

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

| Noviembre 2020

Volumen I. Número 2.

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

Volumen I. Número 2.

Noviembre de 2020

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
3

1. **Reconocimientos ACI a la excelencia en construcción con concreto 2020.**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Guatemala.

Pág
10

2. **Uso del vidrio molido como puzolana en el concreto.**
Los miembros del Subcomité ASTM C09.24 resumen el contexto industrial detrás de la nueva especificación de la norma ASTM.
Por Amanda Kaminsky, Marija Krstic, Prasad Rangaraju, Arezki Tagnit-Hamou, y Michael D.A. Thomas
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Noreste de México

Pág
20

3. **Protección catódica y reparaciones de concreto en los condominios Sound of the Sea II.**
La evaluación después de una década indica un éxito duradero.
Por David G. Tepke, Clement A. Firlotte y Stephen P. Robinson
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Centro Sur Ecuador.

Pág
26

4. **Concreto Preguntas y Respuestas Diseño y Construcción de losas sobre el terreno**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Argentina.

Portada. Ganador Absoluto al Reconocimientos ACI a la excelencia en construcción con concreto 2020. Kennedy Center Expansion Project. District of Columbia. USA. Fotografía cortesía de ACI revista Concrete International Nov 2020. Mayor información página 3.

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 por el ACI Internacional en la revista Concrete International correspondiente al mes de noviembre de 2020. 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 de Latinoamérica:

- Argentina Ing. Raúl Bertero
- Costa Rica Ing. Guillermo González Beltrán
- Ecuador Centro y Sur Ing. Santiago Vélez Guayasamín
- Guatemala Ing. Luis Alvarez Valencia y Xiomara Sapón
- México Centro y Sur Ing. Alma Reyes Zamorano
- México Noreste Ing. José Lozano y Ruy Sánchez
- Mexico Noroeste Ing. Alejandra Valencia
- Perú Ing. Luciano López Vinatea

Traducción y revisión técnica realizada por cada uno de los Capítulos del ACI de Latinoamérica participantes, así como por los responsables del trabajo de traducción realizado el cual está debidamente indicado en cada uno de los artículos publicados.

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

Diseño Editorial:
MDG. Rosa Otilia Armendáriz Solís
LDI. Luis Yerel Romo Valdez

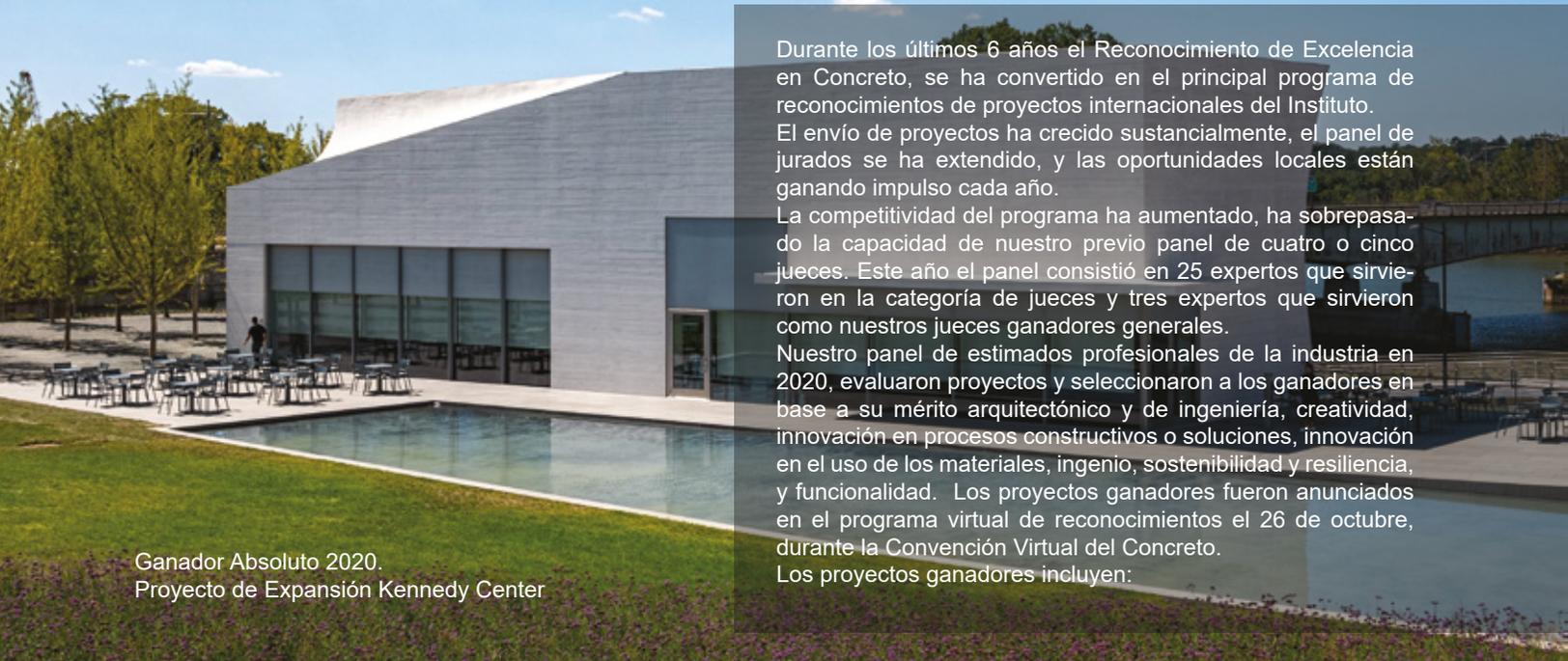
Coordinadora de Traducciones:
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Comunicación y Logística:
Lic. Ana Durán Herrera

**Cualquier asunto relacionado
con la publicación contactarse a:**

contacto@acimexico-snem.org
Tel: +52 81 2146 4907

Reconocimientos ACI a la excelencia en construcción con concreto 2020.



Ganador Absoluto 2020.
Proyecto de Expansión Kennedy Center

Durante los últimos 6 años el Reconocimiento de Excelencia en Concreto, se ha convertido en el principal programa de reconocimientos de proyectos internacionales del Instituto. El envío de proyectos ha crecido sustancialmente, el panel de jurados se ha extendido, y las oportunidades locales están ganando impulso cada año. La competitividad del programa ha aumentado, ha sobrepasado la capacidad de nuestro previo panel de cuatro o cinco jueces. Este año el panel consistió en 25 expertos que sirvieron en la categoría de jueces y tres expertos que sirvieron como nuestros jueces ganadores generales. Nuestro panel de estimados profesionales de la industria en 2020, evaluaron proyectos y seleccionaron a los ganadores en base a su mérito arquitectónico y de ingeniería, creatividad, innovación en procesos constructivos o soluciones, innovación en el uso de los materiales, ingenio, sostenibilidad y resiliencia, y funcionalidad. Los proyectos ganadores fueron anunciados en el programa virtual de reconocimientos el 26 de octubre, durante la Convención Virtual del Concreto. Los proyectos ganadores incluyen:

Reconocimiento Absoluto a la Excelencia y 1er Lugar en Edificios de Baja Altura – Primer Lugar

Kennedy Center Expansion Project, District of Columbia, Estados Unidos

Nominado por: ACI National Capital Chapter

Propietario: Gobierno de Estados Unidos

Arquitectura: Steven Holl Associates

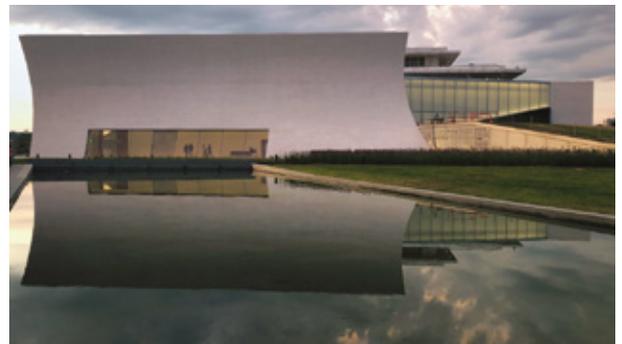
Ingeniería: Silman

Contratista General: The Whiting-Turner Contracting Company

Contratista de Concreto: The Lane Construction Corporation

El proyecto de expansión del Kennedy Center, conocido como el REACH, consiste en tres nuevos edificios – La Entrada, el Tragaluz y el Pabellón del Río – situados en los 4.6 acres (1.9 hectáreas) a lo largo del campus del Río Potomac en Washington, DC. Cada estructura cuenta con concreto formado con placas de titanio blanco, curvas amplias y líneas bien definidas que complementan el monumento existente.

La Entrada, El Tragaluz y el Pabellón del Río están todos interconectados bajo el nivel del suelo, bajo un techo verde en donde los visitantes pueden deambular por el laberinto de curvas de concreto. Múltiples patrones en forma de tablas y acabados (revestimientos) personalizados con forma de arrugas, agregan textura arquitectónica al concreto tanto arriba como debajo del suelo. Mientras el “concreto arrugado” crea un maravilloso efecto acústico en los salones de ensayo y actuación, el efecto visual es absolutamente impresionante.



Edificios de Gran Altura– Primer Lugar

Hudson Commons / 441 Ninth Avenue, New York, Estados Unidos

Nominado por: Directiva de la Industria del Concreto del New York City Chapter

Propietario: Cove Property Group

Arquitectura: Kohn Pedersen Fox Associates

Ingeniería: WSP Parsons Brinckerhoff

Contratista General: Pavarini McGovern

Contratista de Concreto: Regulator Construction, Inc.

Proveedor de Concreto: NYCON Ready Mix



El proyecto Hudson Commons en Nueva York, es una clara demostración de “pensar fuera de la caja”. Además de modernizar un edificio de ocho pisos que originalmente había funcionado como almacén, el equipo de Cove Property Group, Kohn Pedersen Fox y Pavarini McGovern agregaron 17 pisos (niveles), creando un moderno Edificio de oficinas comerciales "Clase A" con abundante iluminación, techos altos, espacios de terraza al aire libre y otras comodidades que atraen a los inquilinos de hoy.

Después de una demolición interior completa del edificio original, Pavarini McGovern abrió losas de piso para instalar un nuevo núcleo estructural, y el equipo reforzó los cimientos y columnas existentes para soportar la torre. El nuevo diseño ilumina significativamente el edificio existente, con paneles de vidrio y amplias ventanas en todo el primer piso. La adición incluye una fachada completa de cristal y alturas de techo extendidas para garantizar que los inquilinos reciban suficiente luz natural.



Edificios de Gran Altura– Segundo Lugar

W Hotel Tower, Washington, Estados Unidos

Nominado por: ACI Whashington Chapter

Propietario: Kemper Development Company

Arquitectura: HKS Architects

Ingeniería: Cary Kopczynski & Company

Contratista General: GLY Construction

Contratista de Concreto: McClone Construction Company

Proveedor de Concreto: Cadman

El espectacular W Hotel Tower de 41 pisos brinda lujo a gran escala. Ubicado en el corazón del centro de Bellevue, WA, incluye 245 habitaciones de hotel y 231 apartamentos de lujo en lo alto de un pódium de tres niveles. El pódium incluye boutiques, una variedad de restaurantes temáticos, un cine IMAX de última generación y otras comodidades recreativas para el público, residentes de apartamentos y huéspedes del hotel. La estructura de estacionamiento subterráneo de seis niveles proporciona 2200 espacios y se conecta a través de un túnel hacia el norte al Lincoln Square, creando una red de estacionamiento masiva para más de 4000 vehículos.



Edificios de Mediana Altura – Primer Lugar

Science Complex – Campus MIL, Québec Canada

Nominado por: ACI Québec and Eastern Ontario Chapter

Propietario: Université de Montréal

Arquitectura: Menkès Shooner Dagenais LeTourneux Architectes, Lemay, and NFOE Architectes

Ingeniería: SDK et associés

Contratista General: EBC Inc.

Contratista de Concreto: Sorel Tracy Ciment

Proveedor de Concreto: Lafarge

Con un total de casi 60.000 m² (645.800 pies²) y con el objetivo de lograr la certificación Gold LEED® NC, el Complejo de Ciencias de la Universidad de Montréal fue inaugurado el 20 de septiembre de 2019, tres años después de la ceremonia de inauguración.

Este sitio único está dedicado a la docencia y la investigación, y reúne a más de 35 cátedras de investigación. Ubicado en el sitio del antiguo patio de formación del Pacífico Canadiense, en el sector noreste de Outremont, el Complejo de Ciencias es el punto de partida para la revitalización de un área completa ubicada justo "en el medio" de la Isla de Montreal, de ahí el nombre MIL (milieu de l'île de Montréal).



Edificios de Mediana Altura – Segundo Lugar

725 Ponce, Georgia, Estados Unidos

Nominado por: ACI Georgia Chapter

Propietario: New City Properties

Arquitectura: S9 Architecture and Cooper Carry

Ingeniería: Uzun+Case, LLC

Ingeniería Mecánica, Eléctrica y de Plomería (MEP):

Jordan & Skala Engineers

Contratista General: Brassfield & Gorrie

725 Ponce está ubicado en Atlanta BeltLine entre Avenida Norte y Avenida Ponce de Leon es 725 Ponce, un desarrollo de uso mixto por New City Properties. El desarrollo de \$ 200 millones es una oficina de 14 pisos, estructura comercial y de estacionamiento diseñada por las firmas de arquitectura S9 Architecture y Cooper Carry.

El total del proyecto 949,300 pies² (88,200 m²), incluyendo 1064 espacios de estacionamiento en los primeros niveles, 370,000 pies² (34,400 m²) de espacio para oficinas tipo loft y 65,000 pies² (6040 m²) para una tienda de comestibles Kroger. Las características incluyen un marco estructural de concreto expuesto, así como terrazas en la azotea con vistas al histórico Parque Fourth Ward, el Mercado de la Ciudad de Ponce y el horizonte de Atlanta.



Edificios de Baja Altura – Segundo Lugar

Amélioration des infrastructures de l'Assemblée nationale du Québec, Québec, Canadá



Nominado por: ACI Québec y el Eastern Ontario Chapter
Propietario: Assemblée nationale du Québec
Arquitectura: Provencher_Roy Associés Architectes Inc.
Ingeniería: WSP Canadá Inc.
Contratista General: Pomerleau Inc.
Contratista de Concreto: Coffrages Synergy
Proveedor de Concreto: Les Entreprises LT Ltée

El atrevido concepto arquitectónico de este proyecto ayudó a preservar el carácter patrimonial, simbólico y relacionado con la identidad del Edificio del Parlamento, reconocido como monumento histórico nacional de Quebec desde 1985. Al construir el centro de recepción bajo las zonas del jardín dirigen al Parlamento, la escalera monumental y la integridad arquitectónica del edificio patrimonial diseñados por Eugène-Étienne Taché fueron conservadas y mejoradas.

El nuevo centro de recepción, que abrió sus puertas el 29 de mayo de 2019, está compuesto por tres niveles subterráneos frente al Parlamento y un nivel bajo el patio interior. Ambas áreas están unidas entre sí por un túnel de concreto reforzado de 21 m (69 pies) de largo por 4,5 m (15 pies) de ancho, excavado en la roca bajo el ala principal del edificio del Parlamento.



Concreto Decorativo – Primer Lugar

King Abdullah Petroleum Studies and Research Center, Saudi Arabia

Nominado por: ACI Saudi Arabia Chapter
Propietario: Saudi Aramco
Arquitectura: ZAHA-HADID
Ingeniería: ARUP
Contratista General: Drake & Scull International (DSI)
Contratista de Concreto: Gulf Elite General Contracting
Proveedor de Concreto: Saudi Ready-Mix Concrete Company

El Centro de Estudios e Investigación del Petróleo Rey Abdullah (KAP-SARC) en Riyadh, Arabia Saudita, es un centro de primer nivel mundialmente reconocido para estudios de energía, investigación ambiental y estudios de política. Cubriendo un área de 70,000 m² (753,470 pies²), las instalaciones incluyen el Centro de Conocimientos de Energía, el Centro de Cómputo de Energía, Auditorio de Conferencias, Biblioteca de Investigación y Salón de Oración. El edificio principal consta de una estructura de concreto con sótano y tres pisos. La fachada del edificio consta de concreto reforzado con fibra de vidrio (GFRC), paneles de revestimiento y acristalamientos adosados a marcos de acero. El concepto del diseño del centro es un sistema celular, parcialmente modular que integra diferentes edificios como un solo conjunto con espacios públicos interconectados.

Las estructuras de panel prismático hexagonal utilizan la menor cantidad de material para crear una red de células dentro de un determinado volumen. Este principio estructural y organizacional, determinó la composición del edificio como una mezcla de formas cristalinas que emergen del paisaje desértico, evolucionando para responder mejor a las condiciones ambientales y requisitos funcionales internos. Las rejillas de panel se comprimen hacia su eje central como una extensión del canal natural que corre hacia el oeste.



Concreto Decorativo – Segundo Lugar

SSENSE MONTRÉAL, Québec, Canadá

Nominado por: ACI Québec y el Eastern Ontario Chapter
Propietario: SSENSE
Arquitectura: David Chipperfield Architects / AEDIFICA
Ingeniería: Latéral
Contratista General: Groupe Decarel
Contratista de Concreto: Coffrages Synergy
Proveedor de Concreto: Lafarge

SSENSE es una empresa con sede en Montreal con alcance global, que sirve 150 países y generando un promedio de 76 millones de páginas vistas por mes. Es mejor conocida por su selección de ropa de alta gama para hombres y mujeres.

SSENSE MONTRÉAL se encuentra en 418 Saint-Sulpice Street. Es un edificio de seis pisos construido en 1866, y está ubicado directamente adyacente a la Basílica de Notre-Dame. La fachada histórica del edificio se preservó y encierra una estructura de concreto colocado en el lugar en el que la arquitectura del concreto está expuesto y explícito. SSENSE MONTRÉAL celebra el primer edificio en Canadá diseñado por David Chipperfield Architects. El café, ubicado en el último piso y con capacidad para 34 personas, ofrece un ambiente relajado y una experiencia culinaria innovadora. Cuenta con un mostrador de concreto y una mesa común personalizada, así como un techo de cristal sobre el concreto expuesto que cubre todo el espacio y proporciona una vista despejada del cielo. SSENSE MONTRÉAL es un centro de actividad, donde la experiencia humana, la creatividad y la interacción están a la vanguardia.



Infraestructura – Primer Lugar

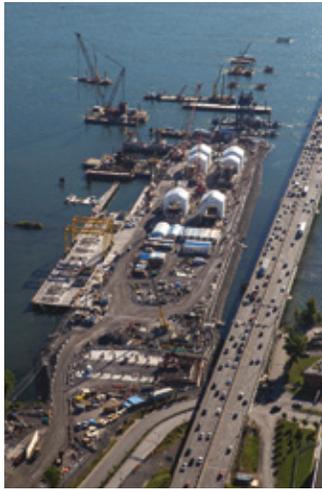
Alaskan Way Viaduct Replacement Program, State Route 99 Tunnel, Washington, United States



Nominado por: ACI Washington Chapter
Propietario: Washington Department of Transportation (WSDOT)
Arquitectura: HNTB Corporation
Ingeniería: HNTB Corporation, lead engineer of record
Contratista General y Contratista de Concreto: Seattle Tunnel Partners, JV of Dragados USA, Inc., and Tutor Perini Corporation
Proveedor de Concreto: CalPortland

El túnel perforado de terreno blando más grande de América del Norte, el túnel de 2 millas (3.2 km) de la ruta estatal 99, con 16 m (52 pies) de diámetro excavado, reemplazó el viejo viaducto Alaskan Way como una parte crítica de uno de los proyectos de infraestructura más grandes en Estados Unidos. La alineación del túnel pasa por debajo de 158 edificios del centro de Seattle, incluidas estructuras de un solo piso y rascacielos, así como carreteras a nivel y elevadas, puentes activos, un túnel ferroviario activo, varias alcantarillas grandes y servicios privados.

Las carreteras de 32 pies (10 m) de ancho del túnel llevan dos carriles hacia el sur encima de dos carriles hacia el norte. Las características del túnel; sistemas de detección de incendios, extinción de incendios y ventilación de última generación; un sistema de seguridad con televisores de circuito cerrado; y un área de evacuación separada y completamente presurizada con su propio sistema de ventilación, el primero de su tipo.



Infraestructura – Segundo Lugar *Samuel de Champlain Bridge, Québec, Canadá*

Nominado por: ACI Québec y el Eastern Ontario Chapter
Propietario: Infrastructure Canada
Arquitectura: Provencher_Roy et Dissing+Weitling (Poul Ove Jensen—Denmark)
Ingeniería: T.Y. Lin, International Bridge Technologies, and SNC Lavalin joint venture
Contratista General y Contratista de Concreto: Signature sur le Saint-Laurent Construction Inc.
Proveedor de Concreto: Lafarge Canada Inc.

El Proyecto del Corredor del Puente Samuel de Champlain se extiende a lo largo de 8,4 km (5,2 millas) y fue construido para reemplazar el original Puente Champlain con una nueva estructura de 3,4 km (2,1 millas) de longitud. Diseñado para una vida útil de 125 años, el nuevo puente icónico sirve como puerta de entrada de los Estados Unidos a Montreal, mientras que representa uno de los más grandes e importantes proyectos de infraestructura de transporte en esta región urbana históricamente rica, así como en América del Norte.

El puente comprende seis carriles de tráfico, hombros extra anchos, un corredor de tránsito diseñado para acomodar un sistema de tránsito de tren ligero, y un camino multiusos para peatones y ciclistas.

El proyecto implicó el extenso uso de elementos prefabricados de concreto, en particular las pilas, y la parte superior de la torre principal que fue construida utilizando sofisticadas formas auto-trepantes. El proyecto también incluye la construcción de un segundo puente con un tramo de 500 m (1640 pies) que une la Île des Soeurs con la isla de Montreal, así como la ampliación de la autopista 15, que pasa por la zona urbana de la ciudad.

Reparación y Restauración – Primer Lugar

Conococheague Aqueduct Rehabilitation, Maryland, United States

Nominado por: ACI Maryland Chapter
Propietario: National Park Service
Ingeniería: McMullan & Associates
Contratista General y Contratista de Concreto: Corman Koko-sing Construction Company
Proveedor de Concretor: Thomas, Bennett & Hunter, Inc.

El histórico Acueducto Conococheague en Chesapeake y el Canal de Ohio en Williamsport, MD, fue restaurado usando una combinación de materiales y métodos históricos y modernos. Este un puente de tres arcos lleno de agua transportaba barcos del canal sobre el Conococheague Creek desde 1835 hasta 1924. Una de las paredes de piedra de los acueductos fue reemplazada por una pared de madera con estabilizadores en 1920, después de que un bote del canal lo atravesara y cayera al arroyo de abajo, y la reparación sirvió hasta que el acueducto se cerró definitivamente después de dos inundaciones en 1924.

La restauración moderna incluyó reparaciones a la mampostería existente, construcción de un canal de concreto e instalación de estabilizadores de madera para replicar la apariencia del puente en la década de 1920.

Con la construcción de una cuenca de retorno del canal y la restauración de agua en el acueducto, el proyecto de reparación y restauración ahora permite a los visitantes viajar en bote por el histórico Acueducto Conococheague y a través de una esclusa del canal en funcionamiento.





Reparación y Restauración – Segundo Lugar

Berri-Sherbrooke Underpass Rehabilitation, Québec, Canadá

Nominado por: ACI Québec y el Eastern Ontario Chapter

Propietario: City of Montréal

Arquitectura: GR7 Architecture

Ingeniería: SNC-Lavalin

Contratista General: Eurovia Québec Grand Projects

Proveedor de Concreto: Béton provincial

El paso subterráneo de Berri-Sherbrooke está en el corazón de Montreal. Construido en 1955, permite el paso bajo la calle Sherbrooke Street, de dos carriles de tráfico en ambas direcciones, un carril para bicicletas particularmente transitado, y una acera. El sitio se divide en cinco estructuras: un puente de dos vanos de estructura rígida de concreto reforzado y cuatro muros de contención, también en concreto reforzado. El puente fue reparado en 2004, pero los muros de contención presentaban importantes deficiencias y necesitaba rehabilitación. El trabajo se llevó a cabo durante 2 años consecutivos, con un descanso en invierno. El trabajo de paisajismo se completó en la primavera de 2020.

La fecha límite para presentar propuestas para los Premios de Excelencia en la Construcción con Concreto del ACI para el año 2021 es el **19 de abril del 2021**.

Cada capítulo o Socio Internacional de ACI es elegible para patrocinar un proyecto en cada una de las seis categorías posibles. Para más información visite la página:

www.ACIExcellence.org

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Guatemala.

Título: Reconocimientos ACI a la excelencia en construcción con concreto 2020.



Traductor y revisor técnico :
Ing. Xiomara Sapón.

Uso de vidrio molido como puzolana en el concreto

Los miembros del Subcomité ASTM C09.24 resumen el contexto industrial detrás de la nueva especificación de la norma ASTM

por Amanda Kaminsky, Marija Krstic, Prasad Rangaraju, Arezki Tagnit-Hamou, y Michael D.A. Thomas

El sector de la construcción está continuamente buscando nuevas fuentes de materiales cementantes suplementarios (MCS) para aumentar el cemento portland, la ceniza volante, la escoria de cemento y el humo de sílice utilizados en las mezclas modernas de concreto. Las amplias investigaciones y pruebas han demostrado que varios tipos de vidrio molido funcionará bien como puzolana en el concreto. Apoyado por esos resultados, el Subcomité ASTM C09.24, de Materiales Cementantes Suplementarios, ha redactado la norma ASTM C1866/C1866M-20, "Especificación estándar para uso de puzolana de vidrio molido en el concreto". La nueva especificación se publicó a principios de este año, después de 3 años y medio de votaciones por el comité. Este artículo proporciona gran parte de la información de fondo y el contexto de la industria que acompañó la votación.

Motivación

La producción de vidrio es una fuente importante de gases de efecto invernadero. Si bien el reciclado puede reducir el impacto ambiental¹, en los Estados Unidos se vierten anualmente 8.4 millones de toneladas (7.6 millones de toneladas) de vidrio para envases (casi el triple de la cantidad que se recicla)². Una evaluación preliminar del ciclo de vida de un productor de puzolanas de vidrio molido (PVM) realizada por un tercero³ indica que el impacto en el potencial de calentamiento global (PCG) para 1 tonelada (0.9 toneladas) de PVM es de 56 kg (123 lb) de CO₂e. Como comparación, el promedio de PCG de la industria estadounidense para el cemento portland es de 1040 kg (2293 lb) CO₂e. Por lo tanto, el PCG calculado para una mezcla de concreto en un proyecto reciente de la ciudad de Nueva York con un 50% de sustitución del cemento con PVM sería aproximadamente un 40% menos que el PCG para una mezcla de concreto con cemento solamente.

Fuentes y Química del Vidrio

- La mayor parte del vidrio producido en el mundo es de uno de los siguientes tipos:
- Vidrio para envases (utilizado en el embalaje): Este material es generalmente vidrio sodocálcico producido en colores sílex (claro), verde, azul o ámbar y formado por la presión del aire en los moldes;

- Vidrio plano (utilizado como acristalamiento en edificios y automóviles): Este material también es generalmente vidrio sodocálcico producido en colores claros o teñidos y formado por la flotación en estaño fundido; o
- Vidrio clase E (usado como refuerzo en polímeros fibroreforzados): Este material es un vidrio de bajo contenido alcalino formado por extrusión a través de un buje para formar filamentos que son rápidamente llevados a un diámetro fino antes de solidificarse.

En la Tabla 1 se sintetiza la química de estos tipos de vidrio y otros materiales puzolánicos o cementantes utilizados en el concreto, y en la Fig. 1 se contextualiza la PVM frente al cemento portland ordinario (CPO) y otros MCS. Aunque la química del vidrio clase E es bastante diferente de la química del vidrio para envases o vidrio plano, se ha demostrado que los tres tipos de vidrio son adecuados para su uso como puzolana en el concreto de cemento portland. Además, debido a los procesos controlados que se utilizan para fabricar estos tipos de vidrio, cada uno tiene una química muy uniforme en todo el mundo, como demuestra la desviación estándar reportada en la Tabla 2 sobre la química del vidrio para envases.

Los miembros del subcomité coincidieron en que las tres fuentes de vidrio listadas en ASTM C1866/C1866M se producen en cantidades suficientes para proporcionar recursos viables para la producción de concreto. El subcomité también coincidió en que el vidrio molido podría utilizarse de forma segura. La producción de vidrio está regulada para limitar el contenido de materiales tóxicos, y los vidrios enumerados en la norma no están incluidos en las listas de desechos peligrosos de la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA por sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).⁹ Además, las fuentes de puzolana de vidrio están compuestas de sílice amorfa. A diferencia de la sílice cristalina, no se ha encontrado que la sílice amorfa produzca cáncer en el tejido pulmonar.^{10,11} Sin embargo, como con todos los polvos no peligrosos, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (OSHA por sus siglas en inglés)

Tabla 1:

Composición típica de tres principales tipos de vidrio y MCS comunes usados en el concreto ⁴⁻⁶

Compuesto	Composición, peso %							
	Vidrio sodocálcico		Vidrio clase E	Materiales comúnmente especificados				
	Vidrio para envases	Vidrio plano		Ceniza volante		Metacaolín	Cemento con escoria	Humo de sílice
				Tipo F	Tipo C			
SiO ₂	71.0	71.2	59.9	50 to 60	30 to 50	51 to 53	39.4	94.7
Al ₂ O ₃	1.82	0.36	12.5	25 to 35	10 to 25	42 to 44	9.1	0.9
Fe ₂ O ₃	0.61	0.44	0.37	5 to 10	4 to 10	0.52	0.32	1.2
CaO	10.9	9.33	21.4	1 to 12	15 to 30	<0.5	38.7	0.3
MgO	0.94	3.86	2.91	1 to 3	1 to 6	<0.5	11.9	1.8
Na ₂ O	13.0	13.2	0.77	0.2 to 1.0	0 to 2	<0.1	0.29	—
K ₂ O	0.52	0.04	0.06	1 to 3	0 to 4	<0.5	0.63	—
SO ₃	<0.1	<0.1	<0.1	0.1 to 1.0	1 to 4	<0.5	2	0.5
LOI	<0.5	<0.1	<0.1	0.5 to 5	0 to 3	0.7	<0.01	0.57
Sílice amorfa*	~100	~100	~100	50 to 80	80 to 90	~100	>95	~100

*Los valores de la sílice amorfa son los porcentajes del contenido total de sílice en el material

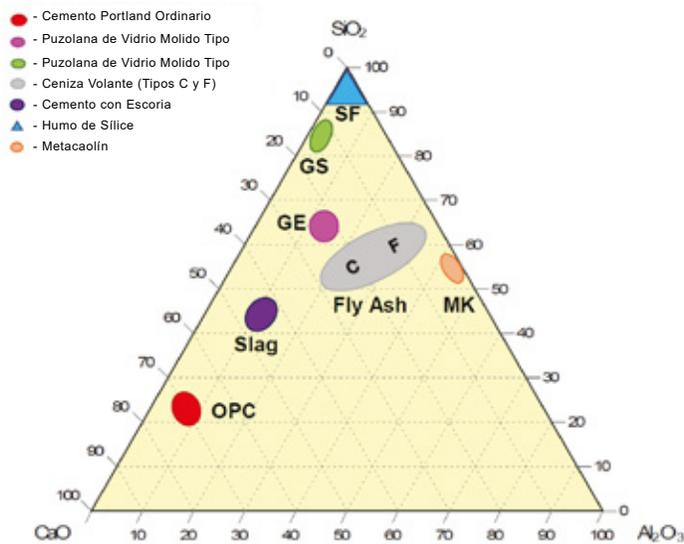


Fig. 1: Gráfica ternaria que contextualiza la PVM frente al CPO y otros MCS (Nota: Para las gráficas ternarias, los valores están en porcentaje de peso, y se normalizan a la suma de SiO₂, Al₂O₃ y CaO)⁴⁻⁸ (figura cortesía de Marija Krstic)

proporciona niveles de exposición permitidos (PEL por sus siglas en inglés) para la sílice amorfa. El PEL (promedio ponderado en 8 horas) para la sílice amorfa es de 20 millones de partículas/pie³ de aire (mpppc). Como comparación, el PEL para la mica o el polvo de piedra de jabón es también de 20 mpppc, y el PEL para el cemento portland es de 50 mpppc.¹²

Reservas y Suministro de Vidrio

Vidrio para envases

Según la EPA, la corriente de desechos sólidos municipales (DSM) de los Estados Unidos contenía 11.4 millones de toneladas (10.3 millones de toneladas) de vidrio en 2017.2 Alrededor del 26%, o 3 millones de toneladas (2.7 millones de toneladas), se recuperaron para ser reciclados y los 8.4 millones de toneladas restantes (7.6 millones de toneladas) fueron enviados a los vertederos.² La mayor parte del vidrio de desecho se recoge en contenedores recolectores en la acera en los que se mezcla con otros materiales reciclables como papel, cartón, plásticos y metales.¹ Estos materiales van a instalaciones de recuperación de materiales de flujo simple y doble, donde los compuestos de desechos son triturados y el vidrio es separado a través de cribas. El vidrio de desecho también se recoge en los centros de canje de botellas en los 11 estados de EE. UU. que requieren depósitos para la compra de algunas bebidas.¹³ Este vidrio está relativamente limpio y es adecuado para la separación por color de los desechos de vidrio.

Gran parte del vidrio para envases procesado en las instalaciones de recuperación de material se clasifican visualmente, con base en el color, para su venta a los fabricantes de botellas. Sin embargo, alrededor de un tercio del vidrio es más fino que 3/8 de pulgada (9.51 mm), lo que no es económico para la separación visual por color.¹ Algunos de estos vidrios pueden ser adecuados para fundirse nuevamente y fabricar

Tabla 2:

Análisis químico de múltiples muestras de PVM producido de vidrio para envases (cortesía de Urban Mining Northeast)

Componente	Valores constitutivos de PVM producidas en diversos momentos, %						Media	Desviación estándar
	Julio 2018	Sept. 2018	Nov. 2018	Ene, 2019	Mar. 2019	May 2019		
SiO ₂	72.19	70.44	71.16	71.72	70.90	71.24	71.28	0.61
Al ₂ O ₃	1.72	1.64	1.62	1.64	1.61	1.55	1.63	0.06
Fe ₂ O ₃	0.63	0.65	0.43	0.45	0.58	0.50	0.54	0.09
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	74.54	72.73	73.21	73.81	73.09	73.29	73.45	0.64
CaO	10.72	11.48	11.27	10.99	11.34	11.22	11.17	0.27
MgO	1.44	1.45	1.46	1.46	1.45	1.46	1.45	0.01
Na ₂ O	12.49	13.52	13.27	12.96	13.31	13.25	13.13	0.36
K ₂ O	0.45	0.47	0.46	0.46	0.47	0.48	0.47	0.01
SO ₃	0.18	0.18	0.16	0.16	0.15	0.13	0.16	0.02

aislamiento de fibra de vidrio. Dado que no es necesario separar el vidrio por colores para su uso como puzolana, se pueden obtener de 1 a 2 millones de toneladas (0.9 a 1.8 millones de toneladas) adicionales de vidrio para ese fin. La cantidad total depende de las futuras tasas de reciclaje de vidrio en las grandes comunidades urbanas. La producción de puzolanas con valor añadido a partir de desechos de vidrio sin duda alterará la percepción negativa del reciclado de vidrio, y las tasas de reciclado deberían aumentar considerablemente. En última instancia, mucho más de 2 millones de toneladas de vidrio para envases podrían estar disponibles para la producción de puzolanas anualmente.

Vidrio plano

De 1.5 a 2 millones de toneladas (1.4 a 1.8 millones de toneladas) de vidrio plano con forma de moldura de ventana, parabrisas con defecto de fábrica y parabrisas post-consumo y cristales para edificios puede ser reciclado. Muchos edificios existentes son sometidos a adaptaciones energéticas que incluyen la eliminación y reemplazo del cristal que los envuelven. Los principales mercados actuales para el vidrio plano reciclado son las esferas de vidrio utilizadas en la pintura de tráfico y en el mejoramiento de la reología, así como para agregados utilizados de las subrasantes de las carreteras y relleno estructural. Sin embargo, se estima que por lo menos de 400,000 a 500,000 toneladas (360,000 a 450,000 toneladas) estarían disponibles para el mercado de puzolanas de vidrio si se puede simplificar la logística. Cuando es procesado, este vidrio será tan blanco como el cemento blanco y puede ser procesado hasta una pureza del 99.9%.

Vidrio clase E

Generalmente, el vidrio clase E se recupera de las fábricas de vidrio durante la manufactura de refuerzos de fibra de vidrio. Puede ser procesado a partir de residuos de fibra no utilizados y puede ser molido en un polvo blanco sin restos de fibra. Alrededor de 200,000 toneladas (180,000 toneladas) de este material están disponibles cada año.⁵ La empresa Per Vitro Minerals, Inc. (www.vitrominerals.com), ha utilizado ampliamente las

puzolanas de vidrio clase E durante los últimos 10 años como puzolanas para cemento blanco en aplicaciones de concreto decorativo.

Producción de PVM

Limpieza de vidrios

Las principales fuentes de vidrio reciclado son las instalaciones de recuperación de material y los programas de canje de botellas. Una cantidad mucho menor proviene de los desechos de los fabricantes de botellas, los sitios de recolección de vidrio municipales y las comunidades que requieren que los restaurantes y bares reciclen su vidrio. Dependiendo de la fuente del vidrio, se emplean procesos térmicos, húmedos y mecánicos para limpiar el vidrio reciclado para su próximo uso. En los procesos térmicos, la fracción orgánica se quema y los metales se eliminan usando imanes y corrientes parásitas. Si bien los procesos térmicos son eficaces, las autoridades estatales y locales encargadas de conceder los permisos pueden requerir un costoso equipo para el control de la contaminación del aire. Los procesos húmedos también son eficaces, pero deben incluir instalaciones de tratamiento de aguas. Los procesos de limpieza mecánica utilizan la agitación y/o las colisiones partícula-a-partícula para desgastar los compuestos orgánicos del vidrio. Se utilizan una serie de pantallas y chorros de aire (el aire puede calentarse) para separar el vidrio de los componentes que no lo son, y se utilizan imanes para eliminar los metales ferrosos. La limpieza mecánica suele emplearse para reciclar el vidrio para envases.

La botella de bebida promedio tiene una masa de aproximadamente 225 g (8 oz) y una superficie interior de aproximadamente 0.08 m² (0.86 pies²). Cuando se muele en un polvo para tamizarlo de forma húmeda en una malla 325, las partículas de vidrio resultantes tienen una superficie total de aproximadamente 2 m²/g. Eso suma unos 550 m²/envase (5.920 pies²/envase), por lo que en efecto sólo una partícula de vidrio de unas 5600 partículas habrá estado expuesta al contenido de la botella (generalmente, azúcar). Además, el entorno de molienda altamente abrasivo desgasta la mayor parte de cualquier material de etiquetas o residuos de alimentos, y estos materiales se aspiran en un colector de polvo para su eliminación. Sin embargo, debido

a que es importante limitar la cantidad de materiales orgánicos en cualquier mezcla de concreto, el subcomité de ASTM investigó los efectos de los valores de la pérdida por ignición (LOI) en el polvo de vidrio.

En la práctica, gran parte de la LOI en el vidrio reciclado se debe a los residuos de papel. Para probar el impacto en el concreto del contenido de aire de los orgánicos asociados con la LOI, la Universidad de Sherbrooke preparó y ensayó un total de 37 mezclas de concretos de peso normal con relaciones agua-materiales cementantes (a/mc) de 0.55, un contenido total de materiales cementantes de 375 kg/m^3 (632 lb/yd^3), y un revenimiento objetivo de $175 \pm 25 \text{ mm}$. Las muestras de PVM con valores de LOI de 0.20 a 2.04 % en masa, fueron utilizadas para reemplazar el 20% (en masa) de cemento ASTM C1157/C1157M Tipo GU. Se produjeron dos mezclas de referencia con cemento 100% Tipo GU. Un diagrama del contenido de aire del concreto fresco (medido según la norma ASTM C231/C231M, "Método de prueba estándar para el contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión") contra el valor de LOI en la PVM (Fig. 2), muestra que un valor de LOI de 0,5 % en masa o menos, puede dar lugar a un contenido de aire del 2%, lo que es aceptable para concreto sin aire incluido, normalmente especificado para aplicaciones en interiores. El comité decidió exigir al fabricante de PVM que limpiara el polvo de vidrio a un valor de LOI inferior a 0,5 % en peso.

Molienda de vidrio

La molienda de vidrio a escala comercial requiere un circuito cerrado en el que el dispositivo de molienda alimenta un clasificador de aire que separa el material en dos fracciones: el producto que tiene el tamaño de partícula deseado y el material de mayor tamaño (Fig. 3).

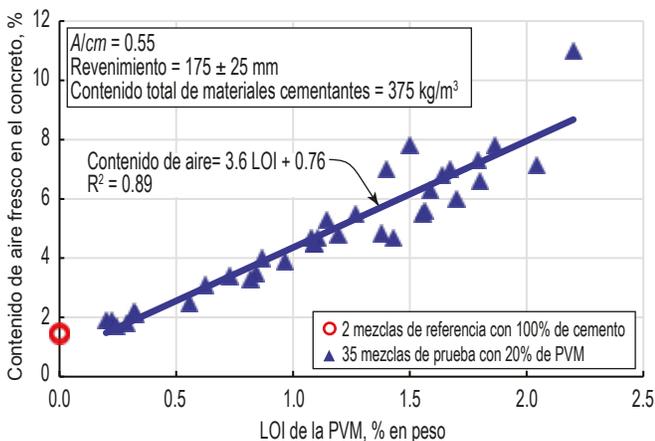


Fig. 2: Contenido de aire fresco versus LOI de la PVM. La puzolana comprende el 20% del total del material cementante de las 35 mezclas de prueba (figura cortesía de Arezki Tagnit-Hamou) (Nota: 1 mm = 0.04 pulg.; 1 kg/m³ = 1.7 lb/yd³)

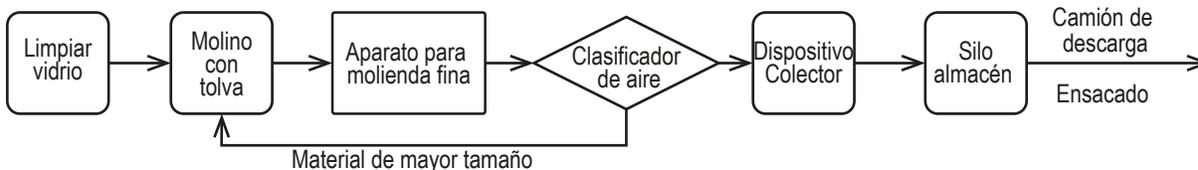


Fig. 3: Visión general del proceso para moler piezas de vidrio limpias y convertirlas en puzolana.

El material de mayor tamaño es transportado de vuelta a la tolva de alimentación del molino. El producto molido según las especificaciones se transporta luego neumáticamente o mediante un tornillo sinfin cerrado a un silo para la carga de camiones a granel o para su ensacado. A menudo se emplea la pre-trituración para reducir el tamaño de las partículas previo al dispositivo de molienda para aumentar el rendimiento.

El límite de finura en ASTM C1866/C1866M se fija en un 5 % de la masa retenida en la malla 325. El requisito de uniformidad de la finura en ASTM C1778, "Guía estándar para reducir el riesgo de reacción alérgica por álcalis en el concreto", establece que las 10 pruebas previas no pueden variar en más del 5%, de modo que todo el material que cumpla el requisito de finura de la norma C1866/C1866M cumplirá el requisito de uniformidad establecido en la norma C1778.

Mitigación de la RAS utilizando Vidrio Molido

La norma ASTM C1866/C1866M requiere que un mínimo del 95% del polvo de vidrio pase un tamizado húmedo por la malla 325 (las partículas son más pequeñas que 45 micrones). Las investigaciones sugieren que las partículas menores de 300 micras no presentan riesgo alguno de reacción álcali-sílice (RAS).^{14,15} Cuando se muele hasta el 95% pasando por un tamiz de 45 micras, hay un riesgo insignificante de que resulten partículas lo suficientemente grandes como para preocuparse por una RAS, sobre todo porque los circuitos de molienda del bucle cerrado deben asegurar que siempre se supere el mínimo del 95%. Sin embargo, los PVM deberán evaluarse de conformidad con la norma ASTM C1778 para determinar la conveniencia para mitigar la RAS. En las secciones siguientes se presentan datos de ensayo de mezclas de concreto con agregados altamente reactivos. No hay datos sobre las puzolanas de vidrio utilizadas con agregados de baja o moderada reactividad. A medida que se disponga de datos, se podrán proponer cambios en la norma ASTM C1778.

Puzolanas de vidrio contra otras puzolanas industriales

En comparación con otras puzolanas en la industria, las puzolanas de vidrio tienen las siguientes características:

- Menor cantidad disponible: actualmente se dispone de 2 millones de toneladas de vidrio a nivel nacional por año, la mayoría de las cuales se pueden utilizar para fabricar PVM Tipo GS. Conforme mejore la tecnología de procesamiento de vidrio y aumente el costo de los MCS de la competencia, la viabilidad económica de las plantas de procesamiento de PVM llegará a los mercados más pequeños que tengan disponible vidrio reciclable. Esto aumentará su potencial en 2 millones de toneladas;

Tabla 3:

Reactividad y demanda de agua para varias puzolanas

Puzolana	Reemplazo potencial de cemento* †	Reactividad	Demanda de agua
Vidrio para envases	10 a 40	Moderado a alto	Reducción
Vidrio clase E	10 a 30		
Vidrio plano	10 a 40		
Ceniza volante tipo F	10 a 30	Bajo ‡	Reducción
Ceniza volante tipo C	10 a 40	Moderado a alto	Reducción
Puzolana natural †	10 a 20	Bajo a moderado	Aumento moderado a mayor
Cemento de escoria	25 a 50	Moderado	Neutral
Humo de sílice	5 a 8	Alto	Aumento mayor
Metacaolín	5 a 15	Alto	Aumento mayor

* Estos valores pretenden ayudar a contextualizar el uso de la PVM entre distintos materiales. Estos materiales han sido/son utilizados fuera de estos rangos.

† Bajo a edades tempranas.

‡ Las puzolanas naturales incluyen una amplia gama de materiales con un espectro de propiedades.

- Mayor pureza: Las puzolanas de vidrio, provenientes de las tres categorías identificadas, tendrán una química extremadamente uniforme y estarán libres de cualquier elemento peligroso⁵;
- Amplio abastecimiento: el abastecimiento de puzolanas de vidrio probablemente provenga de plantas regionales más pequeñas en comparación con las grandes centrales eléctricas (cenizas volantes) y las acerías (escoria);
- Reactividad similar: las puzolanas de vidrio tienen una reactividad de moderada a alta, dependiendo de su superficie específica (finura) después de ser procesadas (Tabla 3). El rendimiento de la puzolana de vidrio permite niveles de sustitución del cemento comparables a los de la ceniza volante y escoria^{5,14,16-33};
- Menor demanda de agua: las puzolanas de vidrio tienen una baja demanda de agua, como la ceniza volante (Tabla 3). Esto ayuda a reducir la demanda de aditivos y los factores del cemento en el concreto^{5,16-20};
- Impactos ambientales similares: Como las puzolanas de vidrio se reciclan a partir de corrientes de desechos post-consumo (Tipo GS) o post-industriales (Tipo GE), su utilización en la industria del concreto tendrá beneficios ambientales positivos.²⁹

Contenido de álcalis

Es importante utilizar un cemento con bajo contenido de álcalis (bajo Na₂O_{eq}) cuando los agregados reactivos estarán presentes en mezclas sin adiciones de puzolana. El vidrio clase E tiene menos del 1% de contenido de Na₂O_{eq},⁵ por lo que sus propiedades puzolánicas dominarán su comportamiento en el concreto. Esta posibilidad se confirmó a partir de estudios realizados en la Universidad de Clemson, mediante ensayos según las normas ASTM C1567, "Método de Prueba Estándar para Determinar el Potencial de Reactividad Álcali-Sílice de las Combinaciones de Materiales Cementantes y Agregados (Método Acelerado de Barras de Mortero)", y la norma ASTM C1293, "Método de Prueba Estándar para la Determinación del Cambio de Longitud del Concreto debido a la Reacción Álcali-sílice", (Fig. 4 y 5),

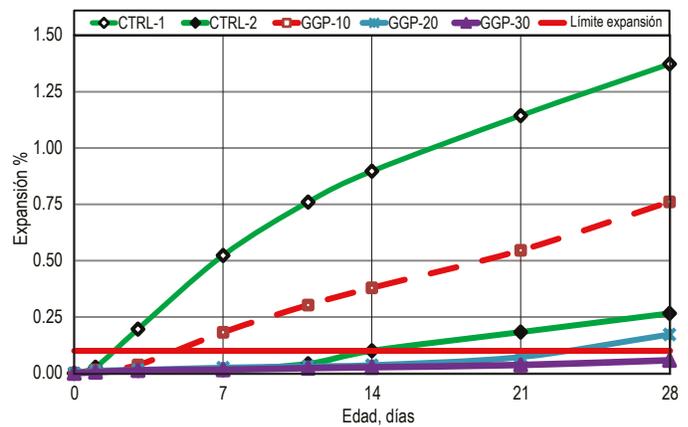


Fig. 4: Expansión acelerada de la barra de mortero según ASTM C1567 para mezclas con 10, 20 y 30% de fibra de vidrio molido (PVM tipo GE) como reemplazo del cemento.³⁴ Las mezclas CTRL-1 y CTRL-2 comprendían CPO y CPO con un 25% de reemplazo con ceniza volante respectivamente (propiedades de la PVM: LOI = 1% en peso; diámetro medio = 4 micras; SG = 2.60; finura Blaine = 1020 m²/kg)

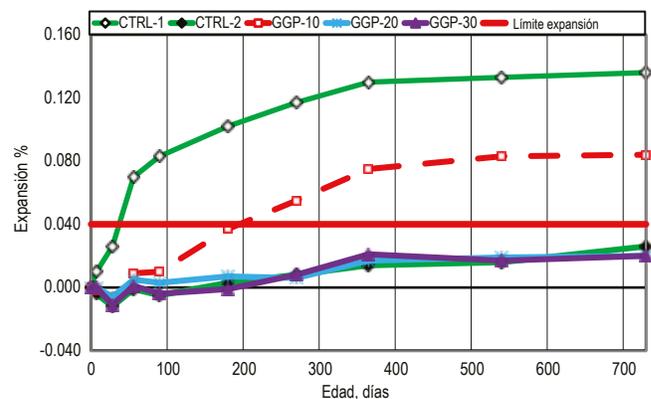


Fig. 5: Expansión del prisma de concreto según ASTM C1293 para mezclas con 10, 20 y 30% de reemplazo de cemento PVM tipo GE.³⁵ Las mezclas CTRL-1 y CTRL-2 comprendían CPO y CPO con 25% de reemplazo con ceniza volante, respectivamente (propiedades de la PVM: LOI = 1% en peso; diámetro medio = 4 micras; SG = 2,60; finura Blaine = 1020 m²/kg)

que muestran las expansiones con el paso del tiempo de mezclas de mortero y concreto que contienen agregado de grava reactiva de Las Placitas y fibra de vidrio molido, un tipo GE de PVM, en varios niveles de reemplazo de cemento.^{34,35}

El vidrio sodocálcico tiene un contenido muy alto de Na₂O_{eq} de alrededor del 13.5%. Sin embargo, los datos obtenidos según las pruebas ASTM C1293 utilizando el agregado Spratt, un agregado conocido por su alta reactividad, muestran que el vidrio de soda como puzolana molida también proporciona efectos mitigantes (Fig. 6 y 7). Las pruebas realizadas en la Universidad de Sherbrooke (Fig. 6) muestran que las PVM tipo GS redujeron la expansión en cerca de un 50% de la expansión de la mezcla de control, pero no mantuvieron la expansión por debajo del límite del 0,04% establecido por la norma ASTM C1293. Sin embargo, el límite se alcanzó usando una mezcla ternaria con un 8% de metacaolín. Las pruebas realizadas en la Universidad de New Brunswick (Fig. 7) muestran que con un 20% de cemento en sustitución, el vidrio clase E (PVM Tipo GE) fue efectivo para mantener la expansión del prisma por debajo del límite del 0.04% a los 2 años, mientras que

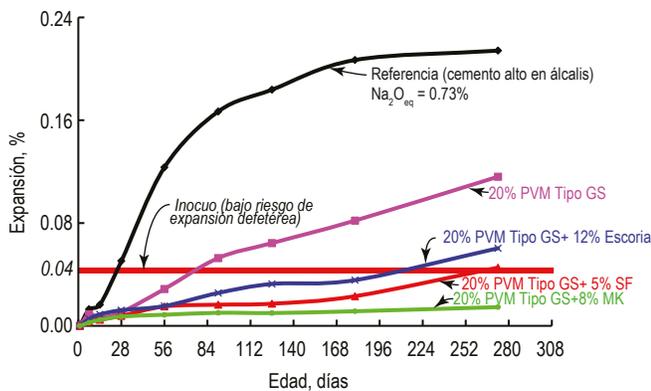


Fig. 6: Expansión del prisma de concreto según ASTM C1293 para mezclas con agregado Spratt, cemento con alto contenido de álcalis y sustitución de cemento con PVM Tipo GS, humo de sílice (SF) y metacaolín (MK) (figura cortesía de Arezki Tagnit-Hamou)

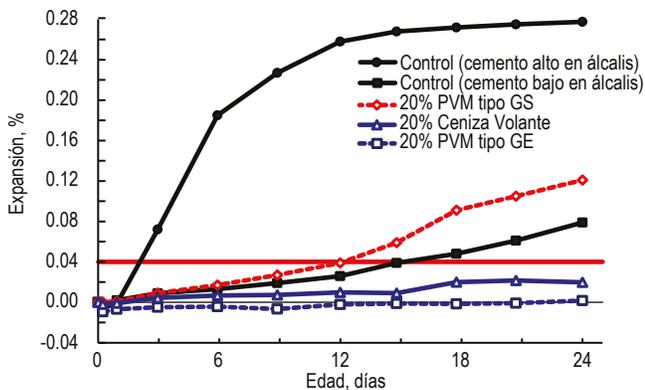


Fig. 7: Expansión del prisma de concreto según ASTM C1293 para mezclas con agregado Spratt, cemento de alto o bajo contenido de álcali, y reemplazo de cemento con PVM Tipo GS, PVM Tipo GE, o ceniza volante (figura cortesía de Michael D.A. Thomas)

el PVM Tipo GS obtenido del vidrio plano redujo la expansión en comparación con el cemento de control altamente alcalino (0.91% Na₂O_{eq}) pero superó el 0.1% y fue mayor que una mezcla de control con cemento poco alcalino (0,46% Na₂O_{eq}).

Resistencia a los Sulfatos

Los resultados de dos estudios para evaluar la resistencia a los sulfatos según ASTM C1012/C1012M, "Método de prueba Estándar para el Cambio de Longitud de Morteros de Cemento Hidráulico Expuestos a una Solución de Sulfato", se muestran en las Fig. 8 y 9. El primero de estos estudios (Fig. 8) evaluó el uso de puzolanas de tipo GE y GS. Como se muestra en la Fig. 8(a), el vidrio clase E (Tipo GE) en niveles de sustitución de cemento del 10 y el 20% redujo la expansión de un concreto de cemento portland con alto contenido de C₃A (expansión de la mezcla de control del 0.459% a los 6 meses) por debajo de los límites de expansión especificados para el cemento tipo HS según ASTM C1157/C1157M (0.05% a los 6 meses y 0.10% al año), cuando se mezcló con un cemento portland con alto contenido de C₃A. Los datos también

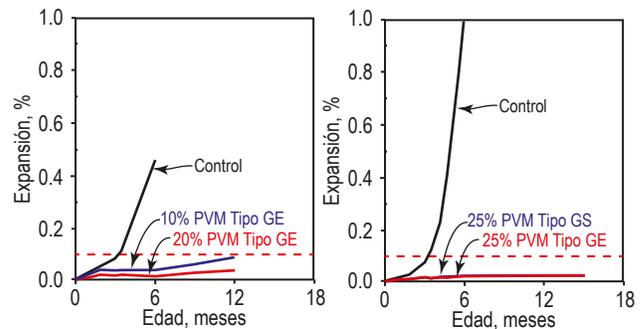


Fig. 8: Expansión según ASTM C1012/C1012M para mezclas de concreto con cemento portland con alto contenido de C₃A: a) 10 y 20% de vidrio clase E (Tipo GE); y b) 25% de puzolana Tipo GS y GE (figura cortesía de Michael D.A. Thomas)

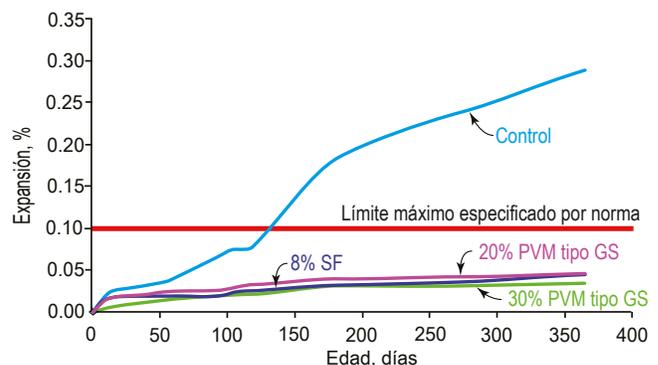


Fig. 9: Expansión según ASTM C1012/C1012M para mezclas con 20 y 30% de sustitución de cemento con vidrio molido Tipo GS (figura cortesía de Michael D.A. Thomas)

muestran en la Fig. 8(b) que la expansión de las barras de mortero con un 25% de sustitución de cemento con puzolana ya sea tipo GS o tipo GE se redujo a niveles aceptables (de nuevo, cumpliendo los límites para el cemento tipo HS) cuando se mezcló con un cemento con alto contenido de C₃A (expansión de la mezcla de control del 0.99% a los 6 meses).

El segundo estudio formaba parte de un estudio más amplio sobre el uso de las puzolanas en el concreto (Fig. 9). Se estudiaron mezclas de concreto que contenían 20 y 30% de sustituciones de cemento con vidrio molido tipo GS, comparándolas con una mezcla de concreto de control. La expansión causada por el ataque de sulfatos muestra que el concreto de control excede el límite de expansión de 0.10% recomendado por ASTM C1157/C1157M desde los 130 días hasta alcanzar el 0.15% después de 6 meses. Las mezclas que incorporan el 20 o el 30% de PVM tipo GS tienen expansiones muy bajas, muy por debajo del límite prescrito por la norma. Estas expansiones son del mismo orden que las del cemento tipo GUSF (cemento de uso general que contiene alrededor del 8% de humo de sílice), que tiene una fuerte resistencia al ataque de los sulfatos.

Permeabilidad al cloruro

Las mezclas de concreto que contienen PVM fueron evaluadas de acuerdo con la norma ASTM C1202, "Método de prueba estándar para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones cloruro". En un estudio, se probaron durante 90 días 16 mezclas de concreto que contenían cemento portland y PVM tipo GS a niveles de reemplazo de cemento del 20 y 30%.

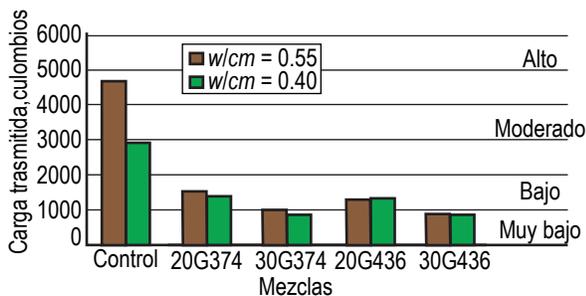


Fig. 10: Carga total transmitida según ASTM C1202 para mezclas de concreto con Tipo GS GGP a 20 y 30% de reemplazo de cemento después de 90 días de curado¹⁶

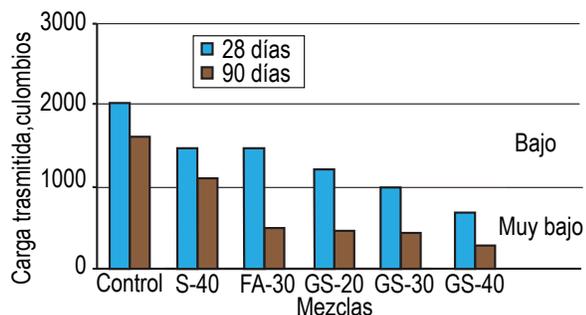


Fig. 11: Carga total transmitida según ASTM C1202 para mezclas de concreto con varios niveles de reemplazo de cemento con PVM Tipo GS después de 28 y 90 días de curado³⁶

Las mezclas de concreto de control incluían sólo cemento. Las mezclas se prepararon con una relación a/cm de 0.55 o 0.40, y la PVM tenía una superficie Blaine de 374 o 436 m²/kg. Como se muestra en la Fig. 10, la carga total transmitida fue baja para todas las mezclas con PVM. El mejor rendimiento se obtuvo para las mezclas con un 30% de cemento en sustitución.

En otro estudio³⁶, se prepararon mezclas de concreto usando cemento portland Tipo I/II (según ASTM C150/C150M, "Especificación estándar para el cemento portland") y PVM Tipo GS (con d₅₀ = 10 µm) a niveles de reemplazo de cemento de 20, 30 y 40% (GS-20, GS-30 y GS-40). Todas las mezclas se prepararon con una relación a/cm de 0.40. Además de una mezcla de control con 100% de cemento portland (Control1), se preparó una mezcla de cemento portland con 40% en sustitución con cemento de escoria (S-40) y una segunda mezcla de cemento portland con 30% en sustitución con ceniza volante clase F (FA-30). Tal como se muestra en la Fig. 11, todas las mezclas de concreto con PVM Tipo GS como reemplazo parcial del cemento exhibieron valores de carga transmitida muy bajos a los 90 días. Todas las mezclas con PVM también tuvieron un mejor rendimiento que la mezcla de control o las mezclas con cemento de escoria o ceniza volante.

Aplicaciones de campo conocidas

No se puede esperar el uso a escala industrial de nuevos materiales cementantes alternativos en el entorno constructivo sin una validación de campo mediante la exposición a largo plazo a condiciones y cargas ambientales realistas. En los últimos 15 años se han realizado muchas aplicaciones en campo de mezclas de cemento con PVM. La PVM tipo GE se ha utilizado ampliamente durante los últimos 15 años como puzolana para el cemento blanco en aplicaciones de concreto decorativo como piscinas, concreto prefabricado arquitectónico y concreto reforzado con fibra de vidrio (GFRF). La PVM tipo GS se ha utilizado como un reemplazo parcial del cemento durante los últimos 10 años en aplicaciones tales como unidades de albañilería de concreto, pavimentos, concreto prefabricado y aceras. La ciudad de Montreal, QC, Canadá, comenzó a probar la PVM tipo GS como sustituto del cemento en las aceras en 2010, en colaboración con la Universidad de Sherbrooke.

El Departamento de Diseño y Construcción de la Ciudad de Nueva York (NYC DDC), en colaboración con el City College de Nueva York, también comenzó a evaluar la PVM Tipo GS en las aceras, a partir de 2016.³⁷ Ahora, la PVM está incluida en las especificaciones de concreto del NYC DDC. En la ciudad de Nueva York, desde 2016 y hasta la fecha, con la colaboración de la US Concrete, se han probado y colocado muchas mezclas de concreto estructural con contenido de PVM Tipo GS en proyectos de construcción de rascacielos. Estas mezclas han incluido entre un 35 y un 40% de PVM tipo GS en sustitución del cemento. Se están planeando colocar más estructuras en edificios altos en la ciudad de Nueva York, NY, y Filadelfia, PA, EE. UU., utilizando también PVM tipo GS, en mezclas con hasta un 50% de cemento en sustitución. Algunas de estas mezclas también incluirán cemento de escoria.



Fig. 12: Uno de los dos puentes que se están construyendo en Montreal, compuesto de concreto con 10% de cemento en sustitución con PVM Tipo GS. Los puentes serán instrumentados y supervisados a detalle por la Universidad de Sherbrooke y el Ayuntamiento de Montreal (foto cortesía del Ayuntamiento de Montreal)

Por último, se están construyendo dos puentes en la Île-des-Soeurs, Montréal, QC, Canadá (Fig. 12). Los puentes de concreto se están produciendo con un 10% del cemento por PVM Tipo GS, ahorrando alrededor de 40 toneladas (44 toneladas) de cemento.

Reconocimientos

Agradecemos al personal y a los miembros votantes de la ASTM por sus aportaciones. También agradecemos a Boyd Clark, Julio Dávalos, Louis Grasso, Dale Hauke, Doug Hooton, Joe Keating, Ahmed Omran, y Larry Sutter por su contribución en este artículo.

Referencias

1. "Glass Recycling Facts," Glass Packaging Institute, Arlington, VA, www.gpi.org/glass-recycling-facts. Accessed Oct. 5, 2020.
2. "Advancing Sustainable Materials Management, 2017 Fact Sheet," United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, Nov. 2019, www.epa.gov/sites/production/files/2019-11/documents/2017_facts_and_figures_fact_sheet_final.pdf.
3. "Pozzotive® Screening LCA – Pre-Production," Climate Earth, 2020, www.pozzotive.com/wp-content/uploads/2020/06/Pozzotive-LCASummary.pdf.
4. "Global Glass Fibre Production: Changes Across the Board," JEC Group, Feb. 21, 2011, www.jeccomposites.com/knowledge/international-composites-news/global-glass-fibre-production-changes-across-board.
5. Hemmings, R., "Process for Converting Waste Glass Fiber into Value-Added Products," Report No. DE-FG36-03GO13015, Albacem LLC, Peoria, IL, Dec. 2005, 36 pp.
6. Snellings, R.; Mertens, G.; and Else, J., "Supplementary Cementitious Materials," *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, V. 74, No. 1, Jan. 2012, pp. 211-278.
7. Duan, P.; Shui, Z.; Chen, W.; and Shen, C., "Effects of Metakaolin, Silica Fume and Slag on Pore Structure, Interfacial Transition Zone and Compressive Strength of Concrete," *Construction and Building Materials*, V. 44, July 2013, pp. 1-6.
8. Poon, C.S.; Kou, S.C.; Lam, L., "Compressive Strength, Chloride Diffusivity and Pore Structure of High Performance Metakaolin and Silica Fume Concrete," *Construction and Building Materials*, V. 20, No. 10, Dec. 2006, pp. 858-865.
9. "Defining Hazardous Waste: Listed, Characteristic and Mixed Radiological Wastes," United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, www.epa.gov/hw/defining-hazardous-waste-listed-characteristic-and-mixed-radiological-wastes#listed. Accessed Oct. 5, 2020.
10. Maier, M., "Amorphous Silica in Working Environments, A Toxicological Overview," *Proceedings of International Conference on Silica Science and Technology: Silica 2001*, Mulhouse, France, Sept. 3-6, 2001.
11. "Fact Sheet: Silica, Amorphous and Other Non-Crystalline Forms," Texas Commission on Environmental Quality (TCEQ), June 2011, 2 pp., www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/tox/dsd/facts/amorphous_silica.pdf.
12. "Table Z-3 Mineral Dust," OSHA Standard 1910.1000 – Air Contaminants, Occupational Safety & Health Administration, Washington, DC, www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1000TABLEZ3. Accessed Oct. 5, 2020.
13. "Bottle Bill Resource Guide," Container Recycling Institute, Culvert City, CA, www.bottlebill.org. Accessed Oct. 5, 2020.
14. Idir, R.; Cyr, M.; and Tagnit-Hamou, A., "Use of Fine Glass as ASR Inhibitor in Glass Aggregate Mortars," *Construction and Building Materials*, V. 24, No. 7, July 2010, pp. 1309-1312.
15. Liu, S.; Wang, S.; Tang, W.; Hu, N.; and Wei, J., "Inhibitory Effect of Waste Glass Powder on ASR Expansion Induced by Waste Glass Aggregate," *Materials*, V. 8, No. 10, Oct. 2015, pp. 6849-6862.
16. Zidol, A., "Optimization of the Fineness of Glass Powder in Binary Cementitious Systems," MS thesis, University of Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada, 2009, 168 pp.

18. Zidol, A.; Tognonvi, M.; and Tagnit-Hamou, A., "Advances in Durable Concrete Materials Applied to the African Context," International Conference on Advances in Cement and Concrete Technology in Africa (ACCTA), Johannesburg, South Africa, Jan. 28-30, 2013.
19. Tagnit-Hamou, A., and Bengougam, A., "The Use of Glass Powder as Supplementary Cementitious Material," *Concrete International*, V. 34, No. 3, Mar. 2012, pp. 56-61.
20. Hussein Abdalla, A.; Yahia, A.; and Tagnit-Hamou, A., "Statistical Modeling of Mechanical and Transport Properties of Concrete Incorporating Glass Powder," *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, July 21, 2020, published online.
21. Nassar, R.-U.-D., and Soroushian, P., "Strength and Durability of Recycled Aggregate Concrete Containing Milled Glass as Partial Replacement for Cement," *Construction and Building Materials*, V. 29, Apr. 2012, pp. 368-377.
22. Schwarz, N.; Cam, H.; and Neithalath, N., "Influence of a Fine Glass Powder on the Durability Characteristics of Concrete and Its Comparison to Fly Ash," *Cement and Concrete Composites*, V. 30, No. 6, July 2008, pp. 486-496.
23. Shayan, A., and Xu, A., "Performance of Glass Powder as a Pozzolanic Material in Concrete: A Field Trial on Concrete Slabs," *Cement and Concrete Research*, V. 36, No. 3, Mar. 2006, pp. 457-468.
24. Nassar, R.-U.-D., and Soroushian, P., "Field Investigation of Concrete Incorporating Milled Waste Glass," *Journal of Solid Waste Technology and Management*, V. 37, No. 4, Nov. 2011, pp. 307-319.
25. Torres-Carrasco, M.; Tognonvi, M.T.; Tagnit-Hamou, A.; and Puertas, F., "Durability of Alkali-Activated Slag Concrete Prepared Using Waste Glass as Alternative Activator," *ACI Materials Journal*, V. 112, No. 6, Nov.-Dec. 2015, pp. 791-800.
26. Harbec, D.; Tagnit-Hamou, A.; and Gitzhofer, F., "Waste-Glass Fume Synthesized Using Plasma Spheroidization Technology: Reactivity in Cement Pastes and Mortars," *Construction and Building Materials*, V. 107, Mar. 2016, pp. 272-286.
27. Niang, A.; Roy, N.; and Tagnit-Hamou, A., "Structural Behavior of Concrete Incorporating Glass Powder Used in Reinforced Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 141, No. 3, Mar. 2015, 10 pp.
28. Soliman, N.A.; Omran, A.F.; and Tagnit-Hamou, A., "Laboratory Characterization and Field Application of Novel Ultra-High-Performance Glass Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 113, No. 3, May-June 2016, pp. 307-316.
29. Soliman, N.A., and Tagnit-Hamou, A., "Development of Ultra-High-Performance Concrete Using Glass Powder—Towards Ecofriendly Concrete," *Construction and Building Materials*, V. 125, Oct. 2016, pp. 600-612.
30. Pavoiné, A.; Harbec, D.; Chaussadent, T.; Tagnit-Hamou, A.; and Divet, L., "Impact of Alternative Cementitious Material on Mechanical and Transfer Properties of Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 111, No. 3, May-June 2014, pp. 251-262.
31. Tognonvi, M.T.; Zidol, A.; Aitcin, C.-P.; and Tagnit-Hamou, A., "Aging of Glass Powder Surface," *Journal of Non-Crystalline Solids*, V. 427, Nov. 2015, pp. 175-183.
32. Idir, R.; Cyr, M.; and Tagnit-Hamou, A., "Use of Fine Glass as ASR Inhibitor in Glass Aggregate Mortars," *Construction and Building Materials*, V. 24, No. 7, July 2010, pp. 1309-1312.
33. Idir, R.; Cyr, M.; and Tagnit-Hamou, A., "Pozzolanic Properties of Fine and Coarse Color-Mixed Glass Cullet," *Concrete and Cement Composite*, V. 33, No. 1, Jan. 2011, pp. 19-29.
34. Rashidian-Dezfouli, H., and Rangaraju, P.R., "Role of Ground-Glass Fiber as a Pozzolan in Portland Cement Concrete," *Transportation Research Record*, V. 2629, No. 1, Jan. 2017, pp. 33-41.
35. Rashidian-Dezfouli, H., and Rangaraju, P.R., "Evaluation of Selected Durability Properties of Portland Cement Concretes Containing Ground Glass Fiber as a Pozzolan," *Transportation Research Record*, V. 2672, No. 27, May 2018, pp. 88-98.
36. Krstic, M., and Davalos, J.F., "Macro- and Micro-Structure Evaluations of Recycled Post-consumer Glass Cementitious Material for Concrete," *Proceedings of SynerCrete' 18: International Conference on Interdisciplinary Approaches for Cement-Based Materials and Structural Concrete*, Funchal, Madeira Island, Portugal, Oct. 2018, pp. 261-266. www.synercrete.com/wp-content/uploads/2018/10/SynerCrete18_Proceedings.pdf.
37. Krstic, M., and Davalos, J.F., "Field Application of Recycled Glass Pozzolan for Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 116, No. 4, July 2019, pp. 123-131.

Nota: Se puede encontrar información adicional sobre las normas de ASTM discutidas en este artículo en www.astm.org.

Seleccionado por los editores para el interés de los lectores.



La miembro de la ACI **Amanda Kaminsky** es fundadora y directora de Building Product Ecosystems LLC, Nueva York, NY, EE. UU. Forma parte del Comité ACI 240, Puzolanas. También es miembro de los Comités ASTM C09, Concreto, y C11, Yeso, y es el Contacto Técnico para el Comité ASTM C1866. Obtuvo su licenciatura en arquitectura en la Universidad de Virginia, en Charlottesville, VA, EE. UU



La miembro de la ACI **Marija Krstic** es investigadora de posdoctorado y profesora adjunta de ingeniería civil en el City College de Nueva York (CCNY), ciudad de Nueva York, NY, EE. UU. Recibió su licenciatura y maestría de la Universidad de Nis, Nis, Serbia, y su segunda maestría en ingeniería civil y doctorado en ingeniería estructural y materiales por parte del CCNY.



Prasad Rangaraju, FACI, es profesor de ingeniería civil en la Universidad de Clemson, Clemson, SC, USA. Es miembro de varios comités técnicos de ACI y ASTM International. Rangaraju obtuvo su doctorado en ingeniería civil en la Universidad de Purdue, West Lafayette, IN, USA. Es un ingeniero profesional licenciado en Minnesota.



Arezki Tagnit-Hamou, FACI, es profesor de ingeniería civil y director del Centro de Investigación de Infraestructuras de Concreto de la Universidad de Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canadá. Es miembro del Comité 130 del ACI, Sostenibilidad del Concreto, y de los Subcomités del ACI 130-D, Sistemas de Clasificación/Herramientas de Sostenibilidad, y 239-D, Materiales y Métodos de Construcción con UHPC (Concreto de Ultra Alto Comportamiento). También participa activamente en la RILEM y en la Asociación Canadiense de Normas. Tagnit-Hamou recibió en 2011 el Premio ACI Jean-Claude Roumain de Innovación en el Concreto.



Michael D.A. Thomas, FACI, es profesor de ingeniería civil en la Universidad de New Brunswick, Fredericton, NB, Canadá. Es miembro de los Comités ACI 201, Durabilidad del Concreto; 221, Agregados; 232, Ceniza volante en el concreto; 233, Escoria molida en el concreto; 234, Humo de sílice en el concreto; 236, Ciencia de los materiales del concreto; 240, Puzolanas; y 365, Predicción de la vida útil. Sus intereses de investigación incluyen la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Noreste de México.

Título: Uso del vidrio molido como puzolana en el concreto.



Traductor: Lic. Iliana M Garza Gutiérrez



Revisor técnico: Dr. Jorge M. Rivera Torres

Protección catódica y reparaciones de concreto en los condominios Sound of the Sea II

La evaluación después de una década indica un éxito duradero

por David G. Tepke, Clement A. Firlotte y Stephen P. Robinson

Construido en 1984, Sound of the Sea II es un edificio de condominios de hormigón armado de seis pisos con 36 propiedades individuales. Se encuentra ubicada en la isla Bogue Banks con 0,75 millas (1,2 km) de amplitud, a pocos cientos de pies del Océano Atlántico en Emerald Isle, Carolina del Norte, EE. UU. Incluye pasillos exteriores de acceso común (pasarelas) en el lado frontal del edificio y balcones privados para cada unidad (Fig. 1).

La ubicación de Sound of the Sea II lo hace altamente susceptible a la penetración de cloruros por las sales provenientes del océano y al daño asociado a la corrosión del acero embebido. Se reportó la instalación de revestimientos en pasillos y balcones alrededor de 1999. Estos revestimientos no detuvieron la corrosión de manera efectiva, como lo demostró la formación de delaminaciones posteriores. Dado el costo, la inconveniencia y el impacto en la ocupación de los inquilinos y propietarios asociado con los proyectos de reparación y mantenimiento de propiedad, los propietarios comisionaron un proyecto de reparación integral en 2007/2008 para abordar el deterioro del concreto relacionado con la corrosión, incluyendo la preservación del concreto existente con protección catódica (CP). El proyecto de reparación, por un total de aproximadamente \$1.2 millones, se completó en diciembre de 2008 e incluyó:

- Reparaciones de hormigón estructural;
- Protección catódica por corriente impresa (ICCP) en balcones;
- Protección catódica galvánica localizada (GCP) en reparaciones de pasillos y parapetos de techos;
- Reparaciones de escaleras de acero;
- Mejoras de drenaje; y
- Recubrimientos protectores.

Evaluación

La valoración de la estructura antes del diseño incluyó la revisión de previos informes de evaluación y pruebas, la evaluación en el sitio y la recolección de muestras por parte del equipo de diseño. El equipo de diseño revisó y utilizó información de un informe preliminar de evaluación de durabilidad y un informe de estudio de delaminación preparado por una empresa dedicada a pruebas y



Fig. 1: Condominios Sound of the Sea II: (a) vista desde la playa; y (b) vista desde el parqueadero frontal en 2019 (más de 10 años después de reparaciones)

consultorías en 2006. Los informes fueron entregados al equipo de diseño por la compañía de gestión para su revisión e incluyeron resultados y recomendaciones generales. Los informes indicaron un recubrimiento generalmente bajo en el acero de refuerzo, cloruros a profundidad del acero de refuerzo en concentraciones suficientes para iniciar la corrosión (aproximadamente 500 a 1500 partes por millón en algunos lugares), delaminación significativa y evidencia de corrosión basada en pruebas de potencial de media celda. Se identificaron considerablemente más delaminaciones en los balcones en comparación con los pasillos.

En 2007, se realizaron excavaciones como parte del esfuerzo de diseño para revisar el acero embebido y condiciones estructurales. Las muestras de núcleos se extrajeron de un área del corredor y un balcón para que un tercero realizara pruebas de resistividad. Se encontró que la resistividad era relativamente baja y, por lo tanto, propiciaba la corrosión activa para ambas muestras. Es de destacar que la muestra del balcón (4800 ohm-cm como se recibió; 3000 ohm-cm después de 12 horas de saturación y remoción del baño) tenía aproximadamente 60% de la resistividad de la muestra tomada del pasillo (7700 ohm-cm; 4700 ohm-cm). Las excavaciones revelaron una corrosión significativa del acero de refuerzo (Fig. 2).

Diseño

El presupuesto era de suma importancia para los propietarios. Por lo tanto, era necesario evaluar las opciones de reparación/conservación que prolongarían la vida útil pero que no sean demasiado conservadoras ni costosas. Los diseñadores discutieron los méritos de ICCP y GCP globales con los propietarios. Dadas las diferencias espaciales en la exposición, las diferencias identificadas en la magnitud de daño, las limitaciones presupuestarias y las directivas de los propietarios, se adoptaron dos enfoques separados para la reparación y protección. Reparaciones de hormigón-una alternativa para ICCP-y revestimientos cementicios fueron especificados para balcones donde el daño era más severo. Reparaciones limitadas de concreto, revestimientos de uretano y una alternativa de GCP localizado fueron especificados para corredores donde el daño era más esporádico y la exposición algo menos severo. Se proporcionaron alternativas en la propuesta de CP para brindar flexibilidad a los propietarios. En la Fig. 3 se resume una descripción general de las reparaciones primarias de los pasillos y balcones.

Según lo exigido por los propietarios, las puertas corredizas de vidrio permanecieron en su lugar durante las reparaciones de los balcones y no se reemplazaron las barandas empotradas existentes. La capacidad de quitar, almacenar y reutilizar los protectores para realizar reparaciones requería una aprobación especial del funcionario de la normativa.

El diseño incluyó una especificación de rendimiento con requisitos prescriptivos adicionales para ICCP, incluyendo una garantía sin corrosión de 10 años.



Fig. 2: Ejemplo de la excavación para pruebas durante la evaluación en 2007

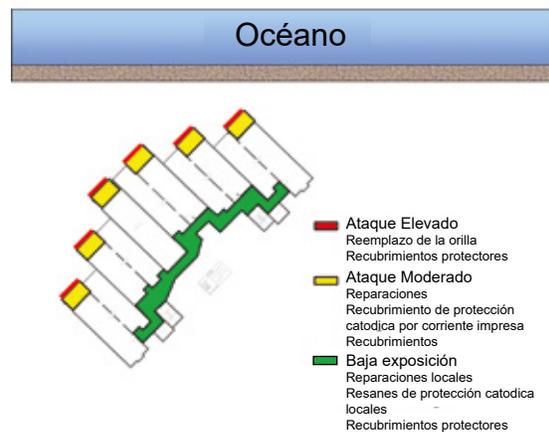


Fig. 3: Esquema de la posición de la torre y la estrategia final de reparación

Materiales de reparación compatibles con GCP localizado y el ICCP global fueron especificados.

Construcción General

Los propietarios optaron por aceptar la alternativa de ICCP para balcones y GCP localizados para pasillos y parapetos de techo. La notificación para proceder se emitió en octubre de 2007. El proyecto se completó sustancialmente para todos los elementos, excepto los revestimientos del corredor, en diciembre de 2008, completando los revestimientos en pocos meses siguientes.

Las reparaciones incluyeron orientaciones horizontales, de profundidad total, verticales y elevadas y fueron más sustanciales en los balcones en comparación con los pasillos. Las reparaciones se completaron cortando con sierra las superficies en las extensiones de la reparación, picando el concreto deficiente, preparando las superficies mediante pulido con chorro de arena y acondicionando para lograr una condición saturada superficialmente seca. Se utilizaron materiales de reparación preempacados a base de cemento portland. Se utilizaron morteros de reparación pre-dosificados para reparaciones más profundas. Las reparaciones se curaron en húmedo después de la instalación.

Todas las superficies horizontales fueron inyectadas y revestidas con revestimientos cementicios (balcones) y revestimientos de poliuretano (pasillos)



Fig. 4: Reparaciones de balcones: (a) acceso general a la construcción con plataformas colgantes; (b) extensión de daño; y (c) uno de los balcones con daños más severos necesitando el uso de puntales. Nótese la ausencia de paredes en las puertas deslizantes de vidrio en los balcones

después de las reparaciones de hormigón. Las superficies superiores y verticales se prepararon y recubrieron con un recubrimiento acrílico transpirable donde era necesario.

Balcones

Se utilizaron plataformas colgantes para el acceso a los balcones (Fig. 4 (a)) Debido a la logística del proyecto y la cantidad de avería descubierta (Fig. 4 (b)), se hizo evidente de inmediato que la manera más eficiente y rentable de abordar los bordes de la losa era eliminar todo el borde de la losa. Aunque se eliminó algo de concreto sólido, este método fue menos complicado y permitió una instalación más eficiente de refuerzo suplementario para tratar el acero de refuerzo severamente corroído. También permitió una coordinación e instalación efectiva de los bordes de goteo y los postes de las barandas después de las reparaciones. Un desafío importante para el proyecto fue minimizar el daño a las barandas durante la remoción, almacenamiento y reinstalación, y asegurarse de que la instalación del borde de la losa se coordinara con los nuevos orificios para postes ubicados con precisión.

En general, fue necesaria una remoción de concreto menor que la típica debido al uso de ICCP. Sin embargo, algunos balcones requirieron reparaciones de profundidad total en áreas sustanciales que requirieron soporte temporal (Fig. 4 (c)). Análisis de elementos finitos se utilizó durante el proyecto para evaluar las condiciones para la toma de decisiones de campo. Se utilizaron empalmes mecánicos y anclajes adhesivos cuando se encontró acero de refuerzo severamente corroído o acero inadecuado y había espacio limitado disponible para empalmes traslapados. Esto también permitió reducir las cantidades de remoción de concreto.

Las reparaciones de balcones requirieron protección de puertas corredizas de vidrio. Las reparaciones generalmente terminaron en las puertas; sin embargo, el daño en un número limitado de áreas requirió que las reparaciones continuaran por debajo de los umbrales en las unidades. Esto requirió una ejecución cuidadosa y bien planificada de reparaciones de concreto, así como materiales de reparación de curado rápido para minimizar el impacto en interiores y ocupantes.

Las reparaciones de hormigón y la reinstalación de barandas se coordinaron con el sistema ICCP. El acero de refuerzo se unió en las áreas de reparación para reducir el potencial de corrosión por corrientes parásitas. Los postes de protección de aluminio reinstalados se colocaron en bolsas de cloruro de polivinilo (PVC) llenas de epoxi para proporcionar una barrera dieléctrica entre las protecciones y el concreto sujeto a ICCP. En los balcones se instalaron revestimientos cementicios transpirables y texturizados por motivos de estética y funcionalidad.

Pasillos y otras áreas

Se utilizaron ascensores y accesos pedestres en los pasillos. Las reparaciones en los pasillos (Fig. 5 (a)), columnas y paredes fueron menos frecuentes y



Fig. 5: Reparaciones en progreso: (a) refuerzo expuesto en pasillos; (b) refuerzo expuesto en parapetos; y (c) GCP y encofrado instalado en la reparación de parapetos

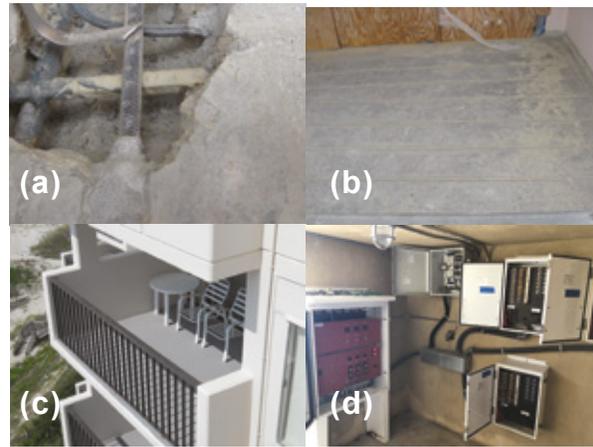


Fig. 6: Características del sistema ICCP: (a) ánodos y aislamiento de bajo recubrimiento en acero de refuerzo; (b) ánodos en ranuras inyectadas; (c) terraza de balcón terminada con conducto vertical (foto tomada en 2010); y (d) componentes del sistema de control y energía (Mayo 20, 2019)

generalmente más pequeñas que las de los balcones. Las reparaciones en los parapetos del techo (Fig. 5 (b) y (c)) fueron variables. Ánodos de zinc galvánico activado por álcali disponibles en el mercado se incrustaron en las reparaciones de parches para ayudar a prevenir ánodos incipientes directamente fuera de las áreas de reparación y el daño asociado. Los ánodos se ataron al acero de refuerzo dentro de los parches y todo el acero de refuerzo y los ánodos dentro de los parches se confirmaron eléctricamente continuos. El acero de refuerzo se recubrió con un agente adhesivo anticorrosivo cementicio/epoxi. Esto tuvo el efecto añadido probable de desviar la corriente desde el ánodo al sustrato de hormigón existente.

Se realizaron pruebas de inundación para identificar áreas estancadas. Se instalaron desagües adicionales para hacer frente a los encharcamientos importantes y un revestimiento de uretano como medidas de impermeabilización y gestión del agua. Los revestimientos de la plataforma se extendieron hasta la pared con refuerzo de malla en la transición.

Sistema ICCP en Balcones

El sistema ICCP (Fig. 6) fue diseñado por el fabricante para cumplir con los requisitos del proyecto y del contrato durante el proyecto y fue instalado por un contratista especializado con experiencia. Incluye ánodos de cinta

de malla de titanio/óxido de metal mixto (MMO) de 3/8 pulg. (10 mm) de ancho con una clasificación de corriente de 0.85 mA/pie (2.79 mA/m) inyectados en ranuras de 9/16 pulg. (14 mm) de ancho y 1/2 pulg. (13 mm) de profundidad espaciadas aproximadamente 12 pulg. (305 mm) en el centro y conectadas a cabezales de titanio de 1/2 pulg. de ancho. Se realizaron pruebas para confirmar la continuidad del refuerzo y la separación del refuerzo de los ánodos. Las incrustaciones se conectaron a tierra para el sistema negativo. Cuando se encontró que los ánodos y el refuerzo eran continuos, se aislaron. Las conexiones negativas y del ánodo del sistema se llevaron a través del concreto a una caja de conexiones en cada uno de los 36 balcones y luego al transformador/rectificador de voltaje constante en la sala de máquinas en el techo a través de conductos de PVC pintados a juego con el edificio.

La circuitería se dividió en tres zonas de protección catódica, cada una con 12 unidades sobre dos pilas de balcón verticales. El cableado de cada balcón se conectó a la zona asignada a través de una resistencia variable para el control individual de los balcones. Cada zona incluía cuatro electrodos de referencia de Ag/AgCl/KCl (plata/electrodos de referencia de cloruro de plata sumergidos en una solución de cloruro de potasio) integrados para pruebas de despolarización, puesta en servicio y monitoreo futuro. Se instalaron equipos de monitoreo remoto y un módem que permitieron la revisión del sistema.

El sistema se puso en servicio y se ajustó en septiembre de 2008 con aproximadamente 60 mA de corriente entregada al balcón promedio (aproximadamente 0,73 mA/pie²acero, diseño [7,86 mA/m² acero, diseño]; 0,48 mA/pie²hormigón [5,17 mA/m²hormigón]; 0,41 mA/ftánodo [1,35 mA/mánodo]). Se utilizó la prueba de despolarización según la publicación NACE 351081 durante un período de 4 horas para evaluar el sistema, y la despolarización de 100 mV se consideró una protección efectiva. Los datos de despolarización durante la puesta en servicio se muestran en la Fig.7.

Totales generales de reparación

El costo final del proyecto fue de aproximadamente \$1.2 millones. Se llevaron a cabo aproximadamente 830 pies² (77 m²) de reparaciones horizontales de concreto, 275 pies² (26 m²) de reparaciones en lo alto y 30 pies² (3 m²) de reparaciones verticales. Aproximadamente 4660 pies² (430 m²) de balcones están protegidos por ICCP.

Visitas recientes al sitio y comentarios finales

La compañía de gestión ha comunicado que no se han necesitado reparaciones importantes asociadas con el trabajo realizado en 2007/2008 y que sólo ha sido necesario un mantenimiento mínimo

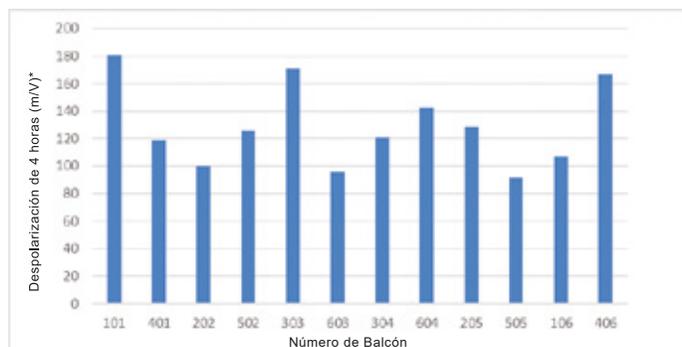


Fig. 7: Despolarización de 4 horas (Septiembre 25, 2008) (Nota: Unidad 505-97 mV en 6.25 horas; Unidad 603-102 mV en 5.25 horas)



Fig. 8: Áreas típicas de balcones y pasillos a Mayo 20, 2019

Tabla 1: Resumen de los datos de despolarización de 2008 y 2019

ICCP despolarización*	Septiembre 2008	Mayo 2019
Promedio de despolarización de 4 horas en acero de refuerzo, mV	130	182
Promedio de potencial despolarizado de acero de refuerzo, mV **	-269	-199

*Basado en 12 electrodos embebidos Ag/AgCl incrustados de referencia

**Transformado a CSE

Esto contrasta con otras propiedades cercanas que requieren reparaciones y mantenimiento mucho más extensos. Según se informa, las barandillas fueron reemplazadas después del proyecto en 2015; sin embargo, las reparaciones de concreto, los revestimientos y la protección catódica instalados como parte del proyecto 2007/2008 se han desempeñado generalmente bien y se encuentran en condiciones de servicio, incluso resistiendo una serie de huracanes durante los últimos 10+ años en un entorno muy duro y rico en cloruros.

Durante las visitas en 2019, se observó que los componentes críticos del sistema ICCP estaban funcionando para proteger el acero de refuerzo dentro de los parámetros de diseño originales. Si bien se observaron algunas pequeñas manchas de corrosión discretas y una pequeña delaminación en los sofitos de los balcones, probablemente asociados con empotramientos de acero discontinuos, no se observó ningún deterioro importante del concreto en los balcones reparados y protegidos con ICCP en 2007/2008. Se reemplazó la batería de respaldo del dispositivo de monitoreo remoto como parte del mantenimiento de rutina, y el dispositivo de monitoreo del sitio y los conductos de cableado en el techo requirieron mantenimiento después de un gran huracán reciente; sin embargo, estos elementos no han afectado la protección.

Los anclajes de barandillas en el hormigón del proyecto de reemplazo de barandillas de 2015 tenían conectividad variable, lo que demuestra la necesidad de coordinar todas las reparaciones del hormigón sometido a ICCP. Se observaron algunos daños en el concreto en áreas de pasarelas y parapetos de techos donde no se instaló ICCP, y se observaron algunos daños aislados en el revestimiento de la plataforma, pero las reparaciones y los revestimientos instalados generalmente han funcionado bien. Las áreas de balcones y corredores a mayo de 2019 se muestran en la Figura 8.

La Tabla 1 contiene una comparación entre los datos recopilados y reportados por el Diseñador del Sistema en 2008 y 2019. Después de 11 años, la despolarización promedio aumentó y el potencial despolarizado promedio disminuyó, alcanzando, en promedio, un nivel de pasivación (más positivo que -200 mV versus un electrodo de referencia de sulfato de cobre-cobre [CSE]) según la publicación NACE 35108.1 Este proyecto sirve como un ejemplo de cómo el ICCP puede proporcionar una extensión de la vida útil a largo plazo y muestra que la selección estratégica de diferentes estrategias de conservación en un edificio puede proporcionar beneficios económicos, efectivos y a largo plazo.

Agradecimientos

Los autores desean reconocer a Tourney Consulting Group como la firma que redactó el informe preliminar de evaluación de durabilidad de 2006 y el informe de delaminación utilizado por el equipo de diseño como información de fondo; y Bushman & Associates como la empresa que realizó pruebas de resistividad durante la etapa de diseño. Los autores también desean agradecer al equipo de diseño y construcción que incluyó a SKA Consulting Engineers, Inc.; Carolina Restoration & Waterproofing, Inc.; Southern Catholic Protection, Inc.; y Corpro Companies, Inc.

Referencias

1. "One Hundred Millivolt (mV) Cathodic Polarization Criterion," NACE Publication 35108-2008-SG, NACE International, Houston, TX, 2008, 33 pp.



El miembro de ACI **David G. Tepke** es Director de Proyectos Senior y Gerente de Grupo en SKA Consulting Engineers, Inc., en Charleston, SC, EE.UU. Sus principales intereses y experiencia incluyen ensayos y análisis, evaluación de la construcción y solución de problemas, investigaciones estructurales, evaluación de la durabilidad, reparación estructural y diseños a prueba de agua, y el diseño para la extensión de la vida útil de estructuras nuevas y existentes en una amplia gama de sectores, tipos de construcción, épocas de construcción y exposiciones. Es miembro de varios comités técnicos, incluyendo los Comités ACI 201, Durabilidad del Concreto; 222, Corrosión de Metales en el Concreto; 301, Especificaciones para el Concreto Estructural; y 329, Criterios de Desempeño para el Concreto Premezclado. Tepke recibió su licenciatura y maestría en ingeniería civil de la Universidad Estatal de Pensilvania, State College, PA, EE.UU., y es un ingeniero profesional registrado en varios estados.



El miembro del ACI **Clement A. Firlotte** es Director de Proyectos Senior en Corpro Companies, Inc., en Medina, OH, USA. Su experiencia previa incluye 8 años en una firma de arquitectura e ingeniería como Ingeniero Estructural de Puentes. Como un reconocido líder en la industria en el control de la corrosión de las estructuras de concreto reforzado, tiene más de 30 años de experiencia involucrando en el diseño, instalación y manejo tanto de sistemas de protección catódica impresa y galvanizada para estructuras de concreto reforzado. También es miembro de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), el Instituto Internacional de Reparación del Concreto (ICRI) y NACE Internacional. Firlotte obtuvo su licenciatura en ingeniería civil de la Universidad de Akron, Akron, OH, EE.UU., y es ingeniero profesional con licencia en cinco estados.



Stephen P. Robinson, Presidente de SKA Consulting Engineers, Inc., en Greensboro, NC, EE.UU., ha sido un ingeniero con licencia por más de 21 años. Su carrera profesional en ingeniería ha sido mayormente enfocada en la investigación de problemas en los edificios existentes, así como el diseño y la implementación de reparaciones, incluyendo múltiples estructuras en ambientes con alto contenido de cloruros. Recibió su maestría en ingeniería civil con énfasis en ingeniería estructural de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, NC, EE.UU.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Centro Sur Ecuador.

Título: Protección catódica y reparaciones de concreto en los condominios Sound of the Sea II



Traductor: MSc.Ing. Esteban Sarmiento.



Revisor técnico: Ing. MSc.Dic Santiago Velez Guayasamin

Concreto

Preguntas y Respuestas

Diseño y Construcción de losas sobre el terreno

Alcance de ACI 318

P. ¿Se puede usar ACI 318 para el diseño de losas sobre el terreno?

R. La respuesta simple es no. Si la losa sobre el terreno no forma parte del sistema estructural que traslada las cargas del edificio hacia sus fundaciones, el Reglamento ACI 318 no cubre su diseño. La Sección 1.4.8 del ACI 318-19¹ establece lo siguiente: “Este Reglamento no es aplicable al diseño y construcción de losas sobre el terreno a menos que la losa tenga la función de transmitir fuerzas verticales o laterales desde otras partes de la estructura al terreno”. Muchos profesionales infieren erróneamente que esto significa que las losas sobre el terreno no son estructurales y no deberían ser diseñadas por un ingeniero matriculado.

Si las losas no forman parte del sistema estructural del edificio, el ACI 318 no es aplicable pero las losas sobre el terreno de pisos industriales a menudo deben soportar cargas muy importantes y necesitan ser diseñadas en forma apropiada para lograr un comportamiento adecuado en cuanto a su capacidad resistente y funcionamiento en servicio. Estas cargas pueden no afectar al edificio en los aspectos en que el ACI 318 es aplicable, pero la mayoría de los reglamentos de edificación requieren que todos los componentes o sistemas del edificio, incluyendo los pisos, sean diseñados por un ingeniero matriculado en la jurisdicción correspondiente a los efectos de las responsabilidades y permisos requeridos. La mayoría de los comitentes también suelen requerir que los diseñadores de estos pisos tengan un seguro que los cubra por posibles errores u omisiones en el diseño.

La Guía ACI 360R-10² es una referencia fundamental para el diseño de losas sobre el terreno. Sin embargo, dado que no se trata de un reglamento, muchos ingenieros siguen utilizando secciones del ACI 318 en sus proyectos. Por ejemplo, muchos siguen los requerimientos de la Sección 26.12.3.1 del ACI 318 porque establece criterios de aceptación que resultan aplicables a losas sobre el terreno. Hasta que no exista un reglamento para el diseño de losas sobre el terreno parece inevitable que sigan siendo utilizadas secciones del ACI 318 en algunos proyectos.

Armadura mínima

P. ¿Cuál es la armadura mínima requerida en losas sobre el terreno?

R. Las losas sobre el terreno se pueden diseñar sin armadura. En los casos en que se necesita colocar armadura de refuerzo, el ACI 360R-10 recomienda que las losas sobre el terreno sean reforzadas con o bien $<0.1\%$ de refuerzo (aumentando la trabazón del agregado) de acuerdo con la Sección 6.2, o bien $>0.5\%$ de refuerzo (losa armada en forma continua) tal como se describe en la Sección 8.3. Una cuantía $<0.1\%$ permite que las juntas de contracción aserradas se activen y amplíen su ancho evitando fisuras aleatorias por fuera de la junta. Por su parte, una cuantía $>0.5\%$ permite la formación de muchas fisuras con escasa separación y muy bajo ancho sin la necesidad de contar con juntas de contracción aserradas. Para cuantías intermedias, entre 0.1 y 0.5%, existe el riesgo de que se desarrolle una fisuración aleatoria por fuera de la junta y que el porcentaje de armadura de refuerzo no sea suficiente para mantener el ancho de las fisuras suficientemente pequeño. Especialmente, para minimizar el potencial deterioro (descascaramiento) ante la operación de equipos con ruedas pequeñas de material duro utilizados para la manipulación de materiales. La fisuración podría no ser un problema cuando no se utilizan este tipo de equipos (asumiendo que la existencia de fisuras visibles sea aceptable para el comitente). Por el contrario, cuando circulan por la losa equipos con ruedas pequeñas de material duro es necesario rellenar las fisuras en la misma forma que debe hacerse para las juntas aserradas.

Lamentablemente, como muchos diseñadores no advierten que el ACI 318 no es aplicable a losas sobre el terreno, es común ver que las mismas son especificadas con una cuantía del 0.18%, como consecuencia de los requerimientos de armadura mínima por contracción y temperatura de la Sección 24.4.3.2 del ACI 318 para losas estructurales. Nos ha tocado explicar esto en varios casos en los que la aparición de fisuras aleatorias había sido interpretada por el comitente como una falla estructural. Cuando la losa es utilizada como anclaje de paredes prefabricadas o paneles “sandwich” o como diafragmas y necesitan ser diseñadas de acuerdo con ACI 318 (Ver Tarr y otros³), especificar una cuantía mínima del 0.18% es comprensible. Sin embargo, debería tenerse en cuenta que la Sección 8.3 del ACI 360R recomienda una cuantía mínima del 0.5 % a los efectos de alcanzar una fisuración admisible desde el punto de vista del comportamiento en servicio.

en cuenta que la Sección 8.3 del ACI 360R recomienda una cuantía mínima del 0.5 % a los efectos de alcanzar una fisuración admisible desde el punto de vista del comportamiento en servicio. Con una cuantía del 0.5%, las fisuras son visibles, pero no requieren un mantenimiento similar a las juntas de contracción que son sustancialmente más fáciles de llenar en forma apropiada. Debe tenerse en cuenta que el uso de solo un 0.18% de refuerzo puede resultar en gastos de mantenimiento muy costosos en pisos industriales. De hecho, solemos decir que pisos industriales diseñados con cuantías entre el 0.1% y el 0.5% son construidos de “legalcreto” debido a los problemas de mantenimiento y a los subsiguientes litigios que originan este tipo de losas.

Resumiendo, para pisos industriales que soportan equipos para distribución de mercaderías (tales como autoelevadores), el ancho de fisuras es muy importante. Por lo tanto, se deben utilizar cuantías tan bajas como para que la fisuración ocurra únicamente debajo de las juntas aserradas (<0.1%) o suficientemente altas (>0.5%) como para que las fisuras aleatorias se mantengan con muy baja separación, pero no deben utilizarse niveles de refuerzo intermedios tales como los mínimos especificados por ACI 318 por contracción y temperatura.

Acabado con palustre duro y contenido de aire

P. ¿Puede un concreto con un contenido de aire mayor al 3% soportar exitosamente una terminación con palustre duro?

R. En las Secciones 4.2.2.4(d), 5.3.4.2(c), 10.2.2.1 y 11.2.2.1 del ACI 301-20⁴ se establece que un concreto que va a recibir un acabado con palustre duro no debe tener un contenido de aire total mayor al 3%. La intención de este límite es minimizar el riesgo de delaminación durante el acabado de la superficie de concreto. La terminación con palustre no es la única etapa de la terminación que puede causar ampollas y delaminación. La explicación para este tipo de daño es que las operaciones de acabado originan la agrupación de burbujas de aire pequeñas en espacios vacíos más grandes que pueden formar lentes debajo de la superficie, concluyendo en la formación de ampollas. El pasaje repetitivo del palustre tiende a comprimir estos vacíos más grandes en lentes alargadas resultando finalmente en la delaminación de la capa superficial.

Es MUY riesgoso realizar el acabado con palustre duro de cualquier concreto con un contenido de aire mayor al 3% y este riesgo se incrementa con el aumento del contenido de aire. Sin embargo, también hemos observado que concretos con más del 3% de aire pueden ser acabados exitosamente, especialmente con condiciones

ambientales favorables y cuando las mezclas contienen agregado grueso liviano, ya que esto permite reducir la exudación del agua y del aire hacia la superficie de la losa. Sin embargo, el riesgo de delaminación no se elimina completamente aun utilizando concreto liviano y se vuelve extremadamente alto si el contenido de aire excede el 6%.

Además del contenido de aire, otros factores tales como el tiempo de fraguado, las condiciones ambientales y el fraguado diferencial (la formación de una costra superior prematuramente endurecida) se combinan para incrementar el riesgo de formar ampollas y delaminación. Si no se permite que los responsables por la terminación del hormigón pueden manejar en forma consistente el “timing” de las distintas operaciones requeridas, no pueden ser considerados responsables si solamente participan de la terminación a máquina de un concreto con aire incorporado.

Condiciones de exposición

P. ¿Qué es posible hacer para proteger a las losas sobre el terreno para las distintas condiciones de exposición definidas en ACI 318?

R. Como se mencionó previamente, el concreto con aire incorporado nunca debería tener un acabado con palustre duro. El límite del 3% en el contenido de aire total evita el riesgo de la formación de ampollas y la delaminación cuando se especifica una terminación a máquina. Si se necesita un mayor contenido de aire, la superficie debería ser terminada con escoba como los pavimentos. Esta condición podría ser aplicable también a pisos de estacionamientos. Una losa expuesta al congelamiento y deshielo (Exposición Categoría F en ACI 318), que suele requerir incorporación de aire, resulta una condición muy desafiante cuando se especifica simultáneamente un acabado con palustre duro. Si la fecha de entrega de la losa terminada coincide con el principio de la primavera, algunos contratistas han logrado una colocación exitosa a fines del otoño del concreto sin incorporación de aire en pisos interiores, permitiendo que las losas fueran expuestas a las condiciones invernales antes de realizar el cerramiento del edificio. La clave fue evitar la acumulación de agua (charcos) sobre la superficie de las losas. El concreto sin incorporación de aire, pero seco, puede soportar un ciclo de congelamiento y deshielo sin daño. Por el contrario, el daño suele ocurrir si el concreto se encuentra con niveles de humedad correspondientes a la saturación crítica o por encima de ese valor. Se ha observado que las losas presentan daños dentro del área donde existe acumulación de agua, mientras que esto no ocurre en la superficie inmediatamente fuera de la zona de encharcamiento.

La remoción del agua estancada y los charcos de la superficie del concreto es mucho más fácil de decir que de hacer. Sin embargo, si los operarios realizan su tarea en forma diligente, el daño por congelamiento y deshielo puede ser limitado o prevenido. Una superficie con terminación con palustre duro es muy densa y no muy porosa, siendo posible remover el agua superficial antes de que pueda penetrar y re-saturar el concreto. De todos modos, el riesgo de daño por congelamiento y deshielo debe siempre ser considerado.

Un retardador de vapor efectivo debería ser utilizado para losas sobre el terreno colocadas en contacto con agua o expuesta a sulfatos (Exposición Clase W o S de acuerdo con ACI 318, respectivamente). En base a ensayos y a la experiencia, los retardadores de vapor no causan alabeo de las losas, por el contrario lo disminuyen. Los responsables de la terminación deben encargarse de la exudación prolongada, pero es más fácil tratar con el acabado de la losa durante la colocación que con las complicaciones de largo plazo que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura. Actualmente se recomienda que los retardadores de vapor se coloquen bajo toda la superficie de la losa y no solamente en áreas de oficinas diseñadas para recibir los revestimientos del piso. Los beneficios que se obtienen por la disminución del alabeo y la reducción del riesgo de transpiración y el daño a los productos almacenados justifica su colocación en la mayor parte de los casos.

Una losa sobre el terreno expuesta a humedad y cloruros (Exposición Clase C de acuerdo con el ACI 318) que no cuente con un retardador de vapor efectivo por debajo del concreto debería asumirse húmeda (saturada) en servicio. La superficie expuesta puede aparecer seca, pero la humedad puede moverse verticalmente en dirección ascendente desde la napa freática hacia el interior de la losa. Una superficie densificada con palustre duro disminuye la velocidad de transmisión y puede hacer que se condense el vapor pasando a estado líquido dentro de la estructura de poros del concreto. Esto puede incidir en la susceptibilidad al daño por congelamiento y deshielo y/o la corrosión de la armadura de refuerzo. Para losas de concreto con barras de refuerzo que se encuentren en estado húmedo en condiciones de servicio se deben tener en cuenta los valores admisibles de iones cloruro de la Tabla 4.2.2.6(e) del ACI 301. Esta limitación puede tener un impacto significativo sobre la dosis admisible de aceleradores en base a cloruros durante la colocación del concreto. Una vez colocado el concreto, las losas interiores con acabado de palustre duro no suelen recibir en su superficie productos químicos descongelantes en

base a cloruros. Sin embargo, los pisos para estacionamiento sí suelen recibir ese tipo de descongelantes y pueden requerir, por lo tanto, incorporación de aire y una terminación con escoba evitando un acabado a máquina.

Gracias a Scott M. Tarr, North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, USA, por proporcionar las respuestas a estas preguntas.

Referencias

- 1- 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.
- 2- ACI Committee 360, "Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.
- 3- Tarr, S.M.; Sheehan, M.J.; and Van Duyne, E.J., "Considerations for Precast Concrete Panels Tied to Slabs-on-Ground," Concrete International, V. 42, No. 1, Jan. 2020, pp. 31-35.
- 4- ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Argentina.

*Título: Concreto
Preguntas y Respuestas
Diseño y Construcción de losas sobre*



Traductor y revisor técnico:
Dr. Raul Bertero.



CONCRETO

LATINOAMÉRICA

