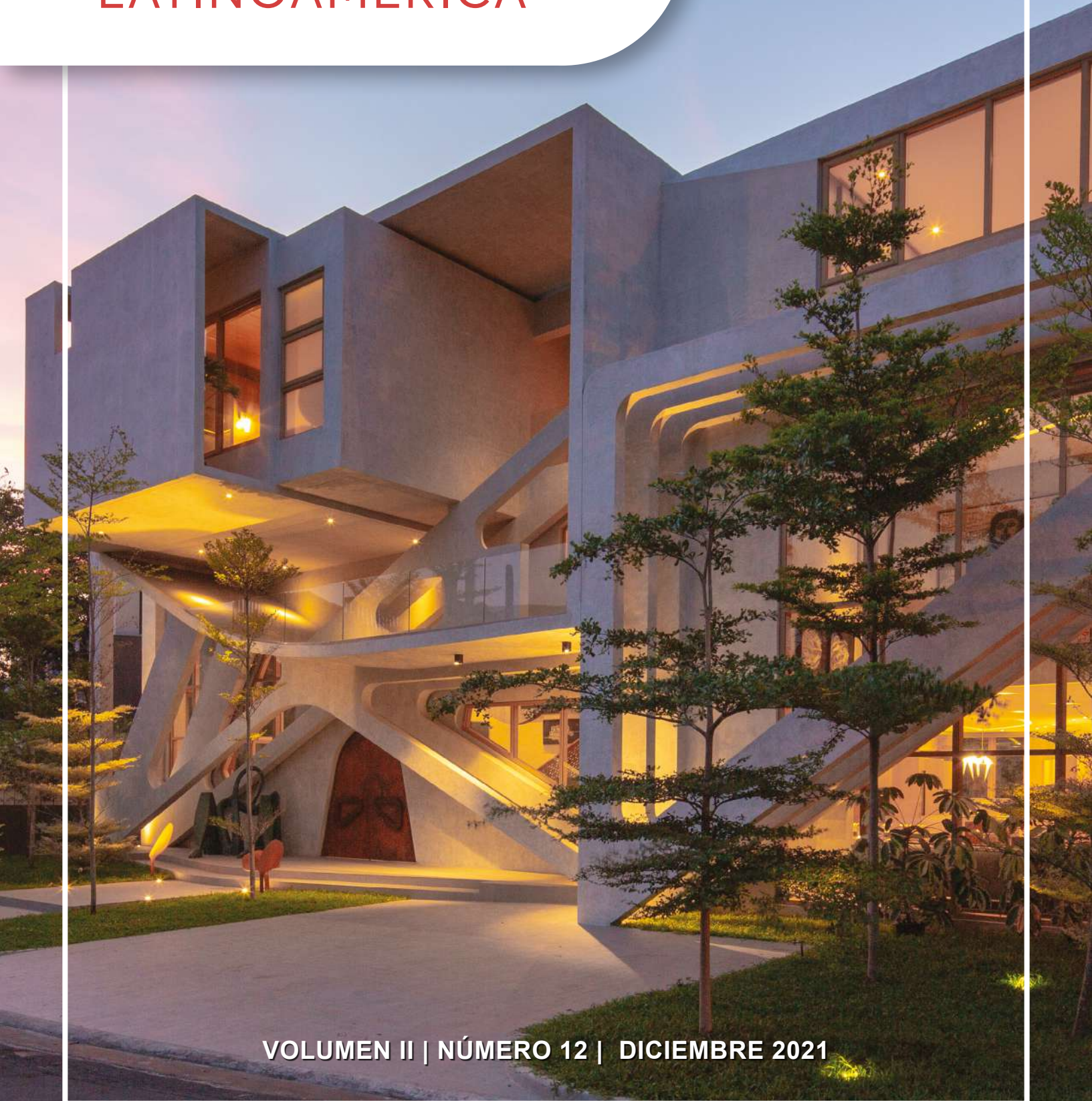


CONCRETO

LATINOAMÉRICA



VOLUMEN II | NÚMERO 12 | DICIEMBRE 2021

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

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

Tecnología de memoria de forma, parte 1

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Noreste México

10

Polímero reforzado con fibra de basalto en firmes de concreto en un edificio comercial

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Centro y Sur México

18

Incendios en estacionamientos. Revisión de los efectos y sistemas de protección.

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Guatemala

24

Concreto P y R

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Costa Rica

COMITÉ EDITORIAL:

Presidente del Comité Editorial:

Ing. Alejandro Miguel Narro Aguirre
Presidente de la Sección Noreste de México del ACI. (2020-2022)

Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Editor Asociado:

M.C. 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 Armendáriz Solís
LDI. Luis Yerel Romo Valdez

Diseño Gráfico:

LDI. Monserrat Treviño Garza
Alejandro Martínez Sánchez

"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 Diciembre de 2021. 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
México 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 Álvarez Valencia
Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Alejandro M. Narro Aguirre
Ing. Jesús Fernando García Arvizu
Arq. Arturo Rodríguez Jalili
Mtro. Joseph Elí Mandujano
Zavala
Ing. Jorge L. Quiróz
Ing. Luciano López Vinatea
Ing. Anabel N. Merejildo



Foto de portada: Casa Infinity. Area metropolitana de Manila, Filipinas. Obra ganadora, en octubre del presente año, del segundo lugar en los reconocimientos ACI 2021 a la excelencia en construcción con concreto en la categoría de edificaciones de baja altura. Nominada por el Capítulo ACI de Filipinas esta casa tiene una fuerte influencia de su pasado como jardín de niños, y el diseño libre de aristas así como el concreto coloreado en tonos oxidados aunado al diseño de sus portales en forma de mariposa, dan una gran sensación de amplitud lograda a través de un extraordinario manejo del concreto en todo el conjunto. (Para mayores detalles consultar Concreto Latinoamérica Noviembre 2021)



¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo
local ACI

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



American Concrete Institute
Always advancing

Tecnología de forma, parte 1

Introducción: Una visión del futuro de la construcción con concreto

por Bassem Andrawes

Imagine que los ingenieros pudieran construir estructuras de concreto que se doblaran, cedieran y disiparan la energía bajo cargas extremas sin sufrir daños permanentes, o que pudieran construir estructuras de concreto pretensado sin utilizar sistemas de gatos hidráulicos o cimbras especiales. ¿Qué pasaría si se pudieran pretensar fácilmente espirales o estribos de refuerzo de cualquier tamaño y forma, o si se pudieran realizar en obra complejos detallados en las barras de refuerzo de forma rápida y con mínima mano de obra? Estas ideas que alguna vez fueron inconcebibles se han convertido ahora en una realidad, gracias a los materiales que pueden recordar su forma.

Los materiales con memoria de forma son una clase de materiales que pueden recuperar sus formas originales tras experimentar una deformación extrema más allá de sus límites elásticos. Estos materiales se encuentran en forma de aleaciones metálicas, también conocidas como aleaciones con memoria de forma (SMA, por sus siglas en inglés), o de polímeros conocidos como polímeros con memoria de forma (SMP, por sus siglas en inglés). Los materiales con memoria de forma se han utilizado durante décadas en varios campos, como el aeroespacial, el automotriz y el biomédico.¹⁻⁴ A lo largo de las dos últimas décadas, se ha incrementado constantemente el interés por estudiar el uso potencial de los SMA en la industria de la construcción.⁵⁻¹³ El desarrollo de nuevas aleaciones base Fe y Cu, que cuestan bastante menos que las aleaciones que se suelen utilizar en los campos de alta gama, han acercado la tecnología SMA a la industria de la construcción ahora más que nunca.

Ya sea en Europa, Japón o Estados Unidos, los SMA están llegando paulatinamente a la industria de la construcción.^{14,15} La aplicación más reciente de los SMA en Estados Unidos la llevó a cabo el Departamento de Transporte del Estado de Washington (WSDOT). Para mejorar la adaptabilidad y la funcionalidad después de un evento, el WSDOT implementó barras superelásticas de SMA en las columnas de la rampa de acceso del puente SR-99 en el centro de Seattle, WA, USA.¹⁶ Al tratarse de un material muy prometedor para el futuro de la industria de la construcción, es necesario que la comunidad de ingenieros estructurales conozca mejor esta clase de materiales metálicos. Este es el primero de dos artículos que pretenden arrojar algo de luz sobre la tecnología SMA y su potencial para la construcción con concreto.

¿Qué son los SMA?

Los SMA son metales que se comportan de forma diferente a los metales comunes, como el acero, el aluminio o el cobre. Al igual que los metales convencionales, los SMA poseen una rigidez y resistencia relativamente altas. Como se muestra en la Fig. 1, los SMA presentan un comportamiento no lineal con un punto de "fluencia" distinta, similar al del acero. Sin embargo, la principal diferencia entre los SMA y otros metales es que, a pesar de su comportamiento no lineal, los SMA pueden volver a su forma original y a sus propiedades mecánicas elásticas después de haber cedido. El descubrimiento del

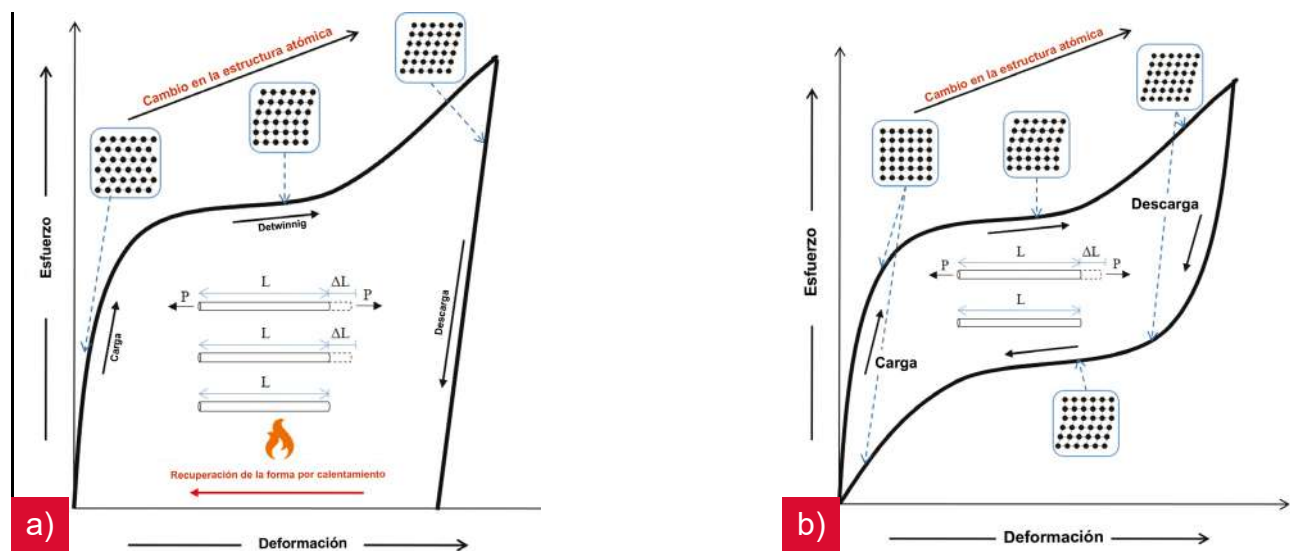


Fig.1: Comportamiento típico de esfuerzo-deformación de las aleaciones con memoria de forma (SMA): (a) efecto de memoria de forma (SME); y (b) superelasticidad (SE)

fenómeno de la memoria de forma en las aleaciones metálicas se remonta a la década de 1930.¹⁷ No fue hasta la década de 1960, tras el descubrimiento de la aleación NiTi (también conocida como Nitinol) cuando los SMA empezaron por atraer una atención considerable.

La razón principal del comportamiento único de los SMA frente a otros metales es su estructura atómica. Los átomos de un SMA se apilan de manera que permiten un cambio reversible en su posición bajo estímulos externos sin sufrir cambios permanentes en la composición microestructural de la aleación (Fig. 1).¹⁸ Los estímulos externos pueden tomar la forma de una tensión mecánica, calor o un campo magnético. Al hablar de los SMA es importante distinguir entre dos fenómenos distintos relacionados con la forma: el efecto de memoria de forma (SME, por sus siglas en inglés) y la superelasticidad (SE), también denominada pseudoelasticidad. Un SMA normalmente es fabricado y tratado térmicamente de manera que presente un SME o un SE, no ambos, bajo las mismas condiciones de servicio. Los SMA que poseen SME o SE, se utilizan en diferentes aplicaciones. Cuando se trata de aplicaciones estructurales, las aleaciones con propiedades con SME se buscan normalmente para aplicaciones de pretensado, mientras que las aleaciones con SE, se buscan para aplicaciones de amortiguación y autocentrado.

SME y SE

Tanto el fenómeno SME como el SE están asociados a la capacidad de la aleación de volver a su forma original después de haber sido deformada en exceso. Sin embargo, la principal diferencia entre ambos fenómenos es que, en el caso del SME, la memoria de forma se activa mediante el calentamiento, mientras que en el caso del SE no se requiere calentamiento; la aleación simplemente vuelve a la forma no deformada una vez que se retira la carga que causó la deformación.

La figura 1(a) ilustra el comportamiento esfuerzo-deformación de una aleación con SMA. Cuando se carga, la SMA se deforma, mostrando un comportamiento altamente no lineal con una gran deformación residual cuando se retira la carga. Si la SMA deformada se calienta, empezará a recuperar inmediatamente la forma sin deformar. En muchas aleaciones, este proceso de memoria de forma activado por el calor es repetible. Básicamente, se puede utilizar cualquier método para calentar la SMA, incluyendo calor directo mediante un soplete/pistola de calor o calor indirecto mediante resistividad eléctrica o inducción magnética. La duración del calentamiento necesaria para completar el proceso de recuperación de la forma suele ser muy corta (menos de 60 segundos), y la temperatura objetivo requerida suele estar en el rango de 150 a 300 °C (302 y 572 °F), dependiendo del tipo de aleación. Lo que hace que las SMA con SME sean atractivas para las aplicaciones de

pretensado es el gran "esfuerzo de recuperación" inducido en la SMA como resultado de calentar la aleación mientras está comprimida (Fig. 2).¹⁹ Esta tensión "activada por el calor" puede utilizarse para el pretensado de componentes estructurales.

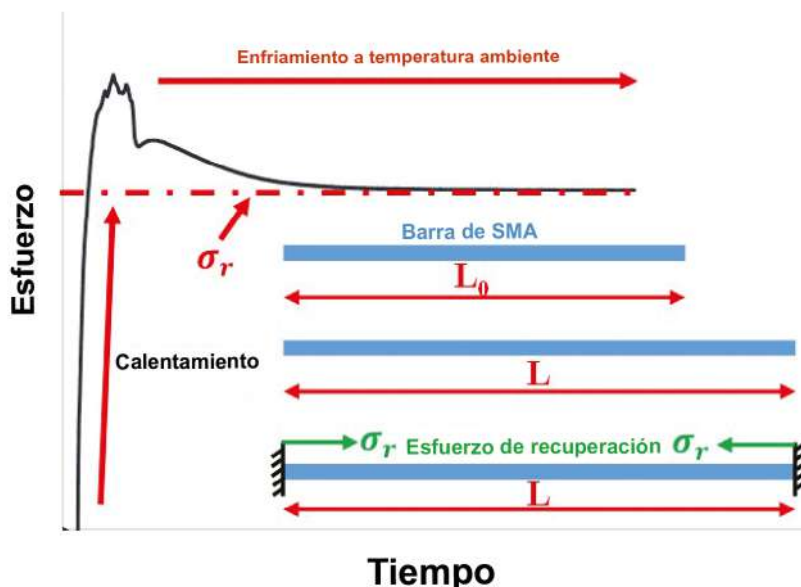


Fig. 2: Esfuerzo de recuperación inducido en una barra de SMA cuyos extremos son restringidos cuando se calienta

De forma similar a las aleaciones SME, el comportamiento de SE de la SMA (Fig. 1(b)) muestra que cuando se carga una aleación con SE, ésta experimenta un comportamiento no lineal que se asemeja al de los materiales metálicos convencionales. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en los SME, cuando se retira la carga, el SMA se descarga de forma no lineal, como se muestra en la Fig. 1(b), provocando una pequeña o nula deformación residual. Debido a que el material sigue dos caminos separados para la carga y la descarga, la carga cíclica de las SMA superelásticas va acompañada de una disipación de energía histerética. Tanto el autocentrado (es decir, la ausencia de esfuerzo residual) como la capacidad de disipación de energía son características muy deseables para las estructuras sometidas a cargas dinámicas.

¿Por qué SMAs?

Al ser un material extremadamente frágil y con una resistencia a la tracción muy limitada, el concreto necesita reforzamiento donde se esperan esfuerzos de tracción. Aunque el acero, el material más utilizado para reforzar el concreto, es extremadamente eficaz, tiene sus limitaciones.

La plasticidad del acero, por ejemplo, podría considerarse una ventaja, ya que proporciona ductilidad a un elemento de concreto que de otro modo sería extremadamente quebradizo; sin embargo, esta ductilidad se produce a costa de inducir daños permanentes irreversibles en los componentes estructurales debido a las cargas extremas. Imaginemos que las barras de refuerzo o los cordones poseen la característica de SE comentada anteriormente y presentada en la Fig. 1(b). En este caso, seríamos capaces de construir estructuras de concreto altamente dúctiles con resiliencia incorporada que se deforman, ceden y disipan la energía bajo cargas extremas sin sufrir daños permanentes e irreparables. Sin duda, tales estructuras sobrevivirían a eventos extremos con una mínima interrupción del funcionamiento estructural posterior al evento. Por lo tanto, tendría sentido colocar barras SE en los lugares críticos del sistema estructural donde se espera que se produzcan daños (por ejemplo, las zonas de las articulaciones plásticas), mientras que las barras de acero convencionales se utilizarían en otras áreas.²⁰

Aparte del impacto de las SMA en las condiciones extremas de carga, las SMA abren la puerta a nuevas posibilidades en lo que respecta a las aplicaciones de pretensado del concreto. El pretensado del concreto implica normalmente la aplicación de un esfuerzo mecánico sobre la armadura del pretensado mediante un gato hidráulico. El mecanismo de esfuerzo mecánico que se utiliza actualmente impone limitaciones a la aplicabilidad del pretensado. Por ejemplo, no sería posible pretensar espirales o estribos internos en elementos de concreto.

Además, sería extremadamente difícil utilizar el pretensado interno en forma de postensado en las zonas críticas locales, pequeñas y estrechas de las estructuras de concreto en obra, como las juntas. La ventaja que podrían aportar las SMA es la capacidad, a través de los SME, de aplicar el pretensado activado térmicamente mediante el calentamiento del refuerzo SMA presforzado de cualquier forma, tamaño y dirección colocado en la zona objetivo. El calentamiento (activación) de la SMA puede aplicarse en una planta de prefabricados o en obra. Debido a que no hay esfuerzo hidráulico en el proceso, a diferencia del pretensado convencional, el pretensado con SMA no requiere moldes/cimbras o equipos especiales (es decir, conductos, placas de anclaje, etc.) como con el pretensado convencional, lo que podría traducirse en un ahorro significativo de mano de obra, tiempo y costos.

Propiedades de la SMA

La familia de aleaciones que presentan comportamientos de SE o SME es bastante amplia. En función de la aplicación a la que se destine la SMA, el usuario final seleccionará una aleación con características SE o SME que cumpla una serie de propiedades mecánicas deseadas. Las características de cada aleación dependen de su composición, proceso de fabricación, tratamiento térmico y temperatura de servicio. En general, se utilizan y estudian ampliamente tres grupos de SMA: Aleaciones base NiTi, base Cu y base Fe. La Tabla 1 presenta el intervalo típico de valores de las propiedades mecánicas de las SMA de estos grupos.

También se presentan las propiedades mecánicas del acero al carbón Grado 60 para su comparación. Aunque la tabla no es exhaustiva y tiene como objetivo principal proporcionar una idea aproximada de las propiedades de las SMA, demuestra que éstas pueden presentar grandes variaciones, incluso para el mismo grupo de aleación, en función de los factores mencionados anteriormente.

Cabe destacar que algunas aleaciones como el NiTiNb, el FeNiCoTi y el FeMnSiCr presentan una menor sensibilidad a los cambios en la temperatura ambiente que otras; por lo tanto, serían más adecuadas para aplicaciones de ingeniería civil en las que se espera una fluctuación considerable de la temperatura ambiente. Aunque el acero al carbón suele presentar un mayor módulo de elasticidad en comparación con la mayoría de las SMA estudiadas, una ventaja significativa que tienen casi todas las SMA sobre el acero es su extrema recuperación a la deformación, que puede superar 40 veces la del acero, según los datos presentados en la Tabla 1. Esta característica aportaría ductilidad a las estructuras, al tiempo que mitigaría los problemas relacionados como el pandeo del acero y la fatiga de bajo ciclo producida por la carga inversa.

Tabla 1:
Resumen de las propiedades mecánicas del acero al carbón Grado 60 y de las SMA

Propiedades mecánicas	Acero al carbón	SMA		
	Grado 60	Aleación Base NiTi	Aleación Base Fe	Aleación Base Cu
Módulo de Young, ksi	26,000 a 29,000	3,000 a 11,600	4,500 a 24,800	10,150 a 14,500
Resistencia a la fluencia, ksi	60.0	7.3 a 116.0	29.0 a 174.0	11.6 a 50.8
Resistencia a la tracción, ksi	80.0	129.8 a 275.6	85.6 a 217.6	58.0 a 130.5
Deformación unitaria recuperable, %	0.2	6.0 a 9.0	0.5 a 8.0	4.0 a 6.0
Elongación al fallo, %	10.0 a 14.0	15.0 a 50.0	1.2 a 4.0	10.0 a 15.0
Esfuerzo de recuperación, ksi	--	69.6 a 125.5	60.3	58.0 a 101.5

Nota: 1 ksi = 7 MPa

Otra distinción fundamental entre el acero y las SMA es el esfuerzo de recuperación de las SMA, del que ya se ha hablado (Fig. 2), que hace que las SMA sean bastante atractivas para aplicaciones relacionadas con el pretensado. Como se muestra en la Tabla 1, el esfuerzo de recuperación de algunas aleaciones puede superar los 125 ksi (862 MPa).

Mercado de SMA

El mercado mundial de SMA actualmente está dominado por las aplicaciones biomédicas, automotrices y aeroespaciales, siendo el segmento biomédico el que representa más del 60% del mercado. En 2018, el tamaño del mercado mundial de SMA se valoró en \$11.2 mil millones de dólares.²¹ Estados Unidos es uno de los mayores consumidores de SMA para diversas aplicaciones, como el acoplamiento hidráulico en los aviones, los anclajes, los activadores térmicos y eléctricos y los arcos de ortodoncia. Debido a su excelente biocompatibilidad, las aleaciones de NiTi representaron más del 88% del mercado de SMA en 2018. El costo relativamente elevado de las aleaciones base NiTi, que puede oscilar entre \$150 y \$300 dólares por libra (0.5 kg), impulsó en las últimas dos décadas el interés por explorar el desarrollo y la aplicación de otras alternativas de bajo costo, como las aleaciones base Cu y Fe. El coste de estas aleaciones oscila entre el 5 y el 10% del de las aleaciones de NiTi y se espera que se reduzca aún más con el aumento en la demanda.

Entre las ventajas que hacen bajar el costo de las aleaciones base Fe y base Cu están la disponibilidad de las materias primas y el bajo costo de producción en comparación con las aleaciones de NiTi. Aunque las aleaciones base Fe y base Cu carecen de la característica de biocompatibilidad que presentan las aleaciones NiTi, lo que las hace poco atractivas para las aplicaciones biomédicas, poseen una alta resistencia, una elevada resistencia a la corrosión y una excelente resistencia a la fatiga, características esenciales para aplicaciones estructurales. Por lo tanto, estas aleaciones son muy prometedoras para el futuro de la industria de la construcción.

Referencias

1. Andreasen, G.F., and Hilleman, T.B., "An Evaluation of 55 Cobalt Substituted Nitinol Wire for Use in Orthodontics," *Journal of the American Dental Association*, V. 82, No. 6, June 1971, pp. 1373-1375.
2. Wayman, C.M., "Some Applications of Shape-Memory Alloys," *Journal of Metals*, V. 32, No. 6, June 1980, pp. 129-137.
3. Singh, A.; Singh, J.R.; and Verma, P.K., "Automotive Application of Shape Memory Alloys," 15th International Conference on Recent Trends in Engineering, Applied Science and Management, Rajasthan, India, Apr. 2018.
4. Sellitto, A., and Riccio, A., "Overview and Future Advanced Engineering Applications for Morphing Surfaces by Shape Memory 1. Alloy Materials," *Materials*, V. 12, No. 5, Feb. 2019, pp. 708-726.
5. Maji, A.K., and Negret, I., "Smart Prestressing with Shape-Memory Alloy," *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, V. 124, No. 10, Oct. 1998.
6. Dolce, M.; Cardone, D.; Marnetto, R.; Mucciarelli, M.; Nigro, D.; and Santarsiero, G., "Experimental Static and Dynamic Response of a Real R/C Frame Upgraded with SMA Re-Centering and Dissipating Braces," Paper No. 2878, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada, Aug. 1-6, 2004.
7. Andrawes, B., and Desroches, R., "Unseating Prevention for Multiple Frame Bridges Using Superelastic Devices," *Smart Materials and Structures*, V. 14, No. 3, May 2005, pp. S60-S67.
8. Alam, M.S.; Youssef, M.A.; and Nehdi, M., "Utilizing Shape Memory Alloys to Enhance the Performance and Safety of the Civil 3. Infrastructure: A Review," *Canadian Journal of Civil Engineering*, V. 34, No. 9, Sept. 2007, pp. 1075-1086.
9. Johnson, R.; Padgett, J.E.; Maragakis, M.E.; DesRoches, R.; and Saiidi, M.S., "Large Scale Testing of Nitinol Shape Memory Alloy Devices for Retrofitting of Bridges," *Smart Materials and Structures*, V. 17, No. 3, June 2008, pp. 18-28.
10. Rojob, H., and El-Hacha, R., "Ductility Behavior of RC Beams Strengthened in Flexure with NSM Iron-Based Shape Memory Alloy Bars," *Third Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures*, Antalya, Turkey, Sept. 2015.
11. Shahverdi, M.; Czaderski, C.; Annen, P.; and Motavalli, M., "Strengthening of RC Beams by Iron-Based Shape Memory Alloy Bars Embedded in a Shotcrete Layer," *Engineering Structures*, V. 117, June 2016, pp. 263-273.
12. Ozbulut, O.E.; Daghash, S.; and Sherif, M.M., "Shape Memory Alloy Cables for Structural Applications,"

ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, V. 28, No. 4, Apr. 2016.

13. Jung, D.; Wilcoski, J.; and Andrawes, B., "Bidirectional Shake Table Testing of RC Columns Retrofitted and Repaired with Shape Memory Alloy Spirals," *Engineering Structures*, V. 160, Apr. 2018, pp. 171-185.

14. Chang, W.-S., and Araki, Y., "Use of Shape-Memory Alloys in Construction: A Critical Review," *ICE Proceedings, Civil Engineering*, V. 169, No. CE2, 2016, pp. 87-95.

15. Schranz, B.; Michels, J.; Shahverdi, M.; and Czaderski, C., "Strengthening of Concrete Structures with Iron-Based Shape Memory Alloy Elements: Case Studies," *Proceedings of SMAR 2019—Fifth Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures*, Potsdam, Germany, Aug. 2019.

16. Baker, T.; Saiidi, M.S.; Nakashoji, B.; Binge, J.; Moore, T.; and Khaleghi, B., "Precast Concrete Spliced-Girder Bridge in Washington State Using Superelastic Materials in Bridge Columns to Improve Seismic Resiliency: From Research to Practice," *PCI Journal*, Jan.-Feb. 2018, pp. 57-71.

17. Shape Memory Materials, K. Otsuka and C.M. Wayman, eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998, 284 pp.

18. Shape Memory Alloys: Modeling and Engineering Applications, D.C. Lagoudas, ed., Springer, New York, NY, 2008, 456 pp.

19. Dommer, K., and Andrawes, B., "Thermomechanical Characterization of NiTiNb Shape Memory Alloy for Concrete Active Confinement Applications," *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, V. 24, No. 10, Oct. 2012.

20. Saiidi, M.S.; Sadrossadat-Zadeh, M.; Ayoub, C.; and Itani, A., "A Pilot Study of Behavior of Concrete Beams Reinforced with Shape Memory Alloys," *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, V. 19, No. 6, June 2007.

21. "Shape Memory Alloys Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product, By End Use (Biomedical, Aerospace & Defense, Automotive, Consumer Electronics & Household), By Region, And Segment Forecasts, 2019-2025," Report ID: GVR-3-68038-963-0, Grand View Research, San Francisco, CA, 2019, 90 pp.



Bassem Andrawes, miembro del ACI, es profesor del Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiental de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, Urbana, IL, EUA. Es el fundador y director general de SMA CORES, Inc. Es miembro de los Comités ACI 341, Puentes de Concreto Sismo-resistentes; 440, Refuerzo de Polímeros Fibro-reforzados; y 441, Columnas de Concreto Reforzado. Recibió su doctorado en el Instituto de Tecnología de Georgia, Atlanta, GA, EUA, en 2005.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Noreste México

Título: Tecnología de memoria de forma, Parte 1



Traductora: Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez



Revisor Técnico:
Dr. José Manuel Mendoza Rangel

Polímero Reforzado con Fibra de Basalto en Firmes de Concreto en un Edificio Comercial

Una solución sostenible y durable

por Álvaro Ruiz Emparanza, Brett McMahon y Antonio Nanni

Las barras de polímero reforzado con fibra (FRP [por sus iniciales en inglés]) son una alternativa de larga duración a las barras de refuerzo de acero tradicionales. Estas barras compuestas están hechas de fibras alineadas longitudinalmente incorporadas en una matriz de resina que utiliza un proceso de manufactura llamado pultrusión. Las barras FRP se han utilizado en estructuras de ingeniería civil durante más de tres décadas. La fibra de vidrio es el tipo de fibra más utilizado por su disponibilidad y bajo costo. No obstante, debido a que las propiedades físicas de las fibras de basalto superan a las de vidrio,^{1,2} y debido a que la diferencia de costo entre los dos tipos de fibra es insignificante, se ha incrementado el interés en este tipo de fibra. Con el crecimiento del suministro de fibras de basalto a los Estados Unidos, las barras de basalto FRP (BFRP) se están convirtiendo económicamente viables.³

Las barras BFRP proporcionan una alta resistencia a la tensión (tres veces más alta que el acero Grado 60 para diámetros de barra equivalentes). Al igual que con las barras FRP de vidrio (GFRP), las barras BFRP son ligeras (un cuarto del peso del acero), eléctricamente no conductoras, y transparentes a los campos electromagnéticos. La ventaja principal de estos compuestos, sin embargo, es la alta resistencia a la corrosión, incluso cuando son expuestos a ambientes hostiles como el agua de mar.^{1,4-6}

Al igual que con cualquier otro compuesto de FRP, las barras BFRP tienen un comportamiento a la falla elástico lineal y no presentan una etapa plástica como el acero. Además, el módulo elástico de las barras BFRP es de aproximadamente un tercio del acero

de refuerzo. Cuando se le compara con otros tipos de FRP, las barras BFRP se encuentran entre el vidrio y el carbono tanto para resistencia como para rigidez. En comparación con las barras FRP hechas de vidrio E-CR, las barras BFRP tienen un módulo elástico y resistencia ligeramente superiores, así como mayor estabilidad química.^{1,4}

Uso de Barras FRP

Históricamente, las barras FRP se han utilizado con mayor frecuencia en la infraestructura del transporte, más que en edificios. La razón principal detrás de esto es el objetivo de los departamentos de transporte (DOTs [por sus iniciales en inglés]) de incrementar la vida de servicio y reducir los costos de mantenimiento de puentes y otras estructuras carreteras. Por ejemplo, Al-Khafaji et al.⁷ evaluaron 11 puentes reforzados con GFRP después de estar en servicio durante 15 a 20 años y, por las muestras extraídas, casi no se observó degradación de GFRP aunque las barras utilizadas en estos proyectos estaban hechas con vidrio E en lugar del tipo de vidrio E-CR actual, una evolución libre de boro más reciente para mejor resistencia a la corrosión. De hecho, si bien el vidrio E es la fórmula de fibra de vidrio más ampliamente utilizada en el mundo, contiene boro y flúor, dos compuestos que están atrapados en partículas liberadas a la atmósfera durante la manufactura y que provocan contaminación ambiental. Por el contrario, las fibras de vidrio E-CR son libres de boro y flúor y tienen mejores

propiedades mecánicas, más alta resistencia al calor, resistencia al agua y mayor resistencia de la superficie que las fibras de vidrio E. Desde 2005, la fibra de vidrio E-CR se ha producido de acuerdo con ASTM D578/D578M, “Especificación de la Norma para Hilos de Fibra de Vidrio.”

Últimamente, los contratistas de construcción han expresado un mayor interés en el refuerzo de FRP basándose en los resultados positivos de su uso en los proyectos de infraestructura. Además de la durabilidad, una ventaja muy importante para los contratistas es que el material es ligero, lo que hace que su transportación, manejo e instalación sean sencillos y efectivos en cuanto a costo. No obstante, las especificaciones del material, guías de diseño y normas publicadas antes de 2018 sólo hacen referencia al refuerzo de GFRP:

- ACI 440.1R-15. “Guía para el Diseño y Construcción de Concreto Estructural con Barras de Polímero Reforzado con Fibra (FRP)”⁸.

- ASTM D7957/D7957M-17, “Especificación de la Norma para Barras de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio Redondo y Sólido para Refuerzo de Concreto”; y

- AASHTO LRFD Especificaciones para la Guía de Diseño de Puentes para Concreto Reforzado con GFRP.”⁹

Afortunadamente, dos documentos más recientes incluyen el uso de refuerzo BFRP:

- AC454: “Criterios de Aceptación para Barras de Polímero Reforzado con Fibra (FRP) para Refuerzo Interno de Miembros de Concreto”¹⁰; y

- Sección 932-3 en el DOT de Florida “Especificaciones de la Norma para Construcción de Carreteras y Puentes” (Especificaciones Estándar).¹¹

De particular importancia para los edificios son los criterios de aceptación AC454 emitidos por el Servicio de Evaluación ICC (ES) que proporcionan los métodos de prueba y disposiciones de evaluación requeridos para cuantificar las características de desempeño de las barras GFRP y BFRP cuando se utilizan como refuerzo para flexión en miembros de concreto estructural, tales como vigas, cimentaciones someras y losas unidireccionales y bidireccionales; al igual que refuerzo a cortante para miembros a flexión o refuerzo longitudinal para columnas y muros. El propósito de AC454 es que las barras GFRP Y BFRP se reconozcan en el sentido de que cumplen con los requerimientos de 2021 IBC, Sección 104.11, ¹² y 2021 IRC, Sección R104.11.¹³

Además, las Especificaciones de las Normas de FDOT, Sección 932-3, actualmente proporcionan requerimientos del material para aplicación de barras de GFRP y BFRP en la construcción de carreteras y sus relacionados. Se hace referencia a esto en el Manual de Estructuras de FDOT, V.4 que incluye una metodología de diseño para estructuras de concretos reforzadas con barras GFRP y BFRP:

“... El diseño de todos los miembros de concreto que contienen barras de refuerzo GFRP debe estar de acuerdo con las Especificaciones de la Guía de Diseño de Puentes de AASHTO LRFD para Concreto Reforzado con GFRP. Para BFRP utilice los mismos criterios de diseño que para GFRP” ¹⁴

La Torre Avocet

La Torre Avocet es una estructura de oficinas y hotel lado a lado ubicada en 7373 Wisconsin Avenue, Bethesda, MD, Estados Unidos. El propietario, Stonebridge, un desarrollador de bienes raíces también está ubicado en Bethesda, MD. El edificio de oficinas de 22 pisos está coronado con una terraza en la azotea con vistas a todo Bethesda, extendiéndose hasta Rockville, MD y Washington, D.C., Estados Unidos. Contiguo al edificio de oficinas se encuentra el Hotel Marriott AC de 18 pisos. La torre también tiene dos niveles de estacionamiento subterráneos y cinco niveles de estacionamiento sobre la cimentación.



Fig. 1 Se utilizaron barras BFRP para reforzar los firmes de concreto.

Miller & Long Co., Inc., fue el subcontratista para el concreto colado en sitio. El proyecto requirió aproximadamente 37,000 yd³ (28,300 m³) de concreto, con alrededor de 738,000 ft² (68,600 m²) de losa con soporte. Los pisos típicos fueron losas estructurales de concreto reforzado con acero postensado con un espesor de 9 pulgadas (230 mm). No obstante, los firmes se reforzaron con barras BFRP. Miller & Long fue responsable de seleccionar y colocar el refuerzo de BFRP. Este artículo trata del diseño y construcción de firmes de concreto.

Firmes de concreto

Propiedades del Material

Los firmes se construyeron utilizando concreto reforzado con BFRP. Antes de la construcción de las losas, laboratorios independientes de materiales probaron el concreto y el refuerzo de BFRP. La Figura 1 muestra el refuerzo BFRP No. 3 que se utilizó para este proyecto.

El concreto se probó de acuerdo con ASTM C39/C39M, "Método de Prueba Estándar para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto", y tuvo una resistencia a la compresión de 4875 psi (33.6 MPa) después de 28 días. Las propiedades de las barras de BFRP se probaron de acuerdo con diversas normas ASTM enumeradas en la Tabla 1. Se aseguró que los valores superaran aquellos determinados por AC454.

Diseño

El diseño de los firmes de concreto se realizó de acuerdo con ACI 440.1R-15, Sección 13.2, aunque se reconoce que la guía sólo hace referencia a las barras GFRP. Las losas se diseñaron utilizando barras BFRP como refuerzo para temperatura y contracción. Aunque se asumió que las losas no se agrietarían bajo carga de servicio, se proporcionó refuerzo para: a) limitar posible espaciamiento y ancho de las grietas; b) incrementar la capacidad para transferir carga en las juntas; c) permitir el uso de espaciamiento de juntas más ancho; y d) proporcionar una resistencia de reserva en caso de que ocurriera agrietamiento por contracción o temperatura. Debido al módulo de elasticidad más bajo de las barras de BFRP en comparación con el acero, el diseño se llevó a cabo sobre la base de tensión en lugar del nivel de esfuerzo, como en el caso del refuerzo de acero. La tensión en el refuerzo BFRP se limitó a 0.0012.

Tabla 1:

Propiedades de las barras BFRP No 3 utilizadas en los firmes de concreto

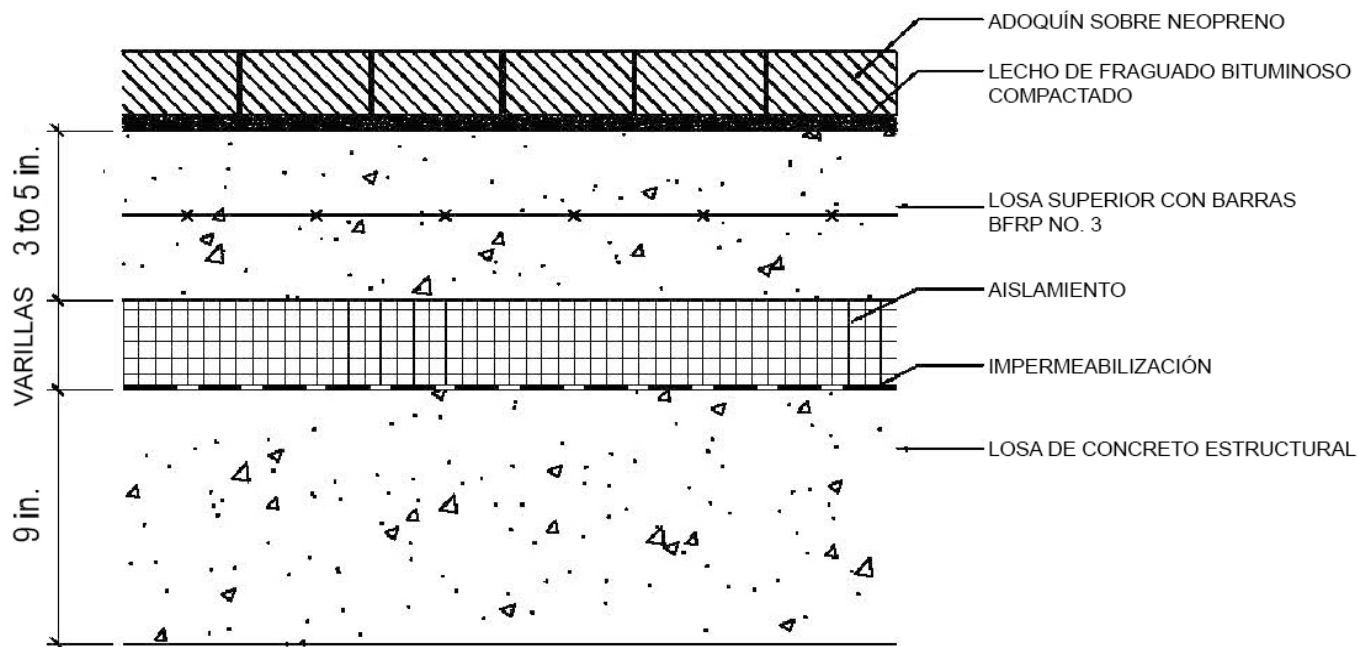
Tipo de Prueba	Método de Prueba	Resultados de la Prueba	Requerimientos AC454
Carga de tensión mínima garantizada*	ASTM D7205 [‡]	26.4 kip	13.2 kip
Resistencia a la tensión nominal garantizada*	ASTM D7205	240.1 ksi	120 ksi
Módulo de elasticidad*	ASTM D7205	8850 ksi	6500 ksi
Área medida	ASTM D792 [§]	0.132 in. ²	0.104 to 0.161 in. ²
Contenido de fibra por masa	ASTM D2584 [¶]	83.1%	> 70%

*Valor calculado como promedio menos tres desviaciones estándar

*Basado en el área nominal de 0.11 in.² (71 mm²)[‡]ASTM D7205/D7205M “Método de Prueba Estándar para Propiedades de Tensión de las Barras Compuestas de Matriz de Polímero Reforzado con Fibra”[§]ASTM D792, “Métodos de Prueba Estándar para Densidad y Gravedad Específica (Densidad Relativa) de Plásticos por Desplazamiento”[¶]ASTM D2584, “Método de Prueba Estándar para Pérdida de Ignición de Resinas Reforzadas Curadas”**Nota:** 1 kip = 4.45 kN; 1 ksi = 6.89 MPa; 1 in² = 645 mm²

El espesor de los firmes varió desde un mínimo de 3 pulgadas (76 mm) hasta un máximo de 5 pulgadas (127 mm). Las losas se reforzaron con barras BFRP No. 3 colocadas a 12 pulgadas (305 mm) en el centro (o.c.) en ambas direcciones, tal como se muestra en la Figura 2. Las losas estaban soportadas por un relleno de poliestireno Tipo E-EPS19 (de acuerdo con ASTM D6817/D6817M, “Especificación de la Norma para Geoespuma de Poliestireno Celular Rígido”) con un valor de resistencia a la compresión de 835 psf (40kPa). Unas partes de esta plaza fueron diseñadas para carga de camiones de bomberos.

En total, los firmes de concreto cubrieron una superficie de 5160 ft² (480 m²) y se reforzaron con aproximadamente 15,000 ft (4570 m) de barras BFRP No. 3. La Figura 3 muestra la vista en planta de dichos firmes.

**Fig. 2 Sección de losa superior (Nota: 1 pulgada = 25 mm)**

Construcción

Los firmes de concreto se construyeron en dos fases de superficies igualmente grandes debido al programa del proyecto general. Las barras BFRP se colocaron considerablemente más rápido debido a su peso ligero. Asimismo, ya que el refuerzo BFRP regresa a su posición original, siempre que la carga aplicada no exceda su resistencia final, caminar sobre el refuerzo instalado no presentó ningún problema. La Figura 4 muestra el proceso de instalación del refuerzo BFRP. Observe que el trabajador de la fotografía superior derecha lleva un bulto de 20 barras de 20 ft (6 m) de largo.

Una vez que se instaló el refuerzo, debido al acceso difícil, el concreto se colocó utilizando una bomba de concreto (Figura 5).

La cuadrilla especializada en acabados dio acabado a las losas hasta lograr una superficie lisa. Después de terminar el trabajo de concreto, las losas fueron curadas apropiadamente para evitar potencial de agrietamiento por contracción.

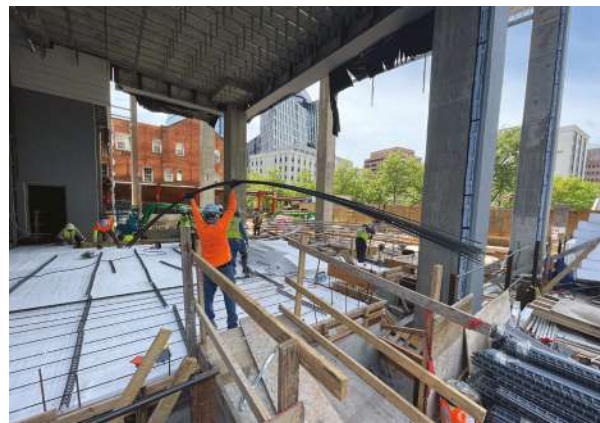


Fig. 4. Instalación de refuerzo BFRP No. 3 para uno de los firmes de concreto

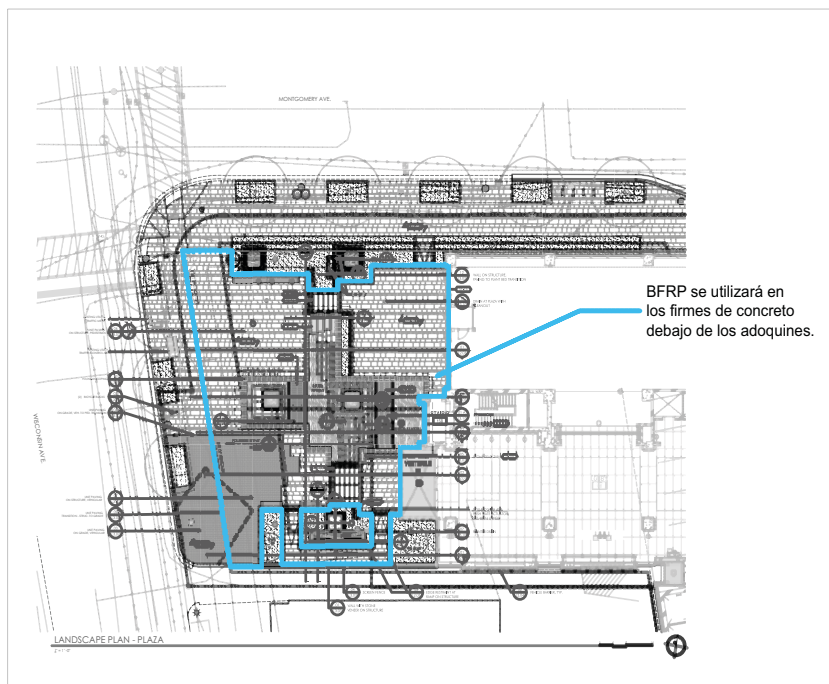


Fig. 3 Vista de planta de los firmes de concreto

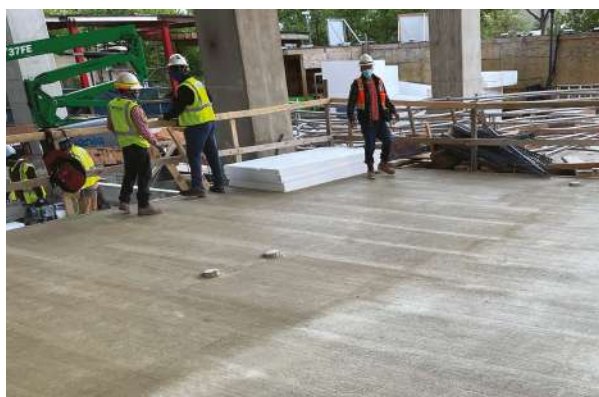


Fig. 5. Colocación de concreto en uno de los firmes

Refuerzo Amigable con el Ambiente

El refuerzo más frecuentemente utilizado para concreto está hecho de acero al carbón. El principal componente en la producción del acero es el mineral de hierro. Tanto la minería como la fabricación del acero requieren de mucha energía y generan contaminación. En promedio, se emiten 1.74 toneladas (1.58 toneladas) de CO² por cada tonelada de acero producido en los Estados Unidos, lo que hace de la producción del acero un contribuyente

importante al calentamiento global.¹⁵ No obstante, el principal ingrediente de las barras BFRP es la roca de basalto, que es una roca volcánica orgánica inerte. Las fibras de basalto se fabrican exclusivamente con roca de basalto sin sustancias químicas adicionales y durante la producción no hay desechos. Las fibras de basalto son inertes, reciclables y no combustibles.¹⁶ En comparación con el acero, la energía requerida para la producción de fibra de basalto es significativamente menor. Si bien se necesitan 14 kWh/kg en promedio para producir acero en un horno eléctrico, la fibra de basalto requiere nada más 5 kWh/kg, reduciendo así el consumo de energía en aproximadamente 65%.¹⁶ Incluso con aproximadamente 20% por masa de resina termoestable necesaria para la manufactura de barras BFRP, éstas son un refuerzo amigable con el ambiente para el concreto.

Inman et al.¹⁷ llevaron a cabo un estudio sobre la evaluación mecánica y ambiental y comparación de barras de BFRP y barras de acero en vigas de concreto. Los resultados de la evaluación del ciclo de vida (LCA [por sus iniciales en inglés]) mostraron que las vigas de refuerzo BFRP se desempeñaron significativamente mejor en los 18 indicadores ambientales evaluados en el estudio (incluyendo disminución de la capa de ozono, acidificación y eutrofización) en comparación con las vigas de concreto reforzadas con acero. En términos de calentamiento global potencial (GWP [por sus iniciales en inglés]), se puede inferir una reducción del 62% en emisiones potenciales de cambio climático al utilizar refuerzo BFRP sobre el acero convencional.¹⁷ Esto haría que BFRP sea una solución verde para el refuerzo de concreto.

Beneficios de Utilizar Barras de BFRP

El refuerzo BFRP proporciona beneficios múltiples para los contratistas debido a su peso ligero y resistencia a la corrosión. Las principales ventajas son:

- **Transporte:** El peso de las barras BFRP es de un cuarto de las de refuerzo de acero al carbón, los costos de transporte pueden reducirse en aproximadamente 60%;
- **Manejo e instalación:** El manejo e instalación de las barras BFRP es rápido, eficiente, económico y, por lo tanto, más sostenible. El peso ligero de las barras BFRP permite el uso de equipo más pequeño en el sitio (menos consumo de combustible) y una menor fuerza laboral. Además, el manejo es más seguro para los trabajadores

(menos lesiones), lo que es igual a una reducción en costos. En el sitio de la obra, las barras pueden cortarse fácilmente si es necesario, con una sierra normal y una vez cortadas, no se necesita que los extremos de las barras sean tratados de forma especial, tal como sucedería con las barras de acero recubiertas con epóxico. Cuando se pisa sobre las losas de refuerzo durante la instalación, no ceden ni se desplazan permanente debido a que las barras BFRP son elásticas lineales hasta que fallan. Por lo tanto, la instalación del refuerzo es menos tedioso y más preciso; y

- **Construcción sostenible:** El uso de refuerzo no corrosivo les permite a los contratistas proporcionarles a los clientes estructuras construidas duraderas y “verdes”, lo que agrega mucho valor a los proyectos y evita las reclamaciones por deterioro potencial durante la vida de servicio.

En Resumen

La Torre Avocet en Bethesda, MD, es un edificio de 22 pisos de altura que comprende un Hotel Marriot AC y espacios para oficinas. Los 5160 ft², de firmes de concreto de 3 a 5 pulgadas de espesor en la torre fueron reforzadas utilizando barras BFRP No. 3 colocadas a cada 12 pulgadas en ambas direcciones. El uso de barras BFRP aceleró en gran medida el proceso de construcción y permitió reducir el costo de transporte e instalación del refuerzo por el peso ligero de las barras compuestas. Debido a la menor huella de carbono de las barras BFRP y a la extensión de la vida de servicio, las losas se consideran una estructura “verde”.

Créditos del proyecto

Propietario: Stonebridge, Bethesda, MD

Ingeniero responsable: Cagley & Associates, Rockville, MD

Subcontratista de concreto: Miller & Long Co., Inc., Bethesda, MD

Fabricante de barras BFRP: Pultrall, Thetford Mines, QC, Canadá

Referencias

Nota: puede encontrar información adicional sobre las normas ASTM de las que se habla en este artículo en www.astm.org

Seleccionado para interés de los lectores por parte de los editores.



Álvaro Ruiz Emparanza, es miembro de ACI, Director de Ingeniería y Desarrollo de Negocios de Mafic USA, LLC. Es Presidente del Comité ACI S805, del Consejo de Liderazgo Estudiantil y miembro activo de otros Comités ACI, incluyendo 440, Polímero Reforzado con Fibra y S806, Actividades de Jóvenes Profesionales; así como del Comité de Actividades Estudiantiles y de Jóvenes Profesionistas (SYPAC [por sus iniciales en inglés]) y del Comité de Desarrollo de la Fundación ACI. Sus intereses en investigación incluyen evaluación de durabilidad de sistemas de refuerzo alternativos para estructuras de concreto, tales como polímero reforzado con fibra (FRP) y el desempeño estructural de estructuras de concreto reforzadas con FRP. Emparanza recibió su grado de ingeniería civil por la Universidad del País Vasco en San Sebastián, España. Obtuvo su maestría en ingeniería civil por la Universidad de Ciencias Aplicadas Fachhochschule Münster, Münster, Alemania y su doctorado en ingeniería civil por la Universidad de Miami, en Miami, FL, Estados Unidos de Norteamérica.



Brett McMahon, es miembro de ACI y Presidente y Funcionario Ejecutivo en Jefe de Miller & Long Co., Inc., Bethesda, MD, Estados Unidos de Norteamérica. La compañía de 75 años de antigüedad se especializa en el concreto colado en sitio para edificios de múltiples niveles para oficinas y residenciales, estacionamientos y desarrollos de uso mixto. Bajo su liderazgo durante la última década, Miller & Long ha ganado más de 30 reconocimientos por su experiencia y conocimientos en construcción comercial, incluyendo reconocimientos de ACI y de Associated Builders and Contractors (ABC). McMahon tiene más de 30 años de experiencia en la industria.



Antonio Nanni, FCI, es Académico Destacado Inaugural, Catedrático y Presidente del Departamento de Ingeniería Civil, Arquitectónica y Ambiental en la Universidad de Miami. Es Presidente del Comité ACI 549, Productos Cementicios Delgados Reforzados y Ferrocemento y es miembro de numerosos comités de ACI, incluyendo el Comité ACI 440, Polímero Reforzado con Fibra. Ha recibido varios reconocimientos, incluyendo 2014 IIFC Medal del Instituto Internacional para FRP en Construcción y el Reconocimiento 2012 ASCE Henry L. Michel por Avances de Investigación en la Industria.

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

Título: Polímero reforzado con fibra de Balsato en firmes de concreto en un edificio comercial



Traductora: Lic. Ana P. García Medina



Revisor Técnico: M.I. Sergio Valdés Constantino

RESERVA^{se} FECHA

MARZO 27-31, 2022

Hotel Caribe Royale Orlando. Orlando, Florida. USA.
Convención de primavera del ACI

aci CONCRETE
CONVENTION



Incendios en estacionamientos. Revisión de los efectos y sistemas de protección.

por William L. Gamble

De 2013 a 2017, hubo alrededor de 6000 incendios de estacionamientos por año en los Estados Unidos.¹ La mayoría de estos incendios fueron presumiblemente pequeños, involucrando a uno o solo unos pocos vehículos. Sin embargo, algunos eran bastante grandes. En el momento de su publicación, Referencia 1, informó que la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) estaba considerando cambios significativos en la clasificación de peligro de estacionamientos, debido a los diversos incendios de grandes pérdidas. Específicamente, el artículo decía que los cambios se estaban considerando en NFPA 13, "Norma para la instalación de sistemas de rociadores"² y NFPA 88A, "Norma para Estructuras de Estacionamiento".³

La Referencia 4 es un resultado del esfuerzo de la NFPA. El "vehículo transportador" en el título se refiere a transbordadores y buques de navegación marítima, que parecen estar muy regulados con respecto al fuego. Varios de los incendios de grandes pérdidas son descritos en el informe, y muchas regulaciones y disposiciones de códigos son revisadas. El informe también declaró que las ediciones de 2021 del Código Internacional de la Construcción (IBC) y el Código Internacional de Incendios^{5,6} requerirían sistemas de rociadores en estructuras de estacionamiento abiertas que exceden algún área específica de piso o altura total. Esto ha sucedido, ya que la Sección 903.2.10 Grupo S-2 Estacionamientos, ha sido revisada en ambos códigos para requerir un sistema automático de rociadores en todos los edificios clasificados como estacionamientos donde el área de incendio del estacionamiento abierto de acuerdo con la Sección 406.5 del IBC

2021 supera los 48,000 pies cuadrados (4460 m²).

"Área de incendio" es definida en IBC como "El área de piso de agregada cerrada y delimitada por muros cortafuegos, barreras cortafuegos, muros exteriores, montajes horizontales clasificados como resistentes al fuego de un edificio." El Grupo S-2 es Almacenamiento de Bajo Riesgo. Los estacionamientos adjuntos, generalmente requieren sistemas de rociadores automáticos mucho antes de la existencia de los Códigos IBC.

La Referencia 7 proporciona la perspectiva del Comité de Incendios del Instituto del Concreto Prefabricado/ Pretensado (PCI), argumentando que el cambio no está justificado. Este documento técnico, también incluye la revisión del comité de información de antecedentes sobre experiencias de incendios en estructuras abiertas de estacionamiento, la documentación de apoyo proporcionada para el cambio en el 2021 IFC, y los potenciales peligros de incendio en estructuras de estacionamiento abiertas.

Detalles de Incendios en Estacionamientos

El 31 de diciembre de 2017, un incendio en un estacionamiento de vehículos (para usar el término Británico) en Liverpool, Inglaterra, destruyó alrededor de 1300 vehículos.⁸ La estructura de Liverpool era un moderno estacionamiento de concreto prefabricado que se completó

en 2006. Fue según se informa bien cuidado. Los pisos consistieron en vigas doble T. Según las fotos disponibles, ninguna parte de la estructura colapsó, aunque grandes áreas mostraron desprendimiento y agrietamiento significativos. Solo una foto publicada muestra un pandeo sustancial en una viga doble T, en una zona de gran desprendimiento, lo que indica que la fuerza de pretensado en general no se perdió. La estructura tenía algunas características de drenaje que probablemente ayudaron a que el fuego se extendiera verticalmente, pero esta propagación vertical aparentemente ocurrió mucho después de que el fuego se extendiera horizontalmente. El incendio no se informó inmediatamente, y al parecer hubo 21 o 22 minutos entre el tiempo en que la cámara de seguridad grabó el humo y la llegada de los bomberos, para ese momento al menos una docena de vehículos se habían incendiado. El fuego ardió durante aproximadamente 40 horas, ya que los bomberos nunca pudieron ponerlo bajo control. La estructura fue demolida posteriormente.

Una búsqueda en Internet revela varios incidentes adicionales con pérdidas importantes. El 27 de noviembre de 2004, un número desconocido de automóviles se quemaron en un estacionamiento subterráneo en Suiza.⁹ El incendio provocó el colapso de un área importante del estacionamiento y la muerte de siete bomberos. El estacionamiento estaba bajo un campo de juego y tenía una profundidad no declarada del suelo al techo. La estructura estaba hecha de concreto reforzado, pero no están disponibles detalles adicionales. Tal estructura, es casi seguro que habría tenido un sistema automático de rociadores Norte América.

El 1 de mayo de 2005, 14 autos se quemaron en el Aeropuerto Internacional de Atlanta, Hartsfield-Jackson, Atlanta, GA, EE. UU.¹⁰ El 8 de marzo 2012, más de 40 autos fueron destruidos en un incendio en una estructura de estacionamiento subterráneo en París, Francia.¹¹ El 17 de septiembre de 2018, un incendio en el área de almacenamiento de un concesionario de automóviles en una estructura de estacionamiento conectada a un centro comercial en Brooklyn, NY, EE. UU., destruyó 135 vehículos.¹² El 31 de enero de 2019, 17 vehículos se quemaron en una estructura de estacionamiento en el Aeropuerto Internacional, Newark Liberty, Newark, Nueva Jersey, EE. UU.¹³

El 7 de enero de 2020, el fuego en una estructura de estacionamiento del Aeropuerto de Stavanger en Sola, Noruega, destruyó "al menos 300" vehículos, y un área significativa de la estructura colapsó.¹⁴ Mientras la Referencia 14 es un informe importante sobre el incidente, éste incluye muy poca información sobre la estructura. Sin embargo, la parte del edificio que colapsó, era de acero estructural sin protección. También hubo dos incendios recientes en Alemania, donde gran número de vehículos estuvieron involucrados. Sesenta y cinco autos fueron dañados o destruidos en el Aeropuerto Internacional Münster Osnabrück, Greven, Alemania, en 2019, y 32 garajes fueron involucrados en un incendio en un "Complejo de Garajes" en Dorsten, Alemania, en 2021. Ambos eventos fueron descritos como pérdidas multimillonarias de euros por un boletín de la industria de seguros alemana.¹⁵

Varios análisis de estos incendios recientes apuntan al creciente aumento del uso de componentes compuestos fibra y plástico, en los diseños de automóviles recientes, con un marcado incremento desde 2010. Hubo un aumento del 75% en el peso de materiales plásticos en automóviles entre 2014 y 2020.¹⁶ Los tanques de combustible de plástico han sido notablemente comunes durante algún tiempo.¹⁷

La discusión sobre el incendio en Noruega agregó la variable de baterías de iones de litio en vehículos eléctricos (e híbridos). Los incendios de baterías de iones de litio son aparentemente bastante difíciles de extinguir y tienden a encenderse de nuevo. A septiembre de 2021, los vehículos eléctricos comprenden aproximadamente el 15% del parque de automóviles de pasajeros en Noruega.¹⁸ Por último, los recientes incendios en algunos automóviles eléctricos, centró más atención en los riesgos de incendios de baterías de iones de litio.¹⁹

Requerimientos de Resistencia al Fuego

Los estacionamientos que son parte de una estructura más grande generalmente tendrán requisitos de resistencia al fuego asociados con el resto de la estructura. Por ejemplo, una estructura de estacionamiento que forma los pisos inferiores de un edificio más alto debe tener una barrera de separación de incendios adecuada, entre la porción del estacionamiento y el resto de la estructura. Sin embargo, dependiendo de los requisitos locales, la porción de estacionamiento puede o no, tener requisitos específicos de resistencia al fuego. Además, muchas estructuras de estacionamiento abiertas aisladas, se construyen sin requisitos establecidos de resistencia al fuego.

Tengo algún conocimiento de dos casos en los que hubo requisitos de resistencia al fuego de 2 horas. En ambos casos, los elementos doble T pretensados fueron rediseñados con concreto semi-ligero en lugar de concreto de peso normal, y las alas (bridas) superiores se hicieron más gruesas para cumplir con los requisitos de transferencia de calor de ACI / TMS 216.1-14 (19).²⁰ Ningunos otros cambios en los elementos doble T eran evidentes, por lo que los cables pretensados no parecen estar adecuadamente protegidos para una clasificación de resistencia al fuego de 2 horas.

Análisis de los Efectos del Fuego

La Referencia 21 es exactamente como se describe en el título, y los análisis proporcionados están basados en principios fundamentales transferencia de calor. Desafortunadamente, la mayoría de las referencias citadas sobre incendios de automóviles son moderadamente antiguas y generalmente son anteriores a la mayor introducción de plásticos en la fabricación de automóviles en el vigésimo primer siglo y especialmente desde 2010. Sólo el incendio de Liverpool es citado como un acontecimiento importante reciente. Las curvas de tiempo-temperatura de un incendio elegidas para la parte del estudio relacionada con el vehículo son para dos pruebas de fuego descritas en un documento de 2004,²² cada una con tres vehículos involucrados. Los vehículos no fueron bien identificados, pero probablemente eran modelos de finales de la década de 1990 y ciertamente eran

pequeños en relación a los vehículos de la actual flota de vehículos de América del Norte. Una tabla enumera algunos vehículos, con pesos máximos en vacío de aproximadamente 3100 lb (1400 kg), aproximadamente lo mismo que un Toyota Corolla actual. Puede ser que estas pruebas sean las últimas con condiciones de prueba adecuadas. Una breve búsqueda en Internet no arrojó nada nuevo sobre condiciones de prueba como en garajes de estacionamiento abiertos.

Incendios en Estacionamientos 1, se desarrolló con bastante lentitud, y además de dos breves picos por encima de la curva tiempo-temperatura de aproximadamente 45 y 55 minutos de la norma ASTM E119-20²³, las temperaturas se mantuvieron considerablemente más bajas que la curva de ASTM E119. Incendios en Estacionamientos 2, se desarrolló rápidamente y tenía tres breves picos de temperatura algo por encima de la curva de incendio ASTM E119, con el último pico en unos 15 minutos, seguido de un descenso rápido de la temperatura. La principal diferencia entre las dos pruebas parece ser la dirección del viento. Los tres vehículos quemados en ambos casos.

Los elementos de la estructura de estacionamiento asumidos para los análisis eran elementos estándar doble T 12DT32 + 2 con diez torones de 15,2 mm (0,6 pulgada) de diámetro en cada alma. Ellos estaban hechos con concreto de peso normal. El trabajo analítico fue hecho en unidades SI, por lo que las distancias se dan en mm y temperaturas en ° C. El centro del torón inferior en cada alma estaba a 56 mm (2,2 pulgada) desde la parte inferior, y los torones estaban espaciados a 51 mm (2 pulgada) entre centros. La temperatura máxima en los torones más bajos en Incendios en Estacionamientos 1 fue de aproximadamente 240 ° C (464 ° F) a los 80 minutos, seguida de una disminución muy lenta. La temperatura máxima en los torones más bajos en Incendios en Estacionamientos 2 fue de aproximadamente 150 ° C (302 ° F) en unos 50 minutos, seguida de una disminución lenta similar. Siguiendo ACI / TMS 216.1-14 (19), la temperatura de 240 ° C podría reducir

un poco la resistencia a la tracción por un poco más del 10%, y presumiblemente parte de esa pérdida se recuperó al enfriarse. Estas temperaturas causarían un daño mínimo a elementos pretensados, lo que parece consistente con observaciones de otras pruebas de incendio y con incendios naturales involucrando solo unos pocos vehículos.

Un análisis del mismo elemento fue llevado a cabo, utilizando la curva estándar de tiempo-temperatura ASTM E119. La entrada de calor es mucho mayor para cualquier tiempo prolongado, y los 240 ° C de temperatura en los torones más bajos se alcanzó en aproximadamente 30 minutos. Uno de los criterios de falla de la prueba de fuego es un aumento de temperatura de 139 ° C (250 ° F) en la superficie no expuesta, y esto se alcanzó en unos 80 minutos. En ese momento, la temperatura en las capas inferiores del torón era bastante elevada, pareciendo indicar que el elemento estaba en considerable peligro. La deflexión calculada a los 80 minutos fue de aproximadamente 100 mm (4 pulgada), estaba aumentando rápidamente.

La Referencia 21 representa un intento de encontrar "incendios realistas" que podrían reemplazar la "talla única" de la curva tiempo-temperatura dada por ASTM E119. Apoyo esos esfuerzos. Sin embargo, las curvas tiempo-temperatura de incendio para las dos pruebas no son adecuadas, ya que no parecen representar los vehículos actuales. Además, ellas no representan el hecho de que los incendios recientes frecuentemente hayan involucrado muchos más vehículos, que de uno a los tres vehículos que parecen haber sido más comunes en el pasado.

La búsqueda de curvas más adecuadas de temperatura-tiempo para incendios, ha estado sucediendo durante al menos 50 años, con la Referencia 24 siendo un ejemplo útil. En ese estudio, la carga de fuego (combustible) por unidad de área, factores de ventilación y propiedades térmicas de los límites de los compartimentos variaban. Una amplia gama curvas de tiempo-temperatura se produjeron, con algunos casos teniendo temperaturas muy por encima de las curvas estándar al principio del desarrollo del incendio y otros estando siempre por debajo de las curvas estándar. Los períodos de descenso

posteriores al pico, que son importantes en comprender la respuesta total a un incendio, variaron considerablemente.

Un ejemplo de incendio muy intenso y de corta duración basado en la Referencia 24, se utilizó en un estudio de temperaturas en secciones de acero en aislamiento (ver Referencia 25). El incendio estudiado alcanzó una temperatura de 1000 ° C (1832 ° F) a los 20 minutos, un poco más 200 ° C (360 ° F) más alto que la curva ASTM E119 o la curva europea ISO 834: 1 muy similar.²⁶ La temperatura pico de aproximadamente 1030 ° C (1886 ° F) ocurrió a unos 27 minutos, seguidos de un fuerte descenso. Este modelo de incendio tenía una gran cantidad de combustible por unidad de superficie y un área bastante grande de área de ventana que proporciona ventilación.

Dificultades para Combatir los Incendios

El acceso a los incendios en los estacionamientos es generalmente complicado. Los camiones ordinarios de bomberos no pueden entrar de manera segura en estructuras diseñadas para carga de vehículos de pasajeros, y, además, el espacio libre es generalmente inadecuado. Sin embargo, el Aeropuerto Internacional de Atlanta, Hartsfield-Jackson tiene algunos vehículos de bomberos más pequeños que puede entrar a los garajes.¹⁰

Sistemas de tuberías verticales de agua con accesorios para mangueras del departamento de bomberos a veces existen, pero las mangueras deben llevarse a las válvulas, y tales sistemas presentan grandes problemas adicionales en clima frío. Los sistemas de rociadores existen y pueden ser efectivos si se mantienen adecuadamente. Sin embargo, el problema del clima frío todavía existe. Hay sistemas de rociadores de tubería seca, pero tienden a tener tiempos de reacción mucho más largos que los sistemas de tubería húmeda. Varias publicaciones también enfatizan la importancia de un apropiado mantenimiento de los sistemas de rociadores.

Conclusiones y Recomendaciones

Si bien debe fomentarse la búsqueda de "incendios realistas", para el tiempo actual, la curva de tiempo-temperatura ASTM E119 parece seguir siendo el enfoque más seguro y confiable. La mayoría de los estacionamientos de concreto pretensado y reforzado con barras de acero tendrá una clasificación de resistencia al fuego de al menos 1 hora. Esto parece ser adecuado para prevenir colapsos incluso en incendios severos como el de Liverpool. La introducción de sistemas de rociadores en la mayoría de los garajes nuevos debería ayudar a limitar la propagación de incendios y reducir así la probabilidad de daños estructurales importantes o colapso. Se requerirán estudios y quizás pruebas para determinar si los estacionamientos de acero estructural desprotegidos serán adecuadamente protegidos de grandes incendios por sistemas automáticos de rociadores como el reciente en Noruega.

Reconocimientos

Jason Reigstad, Reigstad Engineers, St. Paul, MN, USA, se agradece por información útil sobre varios requerimientos del código para resistencia al fuego de estructuras de estacionamiento.

Referencias

1. Gardner, T.W., and Tatum, M., "How Should Parking Garage Fire Hazards be Classified?" PHCAPPROS website, June 1, 2020, www.phcappros.com/articles/11470-how-should-parking-garage-fire-hazardsbe-classified. (last accessed Nov. 3, 2021)
2. NFPA 13-2019, "Standard for the Installation of Sprinkler Systems," National Fire Protection Association, Washington, DC, 2018, 540 pp.
3. NFPA 88A-2019, "Standard for Parking Structures," National Fire Protection Association, Washington, DC, 2019, 16 pp.
4. Boehmer, H.; Klassen, M.; and Olenick, S., "Modern Vehicle Hazards in Parking Structures and Vehicle Carriers," Fire Protection Research Foundation, Quincy, MA, July 2020, 60 pp.
5. "2021 International Building Code (IBC)," International Code Council, Country Club Hills, IL, 2020, 833 pp.
6. "2021 International Fire Code (IFC)," International Code Council, Country Club Hills, IL, 2020, 692 pp.
7. PCI Fire Committee, "Why Sprinklers Should Not Be Required in Open Parking Structures," Precast/Prestressed Concrete Institute, Skokie, IL, July 2021, 7 pp., <https://doi.org/10.15554/wp-21-01>. (last accessed Nov. 3, 2021)
8. "Liverpool Echo Arena Car Park Photos Released," BBC News website, Jan. 2, 2018, www.bbc.com/news/uk-englandmerseyside-42542556. (last accessed Nov. 3, 2021)
9. "Seven Swiss Firefighters Die in Collapsed Parking Garage," Firehouse website, Nov. 27, 2004, www.firehouse.com/lodds/news/10514192/seven-swiss-firefighters-die-in-collapsed-parkinggarage. (last accessed Nov. 3, 2021)
10. Wright, M., "Parking Garage Fires—Hoping for the Best, Planning for the Worst," *International Parking Institute*, June 2012, pp. 21-23.
11. "Le feu sous la place Vendôme (The Fire at the Vendôme Plaza)," *leParisien* website, Mar. 9, 2012, www.leparisien.fr/paris-75/paris-75001/le-feu-sous-la-place-vendome-09-03-2012-1896665.php. (in French) (last accessed Nov. 3, 2021)
12. DeJesus, J., "Man Sentenced to 5 Years in Prison for Kings Plaza Parking Lot Arson," *Brooklyn Daily Eagle*, Sept. 26, 2019, www.brooklyneagle.com/articles/2019/09/26/man-sentenced-to-5-years-inprison-for-kings-plaza-parking-lot-arson. (last accessed Nov. 3, 2021)
13. Tsui, C., "Parking Garage Fire at Newark Liberty Airport Burns 17 Cars to a Crisp," *The Drive* website, Jan. 31, 2019, www.thedrive.com/news/26277/parking-garage-fire-at-newark-liberty-airport-burns-17-cars-to-a-crisp. (last accessed Nov. 3, 2021)
14. Storesund, K.; Sesseng, C.; Mikalsen, R.F.; Holmvaag, O.A.; and Steen-Hansen, A., "Evaluation of Fire in Stavanger Airport Car Park 7 January 2020," *RISE-Report 2020:91*, RISE Research Institute of Sweden, Gothenburg, Sweden, 2020, 110 pp.
15. Ronken, L., "Why Fires in Parking Garages Present a Multi-Level Risk," Gen Re website, May 2021, <https://media.genre.com/documents/pmint21-1-en.pdf>. (last accessed Nov. 3, 2021)
16. Roman, J., "Ramp Risk," NFPA Journal, Mar. 1, 2019, <https://nfpa92.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPAJournal/2019/March-April-2019/Features/Protecting-Parking-Garages>. (last accessed Nov. 3, 2021)
17. Bartholomew, D., "Steel or Plastic?" Industry Week website, Dec. 21, 2004, www.industryweek.com/none/article/21949569/steel-or-plastic. (last accessed Nov. 3, 2021)
18. Norsk Elbilforening website, www.elbil.no/om-elbil/elbilstatistikk/elbilbestand. (in Norwegian) (last accessed Nov. 3, 2021)
19. Eisenstein, P.A., "EV Battery Fires: What Consumers Should Know," *Forbes* website, Sept. 16, 2021, www.forbes.com/wheels/news/battery-car-fires. (last accessed Nov. 3, 2021).

20. Joint ACI-TMS Committee 216, "Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies (ACI/TMS 216.1-14) (Reapproved 2019)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 28 pp.

21. Kumar, P., and Kodur, V.K.R., "A Rational Approach for Fire-Resistance Evaluation of Double-Tee, Prestressed Concrete Slabs in Parking Structures," *PCI Journal*, V. 65, No. 2, Mar.-Apr. 2020, pp. 20-41.

22. Zhao, B., and Kruppa, J., "Structural Behavior of an Open Car Park under Real Fire Scenarios," *FAM Fire and Materials*, V. 28, No. 2-4, Mar.-Aug. 2004, pp. 269-280.

23. ASTM E119-20, "Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 36 pp.

24. Magnusson, S.E., and Thelandersson, S., "Temperature-Time Curves of Complete Process of Fire Development," Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, *Bulletin* No. 16, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 1970, 184 pp.

25. Gamble, W.L., "Predicting Protected Steel Member Fire Endurance Using Spread-Sheet Programs," *Fire Technology*, V. 25, No. 3, Aug. 1989, pp. 256-273.

26. ISO 834-1:1999, "Fire-resistance tests—Elements of building construction—Part 1: General Requirements," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999, 27 pp.



El Miembro Honorario del ACI, **William L. Gamble**, es Profesor Emérito en Ingeniería Civil y Ambiental por la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, Urbana, IL, EUA. Es miembro del Comité ACI 543, Pilotes de Concreto; del Comité conjunto ACI-TMS 216, Resistencia y Protección al Fuego de Estructuras; Comité Conjunto ACI-ASCE 421, Diseño de Losas de Concreto Reforzadas, y el Comité 423, Concreto Presforzado

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Guatemala

*Título: Incendios en estacionamientos.
Revisión de los efectos y sistemas de protección.*



*Traductor y Revisor Técnico:
Xiomara Sapón*

Concreto P y R

P.

Aditivos Sintéticos Incorporadores de Aire y su Contenido de Aire Requerido/Recomendado

Recientemente llevé a cabo una extensa revisión de los estándares en la industria del concreto para conocer los requisitos y recomendaciones en el contenido de aire especificado para la durabilidad en la exposición al congelamiento y descongelamiento. Desafortunadamente, mi reseña muestra que los requisitos o recomendaciones estipulados en los documentos de ACI y en las normas ASTM no reflejan el uso de aditivos sintéticos incorporadores de aire (AEAs). En su lugar estos requisitos y recomendaciones se basan en mezclas de concreto preparadas con aditivos incorporadores de aire basados en resina natural Vinsol neutralizada la cual crea un sistema de vacío de aire distinto al de los agentes sintéticos incorporadores de agua (AEAs). ¿Cómo puedo adaptar a mis especificaciones el contenido de aire requerido al usar los aditivos sintéticos incorporadores de aire para satisfacer los requisitos/recomendaciones determinadas en los documentos de ACI y ASTM?

R.

Tiene razón en su evaluación. A pesar de que los conocidos aditivos sintéticos incorporadores de aire se utilizan rutinariamente en toda la industria, el contenido de aire requerido que se estipula en los documentos de ACI actuales y pasados; (ACI 201.2R-01,¹ ACI 201.2R-16,² ACI 211.1-91(09),³ ACI 318-41,⁴ ACI 318-14,⁵ y ACI 318-19⁶), así como ASTM C94-65⁷ y ASTM C94/C94M-21a,⁸ se basan en ensayos de mezclas de concreto que se prepararon utilizando AEAs de resina natural Vinsol. Cabe señalar que el término "sintético", que se ha vuelto común en la industria para denotar a los aditivos incorporadores de aire (AEAs) que no tienen como base la resina natural Vinsol, es muy

inexacto. Como se muestra en los datos a continuación, el rendimiento de los AEAs varía en tanto su composición cambia desde una base puramente petroquímica de materiales sintéticos hasta derivados de productos naturales tales como el aceite pesado. Por lo tanto, distinguiré los AEAs, no basados en resina natural Vinsol como AEAs alternativos, para el resto de esta propuesta.

Como se indica en una nota al pie de la Tabla 6.3.3 de ACI 211.1-91(09), los valores para el contenido de aire se "basan el criterio de que se necesita un 9 por ciento del aire en la sección del mortero del concreto".

Esto es independiente del tamaño máximo nominal del agregado grueso

utilizado en la mezcla de concreto, y nuevamente, basado en concreto producido con aditivos incorporadores de aire basados en resina natural Vinsol.

Con un contenido de aire dado, los AEAs alternativos generalmente producen burbujas más pequeñas y numerosas que los AEA de resina Vinsol. Esto da como resultado superficies específicas significativamente más altas y factores de espaciado de vacíos significativamente más bajos.⁹ Por lo tanto, si las tablas a las que se hace referencia se utilizan para especificar el contenido de aire en el uso de AEAs alternativo, existe una alta probabilidad de que el contenido de aire resultante sea mayor de lo necesario para la resistencia a la congelación y deshielo.

La durabilidad del concreto con aire incluido a la congelación y deshielo se ve mayormente afectada por el factor de espaciado, que es la distancia máxima desde cualquier punto de la pasta al borde del vacío de aire más cercano. Las burbujas más pequeñas con un contenido de aire fijo dan como resultado un menor factor de espaciado. Las pruebas han demostrado que cuando se utilizan algunos AEAs alternativos para el concreto producido con un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4 a 1 pulgada (19 a 25 mm) conforme a ASTM C33,¹⁰ "un contenido de aire cercano al 3.5% se espera que produzca sistemas aceptables de vacíos de aire"⁹ (Fig. 1). Además, las mezclas preparadas con AEAs alternativos pueden tener una resistencia a la compresión más baja que las mezclas similares preparadas con AEA de resina vinsol.¹¹ He investigado casos en los que la baja resistencia asociada al uso de AEAs alternativos han dado lugar a retrasos en los calendarios de los proyectos, disputas y litigios y, en algunos casos, a la demolición y sustitución de los concretos en cuestión. Todo lo que se necesitaría para evitar tales problemas innecesarios sería añadir una nota al pie de las tablas de contenido de aire existentes. Aquí hay una sugerencia:

"Cuando se utiliza un aditivo incorporador de aire capaz de producir sistemas de vacíos formados por burbujas pequeñas y poco espaciadas, una reducción de XX por ciento con

respecto a los valores presentados previamente es permisible.

Debe demostrarse a través de pruebas calificadas para el respectivo concreto utilizado en el trabajo, que el AEA es capaz de producir un factor

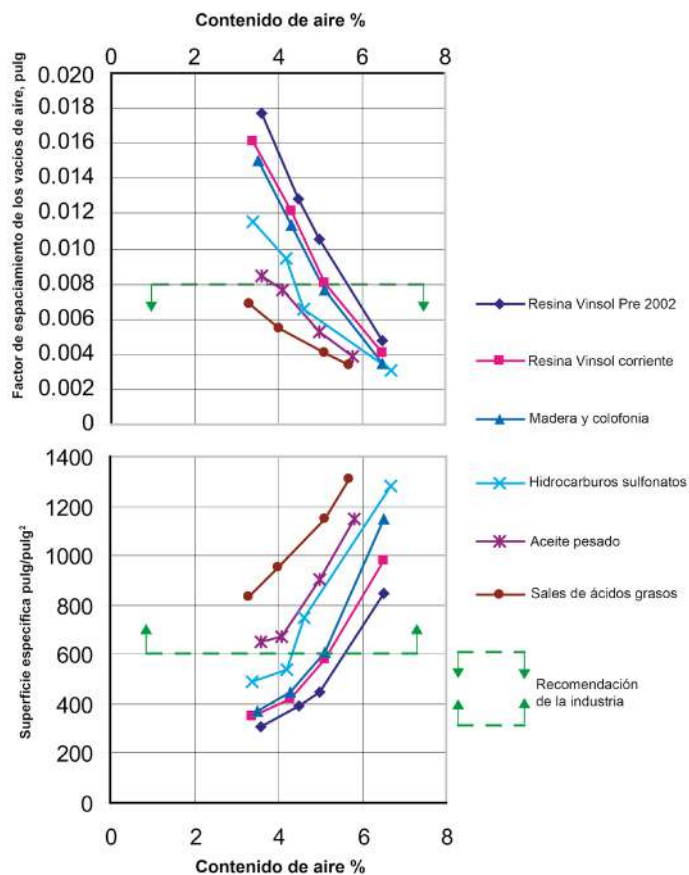


Fig.1: Efectos de los productos químicos que incorporan aire en una superficie específica y factor de espaciamiento de vacío de aire para hormigón producido con 3/4 a 1 pulgada (19 a 25 mm) de tamaño máximo nominal agregado grueso conforme a ASTM C33 (de la referencia 9)

de espaciamiento más bajo y proporciona igual o mayor resistencia al congelamiento y deshielo que un aditivo incorporador de aire a base de resina Vinsol".

Debido a que, como se indicó anteriormente, cuando se utilizan AEA alternativos, se pueden generar sistemas de vacío de aire efectivos con contenidos de aire inferiores a los requeridos/recomendados, "los límites superior e inferior del contenido de aire podrían reducirse en al menos un 1 por ciento sin poner en peligro la durabilidad".⁹ Según mis experiencias, se podría usar una reducción de 1.5 o 2.0% para el valor "XX" en la nota al pie sugerida. Obviamente, las pruebas de

calificación deben realizarse utilizando "concreto real" en lugar de "concreto de laboratorio". Se puede producir un lote representativo en una instalación de producción de concreto y entregarlo al laboratorio para la fabricación y prueba de la muestra. Para las pruebas de calificación, el factor de espaciado se puede determinar usando ASTM C457 / C457M.¹² Alternativamente, se podría usar ASTM C666 / C666M, Procedimiento A,¹³; sin embargo, esa prueba lleva mucho tiempo.

Para concluir, los contenidos de aire requeridos / recomendados actualmente proporcionados en los documentos de la industria se basan en investigación desactualizada y son problemáticos para la industria. Por lo tanto, existe una gran necesidad de reconocer las propiedades únicas de las AEAs alternativas y actualizar los estándares industriales existentes tan pronto como sea prácticamente posible.

Referencias

1. ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001, 41 pp.
2. ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 84 pp.
3. ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) (Reapproved 2009)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 38 pp.
4. ACI Committee 318, "Building Regulations for Reinforced Concrete (ACI 318-41)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1941, 63 pp.
5. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 519 pp.
6. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.

7. ASTM C94-65, "Standard Specifications for Ready-Mixed Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 1965, 9 pp.

8. ASTM C94/C94M-21a, "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 15 pp.

9. Jana, D.; Erlin, B.; and Pistilli, M.F., "A Closer Look at Entrained Air in Concrete," Concrete International, V. 27, No. 7, July 2006, pp. 31-34.

10. ASTM C33-03, "Standard Specification for Concrete Aggregates," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, 11 pp.

11. Nasvik, J., and Pistilli, M., "Are We Placing Too Much Air in Our Concrete?" Concrete Construction, V. 49, No. 2, Feb. 2004, pp. 51-55.

12. ASTM C457/C457M-16, "Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, 18 pp.

13. ASTM C666/C666M-15, "Standard Specification for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, 7 pp.

Agradecimiento a Michael A. Caldarone, Civil/Structural Forensic and Concrete Materials Engineer, Philadelphia, PA, USA, por su aporte a esta propuesta.

Agradecimiento a Lawrence R. Roberts, Roberts Consulting Group, Acton, MA, USA; Kevin A. MacDonald, Beton Consulting Engineers LLC, Mendota Heights, MN, USA; y Emmanuel K. Attiogbe, CEM Innovations, LLC, Discovery Bay, CA, USA, por revisar esta propuesta.

La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo
Costa Rica
Concreto P y R



*Traductor: Meribeth
Jiménez Arias*



*Revisor Técnico:
Luis Carlos Meseguer
Quesada*



Capítulo Estudiantil de Costa Rica

¡LOS CAPÍTILOS DEL ACI y TU hacen una PAREJA PERFECTA!

Al acercarte y formar parte de tu Capítulo local de ACI, obtendrás entre otros beneficios el acceso a mayor y mejor conocimiento técnico, formarás parte de una red técnica y de una gran comunidad relacionada con la industria del concreto, no solo en tu localidad, sino también con alcance internacional. El Instituto Americano del Concreto, (ACI por sus siglas en inglés) tiene más de 300 Capítulos de profesionales, así como de estudiantes, relacionados con el concreto y esparcidos en todo el mundo.



Para conocer la lista completa de los Capítulos del ACI a nivel mundial consulta: www.concrete.org/Chapters

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

Al terminar el año queremos hacer un reconocimiento y agradecimiento a todos los que de una u otra manera han venido colaborando con nuestra revista Concreto Latinoamérica. Apreciamos el gran trabajo que realizan, ya que, sin él no hubiera sido posible lograr nuestros objetivos.

Muchas gracias y hacemos votos para que las Fiestas Navideñas estén llenas de júbilo y armonía, y que el 2022 sea un año lleno de salud, bienestar y desarrollo en todos los ámbitos de la vida.

A nuestros lectores gracias por su interés y esperamos haber cumplido con sus expectativas para el año que termina, y redoblabemos nuestros esfuerzos para seguir adelante en el 2022.

Brindamos y hacemos votos para que tengamos una muy Feliz Navidad y un año 2022 próspero y lleno de logros y triunfos para todos.

ATENTAMENTE
COMITÉ EDITORIAL CONCRETO
LATINOAMERICA.





CONCRETO
LATINOAMÉRICA