

CONCRETO

LATINOAMÉRICA



VOLUMEN II | NÚMERO 8 | AGOSTO 2021

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

Calidad del hormigón decorativo cerca de su superficie.

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: Ecuador Centro y Sur

12

Barras de FRP: desde la certificación hasta el uso en el campo.

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: Costa Rica

26

Barreras de vapor usadas en fisuras capilares para reducir la severidad de la exposición a los sulfatos en el concreto

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: México Noreste

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

Soporte Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

Coordinadora de Traducciones:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Comunicación y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a:

Correo: concretolatam@gmail.com

Tel: +52 81 2146 4907

"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

MDG. Rosa Otilia Armendáriz Solís
LDI. Luis Yerel Romo Valdez
LDI. Monserrat Garza Treviño

Auxiliar de Diseño:

Alejandro Martínez Sánchez

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 Agosto 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
Mexico Noroeste
México Centro y Sur
México Sureste
Perú
Puerto Rico

Ing. Raúl Bertero
Ing. Nancy Torres Castellanos
Ing. Fabían Lamus Báez
Ing. Minor Murillo
Ing. Santiago Vélez Guayasamín
Ing. Luis Alvarez Valencia
Ing. Xiomara Sapón
Ing. Alejandro M. Narro
Ing. Alejandra Valencia
Ing. Alma Reyes Zamorano
Ing. Joseph Mandujano
Ing. Luciano López Vinatea
Ing. Anabel N. Merejildo



"Torre del Hotel "W" en Washington, DC. USA. Segundo lugar en la Categoría de Edificios de Gran Altura en los Reconocimientos a la Excelencia en Construcción con Concreto 2020 del ACI. El edificio cuenta con 41 niveles más 6 sótanos para estacionamiento subterráneo de 2,200 cajones. Nominado a la competencia por el Capítulo Washington DC USA. Propietario: Kemper Development Co.



¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo
local ACI

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



American Concrete Institute
Always advancing

Calidad del hormigón decorativo cerca de su superficie.

Estudios preliminares del efecto de tratamientos de acabado y post-acabado sobre la resistencia a la abrasión superficial y la absorción de agua.

Por Thomas L. Attard, Feraidon F. Ataie y David Hoyt

El Comité ACI 308 Curado de concreto y el Comité conjunto ACI ASCC 310 Concreto Decorativo, integraron un equipo conjunto de trabajo 308-TG2, 310-308 Curado de Concreto Decorativo, para investigar los tratamientos posteriores a los colados en concretos decorativos. El glosario de terminología de concreto del ACI* define curado como “las acciones tomadas para mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla hecha con materiales cementicios fresca y recientemente colada, para permitir que ocurran la hidratación del cemento y (si es aplicable) la reacción puzolánica de los materiales y lograr que las propiedades potenciales de la mezcla al endurecer se desarrollen plenamente.” Los métodos de curado usualmente incluyen la retención del agua de mezclado, ya sea manteniendo una elevada humedad en la superficie de concreto con agua adicional mediante inundación, generando neblina de agua, o mediante aplicación de materiales saturados de humedad para cubrir el concreto, o mediante la colocación de barreras físicas como hojas de plástico o membranas líquidas que forman materiales de curado que evitan la pérdida de agua del concreto. Sin embargo, la aplicación de agua en la superficie del concreto puede aportar sales a la misma, generando manchas indeseables y difíciles de remover; las

cubiertas de hoja plástica puede resultar en variaciones de la hidratación en algunas áreas y por ello cambios de color del concreto; y finalmente, el uso de compuestos para generar membranas de curado pueden dejar en la superficie residuos de materiales que inhiben la acción de otros materiales usados para el efecto decorativo del concreto ocasionando manchas y otros resultados no deseables. Como un primer paso para lograr una mejor comprensión de ésta y otras situaciones con los concretos decorativos, los miembros del grupo de trabajo 308-TG2 recabaron fondos para una investigación que examinara la resistencia a la abrasión y la absorción del concreto en la superficies tratadas con endurecedores superficiales.

David Hoyt. Presidente del Grupo de Trabajo 308-TG2. *ACI Concrete Terminology (ACI CT-20), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 79 pp.

La construcción decorativa con hormigón es uno de los segmentos de más rápido crecimiento de la industria del hormigón que comprende hasta el 30% del hormigón instalado en algunas regiones metropolitanas.¹ Especialmente para proyectos de losas al aire libre, el contratista de hormigón debe equilibrar factores como la relación agua - cemento (a/c), contenido de aire, métodos de acabado y sistema de curado, si los hay, para cumplir con los requisitos estéticos y de durabilidad en la zona crítica dentro de 1/2 pulg. (13 mm) de la superficie de concreto².

Como participantes en una investigación realizada conjuntamente con PowerPolymer, LLC, Wimberley, TX, EE.UU.; Multiquip Inc., Cypress, CA, EE.UU.; y la Universidad Estatal de California, Chico, Chico, CA, recientemente completamos un estudio preliminar de los efectos de tratamiento de acabado y de superficie sobre la durabilidad de hormigón decorativo. Si bien se pueden utilizar muchos parámetros para evaluar la durabilidad, elegimos utilizar pruebas para absorción de agua y resistencia a la abrasión en nuestras evaluaciones.

Trabajos Anteriores

Pruebas de absorción superficial se han utilizado para evaluar eficacia de curado del hormigón. En un ejemplo, se demostró una fuerte correlación entre la absorción superficial inicial y la profundidad de abrasión determinada usando una máquina de prueba con una rueda rodante que erosionó la superficie de las losas de hormigón mediante una acción combinada de rodadura, deslizamiento e impacto ligero³. ASTM C944/C944M⁴ proporciona un método de prueba conveniente para evaluar la resistencia a la abrasión. Según este estándar, una superficie es sometida a seis ciclos de abrasión utilizando un cortador rotatorio.

Amini et al.⁵ determinó que los dos primeros ciclos de abrasión fueron suficientes para estimar la dureza de la superficie y además se encontró que el curado húmedo prolongado resultó en una mayor dureza de la superficie que la aplicación de un compuesto de curado. Shen et al.⁶ examinó las propiedades y microestructuras del agregado expuesto del hormigón y encontró un aumento sustancial a la resistencia a la compresión y resistencia a la abrasión asociada con la aplicación de un agente de curado.

Materiales y métodos de prueba

Se fundieron tres losas de hormigón en las instalaciones de Multiquip en Boise, ID, EE.UU. Utilizando un solo lote de hormigón de un camión de concreto premezclado.

El encofrado se construyó utilizando madera con medidas establecidas y se cubrió 10 milésimas (0.25mm) con retardador de vapor de polietileno. Las dimensiones de la losa 1 y losa 2 fueron de 9 x 14 pies (2.7 x 4.3m), y losa 3 tuvo las siguientes dimensiones 7 x 7 pies (2.1 x 2.1m). La mezcla de hormigón tenía una relación a/c de 0.45 y estuvo dosificado con un aditivo reductor de agua para lograr un 5 pulg (125mm) de asentamiento. Los cilindros de prueba reportaron un promedio de su resistencia a la compresión de 3500 psi (24.1 MPa).

Las losas se colocaron al aire libre. Las losas de prueba se dividieron en varias secciones, y se utilizaron seis tratamientos diferentes después de la finalización de las operaciones de acabado. Durante la colocación y terminando, la condición climática fue de soleado a nublado, con temperatura del aire que varía de 50 a 60 °F (10 a 16°C) y Humedad relativa (HR) que oscila entre el 45 y el 68%. Después las losas fueron manualmente cortadas usando 2 x 4 (dimensiones madera de 1.5 x 3.5 pulgadas [38 x 89 mm]), las losas fueron terminadas usando los siguientes procedimientos:

- Losa 1 representa un acabado de llana dura (HT) adecuado para pulido posterior. Se terminó usando un Multiquip Máquina de acabado con operador a bordo HTX de (2.4 m) 8 pies (Fig.1)

La superficie se flotó con una sartén de acero y luego se frotó con cuchillas de acero;



Figura 1: La losa 1 fue terminada usando un equipo para acabado superficial con operador montado encima, marca Multiquip HTX de 8 pies, (2.4 m). Esta losa fue usada como origen de los especímenes HT.”



Figura 2: La losa 2 fue manualmente flotada y alisada, se esparció un endurecedor en polvo sobre la superficie. Esta losa fue usada como origen de los especímenes SF

- Losa 2 representa un acabado estampado (SF). Fue manualmente flotado y alisado, se esparció un endurecedor sobre la superficie (Fig. 2), y se alisó manualmente; y
- Losa 3 representa un acabado con agregado expuesto (EA). Eso fue flotado manualmente y alisado manualmente.

Los tratamientos superficiales comenzaron después de que todas las losas fueron colocadas y terminadas.

La losa 1 se dividió en cuatro secciones de (0.9 x 2.7m) 3 x 9 pies:

- La sección HTC fue curada al aire y se estableció como control
- La sección HTW se roció con agua y luego se cubrió con láminas de polietileno;
- La sección HTLi se trató con un densificador de silicato de litio rociado a una velocidad de 500 ft²/galón (12 m²/ L), y no se tomaron más acciones; y
- La sección HTNa se trató con un densificador de silicato de sodio rociado a una velocidad de 200 ft²/galón (5 m²/ L), cepillado por 15 minutos con una escoba de cerdas suaves, ligeramente empañada con agua, cepillado durante 15 minutos más, enjuagado con agua dulce y exprimido hasta secar.

La losa 2 se dividió en dos secciones de 3 x 9 pies y una de 6 x 9 pies (1.8 x 2.7 m) sección:

- La sección SFC se dejó como terminada, como control; y
- La sección SFW se roció con agua y luego se cubrió con una lámina de polietileno.

La losa 3 se dividió en dos secciones de 3 x 7 pies (0.9 x 2.1 m) que fueron rociadas con un retardador de fraguado (láminas de polietileno fue pegado con cinta adhesiva entre las secciones para eliminar la cruz contaminación). A la mañana siguiente, se roció la losa con agua y la superficie superior se cepilló para exponer el agregado subyacente:

- La sección EAC se dejó como completada después de la aparición de agregados como control; y
- La sección EALi se trató con un densificador de silicato de litio rociado a una velocidad de 200 ft² / galón no se realizaron acciones adicionales tomado.

Después de 28 días, las losas se cortaron con sierra en (305 x 305cm) 12 x 12 pulgadas que se utilizaron para resistencia a la abrasión y pruebas de absorción de agua.

La Tabla 1 muestra los parámetros de la prueba.



Tabla 1:**Grupos de prueba determinados en base a tipo de acabado y tratamiento superficial**

Tratamiento de Superficies	Tipo de acabado	
	Maquina con paleta y hoja de acero	Manualmente nivelado y alisado
Control (sin curado)	HTC	SFC, EAC
Curado Humedo	HTW	SFW
Silicato de litio 500 ft ² /gal. (12 m ² /L)	HTLi	-
Silicato de litio 200 ft ² /gal. (5 m ² /L)	-	EALi
Silicato de sodio 200 ft ² /gal. (5 m ² /L)	HTNa	-

Configuración de prueba de absorción de agua

Método de prueba RILEM 11.4⁷ y una versión modificada de ASTM C1585⁸ se utilizaron para medir la absorción de agua de la superficie de hormigón. Las muestras se secaron a 50 ± 5% de HR a 70 ± 5 °F (21 ± 3°C) durante 2 semanas antes de la absorción de agua, las pruebas se realizaron utilizando tubos RILEM. Un espécimen de cada categoría de curado fue marcado en tres localizaciones. La absorción de agua se registró 1, 3 y 6 horas después del inicio de la prueba. Para las pruebas ASTM C1585 modificadas, dos núcleos cilíndricos de diámetro de (102 mm) 4 pulg. se obtuvieron a partir de una muestra de (30 x 30 cm) para cada método de curado y secado a 50 ± 5% HR y 70 ± 5°F por 2 semanas. Finalmente, las muestras se pusieron en contacto con agua, y la capacidad de absorción de agua se midió después 1, 3, 6, 24, 48 y 72 horas.

Configuración de la prueba de abrasión superficial

Se utilizaron dos métodos de prueba de abrasión superficial: ASTM C944/C944M y pruebas con el medidor de abrasión Chaplin. De acuerdo con ASTM C944/C944M se seleccionó una carga doble (44 lbf [196 N]) y un tiempo doble de (4 minutos). Cada muestra se probó durante seis rondas (ciclos). Después de cada ciclo, se registró la pérdida de masa. Una muestra de (30 x 30 cm) se seleccionó para cada método de curado y se cortó en cuatro especímenes de 6 x 6 pulg, tres de los cuales fueron probados. Las muestras fueron debidamente aseguradas para una colocación uniforme antes de pruebas. La Figura 3 muestra la configuración de prueba ASTM C944/C944M y la Figura 4 muestra la configuración de un Probador de Abrasión Chaplin y un espécimen después de la prueba. En una ronda de la prueba, la maquina Chaplin funciona a 28,000 revoluciones durante 15 minutos en cada superficie de prueba.

Cambios de elevación relativa en los patrones de desgaste se midieron con una precisión de 0.0004 pulg. (0.01 mm) en ubicaciones consistentes; los recuentos de revoluciones fueron grabado digitalmente, y las profundidades de desgaste se midieron utilizando un indicador electrónico Westward 2YN. Un intermedio amortiguado se utilizó cimentación para minimizar las vibraciones del hormigón (transmisibilidad). Las profundidades de elevación se midieron tres veces por ronda de prueba: antes y después de la Ronda 1 y después Ronda 2. Los gradientes de desgaste por abrasión se midieron en ocho posiciones circunferenciales por muestra de prueba.

Resultados y discusión**Absorción de agua**

La Tabla 2 muestra los resultados de absorción de agua obtenidos usando los métodos de prueba RILEM y ASTM C1585 modificada. La absorción de agua para muestras EAC y EALi utilizando el método de RILEM no fue medido debido a la rugosidad de la superficie;

Los resultados indican que la absorción de agua fue menor en las muestras de HT en relación con las muestras de SF. sin embargo, los datos de la prueba RILEM no revelaron diferencias en la capacidad de absorción como función del método de curado de las probetas HT; la absorción después de 6 horas fue de sólo 0.10 g (0.0035 oz) para todos. Sin embargo, el examen de los datos de la prueba ASTM C1585 revela que las muestras HTW tenían menor absorción, seguido de muestras de HTNa. Además, las muestras de HTC tenían similar absorción a las muestras de HTNa y menor absorción que las muestras de HTLi. Entre las muestras de SF, SFC absorbió la menor cantidad de agua. Estos resultados indican que:

- El método de acabado puede tener un mayor impacto en absorción que los tratamientos posteriores; y
- Puede ser necesario un análisis más profundo del subsuelo para determinar la profundidad debajo en la superficie en la que el curado ya no es convencional. Aunque los datos de la prueba ASTM C1585 son limitados para la EA muestras, las muestras tratadas con un sellador de silicato de litio exhibieron menor absorción que las muestras de control.



Figura 3: Preparación para la prueba de abrasión superficial ASTM C944/C944M



a)



b)

Figura 4: Ensayo con la máquina de abrasión de Chaplin.
a) Preparación
b) Especimen EALi después de 2 ciclos de ensayo.”

Tabla 2:
Resultados de absorción de agua

Identificación de la muestra	Absorción de Agua, g		
	Prueba RILEM	ASTM C1585	
		6 h	6 h
HTC	0.10	1.1	3.5
HTW	0.10	0.9	2.7
HTLi	0.10	1.2	4.6
HTNa	0.10	0.9	3.5
SFC	0.30	3.4	8.6
SFW	0.65	4.5	9.6
EAC	-	5.9	15.7
EALi	-	3.8	10.1

1 g = 0.035 oz

Tabla 3:
Pérdida promedio de masa para la prueba ASTM C944 / C944M

Ciclo	HTC	HTW	HTLi	HTNa	SFC	SFW
1	0.60	1.73	0.87	0.63	2.03	1.60
2	0.93	1.20	1.30	0.73	2.00	2.30
3	0.83	0.93	1.40	0.80	2.07	2.20
4	0.73	0.83	0.97	1.10	1.50	1.90
5	0.70	0.93	0.80	1.00	1.53	1.80
6	0.63	0.80	0.77	0.77	1.33	1.80
Después de 2 ciclos	1.53	2.93	2.17	1.37	4.03	3.90
Después de 6 ciclos	4.43	6.43	6.10	5.03	11.47	11.60

1 g = 0.035 oz

Resistencia a la abrasión según ASTM C944 / C944M

Los resultados de la prueba ASTM C944/C944M se enumeran en la Tabla 3, mostrando la pérdida de masa promedio de tres pruebas. Los resultados indican que las muestras de HT exhibieron una mayor abrasión superficial resistencia que las muestras SF. Después del primer ciclo, HTC muestras exhibieron la menor pérdida de masa, mientras que HTNa muestras mostraron la menor pérdida de masa después de dos ciclos (en acuerdo con Amini et al.⁴), seguido de muestras de HTC. Las muestras de HT exhibieron una mayor resistencia superficial a la abrasión que las muestras SF. Las muestras de SFW y SFC exhibieron casi la misma pérdida de masa a lo largo de la prueba. En general, las pruebas ASTM C944/C944M no revelaron un aumento de la resistencia a la abrasión debido al curado o al tratamiento de la superficie después del acabado. Esto puede ser el resultado de: (1) profundidad de abrasión insuficiente después de seis ciclos, donde (5 mm) 0.2 pulg, es la zona de superficie sugerida con la profundidad⁶, suficiente para demostrar los beneficios esperados del curado húmedo sobre la abrasión superficial y para evaluar diferentes métodos de tratamiento; o (2) la inapropiada de las pruebas ASTM C944/C944M para determinar la influencia de los tratamientos de post-acabado en la dureza de la superficie de hormigón.

Tabla 4:
Resultados de la prueba Chaplin de abrasión.

Muestra	Profundidad media de desgaste, mm		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
HTC	0.058	0.028	0.043
HTW	0.063	0.033	0.048
HTLi	0.023	0.035	0.029
HTNa	0.035	0.028	0.031
SFC	0.150	0.028	0.089
SFW	0.218	0.025	0.121
EAC	0.123	0.120	0.122
EALi	0.137	0.013	0.075

Nota: 1 mm = 0.04 pulg.

Resistencia a la abrasión utilizando el ensayo de abrasión de Chaplin

Se midió la resistencia a la abrasión para 34 probetas de la losa 2 usando el cambio de elevación promedio en las ocho posiciones de cada muestra de prueba. Resultados de la prueba obtenidos con la prueba de abrasión Chaplin (Tabla 4) indicó que HTLi los especímenes fueron los más resistentes a la abrasión. En general, durante Ciclo 1, las muestras de HTLi proporcionaron una mayor área de contacto (acabado liso) con una profundidad de desgaste de (0,023 mm) 0,0009 pulg. Aunque las muestras de HTLi mostraron un mayor desgaste en el ciclo 2 que otras muestras HT, la cantidad de desgaste fue todavía pequeña. Por el contrario, para otras muestras HT, la resistencia a la abrasión mejoró durante el ciclo 2. La resistencia a la abrasión para las muestras SF también mejoraron durante el ciclo 2.

Durante las pruebas del ciclo 1, las muestras HT mostraron mejores resistencias a la abrasión que las muestras SF o EA. Durante el ciclo 2, las muestras HT y SF tenían una resistencia a la abrasión similar.

Si bien las muestras EALi se comportaron de manera similar a las muestras SF, las muestras de EAC exhibieron poca resistencia a la abrasión en ambos Ciclo 1 y Ciclo 2. Basado en los resultados de la prueba de abrasión para los especímenes de EA, la profundidad alcanzada por los selladores reactivos en las regiones de mortero alrededor de partículas de agregado expuestas merecen investigación exhaustiva. Curiosamente las muestras HTW y SFW se desempeñaron peor que las muestras HTC y SFC respectivamente.

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de los tratamientos de post-acabado sobre la absorción de agua y la resistencia a la abrasión de superficies decorativas de hormigón.

La absorción de agua fue medida utilizando el método de prueba RILEM 11.4 y el Método de prueba ASTM C1585. Se evaluó la resistencia a la abrasión basado en seis ciclos de pruebas para medir la pérdida de masa de acuerdo con ASTM C944/C994M y dos ciclos de pruebas con el medidor de abrasión Chaplin.

Las pruebas ASTM C944/C994M no fueron concluyentes, con grandes variaciones en la pérdida de masa. Los ensayos realizados con el método de abrasión de Chaplin Probador de abrasión, así como las pruebas de absorción por modificación ASTM C1585 indica que un sellador a base de silicato de litio puede ser buen candidato para mayor investigación en aplicaciones con agregados expuestos. Además no está claro si el agua de curado proporcionó algún beneficio a las resistencias de absorción o abrasión.

Agradecimientos

Esta investigación fue impulsada por un grupo de trabajo conjunto formado por ACI Comités 308 y 310. También contó con el apoyo parcial de Curecrete Distribución, Springville, UT, EE.UU., Facilitado por David Hoyt. Los autores desean agradecer a Phil Hammond, propietario de Building Solutions, Chandler, AZ, USA, Pat Harrison, vicepresidente de servicios estructurales, Inc., Overland Park, KS, EE.UU., Tanner Olsen, estudiante de pregrado asistente, Eastern Arizona College, Thatcher, AZ; Ben Wiese, Verde Umbrella Architectural Concrete Systems, Rochester, NY, USA; Multiquip Inc.; Asociación de Cemento Portland; Sociedad Americana de Contratistas de Hormigón; Centro Nacional de Tecnología de Pavimentos de Concreto; Compañía de Cemento Blanco Lehigh; Capítulo de ACI San Diego; y CEMEX por su inestimable apoyo al programa de pruebas.



Thomas L. Attard, miembro de ACI, es Presidente y CEO de PowerPolymer, LLC, Wimberley, TX, EE.UU. Su experiencia reside en el desarrollo de soluciones químicas utilizando materiales de matriz polimérica, multifuncionales y de auto curación, que mejoran la resiliencia. Attard es autor de 81 artículos, tiene dos patentes (modificación química de superficies), ha presidido nueve conferencias internacionales y se ha desempeñado como editor de tres revistas. Es miembro de los subcomités ACI 440-F, FRP-Repair-Strengthening y 440-K, FRP-Material Characteristics. Su investigación está financiada por el Departamento de Energía, el Departamento de Seguridad Nacional, la Academia Nacional de Ciencias, la Administración Federal de Carreteras y el Departamento de Transporte. Recibió su doctorado en ingeniería estructural y mecánica de la Universidad Estatal de Arizona.



Feraidon F. Ataie, miembro del ACI, es profesor asociado en el programa de Gestión de la Industria del concreto (CIM) en la Universidad Estatal de California, Chico, California, CA, EE.UU. Sus intereses de investigación incluyen la sustentabilidad y durabilidad del concreto así como nuevos materiales cementicios. Ataie es miembro de los Comités 123 de ACI, Investigación y Desarrollo; 211, Diseño de mezclas de Concreto; y 236, Ciencia de los materiales del Concreto. Recibió su doctorado en ingeniería civil de la Universidad Estatal de Kansas, Manhattan, KS, EE.UU.



David Hoyt, miembro del ACI, es Vicepresidente de Servicio Técnico de Curecrete Distribution, Inc., Springville, UT, EE.UU. Es Presidente del Grupo de Trabajo Conjunto 308-TG2 del ACI y miembro de los Comités 302 del ACI Construcción de losas y pisos de concreto y 308, Curado de Concreto; y Comité Conjunto 310 de ACI-ASCC, Concreto Decorativo. Recibió su licenciatura en ingeniería en tecnología electrónica de la Universidad de Grantham, Lenexa, KS, EE.UU.

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

Título: Calidad del hormigón decorativo cerca de su superficie.



*Traductor y Revisor Técnico:
Ing. Santiago Vélez Guayasamin*

Barras de FRP: desde la certificación hasta el uso en el campo

Un resumen de los documentos clave necesarios para la implementación de barras de refuerzo de FRP

por Antonio Nanni

Sin duda, el interés en las barras de polímero reforzado con fibra (FRP) para refuerzo del concreto está creciendo. Sin embargo, como usualmente ocurre con una nueva tecnología introducida en la industria de la construcción, este interés no siempre se ajusta a la disponibilidad de normas y especificaciones basadas en el consenso, bien establecidas y reconocidas. Los propietarios, ingenieros y contratistas no necesariamente saben qué herramientas están a su disposición para ordenar, especificar, diseñar, adquirir, construir e inspeccionar estructuras de concreto reforzado con FRP de manera segura. De manera similar, es posible que los fabricantes de barras de FRP no sepan qué se debe hacer para que sus productos estén calificados (certificados) y finalmente aceptados para su uso en proyectos de construcción.

El propósito de este artículo es presentar especificaciones relacionadas con FRP, así como el proceso desde la certificación hasta la implementación en el campo del refuerzo de FRP en estructuras de concreto reforzado (RC por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos. El artículo se centra en los documentos actualmente disponibles y adoptados por varios departamentos de transporte (DOT por sus siglas en inglés) y funcionarios de la construcción.

Cumplimiento de la especificación ASTM

ASTM D7957/D7957M¹ es una especificación estándar de material para barras de FRP de éster vinílico de vidrio sólidas y redondas. Proporciona los límites físicos y mecánicos y prescribe tanto las pruebas de caracterización de calificación como las pruebas de control de calidad que deben realizarse; no se ocupa del diseño. Actualmente esta especificación está referenciada en la guía AASHTO GFRP-RC. 2018² e ICC-ES AC454³. Aunque la guía de diseño del ACI 440.1R⁴ no hace referencia a esta especificación, el nuevo código de construcción para concreto reforzado con PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio), actualmente en desarrollo por el Comité 440 de ACI, Refuerzo de polímero reforzado con fibra; ciertamente lo hará.

También existen otros métodos de ensayo de ASTM relacionados con el uso de barras de FRP que se mencionan en la especificación de material ASTM D7957/D7957M. Como estos métodos de prueba han evolucionado con el tiempo, se ha descubierto que existe la necesidad de definir algunas propiedades básicas del material en documentos como el método de prueba de tracción ASTM D7205/D7205M⁵.

Además, se han descubierto algunas inconsistencias en la terminología y las definiciones (incluidas, por ejemplo, las tolerancias del diámetro de la barra). Si bien, muchos de estos conflictos se han resuelto, algunos continúan generando confusión. La siguiente sección analiza las implicaciones de ASTM D7957/D7857M para la certificación, el diseño, el suministro y el aseguramiento de la calidad; y demuestra estos conflictos a través de una discusión de dos fabricantes de barras hipotéticos. Solo se utilizan unidades del sistema SI en la discusión de los productos fabricados por estos fabricantes.

Implicaciones

Para comprender y simplificar las implicaciones de ASTM D7957/D7957M, aquí solo se analizan las propiedades geométricas y de tracción; por simplicidad y porque estas afectan directamente el diseño y la adquisición de las barras. Considere a dos fabricantes, identificados como Pultruder A y Pultruder B, que están fabricando barras de GFRP M16 (No. 5) que cumplen con los requisitos de materiales enumerados en la Tabla 2 y 3 de ASTM D7957/D7957M (Fig. 1). Mientras que la Tabla 2 (Fig. 1 (a)) muestra los umbrales mínimos en términos de propiedades con los métodos de ensayo respectivos, la Tabla 3 (Fig. 1 (b)) proporciona los rangos del área de la sección transversal y la fuerza de tracción mínima garantizada.

A) Tabla 2:
Límite de propiedades y métodos de prueba para Control de Calidad y Certificación ^{A,B}

Propiedad	Límite	Método de Prueba
Contenido de masa de fibra	≥70%	ASTM D2584 o ASTM D3171
Temperatura de transición del vidrio	Temperatura en el punto medio ≥ 100°C [212°F]	ASTM E1356
Área transversal medida	≥95%	ASTM E2160
Fuerza de tensión última	Tabla 3	ASTM D7205/D7205M, sub-sección 11.2.5.1
Módulo de Elasticidad en tensión	Tabla 3	ASTM D7205/D7205M
Deformación unitaria última en tensión	≥ 44,800 MPa [6,500,000 psi]	ASTM D7205/D7205M
Absorción de humedad en 2h	≥ 1.1%	ASTM D7205/D7205M
Humo de sílice	≤ 0.25 % en 24h a 50°C [122 °F]	ASTM D570, sub-sección 7.4

^A Para la determinación de cada uno de los límites de las propiedades, se deberán obtener cinco muestras aleatoriamente de cada lote de producción. Cada muestra individual deberá satisfacer los límites de la propiedad.

^B Para barras dobladas, los ensayos se efectúan en la porción recta de las barras.

B) Tabla 3:
Requerimientos para las propiedades mecánicas y geométricas.

Designación de barra No.	Dimensiones nominales		Límites para áreas transversales medidas mm ² [in ²]		Fuerza de tensión última mínima garantizada kN [kip]
	Diámetro mm [in.]	Área transversal mm ² [in ²]	Mínimo	Máximo	
M6 [2]	6.3 [0.250]	32 [0.049]	30 [0.046]	55 [0.085]	27 [6.1]
M10 [3]	9.5 [0.375]	71 [0.11]	67 [0.104]	104 [0.161]	59 [13.2]
M13 [4]	12.7 [0.500]	129 [0.20]	119 [0.185]	169 [0.263]	96 [21.6]
M16 [5]	15.9 [0.625]	199 [0.31]	186 [0.288]	251 [0.388]	130 [29.1]
M19 [6]	19.1 [0.750]	284 [0.44]	268 [0.415]	347 [0.539]	182 [40.9]
M22 [7]	22.2 [0.875]	387 [0.60]	365 [0.565]	460 [0.713]	241 [54.1]
M25 [8]	25.4 [1.000]	510 [0.79]	476 [0.738]	589 [0.913]	297 [66.8]
M29 [9]	28.7 [1.128]	645 [1.00]	603 [0.934]	733 [1.137]	365 [82.0]
M32 [10]	32.3 [1.270]	819 [1.27]	744 [1.154]	894 [1.385]	437 [98.2]

Fig. 1: Requisitos de ASTM D7957/D7957M1 para barras de PRFV: (a) límites de propiedad y métodos de prueba correspondientes para el control de calidad y la certificación; y (b) propiedades geométricas y mecánicas (copiadas de la Referencia 1)

Referente a la figura 1 (b) y la figura 2, se hace una observación importante con respecto a los límites del área. Para acomodar varias formas de tratamientos de superficie para mejorar la adherencia de las barras de FRP, ASTM D7957/D7957M introduce el concepto de usar el método de Arquímedes (por gravedad específica con tolerancias) para determinar la "medición del área de sección transversal" de una barra. Aunque se debe reportar este valor, las propiedades geométricas y mecánicas se determinan usando las dimensiones nominales listadas en la Tabla 3 (Fig. 1 (b)) de ASTM D7957/D7957M. El límite inferior para las áreas de las barras en función de las áreas nominales varía entre el 6% y el 9%, mientras que el exceso varía entre el 72% y el 9% al aumentar el tamaño de la barra (Fig. 2). Claramente, las deformaciones de la superficie necesarias para la unión, como el revestimiento de arena, no se pueden escalar y tienen un gran impacto en las barras de menor tamaño. Además, los valores de la fuerza garantizada informados en la Tabla 3 son el promedio de la muestra menos tres desviaciones estándar, mientras que las áreas medidas y el módulo elástico (con el mínimo enumerado en la Tabla 2) se calculan como el promedio de la muestra. La fuerza garantizada es una función del área de la sección transversal de la barra y, si la resistencia garantizada se calcula con base en el área nominal o medida, su valor disminuye con el aumento del tamaño de la barra debido a un fenómeno de compuestos conocido llamado rezago de cortante⁶. A la inversa, se sabe que el módulo elástico de tracción permanece constante independientemente del tamaño de la barra.

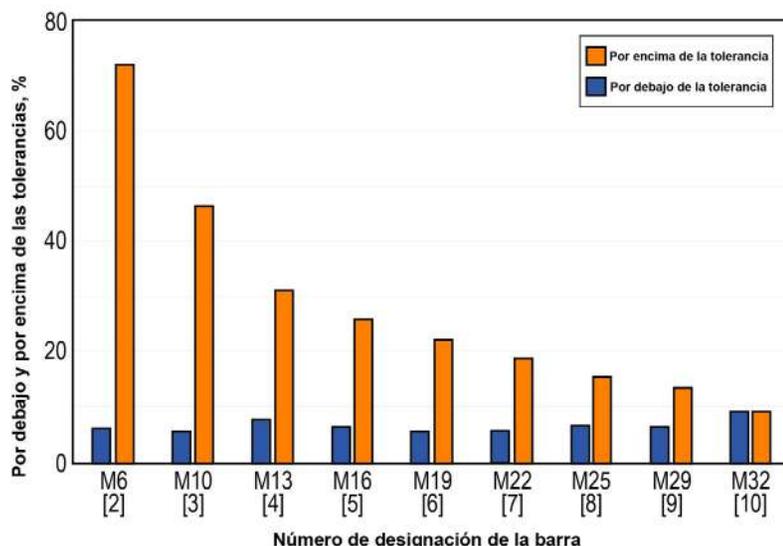


Fig.2: ASTM D7957/D7957M por debajo y por encima de las tolerancias para áreas de barra de diferentes tamaños

Tanto la fuerza última como el módulo elástico de las barras de FRP se determinan usando el método de prueba ASTM D7205/D7205M, donde el módulo se calcula con base al área nominal como se estipula en la norma. Actualmente, ASTM D7205/D7205M establece que el área medida debe usarse cuando la diferencia entre las áreas medidas y nominales excede el 20%. Debido a que ASTM D7205/D7205M se emitió antes que ASTM D7957/D7957M, este requisito ya no es aplicable y siempre se usa el área nominal. Es de esperar que el trabajo en futuras actualizaciones de D7205/7205M armonice la terminología y las definiciones con las utilizadas en D7957/D7957M.

Tabla 1:
Propiedades geométricas y de tracción de las barras M16 producidas por Pultruder A y B

Pultruder	Diámetro nominal, mm	Área nominal, mm ²	Área medida, mm ²	Fuerza garantizada, kN	Módulo elástico *, MPa	Módulo elástico †, MPa	Aprueba, Sí / No
A	15.9	199	195	131	44,850	45,770	Sí
B	15.9	199	235	150	49,000	41,494	Sí

* Basado en área nominal.

† En los Estados Unidos, el módulo calculado en el área medida no se utiliza para la certificación ni para el diseño.

Tabla 2:
Propiedades geométricas y de tracción de las barras No. 5 producidas por Pultruder A y B

Pultruder	Diámetro nominal, mm	Área nominal, mm ²	Área medida, mm ²	Fuerza garantizada, kN	Módulo elástico *, MPa	Módulo elástico †, MPa	Aprueba, Sí / No
A	0.625	0.31	0.29	29.2	6550	7002	Sí
B	0.625	0.31	0.37	32.1	7150	5991	Sí

* El módulo se calcula en base al área nominal.

† Para FDOT, el módulo calculado en el área medida no se usa para certificación ni diseño

Certificación: Pultruder A y Pultruder B fabrican barras M16 con las propiedades que se muestran en la Tabla 1. Ambas barras pasan según los valores enumerados en las columnas 4, 5 y 6. Por lo tanto, las barras M16 de ambos fabricantes estarán certificadas si los límites en todas las demás propiedades estipuladas en la especificación también se cumplen. Sin embargo, si la certificación requiriere un módulo basado en el área medida, las barras de Pultruder B no pasarían.

Diseño: El diseño de una estructura FRP-RC usando barras que cumplen con ASTM D7957/D7957M sigue las especificaciones de la guía AASHTO GFRP-RC 2018 o la guía de diseño ACI 440.1R, según el uso previsto (es decir, una estructura de transporte o una estructura del edificio). Independientemente del uso, el ingeniero que certifica la documentación (Engineer of Record) diseña los elementos estructurales utilizando los parámetros de tracción nominales M16: $E = 44,800$ MPa y $f_{tu} = 130,000/199 = 653$ MPa.

En el momento del diseño, el EOR no sabe si las barras serán suministradas por Pultruder A o Pultruder B porque la selección y compra de una barra específica es una prerrogativa del contratista, siempre que la barra esté certificada. Los diseños solo pueden basarse en las propiedades nominales que se enumeran en las especificaciones del material, aunque en el caso de las estructuras de transporte, los Departamentos de Transporte (DOT por sus siglas en inglés) de algunos estados han desarrollado sus propias especificaciones.

Suministros: El contratista adjudicatario del proyecto, según lo diseñado por el EOR, necesita comprar barras certificadas. El contratista probablemente seleccionaría al proveedor (Pultruder A o Pultruder B) con las barras menos costosas.

Aseguramiento de la calidad (aceptación de campo): En ASTM D7957/D7957, Sección 10.2, Control de calidad y certificación, actualmente establece: "Para la determinación de cada uno de los límites de propiedad, se obtendrán cinco muestras aleatorias de cada lote de producción. Cada muestra individual deberá satisfacer los límites de propiedad indicados en la Tabla 2." Además, el párrafo 10.4 establece: "El fabricante seleccionará al azar las muestras de cada lote de producción que se utilizarán para preparar las muestras de ensayo".

Estos requisitos se consideran onerosos y penalizantes injustificadamente, ya que es necesario determinar ocho propiedades independientes mediante cinco repeticiones. Además, no está claro si el estándar requiere que el fabricante calcule valores garantizados a partir de las cinco repeticiones. Se espera que se proponga un nuevo lenguaje para la revisión de la especificación (actualmente en curso).

Cumplimiento de FDOT

La sección 932-3 de las especificaciones estándar del Departamento de Transportes del Estado de Florida (FDOT)⁷ contiene los requisitos de materiales para las barras de refuerzo de FRP utilizadas en proyectos de carreteras y contratos de construcción relacionados como se hace referencia en los documentos del contrato para proyectos de transporte en Florida. Esta especificación no se refiere al diseño, la cual se hace referencia en FDOT "Pautas de polímeros reforzados con fibra (FRPG)"⁸. El FRPG establece que el diseño de todos los miembros de concreto que contienen barras de refuerzo de GFRP debe estar de acuerdo con las especificaciones de la guía AASHTO GFRP-RC 2018. Además, el FRPG permite el uso de barras de FRP de basalto (BFRP) y prescribe los mismos criterios de diseño para BFRP que para GFRP.

La siguiente sección analiza las implicaciones de los requisitos de FDOT y AASHTO para la certificación, el diseño, el suministro y el aseguramiento de la calidad. Además, demuestra conflictos potenciales a través de una discusión de dos fabricantes de barras hipotéticos. Tenga en cuenta que en la discusión de los productos, solo se utilizan unidades del sistema habitual de EE. UU.

Implicaciones

Considere que Pultruder A y B están fabricando barras No. 5 GFRP (o BFRP) que cumplen con los requisitos de material de la Sección 932-3 de las Especificaciones estándar de FDOT, que se enumeran en la Tabla 932-6 y 932-7 (Fig. 3). (Nota: FDOT actualiza las especificaciones semestralmente según sea necesario, por lo que estas tablas pueden cambiar en consecuencia. Para obtener la última versión, consulte el siguiente enlace:

www.fdot.gov/programmanagement/implemented/specbooks/default.shtm.)

Debido a que ambos fabricantes cumplen con los requisitos de la Sección 105, Requisitos Generales de Control de Calidad del Contratista, de las Especificaciones estándar del FDOT, también se asume que actualmente están incluidos en la "lista de producción de instalaciones" del FDOT disponible en www.fdot.gov/materials/qualityprograms/qualitycontrol/materialslistingspostjuly2002.shtm.

Certificación: Pultruder A y B fabrican cada uno barras No. 5 con las propiedades que se muestran en la Tabla 2. Las barras de ambos fabricantes pasan según los valores enumerados en las columnas 4, 5 y 6. Por lo tanto, estas barras No. 5 están certificadas (si también se cumplen los límites de todas las demás propiedades estipuladas en la especificación) y estos fabricantes pueden incluirse en la lista de producción de instalaciones del FDOT.

Si la certificación requiriera un módulo basado en el área medida, las barras de Pultruder B no pasarían.

Diseño: El diseño de una estructura FRP-RC según la Sección 932-3 de las Especificaciones estándar FDOT sigue las especificaciones de la guía AASHTO GFRP-RC. 2018. El EOR diseña el elemento de la estructura usando los parámetros de tracción nominal No. 5 bar: $E = 6500$ ksi y $f_{tu} = 29.1/0.31 = 93.9$ ksi.

Como en el ejemplo anterior, el EOR no sabe qué fabricante (Pultruder A o Pultruder B) suministrará barras para el proyecto.

Suministros: El contratista adjudicatario del proyecto debe comprar barras certificadas de un fabricante en la lista de producción de instalaciones del FDOT. Debido a que en este caso se enumeran ambos fabricantes, la selección puede basarse en el mejor precio.

Aseguramiento de la calidad (aceptación en el campo): El EOR tomará muestras de algunas de las barras suministradas en el sitio y las hará probar para asegurar la calidad. El texto actual en las Especificaciones Estándar FDOT, Sección 932-3.4.1 Muestreo, dice lo siguiente:

“El Ingeniero seleccionará un mínimo de seis barras rectas con longitudes mínimas de 7 pies cada una y un mínimo de cinco barras dobladas de cada envío, lo que representa un LOTE de producción aleatorio, por tamaño de barra de refuerzo de FRP para probar de acuerdo con la Tabla 932-9 . Los ensayos serán realizados, a cargo del Contratista, por un laboratorio independiente aprobado por el Departamento. Cada ensayo se repetirá un mínimo de tres veces por muestra. Envíe los resultados de la prueba al ingeniero para su revisión y aprobación antes de la instalación. No se requerirán pruebas para que las barras que se utilicen únicamente como refuerzo para los componentes de tablestacas, pero el Ingeniero seleccionará y conservará LOTES de muestras hasta la aceptación final del trabajo”.

Con base en los requisitos enumerados en la Tabla 932-9 (Fig. 4), las pruebas de laboratorio de las muestras muestreadas deben demostrar que cada muestra tiene $E \geq 6500$ ksi (basado en el área nominal) y $F_t \geq 93,9$ ksi.

a)

Tabla 932-6
Tamaños y cargas de tensión de barras de refuerzo de polímeros reforzados con fibra

Tamaños de la barra. Designación	Diámetro nominal de la barra (in)	Área transversal nominal (in ²)	Área transversal medida (in ²)		Carga de tensión mínima garantizada (kips)	
			Mínimo	Máximo	Barras BFRP y GFRP	Barras CFRP
2	0.250	0.049	0.046	0.085	6.1	10.3
3	0.375	0.11	0.104	0.161	13.2	20.9
4	0.500	0.20	0.185	0.263	21.6	33.3
5	0.625	0.31	0.288	0.388	29.1	49.1
6	0.750	0.44	0.415	0.539	40.9	70.7
7	0.875	0.60	0.565	0.713	54.1	-
8	1.000	0.79	0.738	0.913	66.8	-
9	1.128	1.00	0.934	1.137	82.0	-
10	1.270	1.27	1.154	1.385	98.2	-

b) Tabla 932-7 Requerimientos para propiedades físicas y mecánicas de barras de refuerzo de FRP rectas			
Propiedad	Método de prueba	Requerimiento	Especímenes por lote
Fracción de masa de fibra	ASTM D2584 o ASTM D3171	$\geq 70\%$	5 ⁿ
Absorción de humedad a corto plazo	ASTM D570, Procedure 7.1; 24 hours immersion at 122°F	$\leq 0.25\%$	5 ^m
Absorción de humedad a largo plazo	ASTM D570, Procedure 7.4; immersion to full saturation at 122°F	$\leq 1.0\%$	5 ^m
Temperatura de transición del vidrio	ASTM D7028 (DMA) o ASTM E1356 (DSC; T _m)/ASTM D3418 (DSC; T _{mg})	$\geq 230^\circ\text{F}$ $\geq 212^\circ\text{F}$	3 ^m
Entalpía total de polimerización (resina)	ASTM E2160	Identificar el sistema de resina usado para cada tamaño de barra y reportar el valor promedio de tres réplicas para cada sistema	--
Grado de curado	ASTM E2160	$\geq 95\%$ del total de la entalpía de polimerización	3 ⁿ
Área transversal medida	ASTMD7205	Dentro del rango indicado en la Tabla 932-6	10 ⁿ
Carga de tensión garantizada		\geq Valor indicado en la Tabla 932-6	
Módulo de tensión		$\geq 6,500$ ksi para BFRP y GFRP $\geq 18,000$ ksi para CRFP	
Resistencia al álcali con carga	ASTM D7705; Procedimiento B, fijar la carga sostenida en 30% del valor de la Tabla 932-6; 3 meses de duración del ensayo, seguido de resistencia a la tensión por ASTM D7205	$\geq 70\%$ de retención de la resistencia a la tensión	5 ^m
Resistencia al corte transversal	ASTM D7617	> 22 ksi	5 ⁿ
Resistencia al corte horizontal p	ASTM D4475	> 5.5 ksi	5 ⁿ
Resistencia de adherencia en concreto, extracción de bloque	ACI 440.3R Método B.3 o ASTM D7913	> 1.1 ksi	5 ^m
<p>a - La carga de tensión garantizada deberá ser igual al resultado promedio de todos los tres lotes menos tres desviaciones estándar.</p> <p>n - Los ensayos deberán efectuarse para todos los tamaños de barra producidos.</p> <p>m - Los ensayos deberán efectuarse para la más pequeña, la mediana y la más grande de los tamaños de barra producidos.</p> <p>p – Solamente requeridos para barras BFRP</p>			

Fig. 3: Especificaciones estándar FDOT, Sección 932-3,7 requisitos de materiales: (a) tamaños y cargas de tracción de las barras de refuerzo de FRP; y (b) requisitos de propiedades físicas y mecánicas para barras de refuerzo de FRP rectas (copiado de la Referencia 7)

Tabla 932-9 Requisitos de prueba para la aceptación de material del proyecto de barras de refuerzo de FRP				
Propiedad	Método de prueba	Requerimiento	Ensayo requerido para barra recta	Ensayo requerido para barra doblada
Fracción de masa de fibra	ASTM D2584 o ASTM D3171	≥70%	Sí	Sí, porción doblada b
Absorción de humedad a corto plazo	ASTM D570, Procedure 7.1; 24 hours immersion at 122°F	≤ 0.25%	Sí	Sí, porción doblada b
Temperatura de transición del vidrio	ASTM D7028 (DMA) o ASTM E1356 (DSC; Tm)/ ASTM D3418 (DSC; Tmg)	≥ 230°F ≥212°F	Sí	Sí, porción doblada b
Grado de curado	ASTM E2160	≥ 95% de la entalpía de polimerización total	Sí	Sí, porción doblada b
Área transversal medida	ASTM D7205	Dentro del rango indicado en la Tabla 932-6	Sí	Sí, porción recta
Carga de tensión garantizada		≥ Valor indicado en la Tabla 932-6	Sí	No
Módulo de tensión		≥ 6,500 ksi para BFRP y GFRP-6	Sí	No
a - La carga de tensión garantizada deberá ser igual al resultado promedio de todos los tres lotes menos tres desviaciones estándar.				
b - Los especímenes de porción doblada serán extraídos de una ubicación central dentro de un doblado a 90°				

Fig.4: Requisitos de prueba del FDOT para la aceptación del material del proyecto de barras de refuerzo de FRP (copiado de la Referencia 7)

Tabla 3:

Fuerza de tracción máxima mínima según ODOT y ASTM D7957 / D7957M

Tamaño de la barra	Fuerza de tensión última mínima garantizada, kip (kN)	ASTM D7957/D7957M fuerza de tensión última mínima garantizada, kip (kN)
2 (M6)	6.1 (27)	6.1 (27)
3 (M10)	13.2 (59)	13.2 (59)
4 (M13)	27.6 (123)	21.6 (96)
5 (M16)	36.6 (163)	29.1 (130)
6 (M19)	51.9 (231)	40.9 (182)
7 (M22)	68.5 (305)	54.1 (241)
8 (M25)	89.9 (400)	66.8 (297)
9 (M29)	124 (550)	82.0 (365)
10 (M32)	138 (615)	98.2 (437)

Cumplimiento de la especificación DOT de Ohio

La sección 705.28 de Ohio DOT (ODOT) "Especificaciones de materiales y construcción"⁹ (C&MS) es una norma de especificación de materiales que se refiere a ASTM D7957/D7957M con tres excepciones notables:

- El límite medio del módulo de tracción de elasticidad debe cumplir o exceder 8,700,000 psi o 60,000 MPa (el límite es 6,500,000 psi o 44,800 MPa según la Tabla 1 y 2 en ASTM D7957/D7957M);
- El límite medio de deformación por tracción máxima debe cumplir o exceder el 1,4% (el límite es 1,1% según la Tabla 1 y 2 en ASTM D7957/D7957M); y

- La mínima fuerza de tracción última garantizada será la que se enumera en la Tabla 3 (y se comparará con los requisitos actuales de ASTM D7957/D7957M)

Las excepciones en cuanto a módulo y tracción garantizada adoptadas por ODOT son muy significativas y se refieren a lo que se conoce como barras de "generación 2". La siguiente sección analiza las implicaciones de los requisitos de ODOT y AASHTO para la certificación, el diseño, la adquisición y el aseguramiento de la calidad.

Implicaciones

Certificación: La certificación del fabricante de barras de acuerdo con ODOT se describe en el Suplemento 1138.¹⁰ Los productores/proveedores que cumplen con este suplemento se vuelven responsables de garantizar que todos los materiales certificados de PRFV cumplen los requisitos de la especificación. Los productores/proveedores deben presentar un plan de control de calidad (QCP) por escrito a la Oficina de Gestión de Materiales (OMM) para su aprobación. El QCP incluye los procedimientos y procesos para ordenar, probar, aceptar, verificar, controlar, almacenar, enviar, documentar y registrar el cumplimiento de los materiales GFRP con las especificaciones de ODOT. No existe un plan de control de calidad estándar. Cada productor / proveedor desarrollará su propio plan.

Diseño: El "Manual de diseño de puentes"¹¹ de ODOT sigue las especificaciones de diseño de puentes AASHTO LRFD. 2020¹² y, por lo tanto, no aborda directamente el diseño de miembros de concreto reforzado con PRFV. El PRFV sólo se menciona en la Sección 309.4 del manual de diseño de ODOT relacionado con las barandas. Puede implicar que el diseño de todos los miembros de concreto que contengan barras de refuerzo de PRFV debe estar de acuerdo con las especificaciones de la guía AASHTO GFRP-RC 2018.

En cuanto al diseño, el material estándar de ODOT para el refuerzo de concreto seguirá siendo acero de refuerzo revestido con epoxi en la actualidad. La elección de utilizar refuerzo de PRFV es una preferencia seleccionada caso por caso. Si los contratistas optan por cambiar de refuerzo recubierto de epoxi a PRFV, como se muestra en los documentos del contrato, se debe presentar una propuesta de cambio de ingeniería de valor de acuerdo con ODOT C&MS, Sección 105.19, y ODOT debe aceptarla. Si se acepta, el contratista asume toda la responsabilidad de diseño asociada con el cambio de material.

Suministros: El contratista adjudicatario del proyecto debe comprar barras certificadas. De acuerdo con el Suplemento 1138, los productores/proveedores recibirán números de identificación de muestra para cada artículo de material de construcción GFRP que estén certificados para suministrar. Deben incluir una guía de carga con cualquier envío de materiales GFRP certificado.

Aseguramiento de la calidad (aceptación en el campo): Contrariamente a otros estándares, la aceptación en el campo no se considera en el libro de especificaciones de TxDOT, porque la certificación del material debe proporcionarse al momento del envío de las barras GFRP. Sin embargo, la especificación del material especifica la frecuencia de muestreo y el número de muestras que se seleccionarán para las pruebas de control de calidad y aseguramiento de la calidad (QC / QA) en un laboratorio certificado.

Cumplimiento de las especificaciones de MaineDOT

El Departamento de Transporte de Maine (MaineDOT) no tiene una especificación estándar explícitamente para el refuerzo de GFRP. Sin embargo, MaineDOT tiene una disposición especial que se puede usar en un proyecto específico en la "Sección 530" omitida en las Especificaciones Estándar de MaineDOT.¹⁶ Esta disposición contiene textos sobre materiales, documentación, cronograma de material, fabricación, proyección de material, y empalme. Los criterios de aceptación del producto y la información se pueden descargar en formato pdf en

www.maine.gov/mdot/research/products/, siguiendo el enlace a: "Barras de polímero reforzado con fibra de vidrio (PDF)" La Guía de diseño de puentes MaineDOT17 y las especificaciones estándar no se actualizan anualmente. La siguiente sección analiza las implicaciones de los requisitos de MaineDOT y AASHTO para la certificación, el diseño y el aseguramiento de la calidad; y proporciona observaciones sobre los estándares existentes.

Certificación: MaineDOT tiene la intención de hacer que el refuerzo GFRP cumpla con ASTM D7957/D7957M y requiere que los proveedores sean aprobados previamente a través del coordinador de evaluación de productos de MaineDOT. El proceso de aprobación requiere una copia de la hoja de datos técnicos, la hoja de datos de seguridad y los resultados de las pruebas independientes de terceros.

Diseño: MaineDOT no hace referencia a una guía de diseño para concreto reforzado GFRP, pero se da a entender que el estándar que rige es AASHTO GFRP-RC Guide Spec. 2018 y la Guía de diseño de puentes MaineDOT debe usarse para el diseño de proyectos de transporte financiados con fondos federales.

Aseguramiento de la calidad (aceptación de campo): MaineDOT puede requerir una evaluación de campo antes de la aceptación final e inclusión en su lista de productos calificados (QPL) a su discreción, con todos los productos recertificados por el fabricante cada 5 años. Una lista de proveedores calificados de FRP y GFRP (manejados por separado) está disponible en www.maine.gov/mdot/research/products/.

Observaciones: Debido a que los estándares del MaineDOT no se actualizan con frecuencia, sus especificaciones y guía de diseño no están tan actualizadas como los estándares producidos por Departamentos de Transportes de otros estados. Además, la adopción de una especificación estándar para el refuerzo de GFRP puede haberse visto obstaculizada por el acceso limitado a instalaciones de prueba calificadas o una cantidad limitada de proyectos que exigen el refuerzo de GFRP.

Cumplimiento de ICC-ES AC454 para edificios

Para que el refuerzo de FRP se convierta convencional en las estructuras de edificios de concreto, deben ocurrir dos cosas. En primer lugar, el Comité 440 de ACI debe publicar un código de construcción (actualmente en desarrollo) y, en segundo lugar, el código modelo debe hacer referencia al nuevo código de construcción ACI 440 para su adopción en todos los estados. Mientras tanto, es posible obtener un permiso de construcción si los materiales especificados muestran cumplimiento con la intención del código modelo al cumplir con los criterios enumerados en 2021 IBC, Sección 104.11.18 y 2021 IRC, Sección R104.11.¹⁹

El propósito del documento de criterios de aceptación ICC-ES AC454 es establecer requisitos para que las barras GFRP y BFRP sean reconocidas en un informe de evaluación de cumplimiento del código de construcción ICC-ES (ESR) emitido en nombre de un fabricante de barras. AC454 proporciona pautas para la evaluación de refuerzo alternativo, donde los códigos de construcción no proporcionan disposiciones de diseño o requisitos para pruebas y determinación de propiedades físicas y mecánicas.

Además, AC454 proporciona los métodos de ensayo requeridos y las disposiciones de evaluación para cuantificar las características de desempeño de las barras de FRP que satisfacen los objetivos de los códigos de construcción cuando se usan como refuerzo de flexión en miembros estructurales de concreto como vigas, cimientos poco profundos y unidireccionales o bidireccionales. losas de camino; como refuerzo de cortante para elementos de flexión; o como refuerzo longitudinal para columnas y muros. La siguiente sección analiza las implicaciones de este documento de criterios de aceptación para la certificación, el diseño, el suministro y el aseguramiento de la calidad; y demuestra estos conflictos a través de una discusión de dos fabricantes de barras hipotéticos.

Implicaciones

Considere que Pultruder A y B están fabricando barras de GFRP o BFRP No. 5 y recibieron una ESR de ICC-ES. Este ejemplo se limita de nuevo a las propiedades de tracción por simplicidad.

Certificación: Si Pultruder A y B obtuvieron cada uno una ESR para sus barras, significa que cumplieron con los requisitos de ASTM D7957/D7957M para área medida, fuerza de tracción garantizada y módulo de elasticidad de tracción. Como un ejemplo, este es el texto de AC454 para fuerza de tracción:

“... La fuerza de tracción máxima para la certificación del producto se medirá de acuerdo con ASTM D7205/D7205M con el número de probetas indicado en la Sección 4.7 de este criterio...

... La fuerza de tracción mínima garantizada deberá cumplir con los valores de los requisitos de propiedad enumerados en la Tabla 3 de ASTM D7957 para las designaciones de barras 2 a 10...”

Diseño: El diseño de una estructura FRP-RC usando AC454 seguirá ACI 440.1R. El EOR diseña el o los elementos estructurales utilizando los parámetros de tracción nominal de la barra No. 5 de $E = 6500$ ksi y $f_{tu} = 29.1/0.31 = 93.9$ ksi. El diseño generalmente se basa en propiedades nominales a menos que el propietario permita que el EOR preseleccione al proveedor de refuerzo y el EOR utilice las propiedades certificadas en la ESR.

Para obtener una aprobación oficial de construcción, el EOR agrega lenguaje en los documentos de licitación solicitando que el refuerzo de FRP que se utilizará en el proyecto esté certificado con un informe de cumplimiento del código de construcción (ESR). Por ejemplo, la especificación del proyecto podría incluir el siguiente texto:

Documentos de referencia

Criterios de aceptación de ICC-ES (AC454)
ACI 440.1R-15.

Requisitos de presentación

Envíe cálculos de diseño para FRP-RC que incluyan lo siguiente:

1. Cálculos detallados para la estructura propuesta de FRP-RC certificado por un ingeniero profesional registrado en el estado de XXX, para aprobación del ingeniero que certifica la documentación.
2. Desarrollar cálculos de diseño para cumplir con los requisitos establecidos en ACI 440.1R-15.
3. Los materiales FRP deben cumplir con los requisitos establecidos en los Criterios de aceptación de ICC-ES (AC454), basados en las fuerzas de tensión y los límites de módulo.
4. Datos de prueba independientes de laboratorios acreditados por ISO 17025 que confirman

Materiales

El refuerzo de FRP considerado para uso bajo esta especificación debe ser provisto con un ESR válido emitido por ICC-ES.

Suministros

El contratista adjudicatario del proyecto debe comprar barras de un fabricante que posea un ESR válido, como es el caso de Pultruder A y B. Obviamente, el contratista selecciona la barra más barata para usar en el campo.

Aseguramiento de la calidad (aceptación de campo): El documento de licitación especificará los requisitos del proyecto, que incluyen requisitos de inspección especiales del Capítulo 17 del IBC 2021. Se puede agregar textos a este efecto en los documentos de licitación:

Control de calidad en el campo

Ensayos de laboratorio:

1. Registre el número de lote de refuerzo de FRP utilizado, junto con la ubicación de la instalación.
2. Pruebe las muestras utilizando ASTM D7957/D7957M. Siga los procedimientos de ASTM y los métodos de prueba publicados por el fabricante durante la prueba. Utilice solo laboratorios de ensayos acreditados y precalificados.

3. Haga que los resultados de las pruebas estén disponibles dentro de las 3 semanas posteriores al envío de la muestra. Proporcione valores basados en las dimensiones nominales de la resistencia máxima a la tracción, el módulo de tracción y el porcentaje de alargamiento.

Aceptación de calidad

Proporcione una certificación del fabricante (ESR válida) que demuestre que el refuerzo de FRP cumple con los requisitos de AC454.

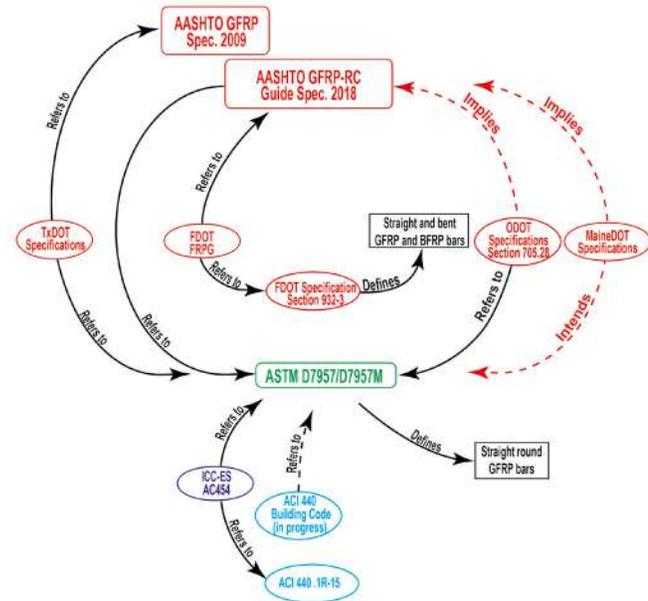


Fig.5: Actualmente, las especificaciones y guías de diseño para el uso de barras de FRP están vinculadas solo por referencia directa o indirecta a ASTM D7957 / D7957M

En resumen

Se ha logrado un progreso significativo en los últimos años para proporcionar el marco técnico, legal y contractual necesario para el despliegue de refuerzo de FRP para estructuras de concreto en los Estados Unidos. Sin embargo, queda mucho por hacer para la plena implementación de esta tecnología.

En el caso de las estructuras de transporte, las regulaciones a nivel federal ayudarían a resolver la fragmentación actual entre los DOT (consulte la Figura 5). Además de las especificaciones y guías, AASHTO podría considerar agregar un módulo sobre diseño y clasificación de carga de puentes de concreto con refuerzo de FRP en la colección de herramientas de software disponibles

en la plataforma "AASHTOWare", similar a "AASHTOWare Bridge Design and Bridge Rating" (www.aashtoware.org/products/bridge/bridge-overview/).

Además, en la próxima revisión de la "Guía de especificaciones para el diseño de vida útil de puentes de carreteras"²⁰, se podría considerar la inclusión de FRP en la Sección 4.2.4.2.2-1 como un tipo de refuerzo perteneciente a la "Clase D - materiales altamente resistentes a la corrosión", para ayudar a designar valor para una vida útil más larga de hasta 100 o 150 años.

Para las estructuras tipo edificios, existe la necesidad imperiosa de un código de diseño en un lenguaje obligatorio que eventualmente se adopte como referencia en IBC.

Los esfuerzos de transferencia de la tecnología deben acompañar al desarrollo de estándares y especificaciones no solo para proporcionar conciencia, pero, lo que es más importante, generar confianza y eliminar la percepción de riesgo de todas las partes interesadas.

Reconocimiento

El autor agradece el apoyo financiero parcial del NSF Center for the Integration of Composites into Infrastructure (CICI) bajo la subvención No. 1916342.



Referencias

1. ASTM D7957/D7957M-17, "Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 5 pp.
2. "AASHTO LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP-Reinforced Concrete," second edition, American Association of State Highway Officials, Washington, DC, 2018, 121 pp.
3. "Acceptance Criteria for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars for Internal Reinforcement of Concrete Members," AC454, ICC Evaluation Services, Inc., Country Club Hills, IL, Dec. 2020, 10 pp.
4. ACI Committee 440, "Guide for the Design and Construction of Structural Concrete with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars (440.1R-15)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 83 pp.
5. ASTM D7205/D7205M-06 (2016), "Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006, 13 pp.
6. Kocaoz, S.; Samaranayake, V.A.; and Nanni, A., "Tensile Characterization of Glass FRP Bars," Composites Part B: Engineering, V. 36, No. 2, Mar. 2005, pp. 127-134.
7. "Standard Specifications for Road and Bridge Construction," Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL, 2021, 1233 pp.
8. "Fiber Reinforced Polymer Guidelines (FRPG)," Structures Manual, V. 4, Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL, 2021, 16 pp.
9. "Construction and Material Specifications," 2019 edition, Ohio Department of Transportation, Columbus, OH, online version 4/16/2021, 844 pp.
10. "Supplement 1138: Glass Fiber Reinforced Polymer Certification Program," Ohio Department of Transportation, Columbus, OH, Apr. 17, 2020, 4 pp.
11. "Bridge Design Manual," 2020 edition, Ohio Department of Transportation, Columbus, OH, 2021, 511 pp.
12. "AASHTO LRFD Bridge Design Specification," ninth edition, American Association of State Highway Officials, Washington, DC, 2020, 1912 pp.
13. "Standard Specification for Construction and Maintenance of Highways, Streets, and Bridges," Texas Department of Transportation, Austin, TX, 919 pp.
14. "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications for GFRP Reinforced Bridge Decks and Traffic Railings," first edition, American Association of State Highway Officials, Washington, DC, 2009, 68 pp.
15. "Bridge Design Manual - LRFD," Texas Department of Transportation, Austin, TX, 2020, 90 pp.
16. "Standard Specifications," Maine Department of Transportation, Augusta, ME, 2020, 817 pp.
17. "Bridge Design Guide," Maine Department of Transportation, Augusta, ME, 2003 (with updates in 2018), 508 pp.

18. "2021 International Building Code (IBC)," International Code Council, Country Club Hills, IL, 2020, 833 pp.

19. "2021 International Residential Code (IRC)," International Code Council, Country Club Hills, IL, 2021, 1109 pp.

20. "Guide Specification for Service Life Design of Highway Bridges," NCHRP Project 12-108, National Academies of Sciences, Engineering,



Antonio Nanni, FACI, es investigador, profesor y presidente del Departamento de Ingeniería Civil, Arquitectónica y Ambiental de la Universidad de Miami, Miami, FL, EE. UU. Es presidente del Comité 549 de ACI, Productos cementosos reforzados delgados y ferrocemento, y miembro de numerosos comités de ACI, incluido el Comité 440 de ACI, Refuerzo de polímero reforzado con fibra. Ha recibido varios premios, incluida la Medalla IIFC 2014 del Instituto Internacional de FRP en Construcción y el Premio ASCE Henry L. Michel 2012 para el Avance de la Investigación en la Industria.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Costa Rica

Título: Barras de FRP: desde la certificación hasta el uso en el campo



Traductor: Ing. Ronald Jiménez Castro



Revisor Técnico: Ing. Minor Murillo Chacón

Barreras de vapor usadas en fisuras capilares para reducir la severidad de la exposición a los sulfatos en el concreto

La práctica en la industria y los datos de pruebas proporcionan evidencia al respecto.
 por James Klinger, Colin L. Lobo, y Bruce A. Suprenant

En un reciente P y R de Concreto publicada en la revista Concrete Internacional del ACI se aborda la siguiente pregunta: “¿Qué se puede hacer para proteger las losas sobre terreno que van a estar sometidas a diversas condiciones de exposición, como se definen en el ACI 318?”¹ La respuesta incluía la recomendación de que “... deberá utilizarse un retardante de vapor eficaz para las losas sobre terreno colocadas en contacto con agua o expuestas a los sulfatos (Exposición Clase W o S según ACI 318, respectivamente)”. Esto implica que los retardantes de vapor protegen las losas sobre terreno de concreto de los sulfatos, permitiendo así que el profesional de diseño autorizado considere que el concreto no está sujeto a una exposición más severa. Sin embargo, la respuesta no proporcionó más información. En este artículo, respaldamos la respuesta con un resumen de las prácticas en la industria y con datos de pruebas.

ACI 318-19 Categorías, Clases y Requisitos de Exposición

Aunque el ACI 318 (el Código) no se aplica al diseño y la construcción de losas sobre el terreno que no transmiten cargas verticales o fuerzas laterales de otras partes de la estructura al suelo, los diseñadores a menudo se remiten al Código para especificar los requisitos para todas las mezclas de concreto en un proyecto.

Los requisitos de durabilidad del concreto se definen en la Sección 19.3 del ACI del 318-19,² indicando que: “El profesional de diseño autorizado deberá asignar las clases de exposición de acuerdo con la severidad de la exposición prevista de los miembros para cada categoría de la Tabla 19.3.1.1.” El concreto en contacto con el suelo o el agua que contiene cantidades perjudiciales de iones de sulfato solubles en agua es considerado como Categoría de Exposición S. Basándose en las cantidades de sulfato en el suelo o el agua, en la Tabla 19.3.1.1 se definen cuatro clases de exposición al sulfato. En la Tabla 1 se indican las clases de Categoría de Exposición S.

Basándose en las clases de exposición asignadas por el profesional del diseño, en la Tabla 19.3.2.1 del Código se establecen los requisitos de las mezclas de concreto. En la Tabla 19.3.2.1 del Código. En la Tabla 2 se indican los requisitos de la Categoría de Exposición S se indican en la Tabla 2. Los requisitos incluyen:

- Relación máxima agua-materiales cementantes (a/cm);
- Resistencia mínima a la compresión del concreto f'_c , psi;

- Tipos de materiales cementantes que proporcionan resistencia a los sulfatos; y

- Restricción del uso de cloruro de calcio como aditivo.

El Código permite combinaciones alternativas de materiales cementantes cuando se ensaya a la resistencia a los sulfatos de acuerdo con la norma ASTM C1012/C1012M, “Método de prueba estándar para el cambio de longitud de los morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfatos”, y cumpliendo con los límites de expansión previstos en la Tabla 26.4.2.2(c) (Tabla 3 del presente documento). Hay que tener en cuenta que los dos límites de expansión son 0.05 y 0.10% y que la duración del ensayo puede tardar hasta 12 o 18 meses para condiciones de exposición más severas. Este ensayo evalúa la resistencia a los sulfatos del sistema cementante, pero no el efecto del a/c del concreto.

Generalmente se presume que los requisitos de durabilidad del Código se aplican si el concreto está en contacto con las condiciones que afectan la durabilidad: contacto con agua, cloruros, sulfatos y ciclos de congelamiento y descongelamiento. Aunque se podría suponer que estos requisitos no se aplicarán al concreto que esté adecuadamente aislado de la exposición, el Código no aborda específicamente los métodos de aislamiento ni la evaluación de tales sistemas. Sin embargo, algunos documentos de la industria del concreto sí recomiendan el uso de sistemas de aislamiento.

Normas e informes de la Industria

La edición de 2008 de la PTI DC10.5, “Requisitos estándar para el diseño y el análisis de cimentaciones superficiales de concreto postensado en suelos expansivos y estables”,³ proporcionó requisitos en la sección 6.2 para el concreto en contacto directo con suelos que contienen sulfatos o cloruros solubles en agua. Sin embargo, el Comentario decía:

“R6.2: Cuando se coloca una barrera de control de la humedad, como un retardante de vapor de polietileno, entre el concreto y el suelo, no se considera que el concreto esté en contacto directo con el suelo según el contexto de la Sección 6.2.”

El Comentario a la edición de 2019⁴ del documento tiene un lenguaje ligeramente diferente, aclarando que la barrera de vapor debe encapsular toda la interfaz entre el concreto y el suelo: “C10.4.2: Cuando se coloca una barrera de control de la humedad, como un retardante de vapor de polietileno, entre el concreto (incluyendo los lados y el fondo de las costillas) y el suelo, no se considera que el concreto esté en contacto directo con el suelo en el contexto de la Sección 10.4.”

Esta es la única referencia de la industria que se ha encontrado que defiende explícitamente el uso de un retardante de vapor para influir en la selección de la clase dentro de la Categoría de Exposición S del ACI 318.

La norma ACI 201.2R-16, Sección 8.5,⁵ recomienda, en caso de riesgo de ataque físico de la sal, separar el concreto que está en contacto utilizando una fisura capilar o un revestimiento protector. La fisura capilar evita que los iones de sulfato solubles en agua estén en contacto con el concreto y el retardante de vapor minimiza la transmisión la humedad del vapor. Se proporcionan datos e información con respecto al uso de una fisura capilar y un retardante de vapor para mejorar la durabilidad del concreto expuesto a ambientes con sulfatos.

EIACI515.2R-13⁶ proporciona recomendaciones para los sistemas de protección. Aunque no se hace referencia a las placas de resina en la guía para la selección de tratamientos de protección, el documento señala en la sección 4.18 que las placas de resina pueden utilizarse siempre que se recomienden revestimientos de resina similares. La guía también señala que los tipos de placas incluyen acrílico, polietileno y polipropileno.

Estos materiales son ampliamente reconocidos como resistentes a los sulfatos (véase, por ejemplo, www.tdiinternational.com/technical-source-product-info/chemical-compatibilitycharts/com/technical-source-product-info/chemical-compatibilitycharts/ acrílico, www.hmcpolymers.com/uploads/files/resources/hmc-pp-chemical-resistance.PDF, y www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/PP%20Chemical%20Resistance.pdf) y al menos el polietileno se utiliza normalmente en placas retardantes de vapor para la construcción de edificios.

Tabla 1:
Clases de Exposición para la Categoría de Exposición por el ACI 318-19, Tabla 19.3.1.1

Sulfato (S)	Clase	Sulfato soluble en agua (SO ₄ ²⁻) en el suelo, porcentaje por masa (según ASTM C1580*)	Sulfato disuelto (SO ₄ ²⁻) en el agua, ppm (según ASTM D516† o D4130‡)
	S0	SO ₄ ²⁻ < 0.10	SO ₄ ²⁻ < 150
	S1	0.10 ≤ SO ₄ ²⁻ < 0.20	150 ≤ SO ₄ ²⁻ < 1500 o agua de mar
	S2	0.20 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 10,000
	S3	SO ₄ ²⁻ > 2.00	SO ₄ ²⁻ > 10,000

*ASTM C1580, “Método de prueba estándar para sulfatos solubles en agua en el suelo”.

†ASTM D516, “Método de prueba estándar para iones de sulfato en agua”.

‡ASTM D4130, “Método de prueba estándar para iones de sulfato en agua salobre, agua de mar y salmueras”.

Tabla 2:
Requisitos del concreto por clase de exposición según ACI 318-19, Tabla 19.3.2.1

Clase	a/cm máx.	f' _c , psi mín	Materiales cementantes			
			ASTM C150/C150M*	ASTM C595 C595M†	ASTM C1157/C1157M‡	
S0	N/A	2500	Sin restricción de tipo	Sin restricción de tipo	Sin restricción de tipo	
S1	0.50	4000	II	Tipos con designación MS	MS	
S2	0.45	4000	V	Tipos con designación HS	HS	
S3	Opción 1	0.45	4500	V más puzolana o cemento de escoria	Tipos con designación HS más puzolana o cemento de escoria	NS más puzolana o cemento de escoria
	Opción 2	0.40	5000	V	Tipos con designación HS	HS

*ASTM C150/C150M, “Especificación estándar para el cemento Portland”.

†ASTM C595/C595M, “Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados”.

‡ASTM C1157/C1157M, “Especificación estándar para el desempeño del cemento hidráulico”.

Pruebas de los sistemas de aislamiento

Se han realizado varias evaluaciones de sistemas para aislar el concreto de los sulfatos, cloruros u otros productos químicos agresivos; por ejemplo:

- Redner et al.^{7,8} evaluaron el desempeño de más de 20 sistemas de recubrimiento diferentes en una solución de ácido sulfúrico al 10%;
- Vipulanandan y Liu⁹ evaluaron el desempeño de un recubrimiento epóxico reforzado con fibra de vidrio en una solución de ácido sulfúrico al 3%;

- Aguiar et al.¹⁰ evaluaron la protección proporcionada por los revestimientos acrílicos de base agua en un ambiente sulfatado;
- Suleiman et al.¹¹ evaluaron la eficacia de los tratamientos superficiales para proteger al concreto del ataque físico de los sulfatos;
- Pan et al.¹² resumieron la eficacia de los tratamientos superficiales contra el ataque químico de los sulfatos; y
- Sakr y Bassuoni¹³ evaluaron la eficacia de tres revestimientos para proteger al concreto del ataque físico de los sulfatos.

En general, estos estudios indican que aislar el concreto de la exposición a los sulfatos minimiza el riesgo de ataque químico y físico de los mismos.

Se conocen otros dos estudios, uno realizado para un contratista y otro para un fabricante de retardantes de vapor, en los que se evaluaron materiales en placas para la protección del concreto contra el ataque de los sulfatos. El primero se llevó a cabo utilizando una prueba modificada de la norma ASTM C1012/C1012M y el segundo de acuerdo con la norma ASTM F739, “Método de prueba estándar para la Permeación de líquidos y gases mediante materiales textiles de protección en condiciones de contacto continuo”. Además, el segundo estudio incluía pruebas del efecto de una solución de sulfato en las propiedades de un material retardante/barrera de vapor. Estas evaluaciones eran para necesidades específicas del proyecto y no se publicaron. Se describen en este artículo.

Tabla 3:
Requisitos para establecer la conveniencia de las combinaciones de materiales cementantes expuestos a sulfatos solubles en agua según ACI 318-19, Tabla 26.4.2.2(c)

Clase	Cambio máximo de longitud para ensayos según ASTM C1012/C1012M,		
	A los 6 meses	A los 12 meses	ASTM C150/C150M*
S1	0.10	Sin requisito	Sin requisito
S2	0.05	0.10*	Sin requisito
S3	Opción 1	Sin requisito	0.10
	Opción 2	0.05	Sin requisito

*El límite de expansión de 12 meses sólo se aplica si la expansión medida supera el límite de expansión máximo de 6 meses.

Estudio patrocinado por el contratista

En 2002, Baker Concrete Construction, Inc. fue contratada para colocar una losa sobre terreno industrial de 1 millón de pies cuadrados. Basándose en el contenido de sulfato del suelo indicado en el informe geotécnico del proyecto, la especificación del proyecto exigía una mezcla de concreto con una relación a/cm máxima de 0.45 y un cemento Tipo V, además de una puzolana. El cemento tipo V no estaba disponible localmente, y una mezcla con una relación a/cm inferior a 0.47 se considera generalmente demasiado difícil para producir de forma consistente un acabado de alta calidad con una llana. El contratista contrató a CTLGroup, Skokie, IL, EE.UU., para que realizara pruebas con el fin de determinar si una barrera de vapor colocada sobre una fisura capilar proporcionaría una protección adecuada a la losa de concreto, de modo que pudiera utilizarse una mezcla de concreto aplicable a las necesidades de la construcción.

Se realizaron cuatro pruebas para evaluar el comportamiento de las barras de mortero expuestas a una solución concentrada de sulfato de sodio (Na_2SO_4) al 5%. Basándose en experiencias



anteriores, CTL Group produjo muestras de mortero utilizando un cemento que era conocido por no cumplir el criterio de cambio de longitud de ASTM C1012/C1012M. Las barras de mortero que no se expandieron indicarían que un retardante/barrera de vapor proporcionó una protección eficaz contra el ataque de los sulfatos.

Las cuatro pruebas de exposición fueron:

- Inmersión continua en una solución de Na_2SO_4 al 5% de acuerdo con ASTM C1012/C1012M (Exposición 1) - esta es considerablemente más concentrada que la registrada en el suelo;
- Almacenamiento de barras de mortero sobre una base granular de 12 pulg. que fue compactada sobre una capa de roca gruesa triturada inundada con la solución de prueba de Na_2SO_4 dentro de un contenedor de almacenamiento de polímero; y
- El contenedor se dejó al descubierto durante la prueba (Exposición 2);
- El contenedor estaba cubierto con una tapa de polímero durante la prueba (Exposición 3); o
- Se colocó un retardante de vapor de 10 milésimas de pulgada (0.25 mm) debajo de las muestras de barras de mortero y el contenedor se dejó al descubierto durante la prueba (Exposición 4).

El contenedor de polímero para la Exposición 1 tenía una sección transversal de 7 x 11 pulg. y una profundidad de 4 pulg.

Los contenedores para las otras tres condiciones de exposición tenían una sección transversal de 16 x 20 pulg. y una profundidad de 15 pulg. Para las Exposiciones 1 y 3, las tapas de los contenedores estaban selladas para evitar la evaporación y mantener una alta humedad relativa (HR).

Para las Exposiciones 2, 3 y 4, la base granular de 4 pulg. de profundidad comprendía 52 lb de roca dolomita triturada (Fig. 1(a)). Después de que la capa base fuera apisonada, se añadieron 16 lb de solución de Na_2SO_4 para llevar la solución a una cabeza de 1/2 pulg. por encima de la piedra triturada compactada (Fig. 1(b)). A continuación, se añadieron 65 lb de una mezcla de dolomita y arena silíceas que se compactó con varillas, lo que dio lugar a una capa de 8 pulg. de "suelo" por encima de la base granular de 4 pulg. Poco después de la colocación de la capa de tierra, apareció en la parte superior una fina película de solución de Na_2SO_4 .

Las mediciones de cambios de longitud y de peso se determinaron hasta una edad de 15 semanas (105 días). Las mediciones de la HR se realizaron tres veces durante el periodo de prueba. Estas lecturas se tomaron electrónicamente, inmediatamente después de que se abrieran los contenedores para realizar una medición. Al final del periodo de prueba de 105 días, las HR medidas para las Exposiciones 1, 2, 3 y 4 fueron del 99%, 53%, 92% y 47%, respectivamente.

Los resultados del cambio de longitud se presentan en la Fig. 3.
 Para la evaluación con ASTM C1012/C1012M (Exposición 1), los especímenes de barras de mortero

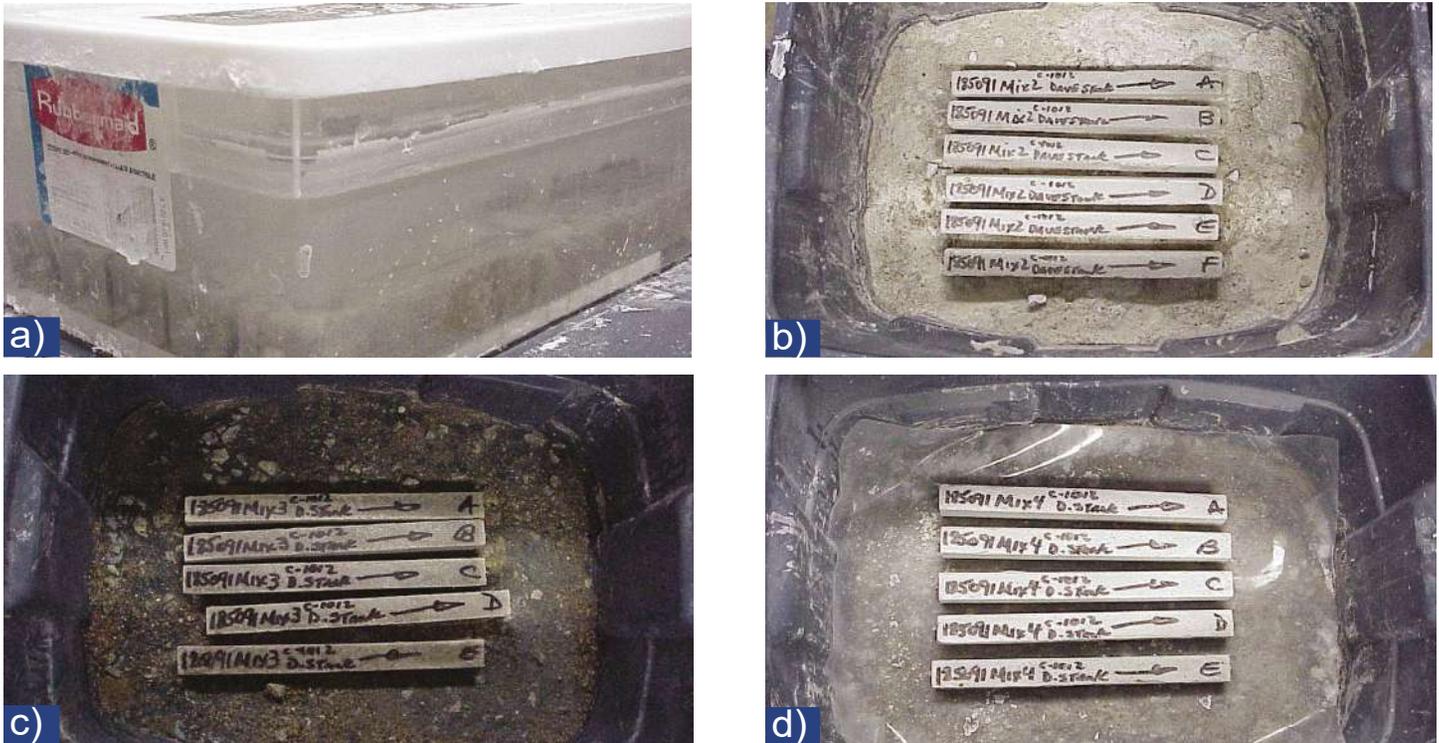


Fig. 2: Muestras y recipientes para los ensayos de exposición a los sulfatos: (a) Exposición 1, según ASTM C1012/C1012M; (b) Exposición 2, con las muestras apoyadas directamente sobre una capa de suelo de 8 pulg. de espesor que contiene una solución de Na_2SO_4 y dejando el contenedor abierto durante el ensayo; (c) Exposición 3, con las muestras apoyadas directamente sobre una fina capa de suelo de 8 pulg. que contiene una solución de Na_2SO_4 y con el contenedor sellado durante el ensayo; y (d) Exposición 4, con las muestras colocadas sobre una barrera/retardante de vapor de 10 milésimas de pulgada sobre una capa de suelo de 8 pulg. que contiene una solución de Na_2SO_4 y con el contenedor abierto durante el ensayo.

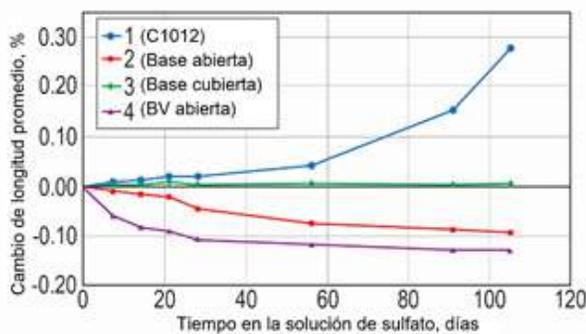


Fig. 3: Cambio de longitud de las barras de mortero sometidas a diversas exposiciones al sulfato

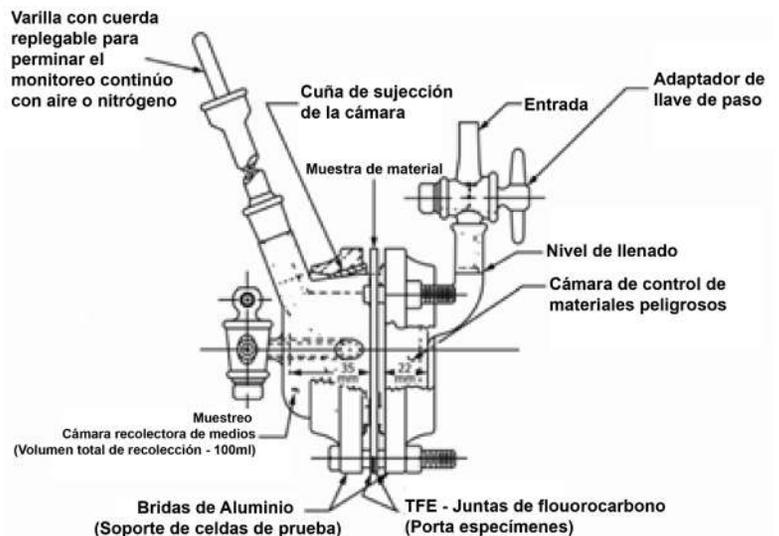


Fig. 4: Aparato de ensayo utilizado para evaluación de una barrera de vapor como protección contra una solución de sulfato

no cumplieron los criterios de expansión del ACI 318 para la resistencia a los sulfatos. El uso de este cemento en el concreto no es adecuado para la Categoría de Exposición S. La expansión media de estas barras de mortero superó el criterio del 0.05% aproximadamente a los 2 meses. La expansión superó el 0.10% en unos 3 meses, y fue de alrededor del 0.30% al concluir las pruebas a los 105 días de Exposición.

El cambio de longitud negativo de los especímenes colocados directamente sobre la capa de suelo contaminada con sulfatos y en un contenedor abierto (Exposición 2) es consistente con la contracción por secado. Las muestras en la Exposición 3, donde el contenedor estaba cerrado y sellado con tapa, exhibieron una expansión negligible.

Los cambios de longitud para las Exposiciones 2 y 3 son consistentes con la HR medida en cada una (53% y 92%, respectivamente). Los especímenes colocados sobre el retardante de vapor, separados de la capa de suelo sulfatado, mostraron el mayor cambio negativo de longitud (contracción por secado), lo que ilustra que el retardante de vapor proporcionó protección contra el ataque de los sulfatos. Esto respalda la premisa de que el uso de un retardante/barrera de vapor con una fisura capilar protege al concreto de los posibles daños causados por el ataque de los sulfatos.

Estudio patrocinado por el proveedor

En 2010, Stego Industries, LLC, contrató a un laboratorio para realizar pruebas de permeación y exposición a los sulfatos en una muestra de Stego® Wrap Vapor Barrier (15 milésimas de pulgada [0.38 mm]). La prueba de permeación a los sulfatos cuantifica la penetración de los sulfatos, y la prueba de Exposición a los sulfatos evalúa el efecto de la exposición a los sulfatos en las propiedades de las barreras de vapor.

Permeación de sulfatos: Se probó la permeabilidad de los iones sulfato a través de una muestra de barrera de vapor de acuerdo con ASTM F739, modificada para puntos de tiempo de muestreo discretos durante 5 semanas.

En esta prueba, el retardante de vapor sirvió de barrera entre dos cámaras, una llena de una solución de 10,000 ppm de SO_4^{2-} y la otra llena de agua destilada (Fig. 4). En esta versión modificada de la prueba, se midió la concentración del SO_4^{2-} en la cámara de agua destilada después de 1, 3, 7, 14, 28 y 35 días de Exposición. En cada una de las siete mediciones, la permeación de sulfato no fue detectable (el límite de detección fue de 0.5 ppm).

Exposición a los sulfatos: Para simular una exposición severa, se empaparon muestras de material de barrera de vapor de 15 milésimas de pulgada en una solución de 10,000 ppm de SO_4^{2-} durante 28 días a temperatura ambiente y con agitación constante del líquido, tal y como se describe en ASTM D5322, "Práctica estándar para los procedimientos de inmersión en laboratorio para evaluar la resistencia química de los geosintéticos a los líquidos". Además, las muestras de control se empaparon en agua destilada bajo las mismas condiciones de ensayo. Se evaluó la masa y el volumen de los cupones de prueba para cada Exposición. La masa se midió con una balanza analítica. La densidad se determinó por el método de desplazamiento, como se describe en ASTM D792, "Métodos de prueba estándar para la densidad y el peso específico (densidad relativa) de los plásticos por desplazamiento". El volumen se calculó en función de la masa seca y la densidad. A partir de estos datos se calculó el porcentaje de cambio en la masa y el volumen.

Los especímenes cortados de una muestra más grande de la barrera de vapor que había sido sumergida en la solución de sulfato intensa fueron evaluados para determinar las propiedades de tracción según ASTM D882, "Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de placas plásticas delgadas". Los resultados se compararon con un juego de muestras de control sumergidas en agua destilada durante 28 días. Para cada dirección principal (longitudinal y transversal), se registraron la resistencia a la fluencia, la resistencia última y la elongación.

Dos muestras expuestas a la solución de sulfato se sometieron posteriormente a pruebas de permeación al vapor de agua según ASTM F1249, “Método de prueba estándar para determinar la tasa de transmisión de vapor de agua a través de películas y placas de plástico utilizando un sensor infrarrojo modulado”. Los cinco cupones de prueba expuestos a la solución de sulfato mostraron ligeros cambios de masa y volumen durante la exposición. El cambio de masa promedio fue de -0.03%, y el cambio de volumen promedio fue de -0.73%. El cambio de masa promedio de los cinco cupones de prueba expuestos a la solución de agua destilada fue de +0.06%, y el cambio de volumen promedio fue de -0.02%. La resistencia a la tracción última promedio de las cinco muestras expuestas a la solución de sulfato fue de 74.2 lbf/pulg. en sentido longitudinal y de 69.2 lbf/pulg. en sentido transversal. La resistencia a la tracción última promedio de las cinco muestras expuestas al agua destilada fue de 73.6 lbf/pulg. en sentido longitudinal y 70.9 lbf/pulg. en sentido transversal. A modo de comparación, la resistencia mínima a la tracción para un material de barrera de vapor de Clase A de acuerdo con la ASTM E1745, “Especificación estándar para retardantes de vapor de agua plásticos utilizados en contacto con el suelo o el relleno granular bajo las losas de concreto”, es de 45 lbf/pulg.

Las elongaciones promedio de las cinco muestras expuestas a la solución de sulfato fueron del 1731% en sentido longitudinal y del 1678% en sentido transversal. Las elongaciones promedio de las cinco muestras expuestas al agua destilada fueron de 1759% en sentido longitudinal y 1693% en sentido transversal. Las dos muestras expuestas a la solución de sulfato y sometidas a pruebas posteriores de permeación al vapor de agua mostraron una permeación promedio de 0.008 perms.

Las pruebas no mostraron cambios significativos en la masa y el volumen de las muestras de barreras de vapor expuestas a la solución de sulfato o a la de agua destilada.

La diferencia en los resultados de las muestras en las dos condiciones de exposición no fue estadísticamente significativa, según una prueba t con un nivel de confianza del 95%.

Las diferencias en la resistencia a la tracción última y la elongación de los especímenes sumergidos en la solución de sulfato y en el agua destilada tampoco fueron estadísticamente significativas según una prueba t estadística con un nivel de confianza del 95%. Basándose en la similitud de los resultados de las pruebas de permeación al vapor de agua del material retardante de vapor en diferentes exposiciones, el material no se ve afectado por la exposición a concentraciones significativamente altas de solución de sulfato. Las propiedades del material de barrera de vapor no fueron afectadas después de ser sumergido en una solución severa de sulfatos por 28 días, apoyando el uso de una barrera/retardante de vapor para proveer protección al concreto del potencial de ataque de sulfatos desde las subrasantes con altos contenidos de sulfatos

¿Es un retardante de vapor o una barrera de vapor?

En este artículo, hemos utilizado los términos “retardante de vapor”, “barrera de vapor” y “retardante/barrera de vapor”. No está claro cómo se clasificó la placa de vapor en las pruebas realizadas para Baker Concrete, pero en las realizadas para Stego Industries, se utilizó una barrera de vapor. El Código Internacional de la Construcción de 2021 (IBC)14 separa los materiales retardantes de vapor en tres clases: I, II y III:

- Clase I con un índice de permeabilidad igual o inferior a 0.1;
- Clase II con un índice de permeabilidad superior a 0.1 pero inferior a 1.0; y
- Clase III con un índice de permeabilidad superior a 1.0 pero inferior a 10.0.

Para que un retardante/barrera de vapor cumpla con la norma ASTM E1745, se requiere un índice de permeabilidad de 0.1 o menor.

EIACI 302.1R-15,15 Sección 5.2.3.1, establece que “la industria no ha establecido un nivel de permeación que sirva como punto de división entre los materiales clasificados como barreras de vapor o retardantes de vapor. Lo más probable es que cuando se establezca un punto de separación entre la barrera y el retardante éste se sitúe en 0.01 perms o menos”. Stego Industries reconoce que las barreras de vapor tienen un índice de permeabilidad de 0.01 o menos. En consecuencia, recomendamos el uso de una barrera de vapor con un índice de permeabilidad de 0.01 como protección para el concreto contra la exposición a los sulfatos.

Bordes, Juntas, Penetraciones y Perforaciones

Se reconoce que, durante la construcción, la instalación de los retardantes de vapor puede dar lugar a un aislamiento que puede verse comprometido debido a desgarros, bordes y traslapes. La norma ASTM E1643, “Práctica estándar para la selección, el diseño, la instalación y la inspección de los retardantes de vapor de agua utilizados en contacto con tierra o relleno granular bajo las losas de concreto”, cubre los procedimientos para la selección, el diseño, la instalación y la inspección de las membranas flexibles prefabricadas en contacto con la tierra o el relleno granular utilizadas como retardante/barrera de vapor bajo losas de concreto. Esta norma suele mencionarse en las especificaciones de construcción de losas sobre el terreno. Además, una fisura capilar granular, que generalmente se exige en las especificaciones del proyecto, evitará que los iones de sulfato estén en contacto con el retardante/barrera de vapor. Por lo tanto, la transmisión de la humedad por vapor debería ser la única preocupación en las juntas solapadas, ya que los sulfatos disueltos no se transmiten a través del vapor de agua.

Otros beneficios

Las normas ACI 302.1R-15 y ACI 360R-1016 recomiendan colocar un retardante/barrera de vapor debajo de las losas de concreto que van a recibir recubrimientos de piso sensibles a la humedad. Aunque no se utilicen recubrimientos de piso sensibles a la humedad, se puede utilizar un retardante de vapor/barrera bajo la losa para minimizar el síndrome de la losa sudada.^{17,18}

Los retardantes de vapor proporcionan otros beneficios potenciales, incluyendo la reducción del ingreso de humedad no deseada que puede conducir al crecimiento de moho en materiales de construcción susceptibles, la reducción de la humedad que contribuye a los niveles de HR interior (y a las cargas latentes asociadas), la reducción del potencial de reactividad alcali-sílice disminuyendo la HR de la losa, y la reducción del curvado de la losa.^{19,20}

En ocasiones resulta difícil proporcionar un acabado uniforme con llana en un concreto con una relación a/cm de 0.40 y 0.45 que se especificaría con las Clases de Exposición S2 y S3 basadas en la concentración de sulfato en el suelo, ya que estas mezclas pueden requerir el uso de altas cantidades de aditivos que resultan en mezclas pegajosas o altos contenidos de materiales cementantes que podrían reducir el sangrado. El ACI 302.1R recomienda una relación a/cm de entre 0.47 y 0.55 para los suelos de concreto que vayan a recibir un acabado de llana dura. El uso de un retardante/barrera de vapor para aislar la losa del suelo para obtener una resistencia a los sulfatos permitiría que la relación a/cm fuera la recomendada por el ACI 302.1R.

Aunque este artículo no aborda explícitamente el uso de retardantes/barreras de vapor para limitar la exposición a suelos que contienen cloruros, o para proteger al concreto en contacto con agua, estos pueden ser considerados como otros beneficios potenciales asociados con el uso de un retardante/barrera de vapor.

Una respuesta a la exposición a los sulfatos para las losas en el terreno

El Reglamento de Construcción ACI 318 requiere que el profesional de diseño autorizado asigne las categorías de exposición y la clase apropiada para cada categoría, y el ACI 301-2021 requiere que el diseñador designe las clases de exposición o estipule en las especificaciones de diseño los requisitos para las mezclas de concreto para los tramos de la estructura que requieran un concreto resistente al ataque de los sulfatos. Creemos que la información proporcionada en este artículo puede ayudar a los profesionales del diseño a abordar los requisitos del ACI 318 y del ACI 301 respecto a la resistencia a los sulfatos del concreto para las losas sobre el terreno.

Agradecimientos

Los autores desean dar las gracias a Mike Schneider, Vicepresidente de Baker Concrete Construction, Inc. por facilitar los datos de Baker Concrete; y a Dan Marks, Director Técnico, y a Bret Houck, Vicepresidente de Desarrollo Comercial y Marketing, de Stego Industries, LLC, por facilitar datos y brindar su ayuda para este artículo.

Referencias

1. "Concrete Q&A: Design and Construction of Slabs-on-Ground (Exposure Conditions)," Concrete International, V. 42, No. 11, Nov. 2020, pp. 87-88.
2. 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.
3. PTI Committee DC-10, "Standard Requirements for Design and Analysis of Shallow Post-Tensioned Concrete Foundations on Expansive and Stable Soils (PTI DC10.5-08)," Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 17 pp.
4. PTI Committee DC-10, "Standard Requirements for Design and Analysis of Shallow Post-Tensioned Concrete Foundations on Expansive and Stable Soils (PTI DC10.5-19)," Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 56 pp.
5. ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 84 pp.
6. ACI Committee 515, "Guide to Selecting Protective Treatments for Concrete (ACI 515.2R-13)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 25 pp.
7. Redner, J.A.; Esfandi, E.J.; and Hsi, R.P., "Evaluating Protective Coatings for Concrete Exposed to Sulfide Generation in Wastewater Treatment Facilities," Journal of Protective Coatings & Linings, Nov. 1991, pp. 81-89.
8. Redner, J.A.; Hsi, R.P.; and Esfandi, E.J., "Evaluating Coatings for Concrete in Wastewater Facilities: An Update," Journal of Protective Coatings & Linings, Dec. 1994, pp. 48-59.
9. Vipulanandan, C., and Liu, J., "Glass-Fiber Mat-Reinforced Epoxy Coating for Concrete in Sulfuric Acid Environment," Cement and Concrete Research, V. 32, No. 2, Feb. 2002, pp. 205-210.

10. Aguiar, J.B.; Camões, A.; and Moreira, P.M., "Coatings for Concrete Protection against Aggressive Environments," *Journal of Advanced Concrete Technology*, V. 6, No. 1, Feb. 2008, pp. 243-250.
11. Suleiman, A.R.; Soliman, A.M.; and Nehdi, M.L., "Effect of Surface Treatment on Durability of Concrete Exposed to Physical Sulfate Attack," *Construction and Building Materials*, V. 73, Dec. 2014, pp. 674-681.
12. Pan, X.; Shi, Z.; Shi, C.; King, T.-C.; and Li, N., "A Review on Surface Treatment for Concrete—Part 2: Performance," *Construction and Building Materials*, V. 133, Feb. 2017, pp. 81-90.
13. Sakr, M.R., and Bassuoni, M.T., "Surface Treatments for Concrete Under Physical Salt Attack," *ICDCS 2018: Sixth International Conference on Durability of Concrete Structures*, P.M.A. Basheer, ed., University of Leeds, Leeds, UK, July 2018, pp. 633-640.
14. "2021 International Building Code (IBC)," International Code Council, Country Club Hills, IL, 2020, 833 pp.
15. ACI Committee 302, "Guide to Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-15)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 76 pp.
16. ACI Committee 360, "Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.
17. Craig, P., "Sweating Slab Syndrome," *Concrete Surfaces*, Oct. 2006, www.concreteconstruction.net/how-to/sweating-slabsyndrome-1_o.
18. McKinney, A.W., "Resolving 'Sweating' in Open Industrial Floor Slabs," *Concrete International*, V. 34, No. 2, Feb. 2012, pp. 26-29.
19. Tarr, S.M., and Farny, J.A., *Concrete Floors on Ground*, EB075.04, fourth edition, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2008, 239 pp.
20. "Concrete Q&A: Concrete Slab Curling Over Vapor Retarders," *Concrete International*, V. 38, No. 9, Sept. 2016, pp. 75-76.
21. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.



James Klinger, miembro de ACI, es especialista en construcción con concreto de la Sociedad Americana de Contratistas de Concreto (ASCC), en San Luis, MO, EE. UU. Es miembro del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias; de los Comités ACI 134, Constructibilidad del Concreto, y 318, Reglamento de Construcción con Concreto Estructural; y del Subcomité ACI 318-A, General, Concreto y Construcción. Klinger obtuvo un máster en ingeniería estructural en la Universidad de Maryland, College Park, MD, EE. UU.



Colin L. Lobo, FACI, es Vicepresidente Ejecutivo de la División de Ingeniería de la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Silver Spring, MD, EE.UU. Forma parte de varios comités del ACI, entre ellos el 132, Responsabilidad en la construcción de concreto; 211, Proporcionamiento de mezclas de concreto; 214, Evaluación de los Resultados de los Ensayos Utilizados para Determinar la Resistencia del Concreto; 301, Especificaciones para la Construcción con Concreto; 318, Reglamento de Construcción con Concreto Estructural; y 329, Criterios de Desempeño para el Concreto Premezclado. Obtuvo su licenciatura en ingeniería civil en la Universidad de Mysore, Mysore, Karnataka, India; su máster en la Universidad de Northeastern, Boston, MA, EE.UU.; y su doctorado en la Universidad de Purdue, West Lafayette, IN, EE.UU. Es ingeniero autorizado en el estado de Maryland.



Bruce A. Suprenant, FACI, es el Director Técnico de la ASCC. Es miembro de los comités ACI 134, Constructibilidad del Concreto, y 302, Construcción de Pisos de Concreto; y de los comités conjuntos ACI-ASCC 117, Tolerancias, y 310, Concreto Decorativo. Entre sus distinciones se encuentran la Medalla ACI Arthur R. Anderson en 2021, el Premio ACI de Construcción en 2021, el Premio ACI de Certificación en 2020, el Premio ACI Roger H. Corbetta al Constructor con Concreto en 2010 y el Premio ACI de Construcción en 2010.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noreste

Título: Barreras de vapor usadas en fisuras capilares para reducir la severidad de la exposición a los sulfatos en el concreto



Traductor: Lic. Iliana Margarita Gárza Gutiérrez



Revisor Técnico: M.C. Francisco David Anguiano Pérez



CONCRETO
LATINOAMÉRICA