones, asimismo, soy catedrático de medio tiempo en tres universidades. Soy Miembro Distinguido Senior del Global Resilience Institute, Northeastern University, Catedrático Asociado en la Universidad Estatal de Iowa y Catedrático Adjunto de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad de Notre Dame. He aprendido que debo continuar aprendiendo constantemente. Eso es lo que hago... soy curioso por naturaleza.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Centro y Sur

Título: Apoyo de investigación de la fundación ACI - Un perfil industrial



Traductor:
Lic. Ana P. García



Revisor Técnico:
M.I. Sergio Valdés

Evaluación de la resistencia a la compresión del hormigón en tiempo real

Una discusión sobre la viabilidad de crear un método de evaluación no destructivo sin calibración

por Alex Schiller, Yuri Lechtzier y Liad Mandelbom

Esfuerzos que conducen a mejoras en la precisión de la medida de la resistencia a la compresión del concreto pueden facilitar factores de cemento reducidos, lo que resulta en reducciones significativas en el carbono incorporado. Además, la determinación precisa de la resistencia a la compresión del hormigón estimada en el momento de la evaluación, f_{ce} , permite la sincronización rápida y segura de las operaciones de postensado y desencofrado del hormigón. Las mejoras en la precisión, la exactitud y la puntualidad de las mediciones de resistencia se ven potencialmente facilitadas por la tendencia actual hacia la digitalización y el desarrollo del internet de las cosas (IoT).

Muchos sistemas digitales de ensayo de hormigón se basan en sensores térmicos y accesorios que permiten la estimación de f_{ce} basado en el principio de madurez, como se describe en ASTM C1074.¹ Algunos de estos sistemas también incluyen sensores para monitorear la humedad relativa, basados en la norma ASTM F2170²; conductividad eléctrica, basada en ASTM C1760³; o resistividad eléctrica (ER), basada en SI 6580⁴. Aunque el método de prueba no ha sido estandarizado, los sensores de impedancia electromecánica (EMI) también están disponibles para mediciones de resistencia⁵. Sin embargo, debe enfatizarse que EMI no es una métrica escalar. Más bien, es una medición espectral que proporciona conjuntos de datos extremadamente grandes que se pueden extraer de

cada punto de medición. Estos sensores también se pueden utilizar para evaluar el desarrollo de f_{ce} a lo largo del tiempo. El método de velocidad de pulso ultrasónico (UPV), basado en ASTM C597⁶ y ACI 228.1R,⁷ se puede utilizar para evaluar f_{ce} . Además, el estándar indio IS 13311 (Parte 1)⁸ introduce una especie de enfoque semicuantitativo para evaluar f_{ce} por la UPV (ver Tabla 1).

Las tendencias recientes de digitalización también pueden ver un incremento en la disponibilidad y demanda de sensores de hormigón más potentes. Este hecho, junto con los avances en electrónica y ciencia de los datos, plantea la pregunta:

Tabla 1: Criterio de velocidad para la clasificación de la calidad del hormigón (de la Referencia 8)

No.	Velocidad del pulso, km/s	Clasificación de la calidad del hormigón
1	> 4,5	Excelente
2	3,5 a 4,5	Bueno
3	3,0 a 3,5	Medio
4	<3,0	Dudoso

Nota: 1 km/s = 0,6 millas/s

¿Pueden los conjuntos de datos multivariados, desarrollados utilizando múltiples sensores, proporcionar ventajas en el monitoreo de varias propiedades del hormigón, incluyendo f_{ce} ?

Datos multivariados pueden recopilarse mediante sensores asequibles y posiblemente prescindibles. Cuando se transfieren a un servidor en la nube y se someten a procesamientos y evaluaciones sofisticadas basadas en algoritmos de inteligencia artificial, estos conjuntos de

datos pueden revelar sinergias entre sensores individuales, asegurando así un salto cualitativo en el poder predictivo del sistema total. Además, los datos de calibración o de referencia necesarios para soportar el modelo predictivo podrían ser recolectados previamente, haciendo que todo el proceso de medición y predicción de f_{ce} y, posiblemente, otros parámetros, capaces de evaluaciones exactas, precisas y evaluaciones oportunas virtualmente sin necesidad de calibración.

Para tomar una analogía de una clínica médica, es imposible hacer un diagnóstico a partir de una sola medición de la temperatura corporal de un paciente, incluso si la clínica tiene una base de datos que comprende las temperaturas de todos los pacientes ingresados en los últimos 100 años. Mediciones completas, incluidas la temperatura corporal, el pulso, la presión arterial y muchas otras pruebas son necesarias para ver el cuadro completo.

En este contexto de digitalización, el presente estudio ha sido dirigido hacia la investigación de mezclas de concreto elegidas al azar, monitoreadas continuamente por una combinación de técnicas bien conocidas, para crear un método sin calibración, no destructivo para evaluar f_{ce} en tiempo real. Esta combinación está basada en cuatro métricas independientes medidas continuamente en las que tres de ellas (temperatura, resistividad y UPV) están estandarizadas y una de ellas (espectro EMI) no ha sido estandarizada, aunque es bien conocida y se ha implementado durante más de 20 años.

Importancia de la investigación

Los métodos actuales para estimar la resistencia del concreto son, ya sea inexactos (por ejemplo, el método UPV) o requieren una calibración extensa para f_{ce} en función del parámetro medido para un diseño de mezcla específico (por ejemplo, el método de madurez). En este estudio, se ha utilizado un dispositivo multisensor asequible para monitorear las mezclas de hormigón inmediatamente después de la colocación, y los valores de f_{ce} se predicen en base a un modelo multivariado que proporciona predicciones precisas para

una variedad de mezclas de concreto. Se realizó una investigación experimental con 13 mezclas elegidas al azar de seis fabricantes de hormigón premezclado. De acuerdo con la información de los recibos de entrega, la resistencia especificada del hormigón varió de 4000 a 9000 psi (28 a 62 MPa). Nuestro sistema de sensores recopiló datos cada 30 minutos durante 28 días. Los conjuntos de datos resultantes se transfirieron a la plataforma en la nube y se analizaron. Durante ese período, se produjeron y trituraron muchos cubos de prueba curados en campo para obtener datos de referencia.

Enfoque del método

Nuestro equipo formuló los siguientes requisitos para los dispositivos desarrollados:

- El método debe ser universal. Es decir, debe proporcionar estimaciones de resistencia procesables sin calibración previa y con cualquier composición de hormigón conocida;
- El precio de venta del dispositivo debe ser competitivo en costos con el procedimiento estándar de prueba de laboratorio;
- El método debe ser lo suficientemente preciso en comparación con ASTM C39/C39M⁹ o equivalente; y
- El método debe tener el potencial de determinar no sólo f_{ce} para una colocación de hormigón determinada, sino que también proporcionan datos sobre otras características importantes.

Decidimos que nuestros requisitos podrían cumplirse de manera óptima mediante la recopilación y combinación simultánea de datos de varios métodos. Esta conclusión tuvo su origen en nuestro reconocimiento de que hace unos 60 años se propuso una técnica de fusión precisa, una combinación de UPV y datos de martillo de rebote.¹⁰

Conocido como SonReb, el método muestra que la combinación de UPV y datos de rebote produce una mejor correlación (coeficiente de correlación al cuadrado, R^2) con los datos de la prueba de compresión que con cualquier método solo. A partir de este conocimiento, anticipamos que R^2 aumentaría con el número

de métricas medidas independientemente.

En el transcurso de varios años, después de haber probado varios enfoques de ingeniería y software, nuestro equipo ha desarrollado con éxito un sensor de tipo inmersión (Fig. 1) que mide continuamente la temperatura (T), ER, espectro EMI y UPV simultáneamente dentro de un elemento de hormigón. En cuanto a la construcción del sensor, T se mide con un termopar de acuerdo con ASTM C1074, ER se mide con un par de electrodos de acuerdo con SI 6580, el espectro EMI se adquiere usando un elemento piezoeléctrico con una capa de impermeabilización y UPV se monitorea con un transmisor y receptor de acuerdo con ASTM C597.

Foco Tecnológico

Resultados y discusión

Los resultados presentados en este documento tienen como único objetivo ejemplificar la viabilidad de desarrollar una metodología libre de calibración para estimar f_{ce} . Se han conseguido con un algoritmo provisional y una configuración de software. El algoritmo, el software y partes de la configuración del hardware están sujetos a cambios para mejorar la solidez, la confiabilidad y la velocidad computacional, con el principal objetivo comercial de medir simultáneamente una gran cantidad de muestras in situ pertenecientes a varios clientes y ubicadas en múltiples lugares remotos. La configuración del hardware se ha finalizado en su mayor parte. Sin embargo, los datos adquiridos por el conjunto actual de sensores son intrínsecamente redundantes, lo que nos ofrece amplias oportunidades para una mayor optimización, incluida la selección de las métricas más importantes. La redundancia en los sistemas actuales podrá ser descontinuada en las versiones comerciales tanto del dispositivo como del software.

Como se muestra en la Tabla 2, los datos experimentales se dividieron en un conjunto de entrenamiento (designado como T1 a T13) y un conjunto de validación completamente independiente (designado como V1 a V3). Las mezclas del conjunto de entrenamiento tenían

varias resistencias especificadas y fueron producidas por varios fabricantes codificadas con letras de la A a la F. Las muestras de concreto en el conjunto de validación incluían dos fabricantes cuyos concretos no fueron utilizados para la calibración. El proceso de curado continuó durante al menos 28 días y fue monitoreado por sensores embebidos en las mezclas de concreto. Cada sensor transmitió los parámetros medidos al servidor de la nube en intervalos de 30 minutos. Paralelamente, se ensayaron cubos de prueba de 100 mm (4 pulgadas) curados en campo para determinar de forma independiente las resistencias a la compresión (verificación de campo) para las mezclas correspondientes. Estas pruebas de resistencia a la compresión se realizaron diariamente en edades tempranas y semanalmente durante las etapas avanzadas de curado.

El momento para realizar las pruebas de cubos se decidió en sitio, basados en función de la velocidad de endurecimiento y la disponibilidad de las muestras. Cada prueba de resistencia curada en campo comprendía tres cilindros de prueba

Como se señaló previamente, los datos (Fig. 2) se procesaron utilizando nuestro algoritmo y software patentado. Los datos de temperatura se usaron para determinar el lapso de tiempo de la reacción exotérmica y para hacer correcciones basadas en la dependencia de la resistencia a la compresión de otras métricas (Tabla 1 en la Referencia 11). Los datos espectrales de EMI (los datos de – los datos de cada transmisión comprenden un conjunto de datos intrínsecamente multivariante en sí mismo- fueron evaluados para detectar cambios en el rango de frecuencia medido. La UPV se determinó desde el momento de inicio de la señal acústica, y las medidas de resistividad comenzaron con el primer contacto con el hormigón fresco.



Figura 1: Una unidad de sensor montada en barras de refuerzo

Tabla 2: Resumen de las mezclas de hormigón utilizadas para entrenar y validar el modelo predictivo. Cada prueba de resistencia a la compresión curada en campo constaba de tres cubos de prueba

Prueba no.	Tiempo de curado, MM/AA	Concreto premezclado manufacturado	Número de ensayos a compresión curados en el campo	Resistencia a la compresión del concreto especificada fuerza, MPa (psi)
T1	22/01 al 22/02	B	10	40 (5800)
T2	22/01 al 22/02	A	7	50 (7250)
T3	22/02 al 22/03	F	11	40 (5800)
T4	22/02 al 22/03	E	8	50 (7250)
T5	22/03 al 22/04	C	8	40 (5800)
T6	22/03 al 22/04	A	10	30 (4350)
T7	22/04 al 22/05	F	11	30 (4350)
T8	22/05 al 22/06	B	6	60 (8700)
T9	22/05 al 22/06	D	11	30 (4350)
T10	22/07 al 22/08	D	8	60 (8700)
T11	22/07 al 22/09	E	14	30 (4350)
T12	22/07 al 22/08	A	10	40 (5800)
T13	22/07 al 22/08	B	11	30 (4350)
V1	22/04 al 22/05	C	6	50 (7250)
V2	22/06 al 22/07	GRAMO	6	40 (5800)
V3	22/07 al 22/08	GRAMO	6	50 (7250)

Se encontró que cada una de las métricas, cuando se tomaron solas, eran insuficientes para proporcionar la precisión requerida en términos de linealidad y sesgo (es decir, compensación de calibración). Además, incluso una discrepancia severa de los sensores piezoeléctricos o de resistividad podría pasar desapercibida cuando la señal del sensor averiado no fue invalidada por otras métricas. Sin embargo, aparte de los fallos de funcionamiento, la resistividad, EMI, UVP y la temperatura (como predictor similar a la madurez) no pudieron garantizar una inexactitud relativa superior al 15% o 25% de la resistencia a la compresión correspondiente con un 99% de confianza.

Tanto el rango de linealidad, como la imprecisión de cada métrica parecen depender del tipo de concreto, lo que significa que las métricas individuales no se pueden usar sin calibración en relación con la mezcla de concreto asociada.

Sin embargo, se observó una imagen muy diferente cuando se implementó nuestro enfoque multivariado. Los datos (métricas univariadas como tales, el espectro EMI) recopilados en varias muestras de hormigón (aquellas de diferente resistencia nominal, con y sin adiciones de aceleradores y retardadores, con varios agregados y resistencia ganada con el tiempo) se usaron para entrenar una red neuronal modelo. Este modelo, aunque calibrado con el conjunto de entrenamiento, resultó ser muy robusto y capaz de predecir la resistencia a la compresión de una muestra desconocida para la cual se midieron las métricas sin ingresar información sobre la muestra, tal como, el tipo de concreto.

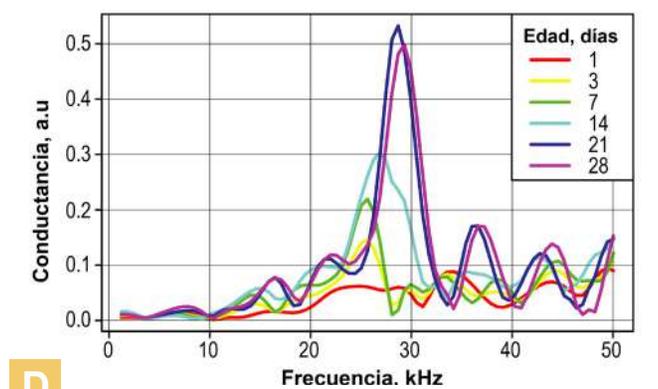
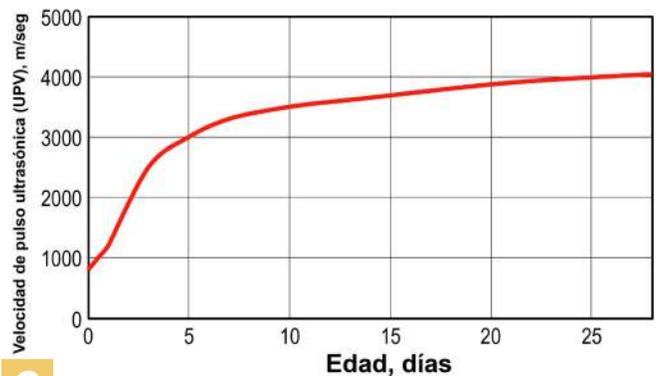
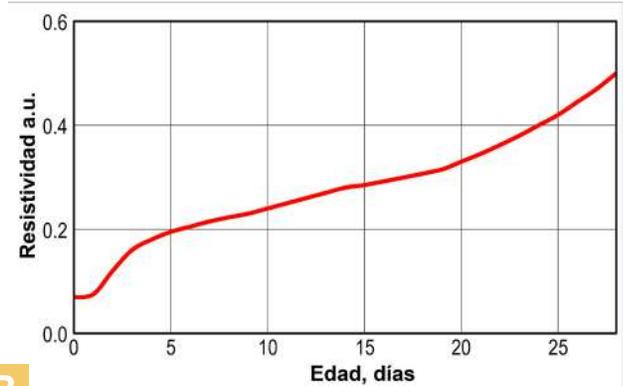
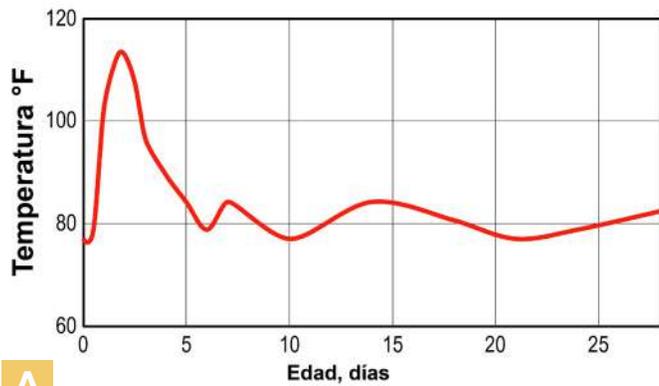


Figura 2: Gráficos de ejemplos de datos de un sensor multiparamétrico:
 (a) temperatura versus edad - después del pico inicial debido a la reacción exotérmica entre el cemento y el agua, la temperatura se vio influenciada principalmente por las condiciones ambientales;
 (b) resistividad versus edad - el endurecimiento del concreto se manifiesta por una mayor resistividad;
 (c) UPV versus edad: el endurecimiento del concreto también se manifiesta por una mayor velocidad del pulso; y
 (d) varios espectros EMI (firmas de conductancia) registrados para una mezcla de concreto a las edades indicadas.
 Nota: Los ejes y de los gráficos de resistividad y EMI están etiquetados con unidades arbitrarias. Mientras que las unidades son funciones escalares de $\Omega.m$ y S , respectivamente, las unidades precisas no son necesarias para el entrenamiento o el algoritmo utilizado para la predicción de la resistencia en tiempo real.

Como se muestra en la Fig. 3, no hay un sesgo significativo para la resistencia estimada f_{ce} versus la resistencia a la compresión basada en pruebas de cubos. Por último, R^2 (predicción versus resultado de la prueba de cubos) para las muestras de validación es 0.978.

Potencial Adicional

Nuestro equipo está convencido de que la utilidad del sistema de sensores se extenderá más allá de la verificación de la resistencia del concreto al monitoreo del bienestar estructural (SHM). Como indica Duramon (<https://duramon.ch>), no estamos solos en este pensamiento. Se puede esperar que nuestra técnica de fusión T-ER-EMI-UPV, permita el monitoreo de una amplia gama de factores de degradación y esfuerzo, tales como agrietamiento, contracción, corrosión química y biológica, pérdida de resistencia, daño debido a ciclos de congelación y deshielo, daños por fuego e intrusión de agua.

Obviamente, estas características pueden ser especialmente importante para los propietarios de infraestructura crítica como lo son puentes, túneles, plantas nucleares, aeropuertos, centrales hidroeléctricas e instalaciones militares y de seguridad. Los sensores también deberían ser útiles para las compañías de seguros, ya que pueden usarse para desarrollar un enfoque basado en datos que les permitirá anticipar y evitar en lugar de simplemente reaccionar después del hecho

Nuestras evaluaciones muestran un alto grado de correlación entre los datos de instrumentación (procesados a través de análisis multivariados de los cuatro parámetros medidos) y los métodos tradicionales de pruebas físicas. Creemos que el reciente plan multimillonario para modernizar la infraestructura estadounidense¹² podría funcionar como un disparador para acelerar el desarrollo de la tecnología propuesta por nuestro equipo. Si se implementa, permitiría a la industria del hormigón:

- Reducir su huella de CO₂ optimizando formulaciones concretas y minimizando el transporte de muestras a laboratorios;
- Formatear el modelado de información de construcción (BIM) preciso en la industria de la construcción, que permite reducir la dependencia de mano de obra calificada y minimizar el tiempo de construcción al tiempo que reduce los costos;
- Instituir un control de calidad/garantía de calidad (QC/QA) de principio a fin de las materias primas para la producción de hormigón y el propio hormigón;
- Aumentar la rotación de encofrados y herramientas en
 - Plantas de prefabricados de hormigón y obras de construcción;
 - Permitir la medición en sitio de las propiedades físicas, una capacidad que no se logra mediante ningún proceso de rutina actualmente en práctica (aparte de las investigaciones de fallas de especímenes de laboratorio o defectos descubiertos en campo);
- Formar una política de precios para el seguro de edificios e instalaciones de infraestructura basada en un enfoque basado en datos; y
- Habilitar respuestas más rápidas a emergencias causadas por terremotos, clima extremo u otros eventos.

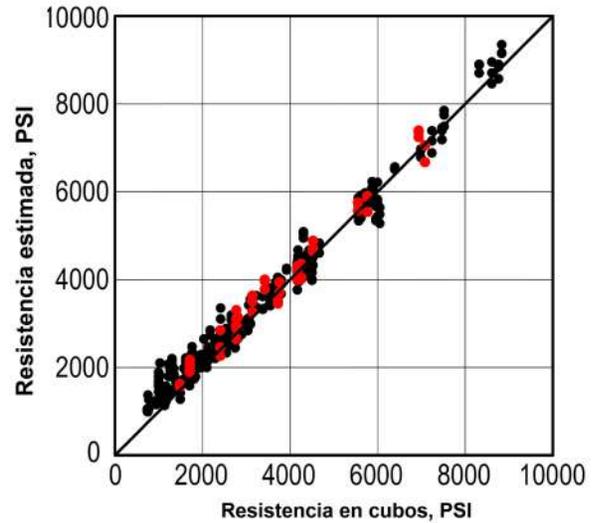


Figura 3: Resistencia a la compresión estimada f_{ce} versus a la resistencia a la compresión determinada usando cubos

de prueba curados en campo. Los datos de calibración (f_{ce} recuperación utilizando un modelo multiparámetro, incluidas las réplicas) se muestran como puntos negros, y la predicción

de f_{ce} para las muestras de validación se muestra como puntos rojos (Nota: 1000 psi = 6,9 MPa)

En resumen

Con este artículo, nuestro equipo se acerca a la comunidad de ACI y otras entidades institucionales. estamos convencidos que se han formado las bases para la transformación de la Industria en el campo del hormigón. Creemos que ACI puede y debe crear y liderar comités y grupos de trabajo que tengan como métodos y estándares a los tiempos.

Referencias

1. ASTM C1074-19e1, "Práctica estándar para estimar la resistencia del concreto por el método de madurez", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 11 págs.
2. ASTM F2170-19a, "Método de prueba estándar para determinar Humedad relativa en losas de piso de concreto usando sondas in sitio", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 7 págs.
3. ASTM C1760-12 (retirado en 2021), "Método de prueba estándar para la conductividad eléctrica a granel del concreto endurecido", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, 5 págs.
4. SI 6580, "Monitoreo de los procesos de Fraguado y Reforzamiento basados en mediciones de resistividad eléctrica", The Standards Institution of Israel, Tel Aviv, Israel, 2021, 19 págs.
5. Su, Y.-F.; Colgar.; y Lu, N., "Determinación del tráfico óptimo Temporización de apertura a través de un método NDT en sitio para propiedades de concreto a

edades tempranas”, FHWA/IN/JTRP-2020/02, Departamento de Transporte de Indiana, Indianápolis, IN, 2020, 66 págs., <https://docs.lib.purdue.edu/jtrp/1723/>.

6. ASTM C597-16, “Método de prueba estándar para velocidad de pulso a través Del concreto”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, 4 págs

7. Su, Y.-F.; Colgar.; y Lu, N., “Determinación del tráfico óptimo Temporización de apertura a través de un método NDT en sitio para propiedades de concreto a edades tempranas”, FHWA/IN/JTRP-2020/02, Departamento de Transporte de Indiana, Indianápolis, IN, 2020, 66 págs., <https://docs.lib.purdue.edu/jtrp/1723/>.

8. IS 13311 (Parte 1): 1992 (Reafirmada en 2004), “Ensayo no destructivo al Concreto – Methods of Ensayo, Part 1: Velocidad de Pulso Ultrasonico”, Oficina de Estándares de India (BIS), Nueva Delhi, India, 1992, 14 págs.

9. ASTM C39/C39M-21, “Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 8 págs.

10. Qasrawi, HY, “Resistencia del hormigón mediante la combinación de Ensayos no destructivos secillos y predictivos confiables”, Investigación de Cemento y Concreto, V. 30, No. 5, mayo de 2000, págs. 739-746.

11. BS 1881: Parte 203: 1986 (retirada), “Ensayando concreto— Parte 203: Recomendaciones para la medición de la velocidad de los pulsos ultrasónicos en el hormigón”, British Standards Institution, Londres, Reino Unido, 1986, 24 págs.

12. “Ley de Inversión en Infraestructura y Empleos,” www.whitehouse.gov/briefing-room/statementsreleases/2021/08/02/updated-fact-sheetbipartisan-infrastructure-investment-and-jobs-act/.



Yuri Lechtzier, es el científico de sensores con FilumSense. Tiene más de 40 años de experiencia en aplicaciones de ultrasonido y modelado físico de varios medios, y es profesor titular en el Instituto de Tecnología de Holon, Holon, Israel. Recibió su doctorado en física de la Universidad Estatal de Kharkiv, Kharkiv, Ucrania. Es autor o coautor de cuatro patentes.



Liad Mandelbom, miembro del consejo asesor de FilumSense. Tiene más de 15 años de experiencia en el industria de la construcción, incluido el servicio como ingeniero jefe en un importante laboratorio de pruebas estructurales y de hormigón en Israel. Recibió su maestría en ciencias de ingeniería civil de Technion, Haifa, Israel.



Alex Schiller, es un emprendedor en serie que ha fundado tres empresas, incluida FilumSense. Recibió su licenciatura en economía y desarrollo empresarial de Emek-Yezreel College, Afula, Israel. Posee una patente.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Panamá

Título: Evaluación de la resistencia a la compresión del hormigón en tiempo real



Traductor y Revisor Técnico:
Ing. Julio Davis MBA.

ENACE ACI 2022.

EL “Encuentro Nacional de Capítulos Estudiantiles del ACI” en México, (ENACE-ACI) reúne a estudiantes activos en su Capítulo Estudiantil ACI y que están interesados en carreras relacionadas con la industria de la construcción con concreto. Ellos se reúnen una vez al año para participar en actividades que contribuyan a incrementar su conocimiento sobre la tecnología del concreto y sus avances tecnológicos, así como conocer productos gratuitos de ACI, actividades y beneficios que complementan su formación en las aulas.

“ENACE-ACI 2022” se realizó con gran éxito en las instalaciones de la UANE (Universidad Americana del Noreste) en Saltillo, Coahuila, México, del 7 al 10 de septiembre, 2022 contando con el patrocinio de HOLCIM México y bajo la organización de la Universidad Americana del Noreste (UANE) y el Capítulo Noreste de México del ACI.

Más de 250 estudiantes de diversas regiones de México, representando a más de 25 universidades, participaron en las diferentes actividades, logrando además un récord de 37 equipos de diferentes universidades que compitieron en el concurso de bolas de boliche hechas de concreto reforzado con fibras.

“ENACE-ACI 2022” también incluyó un curso de certificación ACI Técnico en Pruebas al Concreto en Campo GRADO 1 ACI; nueve presentaciones internacionales; una mesa redonda entre el público y los ponentes; tres talleres sobre temas como: Fundamentos del Concreto, Evaluación del Concreto y Ensayos no Destructivos para la Evaluación del Concreto; así como la competencia de bolas de boliche hechas de concreto reforzado con fibras.



Presidentes de los Capítulos Estudiantiles con algunos de los ponentes y autoridades de los Capítulos del ACI de México después de la Asamblea de Presidentes



Panel de ponentes durante la sesión de Mesa Redonda. Dr. Pedro Castro, Ing. Genaro Salinas, Dr. Roberto Stark, Ing. José Encarnación Izquierdo, Ing. José Lozano, Dr. Alejandro Durán Herrera, Dra. Julie Buffenbarger e Ing. Cesar Constantino



El Dr. Charles Nmai durante su mensaje de apertura y bienvenida virtual

Algunos de los ponentes fueron José Miguel Izquierdo Encarnación, Ex Presidente de ACI y Miembro Honorario; Cesar Constantino, FACI, y Presidente de la Junta Directiva de ASTM Internacional; Genaro Salinas, Miembro Honorario de ACI; Roberto Stark, Miembro Honorario de ACI; Tyler Ley, FACI; y Julie Buffenbarger, FACI. Además, el Presidente de ACI, Charles Nmai dió virtualmente la bienvenida e hizo la introducción para inaugurar el evento.

En México, existen cuatro Capítulos de ACI, y juntos colaboran para organizar este evento anualmente. Cada año, uno de los Capítulos Estudiantiles que operan bajo la supervisión de uno de los Capítulos locales de la ACI tendrá la oportunidad de organizar “ENACE ACI” dentro de la jurisdicción geográfica y orientación del Capítulo local. En México, hay más de 36 capítulos estudiantiles de la ACI que son supervisados y guiados por su Capítulo local patrocinador.

Es importante destacar la excelente organización y liderazgo de Elissa Narro Aguirre, Profesora de Diseño Estructural en la UANE y Directora de Capítulos Estudiantiles de la Sección Noreste de México del ACI, con el apoyo de Alejandro Durán Herrera, FACI, y Ana Laura Cepeda Villanueva, Coordinadora del programa de Arquitectura de la UANE. Con su labor de coordinación facilitaron un excelente trabajo en equipo para el éxito de este evento.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noreste
Título: ENACE ACI 2022



Traductor:
Lic. Ana Durán Herrera



Revisor Técnico:
Ing. José Lozano y Ruy Sánchez



CONCRETO
LATINOAMÉRICA