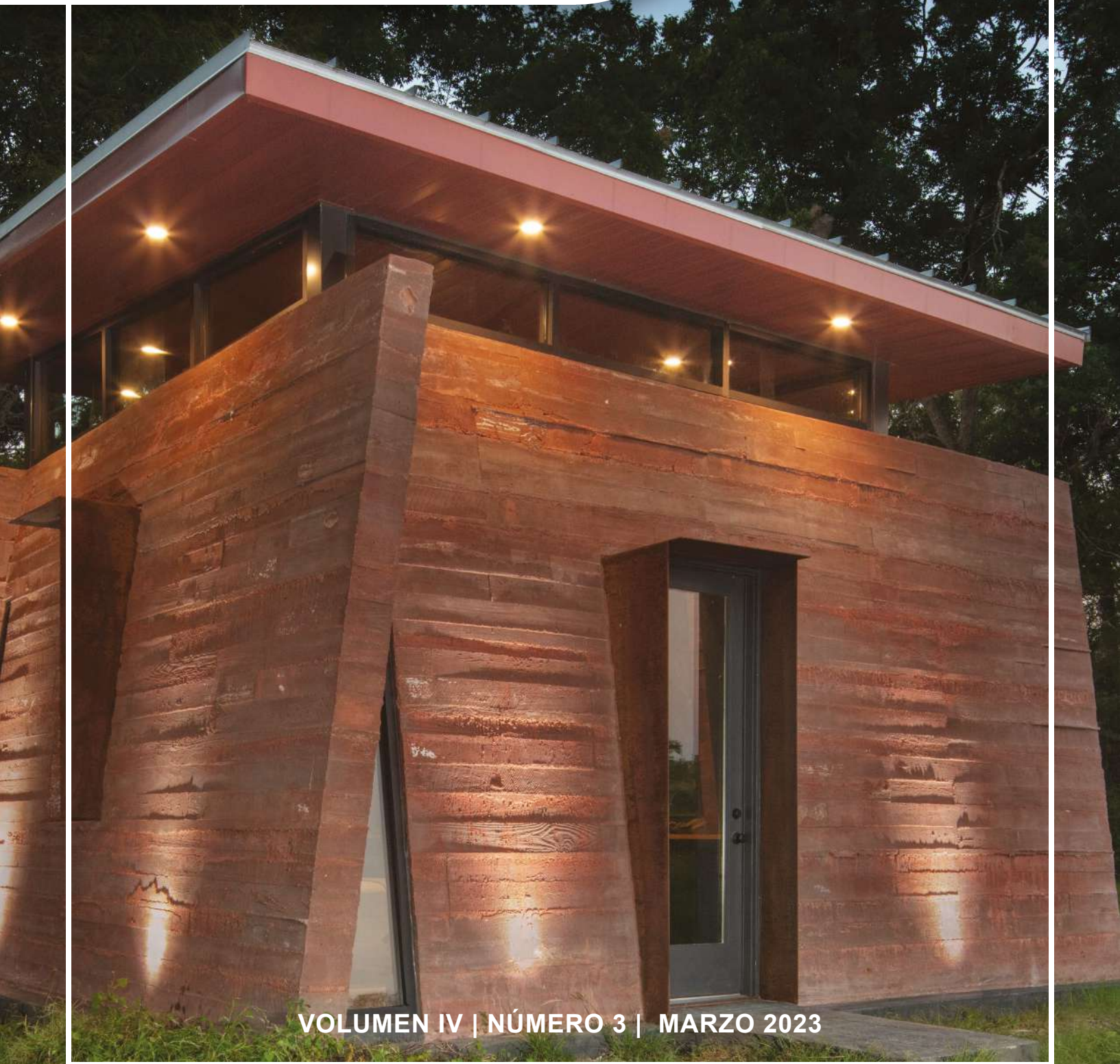


CONCRETO

LATINOAMÉRICA



VOLUMEN IV | NÚMERO 3 | MARZO 2023

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

Volumen IV - Número 3
Marzo de 2023

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

CONTENIDO

Art.

1

El comité ACI sobre concreto lunar expone los avances recientes de los experimentos realizados en la estación espacial internacional

Traducción y revisión técnica a cargo del
Capítulo: Colombia

2

Expandiendo el uso de factores ϕ por material

Traducción y revisión técnica a cargo del
Capítulo: Argentina

3

Proyecto de Diseño – Construcción de HOUSEofCARDS [Castillo de Naipes]

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

4

Del hormigón estructural al hormigón arquitectónico

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

5

Preguntas y Respuestas ¿Los detalles de los planos estructurales o arquitectónicos eliminan las tolerancias?

Traducción y revisión técnica a cargo del
Capítulo: Perú

COMITÉ EDITORIAL:

Presidente del Comité Editorial:

Dr. Jorge Maurilio Rivera Torres

Presidente de la Sección Noreste de México del ACI. (2022-2024)

Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Editores Asociados:

Dr. Lucio Guillermo López Yépez

Dra. Margareth Josefina Dugarte Coll

Dr. Francisco Rene Vázquez

Asesor Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

Traducción:

Anabel Merejildo

Comité de Artículos Originales

Ing. Xiomara Sapón Roldán

Ing. Thyssen Won Chang

Revisión Editorial:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Administración y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

Dirección Creativa:

MDG. Rosa Otilia Armendariz Solís

Diseño Gráfico:

LDI. Julián Capetillo Castillo

LDG. Anakaren Lozano González

Hannia Annett Molina Frías

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

Diseño Editorial: Comunicación e

Imagen Institucional FIC-UANL

Cualquier asunto relacionado con la publicación

contactarse a :

Correo: concretolatam@gmail.com

Tel: +52 81 2146 4907

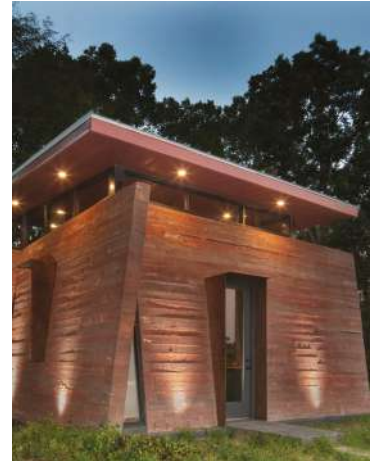
Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de Marzo del 2023. El Instituto no se hace responsable por las declaraciones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

Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina
Colombia
Costa Rica
Ecuador Centro y Sur
Guatemala

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

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



La fotografía de nuestra portada muestra el proyecto denominado "House of Cards" (Casa de Cartas) ubicado en Arnaudville, LA en los Estados Unidos. Esta construcción obtuvo un reconocimiento en el Concurso de Excelencia en la Construcción con Concreto patrocinado por el Capítulo Luisiana del ACI. Se trata de un lugar de retiro para un artista en un área rural hecha para una organización sin fines de lucro. El concreto fue elegido como el material de construcción por su sustentabilidad al ser durable, resistente y con relativamente bajo nivel de mantenimiento. La textura de los muros se logró usando madera recuperada de un granero y fue ejecutado por 29 estudiantes graduados y de tercer grado de arquitectura de la Universidad Luisiana en Lafayette, LA durante dos semestres. Más información, vea artículo 3 de esta revista.



¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo
local ACI

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



American Concrete Institute
Always advancing

El comité ACI sobre concreto lunar expone los avances recientes de los experimentos realizados en la estación espacial internacional

Por Peter J. Collins, Aleksandra Radlińska, Bernd Rattenbacher, Martina Schnellenbach-Held y Matthias Sperl

El uso de los materiales de concreto ha alcanzado nuevos límites y dio un salto desde la superficie de la tierra. El Comité 565 del ACI, Concreto Lunar, fue puesto en marcha recientemente para apoyar los esfuerzos de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) en mantener la presencia humana sobre la superficie lunar. La misión del Comité ACI 565 es desarrollar y reportar información sobre materiales de concreto lunar y tecnología de apoyo, con un enfoque en utilización de recursos en sitio (ISRU). Esta acción sigue los avances de experimentos llevados a cabo en la Estación Espacial Internacional (ISS) en un esfuerzo de colaboración entre la Universidad Estatal de Pensilvania (Penn State), la NASA y el Centro Aeroespacial Alemán (DLR). Estos experimentos tenían como objetivo comprender la influencia de la gravedad en la solidificación de los componentes cementantes y entender la durabilidad de un concreto lunar en sitio. Si bien estos experimentos son un avance, aún se requiere trabajo para cumplir el objetivo de que el hombre habite sobre la superficie de la luna, y se alienta a todos a contribuir al trabajo del Comité ACI 565.

Botas en la Luna

Hace más de 50 años, 12 hombres caminaron sobre la Luna como parte del Programa Apolo de la NASA. Estas misiones jugaron un papel clave en nuestra comprensión de la superficie de la luna y su ambiente. Desde las misiones Apolo, ningún ser humano ha vuelto a la Luna, pero eso va a cambiar en la década actual. El programa Artemis de la NASA es la próxima aventura humana en la exploración del espacio que busca eventualmente mantener la presencia del ser humano en la superficie lunar y llevar gente a Marte. Artemis 1, una misión no tripulada, se completó recientemente, pero se espera que Artemis 3 lleve humanos a la superficie lunar tan pronto como en 2025.

Será necesaria la construcción de varios tipos de infraestructura para mantener la presencia humana en la superficie de la luna durante largos periodos de tiempo. Esto incluye hábitats para proteger a la tripulación, refugios para equipos, carreteras, escudos contra explosiones y pistas de

aterrizaje. Los materiales de concreto son una opción plausible para la construcción, pero aliviar su dependencia de los suministros de la Tierra es crítico para minimizar el riesgo y el costo.¹ ISRU es el acto de recopilar, almacenar y usar los recursos que se encuentran en otros cuerpos planetarios y es un área importante de enfoque para desarrollo tecnológico.² ISRU cubre una amplia gama de aplicaciones, como la creación de productos para soporte vital, combustible para cohetes y materiales de construcción.

Trabajo activo en la NASA

La Iniciativa de Innovación en la Superficie Lunar (LSII) de la NASA se inició en 2019 para desarrollar y avanzar tecnologías para la superficie lunar.³ La Figura 1 muestra que hay cinco áreas clave dentro de la LSII, incluyendo energía sostenible y servicios de apoyo diversos, ISRU, supervivencia en ambientes extremos, excavación y construcción autónoma, robótica avanzada y autonomía. Múltiples esfuerzos

dentro de la NASA están en curso para apoyar las diversas áreas LSII, incluido el proyecto Luna-a-Marte de Tecnología de Construcción Planetaria (MMPACT) en el Centro Marshall de Vuelos Espaciales de la NASA.

El proyecto MMPACT conecta una gama de elementos del proceso de construcción, desde las materias primas hasta el desarrollo del hardware con el objetivo de proporcionar varios tipos de infraestructura a través de ISRU.⁴ El proyecto ha evaluado concreto geopolimérico, concreto a base de azufre y níquel, cementos de oxisulfato de magnesio y cementos de sulfoaluminato de calcio, como posibles opciones de implementación a través de técnicas de impresión tridimensional (3-D). La superficie lunar presenta múltiples problemas para los compuestos de cemento debido a la gravedad reducida, rangos de temperatura extrema y ambiente de alto vacío que causaría que el agua se vaporizara rápidamente. Se piensa que se podría utilizar un recinto ambiental temporal para mantener presión y temperatura adecuadas para la impresión 3-D y el curado.⁴ Después de que la estructura se haya curado, el recinto ambiental temporal se removería y el material estaría expuesto al duro entorno lunar y la durabilidad del material es de sumo interés.

Durabilidad del Concreto en el Espacio

Una opción de material para la superficie lunar que ha sido foco de atención en investigaciones recientes es el concreto geopolimérico.⁵⁻¹² El concreto geopolimérico lunar utiliza el regolito lunar (la capa superior suelta de suelo) en su condición "actual" y se mezcla con una solución alcalina que,

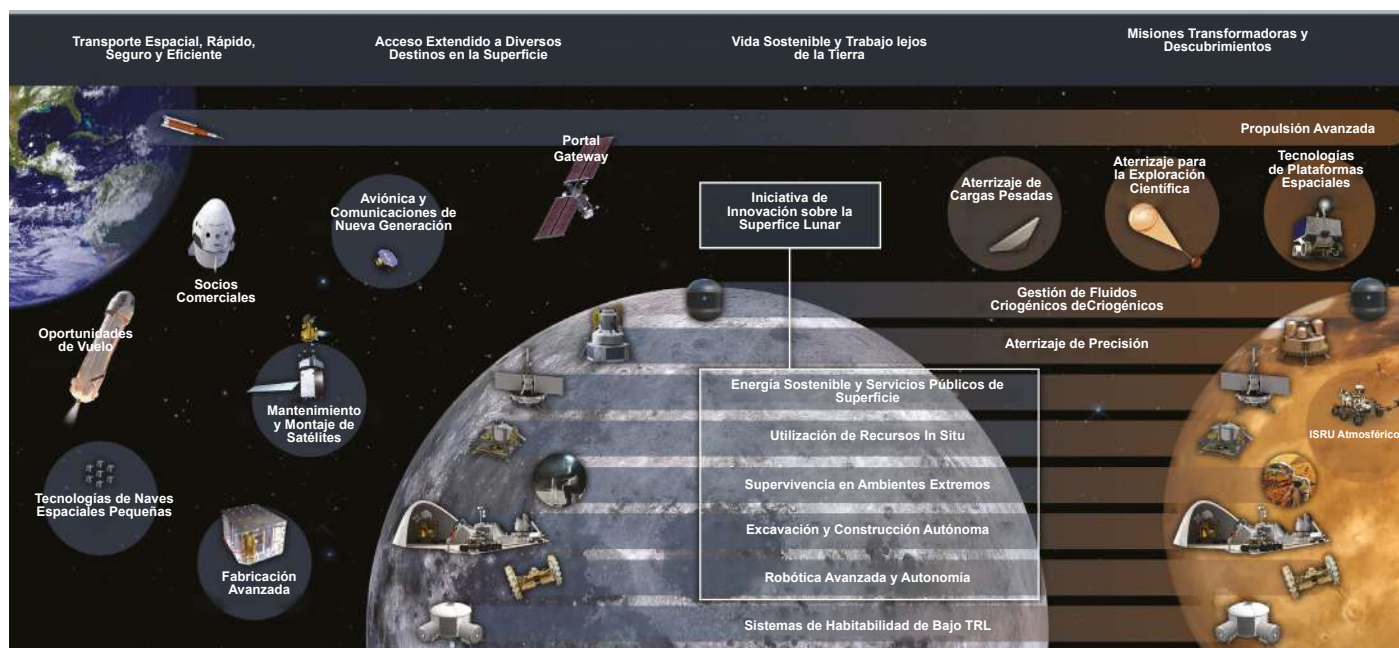


Fig. 1: Imagen adaptada que muestra la amplia gama de desarrollo tecnológico para el espacio y destaca las áreas de la Iniciativa de Innovación de la Superficie Lunar (LSII) (imagen cortesía de la NASA)

teóricamente, se puede producir en su mayor parte en el lugar. Penn State y la NASA están estudiando la durabilidad del concreto geopolimérico lunar en el entorno espacial de exposición afuera de la ISS en la Instalación Experimental de Materiales de la Estación Espacial Internacional de Vuelo (MISSE-FF).

Seis muestras de concreto geopolimérico lunar y dos muestras de pasta de cemento portland ordinario fueron prefabricadas en la

Tierra y entregadas para su integración en el porta-muestras MISSE. Las muestras tenían una longitud y un ancho de 1.0 pulgada (25 mm) y tenían 0.375 pulgadas (9.5 mm) de espesor. Las muestras de concreto geopolimérico lunar se crearon utilizando un simulador de regolito lunar JSC-1A y se mezclaron con varias combinaciones de silicato de sodio e hidróxido de sodio.

El transporte con las muestras fue lanzado a la ISS el 29 de agosto de 2021 en el SpaceX

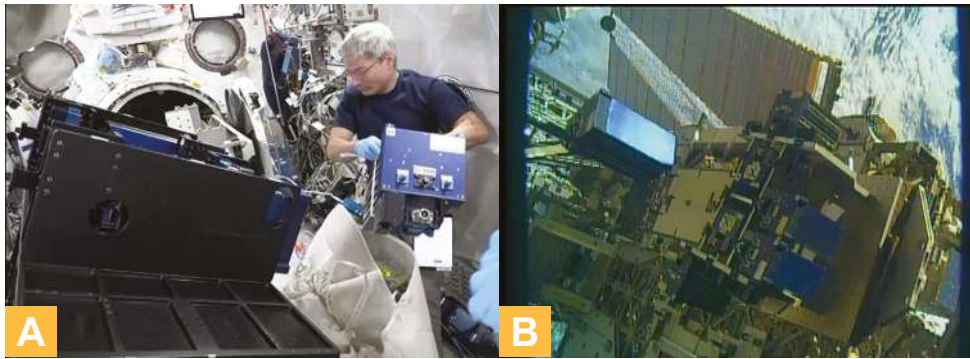


Fig. 2: Preparación para la exposición de la muestra en el espacio: (a) el astronauta de la NASA Mark Vande Hei cargando el portamuestras MISSE en una bandeja de transferencia; y (b) el portamuestras en el brazo robótico que se instala en la plataforma experimental (imágenes cortesía de la NASA)

CRS-23. La tripulación comenzó en los meses siguientes a instalar el porta-muestras fuera del ISS (Fig. 2). El porta-muestras se montó en la dirección cenital (apuntando por encima de la ISS al espacio más profundo), ya que es más similar a la superficie lunar. Las muestras recibieron 167 días de exposición al espacio completo (bandeja portadora abierta) y pasaron un tiempo total de 258 días en un vacío antes de ser devueltas al interior del ISS, regresando con el SpaceX CRS-25 el 20 de agosto de 2022.

Se recopilieron datos que incluyen dimensiones de la muestra, peso, fotografías, y mapas de microscopía electrónica de barrido de gran área, antes y después de la exposición para permitir la comparación. Fotografías antes y después de la exposición de una de las pastas de cemento portland y de muestras de concreto geopolimérico lunar, se muestran en la Fig. 3. Después de la exposición en el espacio, hay una decoloración aparente en la sección expuesta de la superficie, derivada de la intensa radiación ultravioleta (UV) en dirección cenital. La muestra de concreto geopolimérico lunar exhibe eflorescencia que probablemente ocurrió durante el tiempo desde la rotación inicial de la muestra hasta el lanzamiento del porta-muestras, y no es un producto de la exposición espacial. Se observan grietas frecuentes a nivel de la superficie en la microescala, pero en general, las muestras no mostraron degradación estructural visible.

Solidificación en Microgravedad

El proyecto *MASON/endurecimiento del concreto*, está dirigido a comprender la influencia de la gravedad en la solidificación de los componentes cementantes. El equipo del proyecto mezcló una variedad de diferentes composiciones dentro de recipientes cilíndricos que sirven como

una versión en miniatura de una guanterera (Fig. 4). Este mezclador es también adecuado para otros experimentos con materiales aglutinantes y se ha presentado para ser patentado. El uso del contenedor cilíndrico permitirá obtener una primera aproximación de la resistencia a la compresión de compuestos cementantes mezclados en microgravedad.

Las muestras resultantes fueron traídas de vuelta del ISS en el SpaceX CRS-25 y están siendo actualmente investigadas usando transmisión de sonido, tomografía de rayos X y otras técnicas diversas.

Los primeros resultados indican que las muestras fueron bien mezcladas con superficies lisas en los cilindros y solidificación exitosa de casi todas las muestras, también asegurando buenas estadísticas de los resultados. Además del uso de arena tradicional en las mezclas, el simulador de regolito lunar, EAC-1, se ha utilizado para varias de las muestras por comparación y avances en la idea de ISRU.

Comité de Concreto Lunar de ACI

El Comité ACI 565 se inició con una misión de desarrollar y reportar información sobre materiales de concreto lunar y tecnología de apoyo con un enfoque en ISRU. El comité es la renovación del



Fig. 3: Muestra de pasta de cemento portland y muestra de concreto geopolimérico lunar antes y después de la exposición fuera de la ISS en la dirección cenital

Comité 125 de ACI, que fue originalmente establecido y presidido por Tung Dju Lin siguiendo un anuncio del presidente George H.W. Bush en 1989, de establecer una base en la Luna como parte de la Iniciativa de Exploración Espacial.¹³ Finalmente, el comité publicó el SP-125 en 1991, que resume ideas innovadoras, primeras en su tipo, para la construcción lunar.¹⁴

Con el avance del programa Artemis, ahora es el momento para que los brillantes miembros de ACI se unan y apoyen juntos a la NASA en su objetivo de mantener la presencia humana en la superficie lunar a través de la construcción de infraestructura. La primera reunión del Comité 565 de ACI se llevará a cabo en la Convención de Concreto del ACI en San Francisco, CA, EE. UU., el martes 4 de abril de 2023 a la 1:00 p.m. La renovación del comité de Concreto Lunar está dedicada a Tung Dju Lin y su esposa, Su Yu Lin, quienes fallecieron con un día de diferencia, debido a complicaciones por el coronavirus en 2020.



Fig. 4: Realización del experimento MASON/ISS de endurecimiento del concreto por el astronauta alemán de la ESA Matthias Maurer. El mezclador es operado dentro de una guantera temporal. Sesenta y cuatro de estas muestras fueron procesadas en febrero de 2022 y ahora están siendo analizadas

Conclusiones y Trabajo Futuro

Los materiales de concreto son candidatos versátiles y resistentes para la construcción extraterrestre. El ISRU es un componente clave que debe tenerse en cuenta para cualquier desarrollo de material de construcción. Nuestros estudios recientes son un paso en la comprensión cómo las variables ambientales lunares influyen en la durabilidad del concreto. Las observaciones iniciales del MISSEFF muestran resultados prometedores para la durabilidad del concreto geopolimérico lunar. El experimento MASON/Endurecimiento del concreto mezcló con éxito 64 cilindros diferentes y está en proceso de analizar y entender la influencia de la microgravedad en la solidificación de los compuestos cementantes. Por último, todos están invitados a asistir a la primera reunión del Comité 565 del ACI si este tipo de trabajo es de su interés.

Agradecimientos

Este trabajo cuenta con el apoyo de un Programa de Investigación del Posgrado en Tecnología Espacial de la NASA y el contrato NASA NNJ16GU05B. MASON/Endurecimiento del concreto agradece el apoyo financiero de la agencia German Space, así como de DVAG y BigCityBeats. Se expresa agradecimiento a Louise Little, Jennifer Edmunson y Michael Fiske de la NASA por sus valiosos conocimientos y a PQ Corporation por proporcionar el silicato de sodio. También agradecemos a los astronautas de la ESA: Matthias Maurer y Alexander Gerst, así como los astronautas de la NASA: Mark Vande Hei y Thomas Marshburn, por ejecutar los experimentos en la ISS.



Aleksandra Radlińska, FACI, es Profesora Asociada en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental en Penn State. Sus intereses de investigación incluyen el desarrollo de materiales innovadores para mejorar la durabilidad de la infraestructura en aplicaciones terrestres y extraterrestres. Radlińska es presidente del Comité 565 de ACI, Concreto Lunar, y ex presidente del Consejo de Investigación del Concreto de la Fundación ACI. Su servicio a la industria del concreto fue reconocida en 2012 con el ACI Young Member Award for Professional Achievement y nuevamente en 2018 cuando fue nombrada Fellow de ACI.



Martina Schnellenbach-Held es la Directora del Instituto de Estructuras de Concreto. Ella está trabajando en temas de investigación del concreto, incluido el Concreto de Aerogel de Alto Rendimiento (HPAC), que está optimizado para el ahorro de energía en edificios. Ella sirve en múltiples comités y paneles de revisión. El trabajo en MASON en Essen se realizó en colaboración con Julian Müller y Torsten Welsch.



Peter J. Collins es miembro del ACI, es Candidato a doctorado en la Universidad del estado de Pennsylvania (Penn State), Colegio Estatal, Pensilvania, Estados Unidos. Sus intereses de investigación incluyen entender las diferencias en la hidratación del cemento en función de la gravedad y desarrollar materiales de concreto lunar in situ. Collins es beneficiario de la Beca de presidentes de ACI y del Programa de investigación del posgrado en tecnología espacial de la NASA. Él sirve como Secretario del Comité ACI 565, en Concreto Lunar.



Bernd Rattenbacher lidera el Centro de Apoyo Espacial de Biotecnología (BIOTESC) en la Hochschule Luzern (HSLU), Lucerne, Suiza. Él es responsable de la preparación, ensayo, y ejecución segura de cargas útiles en el EEI, incluido MASON. El trabajo en MASON en BIOTESC se realizó en colaboración con Christian Rösch.



Matthias Sperl es profesor de física en la Universidad de Colonia, Colonia, Alemania, así como líder de grupo en el Centro Aeroespacial Alemán (DLR) en Colonia, dentro del Instituto de Física de Materiales en el Espacio. Es responsable de un número de cargas útiles en la ISS y otras plataformas de microgravedad. Además, él está adelantando investigación sobre los recursos espaciales. Dirige múltiples iniciativas de investigación colaborativa que van desde matemáticas y física a la ingeniería. El trabajo sobre MASON en Colonia se realizó en colaboración con Karsten Tell.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Colombia

Título: El comité ACI sobre concreto lunar expone los avances recientes de los experimentos realizados en la estación espacial internacional



Traductora y Revisora Técnica:
Ph.D Margareth Josefina
Dugarte Coll

Expandiendo el uso de factores ϕ por material

Por Charles W. Dolan y Raul D. Bertero

El concepto de “coeficientes de seguridad parciales” ha sido propuesto al ACI 318 desde hace varias décadas^{1, 2, 3} y es utilizado por los reglamentos canadienses, británicos y de la Unión Europea. Los detalles de esas aplicaciones no son motivo de este trabajo sino los conceptos relacionados con el uso de factores de seguridad por material, es decir, uno para el concreto y otro para el acero de refuerzo. Si bien no lo expresa en forma explícita, ya el ACI 318-194 en su capítulo de Anclajes utiliza actualmente factores de seguridad por material.

Israel et al.¹ argumentan que la aplicación de factores de seguridad por material permite un mejor diseño de las estructuras de concreto armado. Por otro lado, el uso de factores de seguridad por material permite resolver varios problemas del actual reglamento ACI 318 tales como: las anomalías en el diagrama de interacción para el diseño de columnas, las objeciones al cambio en el factor de reducción del reglamento para la resistencia al corte de diseño y la necesidad de calcular la deformación de la fibra de armadura más traccionada para determinar el factor de seguridad.

De acuerdo con la filosofía general del reglamento ACI 318, las resistencias nominales se calculan con base en los principios teóricos de la mecánica estructural incorporando los resultados de una extensa base de datos experimentales. La resistencia de diseño se obtiene modificando la resistencia nominal mediante la aplicación de factores de reducción de resistencia. El actual reglamento ACI 318, con algunas excepciones, utiliza un único factor de reducción de resistencia aplicado a toda la sección. Por el contrario, los

factores de reducción de resistencia por material aplican factores de reducción al concreto y al acero en forma independiente. En este trabajo se utiliza un factor de reducción $c = 0.65$ para el concreto (lo cual es consistente con el coeficiente de seguridad del ACI 318 para compresión pura de columnas no zunchadas), y $s = 0.90$ para la armadura.

Factores ϕ por material actualmente utilizados en el ACI 318

En el ACI 318 actual, el Capítulo 17 de Anclajes utiliza en la práctica factores de reducción por material. Los cálculos de la resistencia de los anclajes se realizan por separado según el comportamiento del material y los factores de reducción se aplican de acuerdo con esa diferenciación. El ingeniero debe verificar la resistencia a tracción del anclaje y la resistencia a rotura del concreto aplicando factores de seguridad diferentes al concreto y al acero en cada caso. De la misma manera, la Tabla 13.4.3.2 para fundaciones profundas del ACI 318 tiene implícita la utilización de factores de seguridad por material.

En otros casos, la variación del coeficiente de seguridad del ACI 318 con el comportamiento del elemento, implica la existencia implícita de una diferenciación entre los coeficientes de reducción para el acero y el concreto. Por ejemplo, la llamada metodología de diseño unificada, basada en la deformación neta de tracción, utiliza factores de seguridad que cambian según la sección se encuentre en la zona controlada por tracción, en la zona de transición o en la zona controlada por

compresión. En elementos de concreto pretensado el coeficiente de seguridad del ACI 318 también varía a través de la zona de transferencia del pretensado. Es decir que el concepto de factores de reducción por material ya es ampliamente utilizado implícitamente en el reglamento actual a los efectos de alcanzar una seguridad adecuada y no debería ser considerado una idea nueva.

A continuación, este trabajo presenta una discusión sobre la expansión del uso de factores ϕ por material para columnas, corte y flexión. Posteriormente, se presenta un resumen de los factores ϕ por material propuestos.

Columnas

Gamble (2015)³ puntualizó que el uso de factores únicos de reducción de resistencia conduce a resultados inconsistentes en la zona de transición entre la sección controlada por tracción y la controlada por compresión. Específicamente, la aplicación de un factor de reducción variable según la deformación del acero en el plano de falla, que se introduce con la metodología de diseño unificada (Mast 1992)⁵, origina discontinuidades en la región cercana a la falla balanceada de la sección. Lequesne and Pincheira (2014)⁶ analizan este problema para columnas de forma rectangular y de T. Una de las anomalías que ellos presentan es que en algunos casos se obtienen, en el diagrama de interacción, tres valores diferentes del momento flexor resistente para una misma carga axial. Resulta claro que las ecuaciones del reglamento deberían conducir a una solución única.

En la Figura 1 se puede ver la comparación del diagrama de interacción de diseño utilizando el ACI 318 con un único coeficiente de reducción y el que se obtiene utilizando factores de seguridad por material con $c=0.65$ para el concreto y $s=0.90$ para el acero y para una sección con una cuantía del 1.56%. No se incluye en la figura la resistencia de diseño límite del reglamento de $0.80 \phi P_n$.

La comparación de la resistencia nominal de la columna con las resistencias de diseño

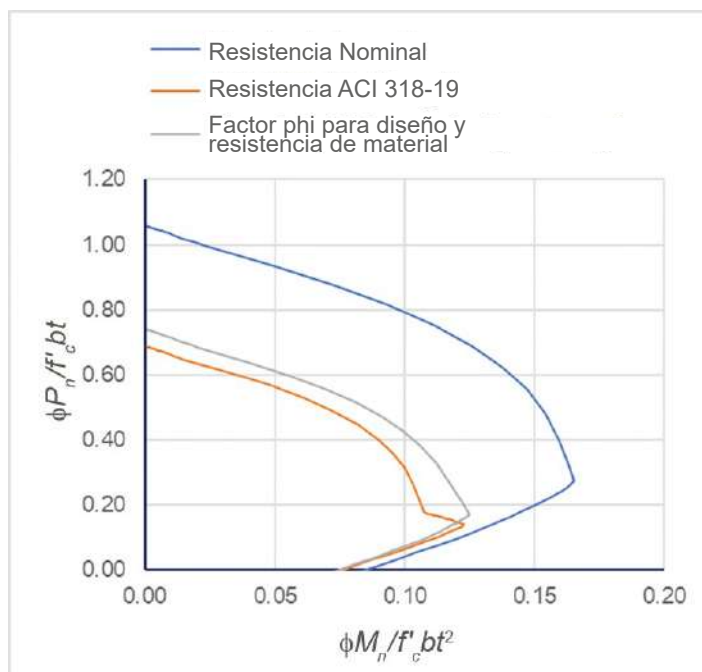


Fig. 1 Resistencia normalizada para una columna con $\rho=1.56\%$, $f'_c=41$ MPa, $f_y=552$ MPa

muestra los beneficios de la utilización de factores de reducción por material. En primer lugar, desaparece la “nariz” cerca de la falla balanceada del reglamento ACI 318-19 ya que esta discontinuidad es una consecuencia de la metodología de diseño (Mast 1992)⁵ y no un resultado de la mecánica de materiales. Segundo, las contribuciones del concreto y del acero a la resistencia son reconocidas en su justa medida y de acuerdo con su incertidumbre asociada. En este ejemplo, la capacidad de carga axial es aproximadamente 7% más grande con los coeficientes de reducción por material que con el reglamento actual. En tercer lugar, no es necesario definir una zona de transición ya que los factores de reducción por material la resuelven en forma automática. Por otro lado, los factores de reducción parciales resuelven las inconsistencias identificadas por Lequesne y Pincheira (2014)⁶ sin afectar otros requerimientos del reglamento.

Conceptualmente, el problema es que el uso de un único factor de reducción produce una gran variación de la confiabilidad de una misma columna cerca de la zona de falla balanceada así como en columnas con diferentes cuantías de armadura. Esto no sucede cuando se utilizan factores de minoración por material. La Figura 2 muestra los diagramas de interacción y el índice de confiabilidad usando el ACI 318, por un lado, y los factores de reducción por material (Material Phi en la figura), por el otro, para columnas con cuantías del 1 y del 3%, y factores de reducción por material $c = 0.60$ para el concreto y $s = 0.90$ para el acero de refuerzo. La resistencia nominal de los materiales utilizados para la figura corresponde a $f'_c = 27$ MPa, $f_y = 420$ MPa.

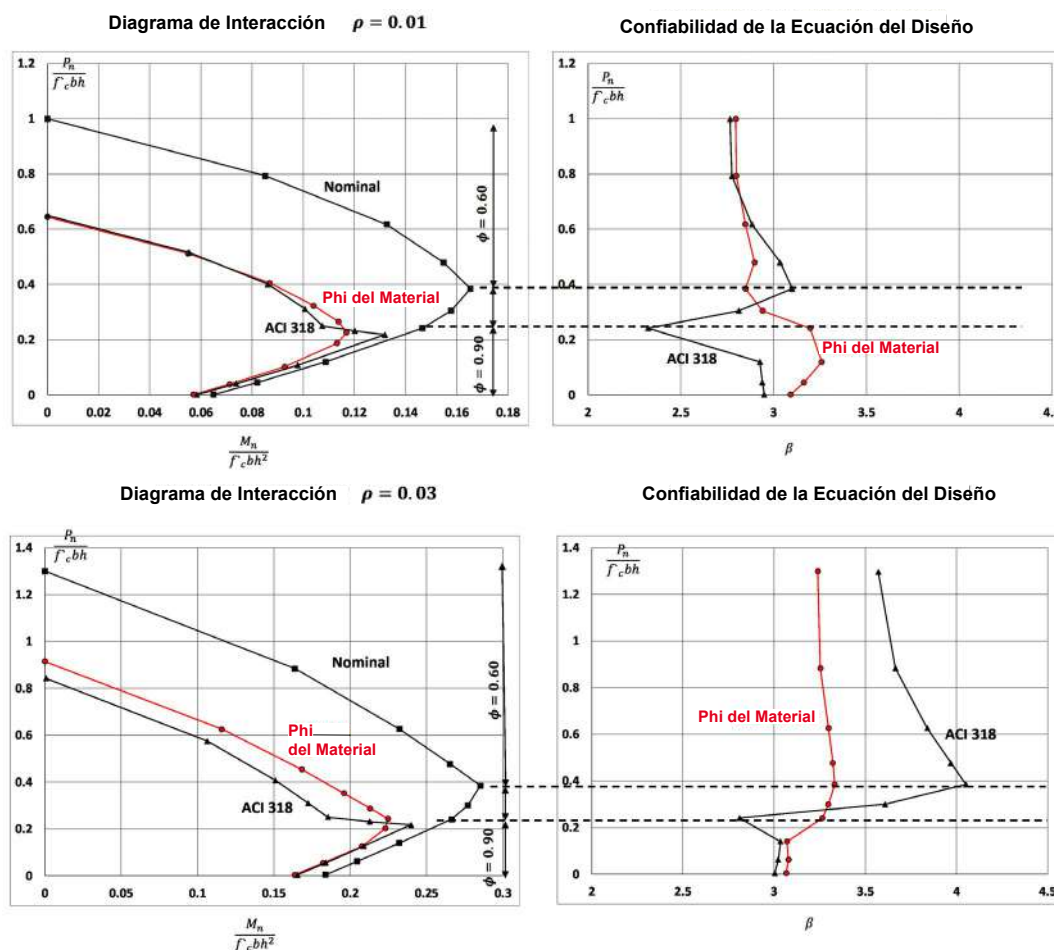


Fig. 2 Diagramas de interacción e índice de confiabilidad usando el ACI 318-19 (2022) y los factores de reducción por material ϕ para columnas con cuantías del 1 y 3%. Para los factores de reducción por material se utilizaron $c = 0.60$ para el concreto y $s = 0.90$ para el acero de refuerzo

El valor de $c = 0.60$ fue seleccionado en la Figura 2 de tal manera que las resistencias de diseño obtenidas con los factores de reducción por material se encuentren cercanas a las obtenidas con el actual reglamento ACI 318, ilustrando también como se pueden calibrar la resistencia de la sección y la confiabilidad. Para el análisis de confiabilidad se utilizaron los valores estadísticos de cargas y resistencias dados en la Tabla 1 de Israel et al (1987).

Dos observaciones importantes se deducen de la Figura 2. Primero, el factor de reducción único actualmente utilizado por el ACI 318 produce una gran variación de la confiabilidad en la

zona de transición del diagrama de interacción produciendo una menor confiabilidad, es decir un diseño menos seguro, cerca de la falla balanceada. Segundo, la confiabilidad debería permanecer aproximadamente constante con diferentes cuantías de acero y con diferentes excentricidades. Sin embargo, el uso de un factor de reducción único conduce a una gran variación de la confiabilidad con el cambio de esas variables mientras que el uso de factores de reducción por material ϕ muestra una confiabilidad mucho más uniforme para todos los valores de cuantías y de excentricidades de la carga.

Elemento y tipo de falla	f_i	f_c
Vigas, losas, columnas, tabiques, diafragmas y uniones:		
Acero de refuerzo	0.90	-
Concreto:		
No confinado – ACI 318 actual		0.65
No confinado – por compatibilidad con ACI 318 actual	-	0.60
Confinado – Espiral – ACI 318 actual		0.75
Confinado - por compatibilidad con ACI 318 actual		0.70
Corte y torsión:		
Concreto “in-situ”	0.90	0.65
Elementos fabricados en planta	0.90	0.75
Apoyos		0.65
Zonas de anclaje postensadas	0.90	0.85
Ménsulas cortas	0.90	0.75
Bielas, tensores, zonas nodales y áreas de apoyo diseñadas de acuerdo con el Capítulo 23	0.75	0.75
Componentes de uniones de elementos prefabricados controlados por fluencia de elementos de acero en tracción	0.90	0.75
Concreto simple	-	0.65
Anclajes de acuerdo con el Capítulo 17	0.90	0.45 a 0.75
Corte por fricción	0.75	-
Fundaciones profundas	-	Tabla 13.4.3.2
Uniones de acuerdo con el Capítulo 15	0.90	0.75

Tabla 1: Resumen de valores de factores ϕ por material actuales y sugeridos en ACI 318

Corte y torsión

Los factores de reducción por material ϕ también resuelven problemas de las ecuaciones de diseño de corte y de torsión del ACI 318. La resistencia al corte en el ACI 318 está calculada a partir de sus dos componentes, una contribución del concreto y una contribución del acero. Los factores de reducción por material reemplazan el coeficiente de reducción único con un factor que se aplica a cada componente. Por lo tanto, la ecuación de la resistencia de diseño pasa de

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \text{ a } \phi V_n = (\phi_c V_c + \phi_s V_s).$$

Cuando hace algún tiempo el factor para el diseño al corte del ACI 318 fue reducido de 0.85 a 0.75 se planteó la preocupación de que esta reducción no haya sido demasiado grande, particularmente para secciones con armadura de corte. Los factores de reducción por material resuelven esta preocupación ya que permiten que la resistencia al corte total se incrementa a

medida que se incrementa el volumen de estribos sin comprometer la resistencia de secciones sin armadura de corte.

La Figura 3 muestra, a la izquierda, la diferencia en la resistencia de diseño de una viga de 40 cm de ancho y 60 cm de alto con un concreto $f'_c = 27$ MPa, acero $f_y = 420$ MPa y estribos de 12 mm de diámetro separados por la distancia máxima reglamentaria, $d/2$. La resistencia al corte del concreto surge de mayor valor entre $0.17\sqrt{f'_c} b_w d$ y V_c calculado considerando la cuantía de armadura longitudinal de acuerdo con lo especificado por el ACI 318-19(2022). Los factores de reducción son $\phi = 0.75$ para el ACI 318 y $\phi_c = 0.65$ y $\phi_s = 0.90$ para los factores de reducción por material. Utilizando estos últimos se obtiene un 4% de incremento en la resistencia de diseño en relación con el ACI 318 para los datos del ejemplo analizado. La misma armadura de corte con un concreto de 55 MPa no resulta tampoco en cambios apreciables de la resistencia de diseño entre ambos métodos como se puede apreciar en la Figura 3.

El máximo incremento en la resistencia al corte de diseño usando factores de reducción por material ocurre cuando se utiliza acero de alta resistencia para los estribos en combinación con hormigones de baja resistencia. En la resistencia de diseño de secciones sin armadura de corte no hay diferencias entre ambos métodos.

La utilización de factores de reducción ϕ por material produce otros beneficios en el diseño por corte. Un factor de reducción para el concreto $\phi_c=0.65$ refleja la mayor variabilidad del aporte del concreto a la resistencia al corte y promueve la utilización de armadura de corte. Por otro lado, un factor de reducción más elevado, por ejemplo $\phi_c=0.75$, podría especificarse para elementos fabricados en planta donde las condiciones de control de calidad justifiquen factores de reducción más altos.

Los factores de reducción por material ϕ en las ecuaciones de diseño al corte podrían calibrarse utilizando las bases de datos existentes. El único recaudo que debería tomarse es que los especímenes de ensayo de la base de datos satisfagan los requerimientos del ACI 318. Esta limitación es necesaria ya que los ensayos al corte son diseñados muchas veces para ser realizados sobre vigas sobre reforzadas o fuera de reglamento justamente para inducir una falla por corte.

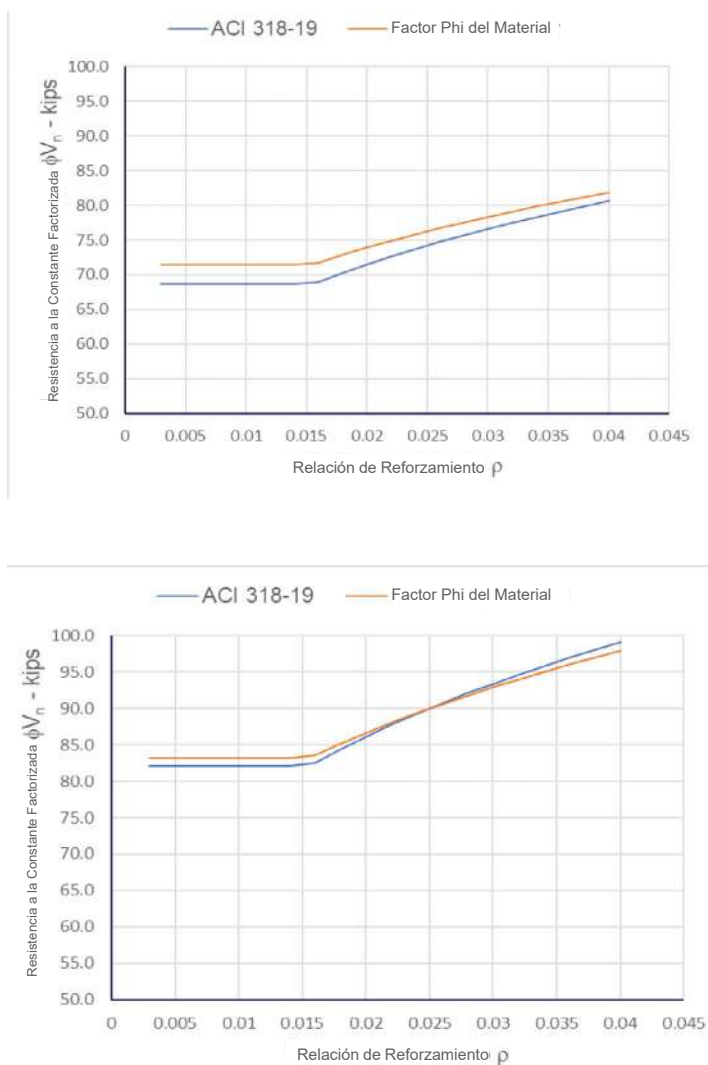


Fig. 3 Resistencia al corte de diseño utilizando ACI 318-19 y coeficientes de reducción por material. a) $f'_c = 27 \text{ MPa}$, $f_y=420 \text{ MPa}$; b) $f'_c = 55 \text{ MPa}$, $f_y=420 \text{ MPa}$

Flexión

La resistencia nominal a la flexión en una sección controlada por tracción es

$$\frac{M_n}{bd^2} = \rho f_y \left(1 - 0.59 \frac{\rho f_y}{f'_c} \right)$$

Multiplicando esta resistencia nominal por el factor de reducción que especifica el ACI 318 se obtiene la resistencia de diseño

$$\phi \frac{M_n}{bd^2} = \phi \rho f_y \left(1 - 0.59 \frac{\rho f_y}{f'_c} \right)$$

Esta ecuación proporciona el momento de diseño hasta la cuantía de falla balanceada. En el diseño por flexión, la cuantía de la falla balanceada es importante ya que es la cuantía que produce el mismo momento flector usando la ecuación correspondiente a una sección controlada por tracción y la ecuación para una sección controlada por compresión.

El término f_y/f'_c de la ecuación aparece también cuando se determina la cuantía de falla balanceada. Si agregamos en la ecuación correspondiente a la cuantía de falla balanceada los factores de reducción por material se obtiene la siguiente cuantía de falla balanceada modificada:

$$\rho_{bal\phi} = 0.85 \beta_1 \frac{\phi_c f'_c}{\phi_s f_y} \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u + \epsilon_y}$$

Debido a que ϕ_s es más grande que ϕ_c el valor de $\rho_{bal\phi}$ es menor que el valor nominal de la cuantía balanceada ρ_{bal} . Permutando la ecuación correspondiente a una sección controlada por tracción a una controlada por compresión a partir de $\rho_{bal\phi}$, la utilización de factores de reducción por material proporciona una transición suave

de la resistencia de diseño para todo el rango de cuantías. Por otra parte, limita la máxima cuantía para ser una sección controlada por tracción (y de allí asegurando una ductilidad mínima) a un valor aproximadamente igual a $0.75 \rho_{bal}$.

Debido a que f_y/f_c aparece en la ecuación para secciones controladas por tracción, los factores de reducción por material deben aplicarse tanto en el numerador como en el denominador obteniéndose la siguiente ecuación para la resistencia de diseño:

$$\phi \frac{M_n}{bd^2} = \phi_s \rho f_y \left(1 - 0.59 \frac{\rho \phi_s f_y}{\phi_c f_c'} \right)$$

Una situación similar es obtenida utilizando factores de reducción por material en secciones controladas por compresión. Utilizando las ecuaciones de libros de texto⁷ para el bloque de tensiones de compresión equivalente en las secciones controladas por compresión se obtienen los siguientes parámetros para definir la profundidad del eje neutro $c=kd$:

$$m_\phi = \frac{E_s \varepsilon_u}{0.85 \beta_1 f_c'}$$

y

$$k = \sqrt{\rho m_\phi + (\rho m_\phi / 2)^2} - \rho m_\phi / 2$$

Para la cuantía de falla balanceada y para cuantías mayores, el momento de diseño se determina en base a la contribución del concreto por medio de la siguiente ecuación:

$$\phi \frac{M_n}{bd^2} = \phi_c 0.85 f_c' \beta_1 k \left(1 - \frac{\phi_s \beta_1 k}{\phi_c 2} \right)$$

donde d es la distancia de la fibra extrema en compresión al baricentro de la armadura longitudinal, c es la profundidad del eje neutro para una sección controlada por compresión, $k=c/d$ y β_1 es un factor que convierte la profundidad del eje neutro c a la profundidad del bloque de compresión rectangular equivalente.

La Figura 4 muestra la resistencia nominal a la flexión y las resistencias de diseño de acuerdo con el ACI 318 y con los factores de reducción por material ϕ propuesta en este trabajo.

La utilización de factores de reducción por material ϕ en flexión proporciona además una metodología de diseño consistente con la de columnas explicadas precedentemente. La ecuación del momento flector de diseño resulta ligeramente más conservadora que el actual ACI 318 en una sección controlada por tracción a medida que la cuantía de armadura se incrementa. Por otra parte, es ligeramente

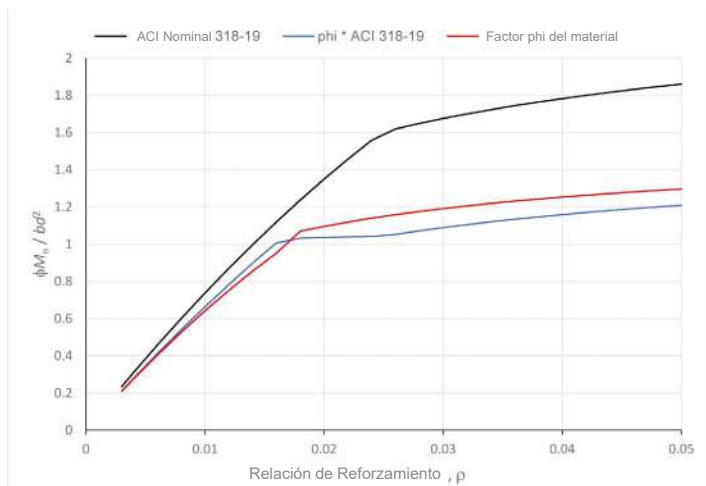


Fig. 4 Resistencia a la flexión en función de la cuantía de una sección rectangular de concreto con $f'_c = 40$ MPa and $f_y = 550$ MPa

menos conservadora (menos del 10%) en una sección controlada por compresión. La cuantía de falla balanceada modificada por los factores de reducción parciales limita la sección controlada por tracción a una cuantía máxima entre 0.75 y 0.76 de la cuantía de falla balanceada nominal. Esto ubica dicho límite para el diseño de secciones controladas por tracción en un alineamiento directo con versiones anteriores del reglamento. Los factores de reducción por material eliminan la necesidad de definir una zona de transición artificial entre las regiones controladas por tracción y por compresión. De esta forma, la metodología con factores parciales elimina también la zona no utilizada en los alrededores del 0.003 de deformación que origina la metodología unificada para aceros de refuerzo con resistencia de fluencia nominal mayor a 420 MPa.

El sistema de factores de reducción por material ϕ es también adecuado para secciones T y para secciones pretensadas. En una sección T, el bloque de compresión suele encontrarse totalmente contenido dentro del ala. Por lo tanto, un pequeño incremento en la profundidad del eje neutro tiene un impacto mínimo sobre la resistencia de diseño. Las secciones de concreto pretensado se pueden continuar calculando mediante compatibilidad de deformaciones, o bien, utilizando la ecuación aproximada para la tensión en el tendón dada en el reglamento. Los factores de reducción por material ϕ se podrían luego aplicar a las correspondientes contribuciones a la resistencia de cada material y a los cálculos de la profundidad del eje neutro y del bloque de compresión. Las cuantías de falla

balanceada y de falla balanceada modificada por los coeficientes parciales podrían ser calculadas en base a una deformación de fluencia equivalente del 0.002 tal como fuera sugerido por Mast (1992)⁴.

Otros elementos

La Tabla 1 resume los factores de reducción de resistencia actuales y los sugeridos. Sujetos a un análisis de confiabilidad más refinado, estos valores conducen a aproximadamente los mismos valores de resistencia de diseño utilizando una u otra metodología. Una excepción está constituida por la ecuación de diseño para el corte por fricción. La fuerza normal en los cálculos del corte por fricción está basada en la resistencia del acero, pero la falla por corte se explica por la resistencia del concreto. Sin embargo, la resistencia del concreto no está incluida explícitamente en la ecuación del corte por fricción, sino que aparece un coeficiente de fricción. Por lo tanto, ϕ_c debería ser aplicada a la ecuación de la resistencia de diseño al corte por fricción y ϕ_s a la contribución del acero.

Conclusiones

El ACI 318 ya utiliza actualmente factores de reducción por material ϕ . Expandir su uso para todas las secciones y elementos proporciona una metodología uniforme para el cálculo de las resistencias de diseño, resuelve varios inconvenientes en las especificaciones actuales del reglamento incluyendo la injustificable “nariz” en los diagramas de interacción, elimina la necesidad de determinar la deformación de la fibra más traccionada en el diseño y elimina la zona “muerta” creada por la metodología de diseño unificado en la zona de transición para aceros de mayor resistencia. Por otra parte, la utilización de factores de reducción por material implica una cuantía máxima igual a 0.75 veces la cuantía de falla balanceada para vigas.

Los factores de reducción por material deberían ser adoptados por el ACI 318. La calibración de estos factores puede mejorar aún más la confiabilidad de la resistencia de diseño del reglamento. Esta calibración se recomienda también como parte del proceso de adopción de la metodología de factores parciales. Sin embargo, y aún sin una calibración más detallada, el uso de los factores de reducción ϕ de la Tabla 1 conducen a resistencias de diseño aproximadamente equivalentes a las del reglamento actual.

Referencias

1. Israel, M., Ellingwood, B., and Corotis, R., 1987, “Reliability-Based Code Formulations for Reinforced Concrete Buildings,” J. Struct. Eng., v. 113, n. 10, Oct., pp 2235-2252.
2. Gamble, W. L., 1998, “N-Factors and Other Anomalies,” Concrete International, Dec. pp 56-58.
3. Gamble, W. L., 2015, “Phi Factors Revisited,” Concrete International, Dec. pp 35-38.
4. ACI 318-19, 2019, Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI, Farmington Hills, MI, 623 pg.
5. Mast, R. F. 1992, “Unified Design Provisions for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members,” ACI Structural Journal, v. 89, n. 2, March April, pp 185-199.
6. Lequesne, R. D., and Pincheira, J. A., 2014, “Proposed Revisions to Strength Reduction Factor for Axially Loaded Members,” Concrete International, September, pp. 43-49.
7. Darwin, D. and Dolan, C. W., 2021, Design of Concrete Structures, 16th, ed., McGraw Hill, NY, NY, 864 pg.



Charles W. Dolan, ACI Honorary Member, es H.T. Person Profesor Emérito de la Universidad de Wyoming, Laramie, WY, USA y co-autor de "Desing of Concrete Structures". Ha sido miembro y Chair del Comité de Actividades Técnicas del ACI y ha sido miembro del Comité ACI 318 y del Comité conjunto ACI-ASCE 423 de Concreto Pretensado.



Raul D. Bertero, FACI, es presidente del Capítulo Argentino del ACI, Vice-decano y Profesor Titular Plenario de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, donde está a cargo de los cursos de Mecánica del Sólido, Dinámica de Estructuras, Diseño Sísmico y Seguridad Estructural. Actualmente es miembro del ACI International Advisory Committee y de varios subcomités del ACI 318.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Argentina

Título: Expandiendo el uso de factores ϕ por material



*Traductor, Revisor Técnico y
Co-autor:
Dr. Raúl Bertero*

Proyecto de Diseño – Construcción de HOUSEofCARDS [Castillo de Naipes]

La madera de granero recuperada les dio textura a los muros

El HOUSEofCARDS [Castillo de Naipes] es un proyecto de diseño-construcción en Arnaudville, LA, Estados Unidos de Norteamérica que ganó un Premio de Excelencia ACI en Construcción en Concreto Capítulo Louisiana. El proyecto se concibió como una insensatez en un terreno rural y sirve como retiro de artistas para una organización comunitaria no lucrativa. El concepto es una “Cabaña autosuficiente de Thoreau en Cajun Walden Pond” (Fig. 1). Se eligió el concreto como el material principal por su vida útil y durabilidad. De esta forma y a esta pequeña escala, el concreto es un material sustentable porque estará relativamente libre de mantenimiento y tendrá una larga vida de servicio.

Veintinueve estudiantes de tercer año y graduados en arquitectura por la Universidad de Louisiana en Lafayette, Lafayette, LA, diseñaron y construyeron la HOUSEofCARDS de 16 x 16 pies (5 x 5 m) durante dos semestres.

El concreto se mezcló en lotes pequeños en el sitio y colocaron coladas de 12 pulgadas (305 mm). Los muros de 10 pulgadas (254 mm) de



Fig. 1: Un retiro de artistas construido por estudiantes de tercer año y graduados en arquitectura por la Universidad de Louisiana en Lafayette.

espesor se aislaron en medio con aislamiento de espuma de poliisocianurato de 2 pulgadas (50 mm) (Fig. 2) lo que proporciona una barrera de vapor y rotura del puente térmico. Los muros fueron contextualmente texturizados utilizando tablas recuperadas de un granero cercano y al concreto se le aplicó color mezclado en el sitio (Fig. 3).



Fig. 2: El aislamiento se instaló en medio de la cimbra del muro antes de colocar el concreto.



Fig. 3: Los muros de concreto se texturizaron utilizando tablas rescatadas de un granero.



Fig. 4: La cabaña terminada con muros inclinados 8 grados unos contra otros en las esquinas como un castillo de naipes.

Los muros se apoyan a 8 grados uno contra el otro en las esquinas como un castillo de naipes (Fig. 4) logrando perspectivas forzadas y cambios de escala.

Paradójicamente, aunque la estructura es pesada y monolítica, las extensas ventanas y triforios (Fig. 5) impregnan el espacio de luminosidad. Los pisos de concreto pulido, las cubiertas y el escritorio de madera de pino recuperada (Fig. 6) brindan un espacio relajado para que los artistas y académicos produzcan su trabajo. La construcción cuenta con agua de un pozo, electricidad de un panel solar planeado, una bomba de calor minisplit y un inodoro de compostaje que ofrece autosuficiencia.

Además de la experiencia práctica en propiedades de materiales y procesos, los estudiantes obtuvieron experiencia y conocimiento en relaciones con el cliente y con el consultor, coordinación del subcontratista, elaboración de presupuestos y programación. Dentro de este pequeño enclave rural, se unen la soledad y la comunidad.

Créditos del Proyecto

Fotografía del proyecto Chad Chenier Photography.

Proyecto patrocinado por Absolute Concrete Polishing; ADG Engineering; Air Plus; Alchemco; Instituto Americano de Arquitectos Capítulo Louisiana del Sur; Armentor Glass Works; Associated General Contractors Construction Educational Trust Fund; Atchafalaya National Heritage Area; Billeaud Companies; Instituto de Especificaciones de Construcción Capítulo Acadiana; Dave's Screen & Windows, Inc.; The Delehoussaye Company; Distribution International; Doug Ashy Building Materials; Enterprise Data Concepts; Event Solutions; Grace Hebert Curtis Architects; Gulf Coast Air Systems; Holly & Smith Architects; Iberia Rental, JB Mouton Builders; Lambright Construction; Mapei; Metal Head Architectural Metalwork; Oge's Rent-All Center; Peppers Unlimited; Ramier Architects; Randall J. Hebert & Associates, Inc.; The Gen Group Construction; and White Cap.



Fig. 5: Los claristorios y amplias ventanas dan luminosidad a la pesada estructura de concreto.



Fig. 6: El interior de la cabaña terminada con pisos de concreto pulidos, escritorio y cubiertas de madera de pino recuperada.

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

Título: Proyecto de Diseño – Construcción de HOUSEofCARDS [Castillo de Naipes]



*Traductora:
Lic. Ana Patricia
García Medina*



*Revisor Técnico:
M.I. Sergio Valdés
Constantino*

CONVOCATORIA 2023

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

Desde 2023 puedes publicar tus artículos de investigación y casos de estudio en nuestra revista.

¡Es muy fácil!

Descarga la 1) Guía de Publicación
y 2) Carta de Solicitud en estos
códigos QR:

1



2



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

**Tú solicitud y artículo serán evaluados
para su publicación.**



Del hormigón estructural al hormigón arquitectónico

Cuando se desea una apariencia arquitectónica pero no se especifica ni se oferta adecuadamente

por Ronald L. Kozikowski, Kiley Marcoe y Eric Cohen

Si el propietario y el especificador de un proyecto esperan un acabado arquitectónico en hormigón estructural, el especificador debe comunicar claramente esa expectativa indicando requisitos medibles y cuantificables en los documentos de construcción. Como se indica en la Lista de Verificación de Requisitos Obligatorios en ACI 301-20,¹ el especificador debe especificar un acabado superficial alternativo si no se desea el acabado predeterminado definido en 5.3.3.1(a) o 5.3.3.1(b) para áreas específicas del trabajo.

Además, la lista de verificación requiere que el especificador designe partes del trabajo que se construirán con hormigón arquitectónico y especifique los requisitos para cada área designada según la Sección 6 de esa norma.¹ La lista de verificación también requiere que el especificador consulte ACI 303R para obtener información adicional sobre concreto arquitectónico.²

Al definir claramente un producto de trabajo aceptable, incluido el establecimiento de límites en parámetros clave a través de la especificación de tolerancias, el especificador permite que el contratista determine y acepte un contrato de precio fijo con un riesgo mínimo. Tan sencillo como puede parecer, obtener la aceptación final del concreto estructural moldeado en el lugar será difícil si la especificación permite que entren en juego opiniones subjetivas.

Muchas especificaciones para superficies de concreto formadas verticalmente requieren maquetas para demostrar la capacidad del contratista para producir la apariencia y textura

de la superficie requerida. Sin embargo, la “apariencia y textura de la superficie requerida” será una función de la aplicación. Para hormigón estructural, la fase se refiere a un conjunto de requisitos objetivos y cuantificables, como el tamaño de los huecos, las alturas de proyección y las tolerancias superficiales. Para el hormigón arquitectónico, la misma fase se referirá a consideraciones subjetivas, como color, variaciones de color, uniformidad de textura u otras consideraciones estéticas.

Si el propietario y el especificador esperan que el concreto estructural cumpla con los requisitos estéticos normalmente asociados con el concreto arquitectónico, las propiedades más subjetivas deben calificarse y licitarse como requisitos arquitectónicos. Desafortunadamente, es posible que las expectativas del especificador no se comuniquen hasta que la maqueta estructural o el trabajo en el lugar se rechaza por razones estéticas; es entonces cuando el contratista se da cuenta de que la oferta no era adecuada para lograr el resultado deseado.

¿Por qué el hormigón arquitectónico es más caro?

El concreto arquitectónico requiere un acabado estético más alto que el típico trabajo estructural colado en el lugar. Al intentar lograr un color/acabado de concreto consistente en el campo para condiciones de vaciado en sitio, uno debe ser consciente de lo que se puede producir

razonablemente en una planta típica de concreto premezclado; y qué mezcla, construcción y factores ambientales pueden y no pueden controlarse en el campo. Si bien los contratistas pueden endurecer las prácticas de construcción relacionadas con la colocación y consolidación del concreto, tendrán poca capacidad para controlar las variaciones en la mezcla de concreto o las condiciones ambientales que pueden afectar el curado y las diferencias de color relacionadas.

Según nuestra experiencia, la uniformidad del color y la textura del concreto colado en sitio es más difícil de controlar que para los componentes de concreto arquitectónico producidos en instalaciones de concreto prefabricado. Sin embargo, incluso el hormigón prefabricado producido en un entorno controlado por la fábrica todavía está sujeto a variaciones de color y apariencia, y estas deben abordarse a diario. Capítulo Tercero – Estética de la Superficie, Sección 3.2.1. Uniformity, del Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) MNL-122: “Architectural Precast Concrete”³, explica las dificultades para obtener un acabado arquitectónico uniforme:

“El concreto contiene materiales naturales, y es la belleza inherente de estos materiales la que se expresa con mayor frecuencia en el concreto arquitectónico. Deben considerarse las limitaciones de estos materiales naturales con respecto a la uniformidad, y los requisitos para la uniformidad del producto de hormigón prefabricado deben establecerse dentro de estas limitaciones.

“La uniformidad del color y la textura requiere que el prefabricador maneje un conjunto complejo de variables, que incluyen materias primas, proporciones de la mezcla, mezclado, vaciado y consolidación, curado, acabado y meteorización. Cuando la fabricación continúa durante períodos prolongados, el color puede variar debido a los cambios en las características físicas de los cementos, los agregados gruesos y la arena, aunque puedan provenir de las mismas fuentes.

“Es difícil excluir la influencia de los cambios climáticos en el color durante un año si las unidades prefabricadas de hormigón se almacenan durante largos períodos de tiempo, según lo dicten las condiciones contractuales o las operaciones en el sitio de construcción fuera del control del prefabricador.”

“Un acabado suave fuera de la forma es extremadamente difícil de producir consistentemente. Cualquier tipo de acabado que tenga algún grado de exposición de los agregados parecerá más uniforme que un acabado liso porque las variaciones naturales en los agregados camuflarán las diferencias sutiles en la textura y el color del concreto.

“Algunos factores están fuera del control del prefabricador:

- Cambios en el color del cemento. Es más probable que esto se asocie con cementos grises que con blanquecinos o blancos porque estos últimos se fabrican con tolerancias de color muy estrechas.
- Variaciones en el curado como resultado de cambios en la temperatura y humedad ambiental
- Variaciones entre unidades fundidas horizontal y verticalmente.”

En una planta de prefabricados, la cara arquitectónica de un panel de pared (es decir, la cara que finalmente quedará expuesta a la vista) se vaciará boca abajo. El lado “boca abajo” de una unidad es más denso y su uniformidad se ve menos afectada por factores como el agua de sangrado y las variaciones en el curado inicial, que pueden afectar significativamente el color. La mayoría de los especificadores no saben que cuando se quita el encofrado de los paneles en una fábrica de elementos prefabricados, los paneles normalmente no son uniformes y no tienen defectos de fundición, como vacíos de aire. La reparación de varios defectos y la limpieza para eliminar la lechada y mejorar la estética es una práctica habitual para mejorar la uniformidad de los paneles prefabricados antes de salir de fábrica.

Dado que es difícil controlar la uniformidad del concreto producido bajo condiciones de “fábrica controlada”, es aún más difícil y costoso producir un concreto arquitectónico uniforme colado en el lugar en condiciones de campo. En este último caso, las caras encofradas suelen ser verticales y estarán sujetas a variaciones en el tiempo de entrega del concreto, revenimiento, agua de sangrado, tipo de agente de liberación y método de aplicación, edad y condición de la forma, condiciones climáticas y curado. Además, a diferencia de las instalaciones de prefabricados arquitectónicos, la mayoría de las plantas de concreto premezclado no están configuradas para controlar la uniformidad de las materias primas que afectan en gran medida el color y la uniformidad del concreto. En una planta de prefabricados, es una práctica común dedicar un solo lote de materia prima al hormigón utilizado

para un trabajo arquitectónico específico. Sin embargo, un productor de concreto premezclado no puede igualar esta práctica, ya que una sola planta debe ser capaz de entregar concreto a muchos proyectos diversos diariamente. Reservar existencias únicas de materias primas incluso para unos pocos clientes sería extremadamente costoso y poco práctico. Además, un proyecto típico de hormigón vaciado en el lugar puede requerir varias semanas para completarse, por lo que se puede esperar que las materias primas utilizadas para producir hormigón varíen durante la duración del proyecto.

Si se requiere un acabado arquitectónico, lograr el acabado deseado es significativamente más difícil y costoso que los requisitos simples y medibles para un acabado estructural. Entendiendo que es una práctica estándar parchar y limpiar la mayoría de los productos arquitectónicos colados en un ambiente de fábrica, no es realista esperar que el concreto colado en el campo no necesite también parchear y limpiar después de quitar el encofrado si se especifica un acabado superficial arquitectónico uniforme o deseado. Este trabajo adicional no se incluiría en las ofertas para superficies moldeadas en el lugar designadas con un acabado estructural y por qué un arquitectónico sería más costoso. Como se indicó anteriormente, el especificador es responsable de definir la calidad medible del acabado de la superficie, incluidos los tamaños permitidos de los huecos, las alturas de proyección y las tolerancias de la superficie, incluso si el concreto estructural no se designa como concreto arquitectónico.

Evitar o resolver disputas

Para evitar una disputa sobre el acabado de la superficie del concreto estructural, alentamos a los contratistas a licitar proyectos estructurales con una opción adicional que incluye precios para colocar, parchar, limpiar y sellar superficies de concreto encofrado como si fueran concreto arquitectónico.

Parte del trabajo previo a la oferta para esta opción adicional debe incluir marcar los dibujos de encofrado con las ubicaciones de los descansos de colocación de concreto y las áreas que presentarían dificultades para reparar y limpiar.

Es probable que haya situaciones en las que surjan preocupaciones sobre la apariencia subjetiva después de la oferta, quizás mucho después de que un proyecto haya alcanzado niveles significativos de ejecución. Cuando la falta de claridad en las especificaciones da como resultado una disputa sobre el acabado de la superficie, se debe permitir que un contratista presente una orden de cambio para las mejoras deseadas. Para equilibrar los costos adicionales y las expectativas del propietario/especificador, recomendamos que se envíe una orden de cambio para reparaciones correctivas, eliminación de manchas y una limpieza final del trabajo estructural. La siguiente sección proporciona información sobre la eliminación de manchas, incluidas fotografías que demuestran los beneficios de una limpieza final.

Eliminación de manchas y limpieza final

Las superficies de concreto encofrado están expuestas a una variedad de condiciones y sustancias que pueden provocar manchas. Las fuentes comunes de las manchas incluyen la eflorescencia, el óxido, los agentes de desmoldeo, la suciedad y el polen. Si bien tales manchas generalmente son sólo superficiales, pueden crear un alto grado de variabilidad en la apariencia. Sin embargo, una vez que se eliminan estas manchas superficiales, se obtiene una apariencia más uniforme, el color y la textura del concreto "base" quedan expuestos, y esto será más agradable estéticamente.

Se puede lograr un nivel razonable de uniformidad de vaciado en el lugar mediante la eliminación de manchas y un tratamiento final con un lavado químico o abrasión de la superficie. Muchos especificadores desconocen los beneficios de una limpieza final, por lo que rara vez se incluye en las especificaciones. Sin embargo, una operación de limpieza final suele ser una opción rentable para mejorar la apariencia de un proyecto de hormigón estructural. Para asegurarse de que la limpieza esté incluida en la oferta, el especificador debe especificar dónde es necesario eliminar las manchas, el óxido, la eflorescencia y los depósitos superficiales.

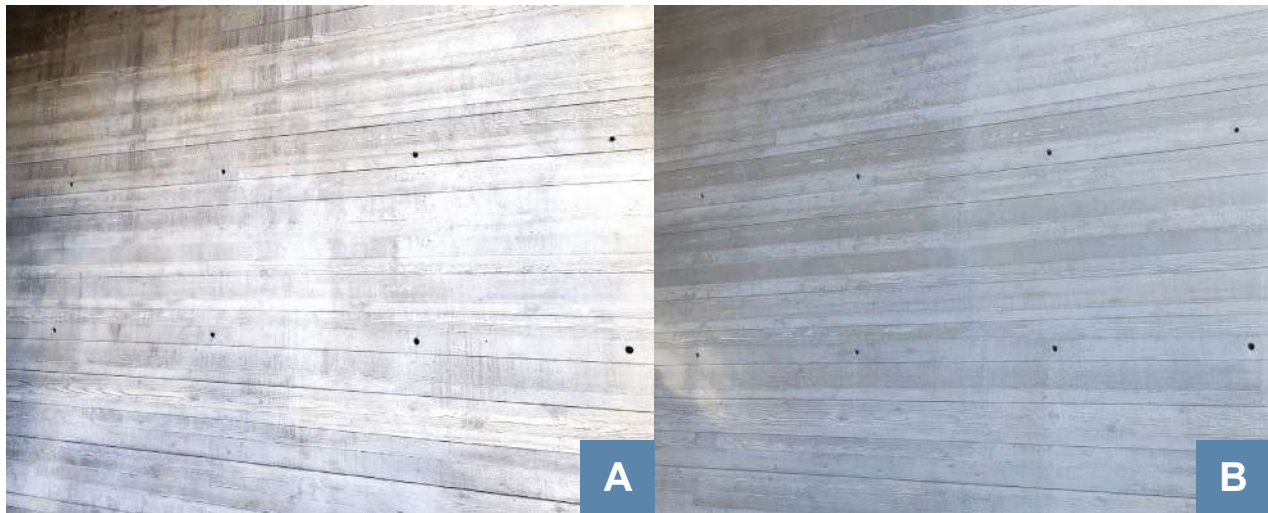


Fig. 1: Acabado formado por un tablero: (a) tal como está construido; y (b) la misma superficie después de quitar las manchas y limpiar.

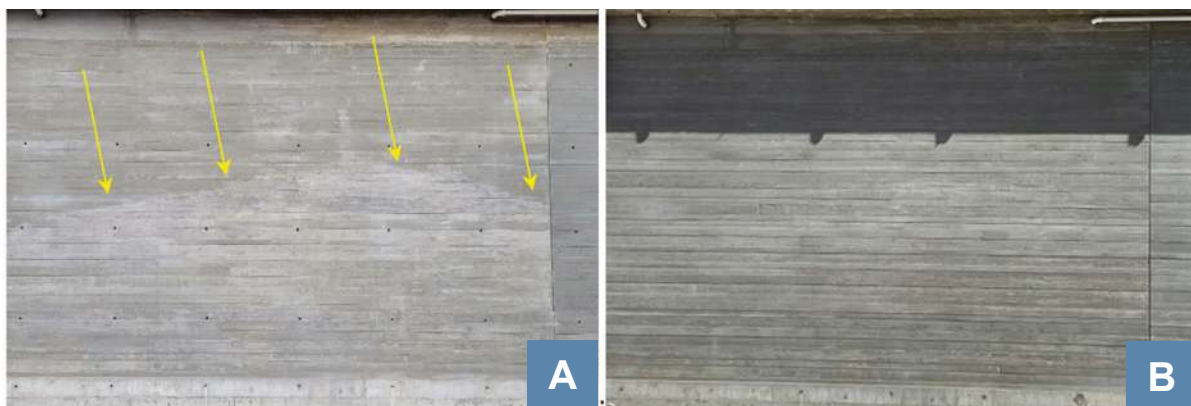


Fig. 2: Superficie formada por un tablero construida con hormigón autocompactable: (a) las flechas indican una línea entre dos colocaciones de hormigón; y (b) la misma superficie después de limpiar, parchar y tonificar.

La eliminación de manchas no tiene por qué ser difícil o frustrante si se aprovecha la variedad de agentes de limpieza comerciales desarrollados para limpiar productos de hormigón arquitectónico. Sin embargo, es importante elegir el agente de limpieza según la tabla de selección de productos del fabricante y cumplir con los procedimientos recomendados para la eliminación y neutralización de aguas residuales. Por último, tenga en cuenta que muchos fabricantes ofrecen videos de capacitación para sus productos.

Las manchas que no se eliminan con la limpieza general se pueden eliminar con éxito utilizando medios mecánicos o un agente de limpieza comercial desarrollado específicamente para un tipo particular de manchas. Los agentes de limpieza comerciales modernos no alterarán la textura ni el color del concreto, por lo que no afectarán el acabado arquitectónico. Los agentes de limpieza van desde removedores de alquitrán hasta removedores de pintura, y se han desarrollado productos de cataplasma para eliminar manchas profundamente penetradas. En proyectos que no permiten limpieza química, una abrasión con bicarbonato de sodio es una opción potencial. La limpieza con soda puede ser muy efectiva para eliminar manchas sin alterar la textura ni crear un peligro para el medio ambiente o la salud.

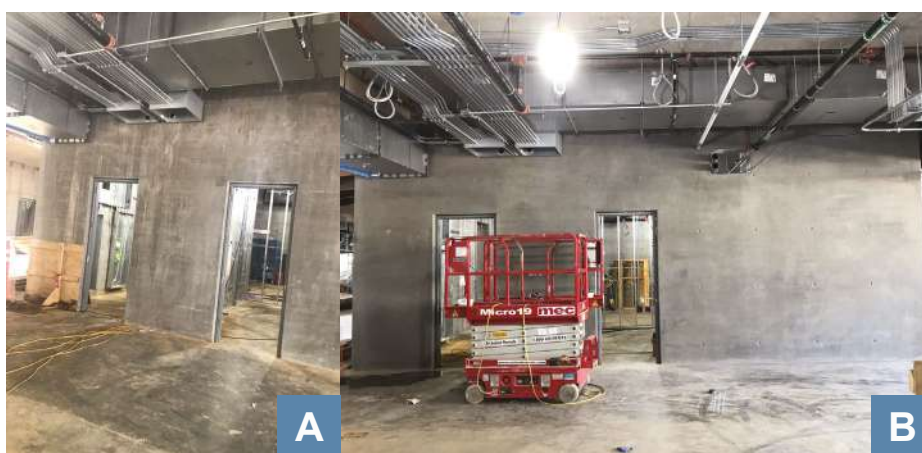


Fig. 3: Un muro de corte: (a) la superficie inicialmente exhibió eflorescencia y lechada; y (b) la misma superficie después de la limpieza.

El mayor error cometido en los esfuerzos de eliminación de manchas es intentar quitar las manchas con una lavadora a presión o ácido muriático. Si bien el lavado a presión se puede usar para eliminar acumulaciones ligeras de suciedad, huellas de botas o contaminación, el equipo debe limitarse a no más de 1000 psi (70 bar) para ayudar a evitar la creación de "marcas de varita". Limpiar las manchas con ácido muriático alterará la textura o expondrá el agregado grueso en el concreto. El ácido muriático solo es efectivo para disolver material a base de cemento y debe ser limitado a trabajos de reparación que requieren grabado o mezclando.

Después de los esfuerzos para parchar y limpiar, a menudo se usa un sellador apropiado para ayudar a preservar el acabado previsto y también para proporcionar cierta protección contra la penetración de agua y las manchas.

Para concluir

Se puede lograr un acabado de alta calidad en superficies de concreto estructural encofrado mediante parches, eliminación de manchas y limpieza. Sin embargo, existe una diferencia significativa en el costo de producir un acabado arquitectónico frente a un acabado estructural estándar. Si se desea un acabado arquitectónico y estos procedimientos no se especifican en los documentos de licitación, se debe permitir a los contratistas presentar una orden de cambio para el trabajo que se requerirá para lograr el nivel de acabado que se ha definido después de la oferta. Las figuras 1 a 6 muestran los beneficios de la eliminación de manchas y la limpieza final.

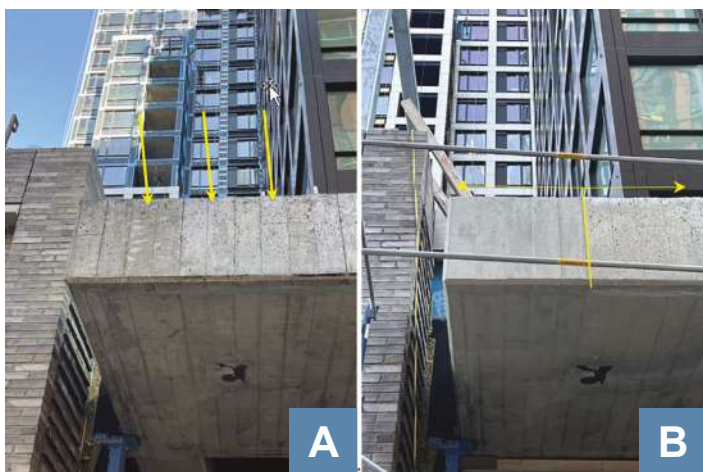


Fig. 4: Un dosel estructural: (a) la superficie vertical inicialmente exhibió numerosos agujeros de error; y (b) una foto de progreso muestra los beneficios de parchar y limpiar para mejorar la uniformidad.



Fig. 5: Los adoquines de piedra colada sirven como remate en un muro de mampostería: (a) la eflorescencia disminuyó la apariencia del muro; y (b) la limpieza final expuso el verdadero color de los adoquines.



Fig. 6: Un edificio con elementos de fachada de hormigón prefabricado: (a) durante la construcción, la eflorescencia ocultó la belleza de los elementos; y (b) una limpieza final resultó en un mejor color y uniformidad.

Referencias

1. Comité ACI 301, “Especificaciones para la construcción con concreto (ACI 301-20)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 73 págs.
2. Comité 303 de ACI, “Guía para la práctica del concreto arquitectónico vaciado en el lugar (ACI 303R 12)”, Instituto Americano del Concreto, Farmington Hills, MI, 2012, 36 págs.
3. MNL-122: “Architectural Precast Concrete”, tercera edición, Precast/ Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2007, 588 págs. Seleccionado por el interés del lector por los editores.



Ronald L. Kozikowski, miembro de ACI, es vicepresidente de North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, EE. UU., y se especializa en la solución de problemas de construcción con concreto. Tiene más de 20 años de experiencia como ingeniero de construcción y materiales. Kozikowski es miembro de los Comités 207 de ACI, Concreto controlado térmicamente y en masa; 213, Agregado Liviano y Concreto; 301, Especificaciones para Concreto Estructural; 306, Hormigonado en climas fríos; y 308, Curado del Concreto; Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias; y Comité Conjunto ACI-CRSI C680, Instalador de Anclaje Adhesivo Certificación. Recibió su BS y MS en ingeniería civil de la Universidad de New Hampshire, Durham, NH.



Kiley Marcoe estableció Metro Precast & Stone Services, Inc., en Manassas, VA, EE. UU. Ha estado reparando y mejorando el hormigón arquitectónico y la piedra natural desde 1990. Fue comodador de los proyectos de 1994, 1999, 2008 y 2013 Talleres de reparación del Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI). Ha sido miembro de Cast Stone Institute (CSI) desde 2002 y forma parte del Comité de Normas. También ha sido miembro de Architectural Precast Association (APA) desde 2007, donde participó en el Programa de Reparación de Certificación de Técnico de Acabado 2005, 2008, 2014 y 2022. Marcoe recibió dos premios de artesanía del Congreso de la Construcción de Washington (WBC) en la fabricación de elementos prefabricados para los proyectos McPherson Building y Metro Center Parcel 3.



Eric Cohen es vicepresidente ejecutivo de construcción de Fontainebleau Development en Adventura, FL, EE. UU. Tiene más de 25 años de experiencia en la construcción de varios pisos en la región del sur de la Florida, supervisando todas las fases y la construcción de proyectos residenciales, hoteleros, minoristas y de desarrollo médico de alto perfil. También ha dirigido una serie de eventos históricos proyectos de renovación en el área de Miami. Cohen recibió su licenciatura en administración de la construcción de la Universidad Internacional de Florida, Miami, FL.

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

Título: Del hormigón estructural al hormigón arquitectónico. Cuando se desea una apariencia arquitectónica pero no se especifica ni se oferta adecuadamente



Traductor y Revisor Técnico:
Ing. Santiago Velez Guayasamín
MSc DIC

Preguntas y Respuestas

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

¿Los detalles de los planos estructurales o arquitectónicos eliminan las tolerancias?

P Estamos intentando cerrar un proyecto de construcción de concreto armado recientemente finalizado, pero el contratista general (CG) retiene el pago. El problema es el detalle de la Fig. 1, que muestra la cara de la columna perfectamente alineada con el borde de la losa suspendida. Creemos que ACI 117-10(15), sección 4.2.1, tolerancias para las desviaciones horizontales para la ubicación del borde de la losa y la ubicación del pilar de ± 1 pulg. pertenecen a este detalle.¹ Esto también es coherente con el Concrete Q&A en la edición de mayo de 2018 de Concrete International.² Sin embargo, el CG insiste en que se trata de una condición de tolerancia cero, afirmando que las tolerancias ACI 117 contratadas no eximen al subcontratista de la obligación de producir las dimensiones y alineaciones que se muestran en otros documentos del contrato, como las páginas de vista en planta y de detalle de los dibujos, incluso aunque en los planos también se hace referencia a la norma ACI 117-10(15). El GC sostiene que el detalle mostrado en la Fig. 1 requiere una alineación exacta del borde de la losa de concreto y de las columnas.

Nuestra posición es que las tolerancias ACI 117-10(15) se aplican a todos los trabajos de concreto cuando se hace referencia a ellas en las especificaciones, planos y/o contrato, a menos que se haga una excepción específica a estas tolerancias, independientemente de si una dimensión específica o sección del plano muestra lo contrario. ¿Es correcta la interpretación del contratista general?

R En una palabra, no. Este es un ejemplo de disputa al final del proyecto, tal y como se analiza en un curso de la Universidad ACI, "Constructability Series:

Coordinación e integridad de los documentos de construcción estructural".³ La interpretación del CG es incorrecta en varios aspectos. La sección 1.1.2 de ACI 117-10(15) establece que se aplica a

la construcción típica de concreto, concreto visto y concreto arquitectónico. Los requisitos obligatorios en la lista de comprobación de ACI 117-10(15), Notas para el especificador, establece: "Los valores de tolerancia afectan al costo de la construcción. El uso específico de un elemento de tolerancia puede justificar tolerancias menores o más estrictas que las contenidas en la especificación. Identifique en los Documentos Contractuales cualquier

tolerancia que el Contratista deba alcanzar pero que no esté contemplada en ACI 117. Diseñe el concreto visto y el concreto arquitectónico en los documentos contractuales. Coordine las tolerancias para la construcción de concreto y las de cualquier material que interactúe con, o se fije a, la estructura de concreto. Especifique las tolerancias del concreto que sean más o menos estrictas que las contenidas en esta especificación. La especificación de tolerancias más restrictivas para construcciones especializadas, como el concreto arquitectónico, suele dar lugar a un aumento del costo del material y del tiempo de construcción. El especificador debe especificar las tolerancias dimensionales consideradas esenciales para la ejecución satisfactoria del diseño. El éxito puede requerir que una o más de las tolerancias individuales sean más restrictivas que las contenidas en ACI 117."

CASE 962-D: A Guideline Addressing Coordination and Completeness of Structural Construction Documents aborda la interpretación idealizada de los planos al afirmar en la sección 5: "Los materiales de construcción siempre se desviarán de las condiciones "ideales" mostradas en los planos por diversos factores, como las prácticas de fabricación y montaje, las propiedades de los materiales o la calidad de la mano de obra".⁴ Por tanto, la interpretación de que los planos muestran una "tolerancia cero" no es correcta.

Además, la norma ACI 117-10(15) establece en la sección Introducción del comentario: "Ninguna estructura está exactamente nivelada, aplomada, recta y verdadera. Las tolerancias son un medio para establecer la variación permisible en dimensión y ubicación, dando tanto al diseñador como al contratista límites dentro de los cuales se debe realizar el trabajo." Por tanto, una interpretación de "tolerancia cero" hace que la estructura sea imposible de construir.

Asimismo, cabe señalar que, para futuros proyectos, pueden evitarse disputas similares asegurándose de que el GC cumple los requisitos obligatorios de reunión de tolerancia previa a la construcción, especificados en ACI 117-10(15), Sección 1.1.3:

"Se programarán y celebrarán una serie de reuniones de coordinación de tolerancia previas a la construcción antes del comienzo de las Obras. Asistirán el Contratista, los subcontratistas, los proveedores de materiales y otras partes clave. Se dará a las partes la oportunidad de identificar cualquier cuestión de tolerancia y conflicto que sea aplicable al trabajo con materiales, elementos prefabricados y trabajo montado/instalado en el campo por el Contratista."

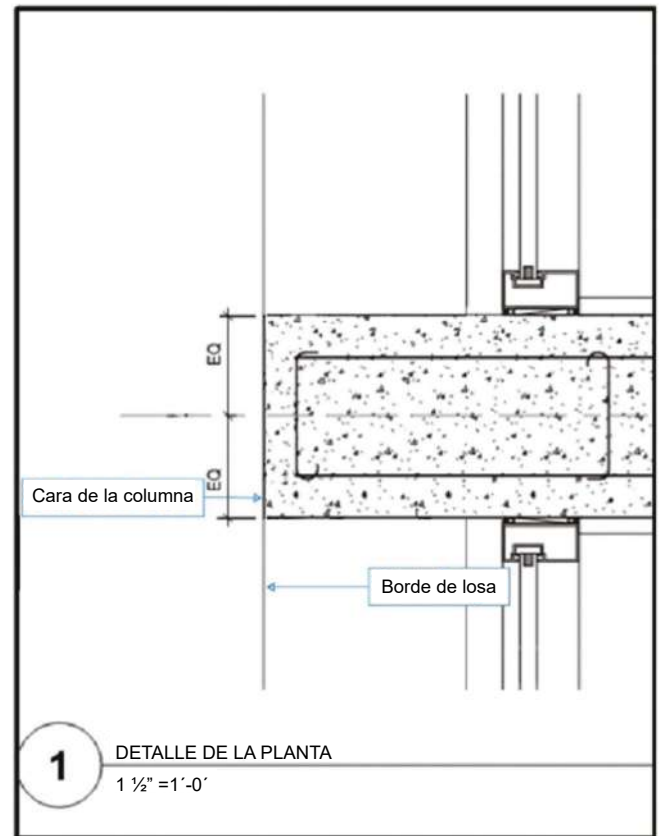


Fig. 1: Columna de concreto y detalle del borde de la losa

Referencias

1. Comité 117 del ACI, "Especificación de tolerancias para construcciones y materiales de concreto (ACI 117-10) y comentario". (ACI 117R-10) (Reapproved 2015)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp.
2. "Preguntas y respuestas sobre el hormigón: Tolerancias admisibles para bordes de losas suspendidas". Concrete International, V. 40, n° 5, mayo de 2018, p. 56.
3. "Serie Constructabilidad: Coordination and Completeness of Structural Construction Documents," ACI On-Demand Course, www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=WCEU2212&Format=ONLINE_LEARNING&Language=English&Units=US_Units.
4. CASE Guideline 962-D: "A Guideline Addressing Coordination and Completeness of Structural Construction Documents," Coalition of American Structural Engineers, Washington, DC, 2020, 70 pp.

Gracias a Bruce A. Suprenant, Director Técnico, y a Jim Klinger, Especialista en Construcción de Hormigón, American Society of Concrete Contractors, St

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Perú

Título: Preguntas y Respuestas ¿Los detalles de los planos estructurales o arquitectónicos eliminan las tolerancias?



*Traductora:
Luana Paola
Valdivia Livano*



*Revisor Técnico:
Ing. Anderson Luis
Barreto Goñi*

Conviértase en autor de publicaciones de ACI

Considere la posibilidad de publicar su trabajo de investigación en una de las revistas de ACI.

El ACI Materials Journal y el ACI Structural Journal son publicaciones revisadas por expertos que tratan diversos temas relacionados con el hormigón.

Para más información sobre las directrices y el proceso de presentación, visite concrete.org/publications





CONCRETO
LATINOAMÉRICA