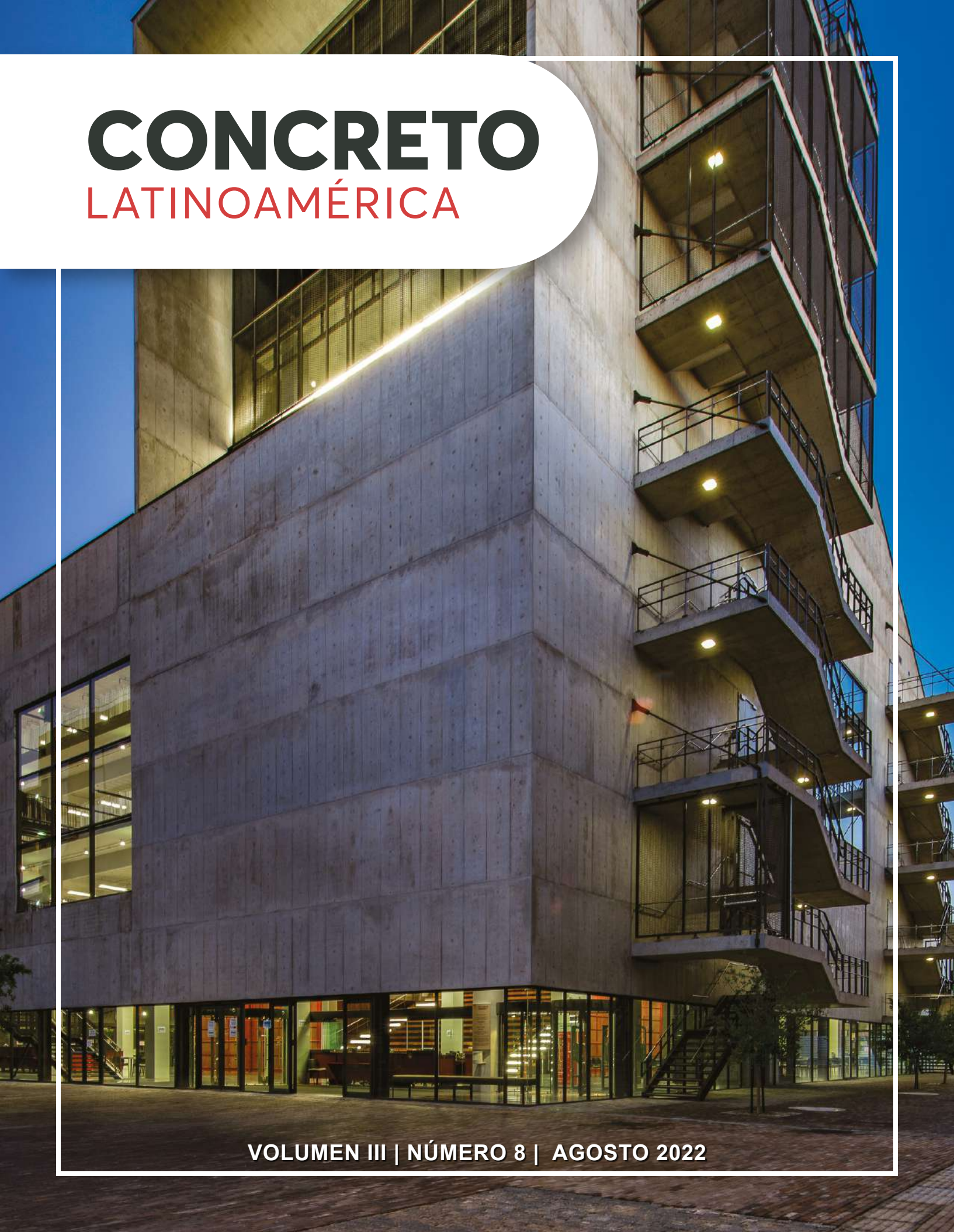
CONCRETO
LATINOAMÉRICA



VOLUMEN III | NÚMERO 8 | AGOSTO 2022

Volumen III - Número 8
Agosto de 2022

CONCRETO
LATINOAMÉRICA

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

CONTENIDO

Pág.

4 **El Eglinton LRT: Cómo hacer un gran impacto con una huella de carbono más pequeña**
Traducción y revisión técnica a cargo del
Capítulo: Capitulo Estudiantil de Costa Rica

9 **Procedimiento para evaluar el potencial para el agrietamiento debido a la contracción por secado del concreto bajo condiciones de movimiento restringido**
Traducción y revisión técnica a cargo del
Capítulo: México Noreste

16 **Reflexiones sobre cemento, SCM, concreto y CO_2**
Traducción y revisión técnica a cargo del
Capítulo: Perú

21 **Concreto, Preguntas y Respuestas: ¿Los laboratorios de pruebas pueden tener pruebas complementarias reales?**
Traducción y revisión técnica a cargo del
Capítulo: México Centro y Sur

25 **¿Qué bebida puede salvar una mezcla?**
Traducción y revisión técnica a cargo del
Capítulo: México Noroeste

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:
Dr. Lucio Guillermo López Yépez

Editor Técnico:
Dr. Alejandro Durán Herrera

Traduccion:
Anabel Merejildo

Comité de Noticias y Eventos Concreto Latinoamérica
Ing. Jesús Fernando García Arvisu
Ing. Jesús Arturo Angel Mellado

Comité de Artículos Originales
Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Thyssen Won Chang

Revisión Editorial:
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Administración y Logística:
Lic. Ana Durán Herrera

Dirección Creativa:
MDG. Rosa Otilia Armendaríz Solís

Diseño Gráfico:
LDI. Monserrat Treviño Garza
Alejandro Martínez Sánchez
LDI. Julián Capetillo Castillo

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

Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL

Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a :
Correo: concretolatam@gmail.com
Tel: +52 81 2146 4907

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de Agosto del 2022. El Instituto no se hacer 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	Dr. Raúl Bertero
Colombia	Dra. Nancy Torres Castellanos
	Dr. Fabían Lamus Báez
Costa Rica	Ing. Minor Murillo Chacón
Ecuador Centro y Sur	Ing. MSc. Santiago Vélez Guayasamín
Guatemala	Ing. Luis Alvarez Valencia
	Ing. Xiomara Sapón Roldán
México Noreste	Ing. Alejandro M. Narro Aguirre
Mexico Noroeste	Ing. Jesús Fernando Garcia Arvizu
México Centro y Sur	Arq. Arturo Rodriguez Jalili
México Sureste	Mtro. Josseph Eli Mandujano Zavala
Panamá	Ing. Jorge L. Quiróz
Perú	Ing. Julio Antonio Higashi Luy
Puerto Rico	Ing. Anabel N. Merejildo

La fachada flotante de concreto del Centro de Recursos para Estudiantes (SRC por sus siglas en Inglés) de la Universidad de Sol Plaatje, desafía los límites de estabilidad lateral. El recientemente construido Centro es pieza central de la primera Universidad pública que se construye en Sudáfrica desde 1994, y tiene un diseño similar a corte de diamante invertido y recuerda el estilo de construcción Brakdak típico de la región. Se ha empleado concreto como elemento principal tanto estrucutral como estético. El revestimiento externo de concreto es estructuralmente independiente del nucleo del edificio y está separado del mismo para conseguir un efecto de protección térmico necesario en la zona. Para mayor información sobre el proyecto, consultar la revista Concreto Latinoamérica Volumen III Número 3 de Marzo 2022, página 4.

¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo local ACI

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

aci American Concrete Institute
Always advancing

ARTÍCULO

1 UNO

El Eglinton LRT: Cómo hacer un gran impacto con una huella de carbono más pequeña

por Stacia Van Zetten y Jolene McLaughlin

El Eglinton Crosstown Light Rail Transit (ECLRT) es parte del plan de transporte regional de Metrolinx, (The Big Move), y es uno de los primeros proyectos de tránsito a gran escala para el área de Toronto y Canadá. ECLRT proporcionará tránsito rápido, confiable y cómodo a lo largo de la Avenida Eglinton, ayudando a reducir la congestión mientras se integran servicios de tránsito.

Desde enero de 2014, un consorcio de empresas (CE) conocido como Crosslinx Transit Solutions Constructors (CTSC) y compuesta por EllisDon Corporation, Aecon Group Inc., ACS-Dragados, y SNC Lavalin Group Inc., es responsable del diseño y construcción del proyecto. Una vez finalizado, ECLRT conectará el este y el oeste de Toronto con 25 estaciones a lo largo de una ruta primordial, lo que ayudará a los usuarios a cruzar la ciudad un 60% más rápido que en autobús o automóvil.

El proyecto completo contribuirá a reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al sacar automóviles fuera de carretera y disminuir la necesidad de autobuses diésel. Además, el proyecto brindó oportunidades para más reducciones de emisiones de GEI durante el proceso de construcción.

El proyecto requirió más de 500,000 m³ (654,000 yd³) de concreto (el equivalente a unas 200 piscinas olímpicas) a través de 25 estaciones y paradas, vías, señales, sistemas de comunicaciones, así como una instalación de mantenimiento y almacenamiento. El Concreto, con cemento como componente constituyente, siendo responsable del 8% de las emisiones de GEI del mundo,[1] tiene una huella de carbono significativa. Por lo tanto, reduciendo las emisiones del concreto del proyecto, proporciona una reducción potencial significativa en las emisiones de GEI.

CTSC invirtió en una valiosa investigación para identificar oportunidades de optimización en mezclas de concreto, para maximizar la durabilidad a largo plazo de colocaciones masivas mientras se reducen las emisiones de carbono. El uso de un material cementante suplementario de alto volumen (HVSCM) combinado con el estado del arte en tecnología de sensores para concreto (EXACT Technology) ayudó al equipo a cumplir los objetivos de resiliencia y reducción de emisiones.

Aumento de la cantidad de MCS permitida

Las especificaciones del concreto del proyecto ECLRT incluyeron requisitos estrictos para la temperatura máxima y diferenciales máximos de temperatura para minimizar el agrietamiento térmico de los elementos estructurales. CTSC contrató al equipo de EllisDon´s Constructions Sciences para revisar las especificaciones

y proporcionar un plan de control térmico para el proyecto. Un mandato clave del plan fue aumentar la cantidad de materiales cementantes suplementarios permitidos (MCS), lo que reduciría el calor liberado durante el proceso de hidratación al reducir el contenido de cemento portland. El equipo CE invirtió en pruebas integrales para evaluar el MCS, en este caso cemento de escoria, a niveles de reemplazo que van del 10% al 80% para comprender los impactos en durabilidad y rendimiento de la disminución de contenido de cemento. Los resultados del estudio, en combinación con los datos de Europa y otras jurisdicciones, mostraron que el MCS con un valor de reemplazo de 70% fue óptimo. La figura 1 muestra los efectos de varios niveles de reemplazo en el calor de hidratación y el aumento general de la temperatura a través del proceso de curado.[2]

La cantidad significativa de concreto masivo empleada en ECLRT requirió una cuidadosa consideración para el manejo del calor generado durante el proceso de curado. Los códigos y estándares especifican elementos de concreto masivo como todos aquellos de al menos 1 m (3.3 pies) de espesor, o elementos sujetos a esfuerzos térmicos significativos, como las paredes y losas completadas en muchas de las estaciones del proyecto, como se muestra en la Fig. 2. Todas las mezclas de concreto masivo generalmente tienen cierto porcentaje de MCS para contribuir en la reducción de calor durante el proceso de curado. Hasta hace poco, esto se limitaba a menudo a menos de 50% de MCS; es típico que especificaciones de proyectos similares a ECLRT sigan manteniendo este límite. Sin embargo, debido al gran volumen de masa de ECLRT, el aumento de MCS fue crítico para manejar el calor interno durante la hidratación y el curado. La colaboración entre CTSC, los proveedores de concreto, y Metrolink fue necesaria para permitir el uso de un mayor volumen de MCS en lo que es considerado altos volúmenes.

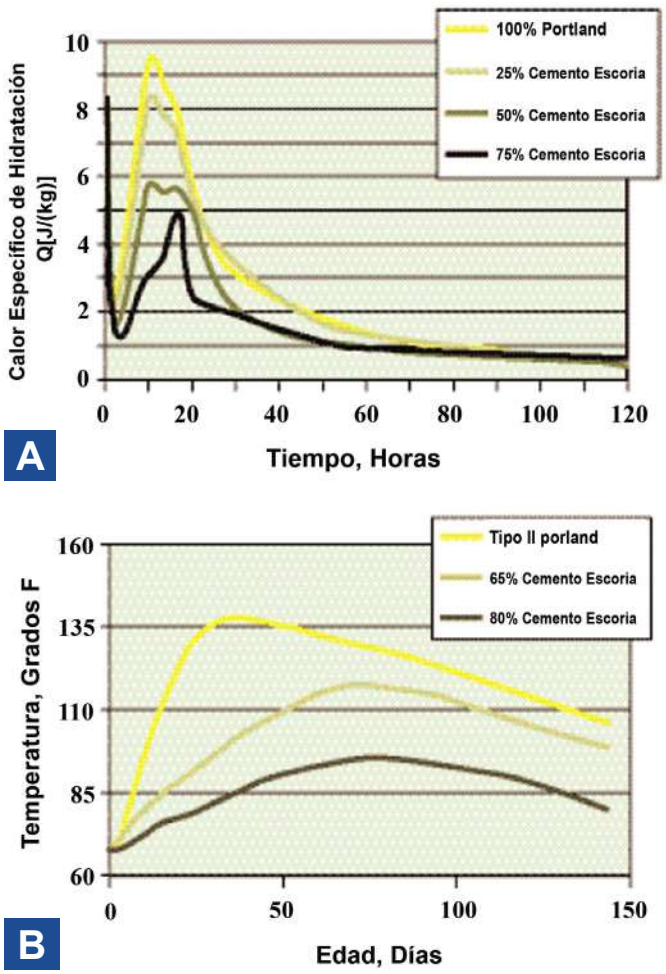


Figura. 1: Efecto del cemento de escoria en concretos masivos: (a) calor de hidratación; y (b) aumento de temperatura[2]

Figura. 2: Múltiples colocaciones de concreto masivo en la estación Eglinton LRT

El principal patrocinador y propietario general del proyecto es Metrolinx; sin embrago, Infrastructure Ontario (IO) y Toronto Transit Commission (TTC) son partes interesadas importantes en el proyecto. Como principales organismos públicos, estas organizaciones deben considerar en su evaluación de toda innovación propuesta la seguridad pública y el mantenimiento futuro de los activos del proyecto. Un aumento del porcentaje permitido de MCS en el diseño es únicamente

posible si no compromete la integridad de los requisitos del proyecto según lo establecido en las especificaciones. Para apoyar esto, CTSC invirtió en nuevas investigaciones, evaluando los impactos de varios MCS en un amplio rango de volúmenes para verificar los impactos de cambiar los diseños de la mezcla. Últimamente, al trabajar con los proveedores de concreto, los subcontratistas y las diversas partes interesadas, CTSC confirmó que el 70% de reemplazo con cemento de escoria fue el nivel óptimo para garantizar que el proyecto alcanzaría sus requisitos de durabilidad y desempeño. Después de una exhaustiva investigación y verificación del desempeño de las mezclas HVSCM, todas las partes interesadas acordaron aumentar el uso de MCS en la mayoría de los elementos de concreto masivo.

Monitoreo y emparejamiento de curado

A lo largo del proceso, CTSC ha utilizado EXACT Technology (Fig. 3) para monitorear las colocaciones de concreto masivo, asegurando que las colocaciones permanezcan dentro de los límites especificados para máximas temperaturas y diferenciales máximos de temperatura. Los equipos del proyecto pudieron acceder en línea a datos críticos 24/7 para tomar decisiones educadas para el control térmico (por ejemplo, agregar o remover mantas térmicas o proporcionar calor adicional al concreto colocado a medida que se desarrolla el curado), lo que resultó en una rotación más eficiente de elementos.

Figura. 3: El equipo de monitoreo de temperatura se instaló poco antes de la colocación del concreto

Los sensores de temperatura de EXACT también se utilizan para monitorear la resistencia in situ mediante cálculos de madurez, así como, comunicándose con cajas de curado remoto con cilindros de prueba de resistencia. En esta última aplicación, el sistema permite que los cilindros experimenten las mismas temperaturas que las resultantes del calor de hidratación de las colocaciones de concreto masivo. Como resultado, los equipos del proyecto pueden observar y monitorear las temperaturas más altas del concreto en edades tempranas y confiar en resistencias altamente representativas para avanzar en las actividades críticas, tales como el retiro de encofrados o cargar los elementos. Esto ofrece a los contratistas más control sobre los plazos de curado/ganancia de resistencia dando como resultado un uso óptimo del material, al mismo tiempo logrando requerimientos de desempeño sin costos adicionales de aplicar calor adicional durante el curado.

Beneficios de usar HVSCM

Los MCS se utilizan comúnmente en mezclas de concreto para todo, desde muros de cimentaciones hasta tableros de puentes. Las mezclas con niveles de reemplazo de cemento superiores al 40% se consideran HVSCM. El empleo de HVSCM no sólo resulta en concretos más duraderos que son menos susceptibles a la demanda provocada por la temperatura durante la hidratación, sino que también es significativamente mejor para el medio ambiente, porque reduce en gran medida la intensidad de emisión de GEI del concreto.

Como con todos los materiales, la intensidad de las emisiones de GEI de cualquier mezcla de concreto depende de la intensidad de emisiones de cada componente. Las estimaciones de emisiones presentadas en este artículo para las mezclas de HVSCM utilizadas en ECLRT en comparación con mezclas de reemplazo de menor MCS se basan en las mejores prácticas actuales y a tasas de emisiones promedio de la industria para componentes de concreto, según lo publicado en el reporte de la declaración del producto ambiental (DPA) de Canadain Ready Mixed Concrete Association (CRMCA)[3]. La figura 4 muestra el impacto en las emisiones de GEI, específicamente el potencial de calentamiento global (PCA), medido como equivalentes de dióxido de carbono (CO_2e) cuando el cemento portland se reemplaza con MCS.

Al usar 70% de MCS (cemento escoria), CTSC fue capaz de eliminar casi 130,000 toneladas (143,300 toneladas) de CO_2e comparado con el uso de una mezcla con cemento solamente. Si bien todas las mezclas de concreto masivo tienen algún porcentaje de MCS para ayudar en el control de la temperatura, el impacto de aumentar el volumen de MCS sigue siendo significativo. A modo de contexto, las reducciones de emisiones realizadas aquí son aproximadamente de la misma magnitud al hecho de retirar más de 28,000 vehículos de pasajeros de la carretera durante un año.

Ahorros ambientales con HVSCM

A medida que Canadá busca cumplir con los objetivos agresivos de reducción de emisiones, encontrar formas de reducir las emisiones en el concreto que usamos para construir nuestras ciudades y sistemas de apoyo, es crítico. La industria está invirtiendo en mejoras de los procesos, incluyendo nuevas tecnologías, para avanzar hacia un material de cero emisiones.

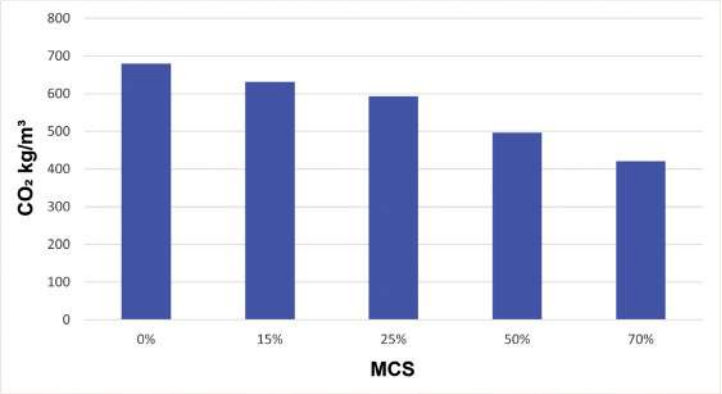


Figura. 4: Reducción de las emisiones de CO_2 para diversos contenidos de MCS en mezclas de concreto. Los valores calculados se basan en la herramienta ZGF LCA y la EPD media de la industria CRMCA (Nota: 1kg/m³ =0 ,06 lb/ft³)

Mientras tanto, el uso de HVSCM y herramientas de monitoreo precisas puede ayudar a lograr reducciones incrementales significativas.

Las autoridades encargadas de las adquisiciones en todos los niveles de gobierno deberían enfocarse en especificaciones basadas en desempeño, que describan durabilidad, integridad estructural y límites de PCA, mientras que fomentan la innovación. Esto alentará al mercado a la adopción de herramientas que aseguran adhesión a requisitos de desempeño mientras se reducen las emisiones de GEI.

Durante la próxima década, los gobiernos de EE. UU y Canadá están preparados para comprometer casi tres cuartos de trillón de dólares en grandes proyectos de infraestructura comparables al alcance y magnitud de ECLRT. Si esos proyectos emplean HVSCM, los beneficios ambientales resultantes serán asombrosos: los ahorros de carbono estimados equivalen aproximadamente a la cantidad de 1,7 millones de vehículos de pasajeros fuera de carretera por un año. La adopción de HVSCM a través de los principales proyectos de infraestructura a nivel mundial proporcionará al mundo una infraestructura más robusta a una fracción del costo ambiental, mientras que también se mejoran las características de desempeño.

Referencias

1. Lehne, J. y Preston, F., “Hacer cambios concretos: innovación en Cemento y Concrete bajo en Carbono”, The Royal Institute of International Affairs, Chatham House, Londres, Reino Unido, junio de 2018, 122 págs., www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete change-innovation-low- carbon-cement-and-concrete.

2. “Reducción del esfuerzo térmico de concreto masivo”, Slag Cement Association, Farmington Hills, MI, 2013, 2 pp.

3. “CRMCA Member Industry-Wide EDP for Canadian Ready-Mixed Concrete”, Canadian Ready Mixed Concrete Association, Mississauga, ON, Canadá, 6 de enero de 2017, 24 pp.

Jolene McLaughlin, ha pasado más de 12 años impulsando iniciativas de sostenibilidad en varios segmentos del entorno construido. En su papel como Directora de Corporate Sustainability para EllisDon Corporation, trabaja para construir asociaciones en toda la industria que apoyen la reducción de las emisiones de carbono a lo largo de la cadena de valor, desde los materiales utilizados hasta procesos en sitio.

Stacia Van Zetten, Es Directora de Estrategia Oficial y Co-Fundadora de EXACT Technology. Es ingeniera estructural y tiene más de 10 años de experiencia con un enfoque en materiales de concreto y construcción. Ella sirve en varios comités del ACI, International Concrete Repair Institute, y Canadian Standars Association.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Capítulo Estudiantil de Costa Rica

Título: El Eglinton LRT: Comó hacer un gran impacto con una huella de carbono más pequeña

UNIVERSIDADES COSTARRICENSES

Traductor:
Justin Mora Salazar

Revisor Técnico:
Prof.Ing. Luis Alejandro Carvajal

ARTÍCULO

2 DOS

Procedimiento para evaluar el potencial para el agrietamiento debido a la contracción por secado del concreto bajo condiciones de movimiento restringido

Una base para la selección de mezclas de concretos durables

por Emmanuel K. Attiogbe

El agrietamiento debido a la contracción por secado del concreto bajo condiciones de movimiento restringido es una de las principales causas de deterioro y reducción de la vida útil de los elementos de concreto en aplicaciones tales como pisos, muros, pavimentos y tableros de puentes. Estas grietas por contracción suelen ocurrir al inicio de la vida útil de la estructura de concreto.[1] Por lo tanto, como parte del proceso de selección de la mezcla de concreto que se utilizará en un proyecto, resultaría benéfico evaluar la potencialidad de las posibles mezclas de concreto para resistir el agrietamiento por contracción restringida a edad temprana. Este artículo proporciona un procedimiento que implica cálculos sencillos, utilizando las propiedades del concreto obtenidas de ensayos estándar, para evaluar el potencial de agrietamiento por contracción del concreto bajo condiciones de movimiento restringido. El procedimiento ofrece a los ingenieros y a los productores de concreto una herramienta sencilla para evaluar las mezclas de concreto durante las pruebas de precalificación, a fin de seleccionar las mezclas que mejorarían la durabilidad de las estructuras de concreto a largo plazo.

Antecedentes

El análisis para evaluar el potencial de las mezclas de concreto para el agrietamiento por contracción restringida, tal como se presenta en este artículo, se basa en estudios que han demostrado que a medida que el concreto se seca bajo condiciones de movimiento restringido, los esfuerzos por tensión aumentan con el tiempo.[2-6] La tasa del desarrollo de los esfuerzo al momento del agrietamiento está inversamente relacionado con la edad en la que se produce el agrietamiento, como se muestra en la Fig. 1.[4,6] La Figura refleja los efectos de los esfuerzos de tensión directa que se asumen distribuidos uniformemente en la sección transversal, ya que la configuración de prueba del anillo utilizada para este fin no permite la deformación vertical o el alabeo de los elementos de concreto. La tasa de desarrollo de esfuerzos es directamente proporcional a la tasa de secado o a la tasa de contracción.[6] Por lo tanto, la Fig. 1 indica que, independientemente de la magnitud de la contracción por secado, una tasa de secado más lenta permitirá que los esfuerzos de tensión se desarrollen lentamente y, de esa manera, prolongarán el tiempo hasta el agrietamiento. Una menor tasa de secado también le permitirá al concreto un período más largo para la relajación de los esfuerzos (es decir, un módulo de elasticidad efectivo más bajo) y, por lo tanto, reducirá su susceptibilidad al agrietamiento a edad temprana. Se ha encontrado que la Fig 1 se debe a los efectos del gradiente de humedad causados por el secado diferencial[6] y constituye la base para clasificar el potencial de agrietamiento por contracción restringida del concreto según ASTM C1581/C1581M, “Método de prueba estándar para determinar la

edad de agrietamiento y las características de los esfuerzos de tensión en mortero y concreto bajo contracción restringida".

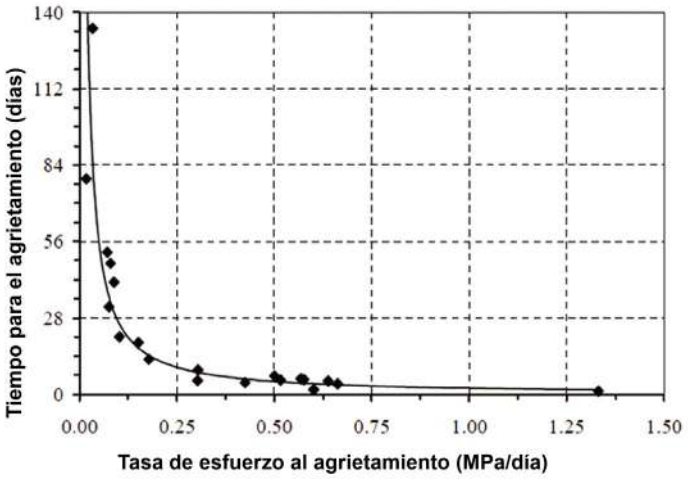


Figura. 1: Relación entre el tiempo para el agrietamiento y la tasa de esfuerzo al momento del mismo (de las Referencias 4 y 6). Nota: 1 MPa = 145 psi

Al cuantificar los efectos del gradiente de humedad en el concreto bajo condiciones de movimiento restringido,[6] según las ecuaciones dadas en una sección posterior de este artículo, se encuentra que la relación del esfuerzo de tensión calculado en el momento del agrietamiento (o esfuerzo de tensión residual) con la resistencia a la tensión por compresión diametral disminuye con tiempos de secado más largos. La reducción de resistencia a la que se produce el agrietamiento se atribuye a la acumulación de los daños internos ya que están relacionados a las deformaciones por el flujo plástico a tensión y, en consecuencia, a los esfuerzos de relajación, bajo el incremento gradual de los esfuerzos restringidos.[5,6] La Fig. 2 se obtuvo a partir de los datos de ensayos con el anillo (con un grado de restricción, *R*, de alrededor de 0.7) que se secaron en el laboratorio a una temperatura de alrededor de 22°C (72°F) y una humedad relativa (HR) de alrededor del 50%.2-4 La figura indica que por debajo de una relación entre el esfuerzo de tensión residual y la resistencia a la tensión por compresión diametral (σ_r/σ_{sp}) de aproximadamente 0.50, es poco probable que se produzca un agrietamiento por contracción restringida. Es decir, cuando $\sigma_r/\sigma_{sp} \geq 0.50$, el potencial de agrietamiento por contracción restringida a una edad temprana es alto, y el potencial es bajo cuando $\sigma_r/\sigma_{sp} < 0.50$. Dado que la resistencia a la tensión directa del concreto es de alrededor del 80% de la resistencia a la tensión por compresión diametral,[5] el valor limitante de la relación entre el esfuerzo de tensión residual y la resistencia a la tensión directa por debajo del cual el potencial de agrietamiento es bajo sería de alrededor de 0.60.

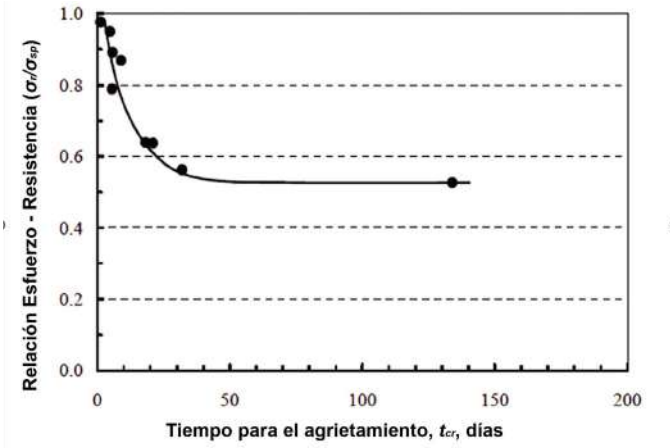


Figura. 2: Relación entre esfuerzo residual y la resistencia a la tensión por compresión diametral contra el tiempo para el agrietamiento (de la Referencia 6)

La Fig. 3 es una gráfica doble logarítmica de los datos de la Fig. 2 y muestra una fuerte relación lineal entre σ_r/σ_{sp} y el tiempo para el agrietamiento, lo que apoya el uso de σ_r/σ_{sp} como índice de agrietamiento para el concreto sometido a contracción restringida. La figura indica que valores muy bajos de σ_r/σ_{sp} (como $\sigma_r/\sigma_{sp} = 0.25$) implicaría que cuando el agrietamiento por contracción restringida a edades tempranas es sumamente improbable. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, como indica la Fig. 1, la posibilidad de que el concreto se agriete o no, y cuándo se agriete en condiciones de campo, dependera de factores ambientales tales como la HR ambiente, la cual controlaría la tasa de secado y, por tanto, la tasa de acumulación de esfuerzos en el concreto. La tasa de acumulación de esfuerzos y, por tanto, el tiempo para el agrietamiento, también dependerá del grado de restricción del elemento de concreto. La Fig. 3 muy útil debido a que indica que cuando se compara el comportamiento potencial de dos mezclas de concreto bajo condiciones específicas de 50% de HR y $R = 0.7$, el concreto con el valor más bajo de σ_r/σ_{sp} sería más resistente al agrietamiento por contracción restringida, ya que tardaría más tiempo en agrietarse, si se produjera el agrietamiento en ambos concretos. Es razonable esperar que este comportamiento relativo de las mezclas de concreto sea el mismo bajo cualquier otra condición específica

de HR ambiente y restricción. Por lo tanto, la Fig. 3 proporciona la base para clasificar las mezclas de concreto propuestas con respecto a su potencial para resistir el agrietamiento por contracción restringida.

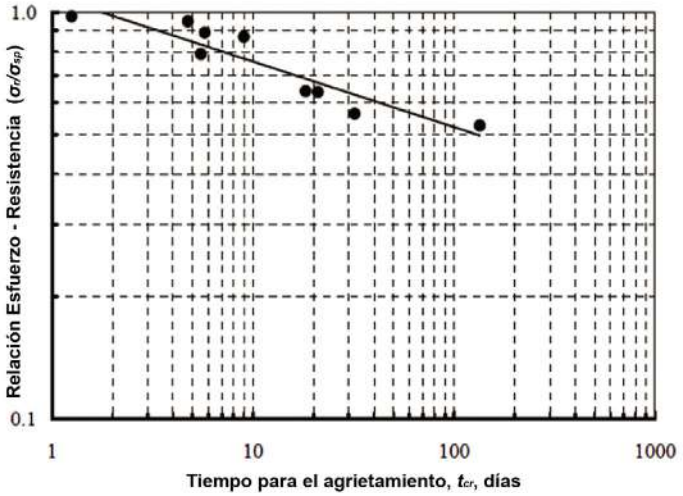


Figura. 3: Gráfica doble logarítmica de la relación resistencia-esfuerzo residual contra el tiempo para el agrietamiento (de la Referencia 6)

La durabilidad a largo plazo del concreto es mejorada mediante el adecuado diseño de la mezcla de concreto, el proporcionamiento y la colocación,[7] lo cual puede incluir el uso de aditivos reductores de la contracción (SRAs, por sus siglas en inglés) o el curado interno para reducir tanto la magnitud y la tasa de contraccón por secado,[3,8,9] y el uso de macrofibras para conservar pequeños las aberturas de las grietas.[9-11] Además, la reducción de la tasa de secado por medio de la protección del concreto contra el viento y las bajas condiciones de HR a edades tempranas -con medidas tales como el uso de mantas de curado, cubiertas de plástico, compuestos de curado o humedecimiento periódico- minimizaría el potencial de agrietamiento por contracción restringida.

Propiedades del concreto y parámetros de análisis

Se considera que este análisis para el agrietamiento por contracción por secado restringido es aproximado porque los valores del coeficiente de flujo plástico por tensión en los que se basa el análisis se generalizan a partir de estudios anteriores y se aplican a tres clases de resistencia del concreto. Además, los cálculos del esfuerzo de tensión residual se basan en un único valor del grado de restricción, y no se tienen en cuenta los posibles esfuerzos de alabeo causados por el gradiente de humedad. Los esfuerzos inducidos solamente por la tensión directa, cuyos efectos arrojan los resultados de las Fig. 1 a 3, se consideran una base suficiente para un análisis que determine el potencial relativo de comportamiento de diferentes mezclas de concreto.

Las propiedades del concreto requeridas para el análisis son la deformación unitaria de la contracción por secado (ε_{sh}), la resistencia a la compresión (f_c'), a partir de la cual se puede estimar el módulo de elasticidad (E_c), la resistencia a la tensión por compresión diametral (σ_{sp}) y el coeficiente de flujo plástico por tensión (C_r) bajo contracción restringida. Los valores a 28 días de f_c', E_c y σ_{sp} se toman como valores característicos del concreto. Los esfuerzos de tensión residuales (σ_r) dependen del grado de restricción del elemento de concreto y de la deformación unitaria última por contracción del concreto (ε_{shu}).[6] El ε_{shu} se estima mediante la ecuación (2-9) del ACI 209R-92[12], basándose en la deformación unitaria por contracción por secado a los 28 días del inicio del secado, que se obtiene según ASTM C157/C157M, "Método de prueba estándar para el cambio de longitud del mortero de cemento hidráulico endurecido y del concreto". La resistencia a la tensión por compresión diametral a los 28 días se determina de acuerdo con ASTM C496/C496M, "Método de prueba estándar para la resistencia a la tensión por compresión diametral de especímenes cilíndricos de concreto". Si el ensayo de resistencia a la flexión se realiza según ASTM C78/C78M, "Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto (utilizando una viga simple con carga en tres puntos)", en lugar del ensayo de resistencia a la tensión por compresión diametral, la resistencia a la tensión por compresión diametral se toma en el rango del 60 al 70% de la resistencia a la flexión, dependiendo de la resistencia del concreto.[13] La ecuación (19.2.2.1.b) del ACI 318-14 (E_c.[14]) se utiliza para calcular la E_c a partir de los datos de resistencia a la compresión a 28 días obtenidos según ASTM C39/C39M, "Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto". Otra posibilidad es determinar el E_c a los 28 días

de edad del espécimen según ASTM C469/C469M, “Método de prueba estándar para el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión”. En la Tabla 1 se presentan los datos de ensayo de las propiedades del concreto utilizados para ilustrar el procedimiento de análisis para cuatro mezclas de concreto (C1, C2, C3 y C4). Todas las mezclas de concreto contenían un SRA excepto la C4.

Tabla 1: Datos de ensayo de las propiedades del concreto para ilustrar el procedimiento de análisis

Propiedades del concreto		Mezclas de concreto			
		C1	C2	C3	C4
Resistencia a compresión a 28 días, f_c', MPa		39.5	40.7	60.6	31.5
Resistencia a la tensión por compresión diametral a 28 días, σ_{sp}, MPa		3.97	3.52	4.28	3.15
Deformación unitaria por contracción por secado a 28 días, ε_{sh}, %	con SRA*	0.013	0.019	0.020	---
	sin SRA	---	---	---	0.048

***SRA típico comercialmente disponible de alrededor de 0.75 a 1.00% en peso del contenido cementante en el concreto**
Nota: 1 MPa = 145 psi

Se han estimado valores de C_r bajo contracción restringida en estudios de mezclas de concreto con y sin SRAs.[2-5,8,15] Se encontró que las deformaciones unitarias del flujo plástico por tensión se reducen cuando se utiliza el SRA. El nivel de *R* en la mayoría de estos estudios (siendo 0 para contracción libre y siendo 1 para contracción restricción) fue de aproximadamente 0.7 o superior. Los valores de C_r reflejan la probabilidad de que el microagrietamiento causado por la restricción contribuya significativamente al efecto de relajación.[5,16] Esto significa que la magnitud de *R* influirá en la magnitud de C_r.[16] Los valores de C_r al agrietamiento a partir de los estudios se generaliza y se resume en la Tabla 2 como una función de la resistencia a la compresión del concreto, y con $R = 0.7$. Cuando el concreto está reforzado con macrofibras, los valores de C_r mostrados en la Tabla 2 son aplicables porque las macrofibras no parecen tener una influencia significativa en la magnitud del flujo plástico al momento del agrietamiento visible bajo contracción restringida.[5] La importancia de las macrofibras estriba en retrasar el desarrollo de grietas visibles al mantener pequeñas las aberturas de las grietas.

Tabla 2: Valores del coeficiente de flujo plástico por tensión, *Cr*, y del grado de restricción, *R*, para su uso en el procedimiento de análisis

Nivel de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días	*R* = 0.7	
	SRA*	C_r al agrietarse
$f_c' \leq 42$ MPa	No	1.50
	Si	1.25
$42 < f_c' < 50$ MPa	No	1.05
	Si	0.85
$f_c' \geq 50$ MPa	No	0.60
	Si	0.45

***SRA típico comercialmente disponible de alrededor de 0.75 a 1.00% en peso del contenido cementante en el concreto**
Nota: 1 MPa = 145 psi

Aunque el valor de *R* utilizado en este análisis para la comparación relativa del comportamiento potencial de diferentes mezclas de concreto es 0.7, en general, *R* puede calcularse para un caso específico utilizando la ecuación del factor de restricción (Ecuación (5-1)) que aparece en el ACI 207.2R-07.[17] Para el caso en el que la rigidez de la sección relativa de los elementos de concreto restringidos y los que los restringen sea 1, *R* es 0.5. Si los elementos de concreto están reforzados, *R* sería mayor que 0.5 y aumentaría con la relación del refuerzo. Se han realizado análisis detallados que muestran que en losas, techos y muros el valor de R puede oscilar entre 0.5 y 0.8 aproximadamente.[18,19]

Por lo tanto, un valor de R de 0.7 utilizado en este análisis representa un nivel razonable de restricción y se considera apropiado para una comparación relativa del rendimiento potencial de diferentes mezclas de concreto. La información de la Tabla 2 puede utilizarse para evaluar cualquier serie de mezclas de concreto.

Esfuerzos residuales de tensión y análisis de agrietamientos potenciales

En aplicaciones como pisos de concreto, muros, pavimentos, tableros de puentes y estructuras para la retención de agua, es común el secado diferencial, en el que el secado se produce desde la superficie expuesta hacia el interior del elemento de concreto. Teniendo en cuenta el gradiente de humedad que se desarrolla y controla el agrietamiento del concreto, como se explicó anteriormente en las Fig. 1 a la 3, el promedio σ_r a través de la sección del elemento de concreto se puede estimar mediante[6]

$$\sigma_r = \frac{1}{4} R E_{ef} \varepsilon_{shu} \quad \textbf{(1)}$$

donde E_{ef} es el módulo de elasticidad efectivo o ajustado al flujo plástico del concreto, y ε_{shu} es la deformación unitaria última por contracción del concreto. Con la E_c determinada ya sea a partir de la resistencia a la compresión o del ensayo, y los valores de C_r dados en la Tabla 2, E_{ef} se determina a partir de la siguiente ecuación[20]

$$E_{ef} = \frac{E_c}{1 + C_r} \quad \textbf{(2)}$$

El valor de ε_{shu} se estima a partir de la deformación unitaria por contracción obtenida a los 28 días, ε_t, según ASTM C157/C157M. Para los ensayos con una HR del 50% utilizando especímenes de 75 mm (3 pulg.) de espesor curados con humedad durante 7 días, ε_{shu} se estima con[12,21]

$$\varepsilon_{shu} = \varepsilon_t \frac{35 + t}{t} \quad \textbf{(3)}$$

donde t = 28 días. Como se ha indicado anteriormente, las ecuaciones (1) a (3) se utilizaron con los datos de los ensayos para obtener las relaciones en las Fig. 2 y 3.

Las ecuaciones (1) a (3) se aplican utilizando los datos de las Tablas 1 y 2 para obtener los resultados tabulados en la Tabla 3. Como se ha indicado anteriormente, los valores E_c de la Tabla 3 se han calculado según la ecuación del ACI 318-14 utilizando los valores de la resistencia a la compresión. La Tabla 3 muestra que los valores calculados de σ_r/σ_{sp} son inferiores a 0.50 para las mezclas de concreto C1, C2 y C3, y superiores a 0.50 para el concreto C4. Esto significa que en condiciones de 50% de HR y R = 0.7, C1, C2 y C3 tienen un bajo potencial de agrietamiento por contracción restringida, mientras que C4 tiene un alto potencial según las discusiones anteriores con respecto a la Fig. 2. Se ha utilizado el concreto C4 en una estructura de concreto que ha experimentado agrietamiento por contracción restringida a una edad temprana. Los valores de σ_r/σ_{sp} de la Tabla 3 aumentan de 0.17 para el concreto C1 a 0.63 para el concreto C4, lo que implica que el C1 sería el más resistente al agrietamiento por contracción restringida y el C4 sería el menos resistente en cualquier condición específica de HR ambiental y de restricción, como indica la Fig. 3. Hay que destacar que se utilizó el SRA para conseguir la menor contracción, y por tanto, el menor potencial de agrietamiento, de C1, C2 y C3 en comparación con C4. Dado que el agrietamiento por contracción restringida es un factor importante a la hora de determinar la durabilidad a largo plazo del concreto, el uso de SRAs para lograr tanto una baja magnitud como un bajo índice de contracción por secado es una medida importante para mitigar dicho agrietamiento.

Tabla 3: Resultados del análisis de los esfuerzos de contracción restringidos

Mezclas de concreto	f_c', MPa	E_c, GPa	E_{ef}, GPa	ε_{shu}, %	σ_r, MPa	σ_r/σ_{sp}	Clasificación de la resistencia al agrietamiento
C1	39.5	29.5	13.1	0.029	0.66	0.17	1 (más resistente)
C2	40.7	30.0	13.3	0.043	1.00	0.28	2
C3	60.6	36.6	25.2	0.045	1.98	0.46	3
C4	31.5	36.4	1.06	0.108	2.00	0.63	4 (menos resistente)

Nota: 1 MPa = 145 psi; 1 GPa = 145 ksi

Observaciones finales

Para determinar la durabilidad del concreto a largo plazo, es importante la restricción de la contracción causada por el secado diferencial. Se presenta un procedimiento de análisis que implica cálculos sencillos, utilizando las propiedades del concreto obtenidas de ensayos estándar, para evaluar el potencial de agrietamiento por contracción restringida como base para la precalificación de mezclas de concreto. Se pueden clasificar las posibles mezclas de concreto con respecto a su potencial para resistir el agrietamiento por contracción restringida. El valor de σ_r/σ_{sp} muy inferior a 0.50 (o sea 0.25 o menor), que indica un potencial muy bajo de agrietamiento por contracción restringida, puede lograrse con el uso de SRAs o de curado interno para reducir tanto la magnitud como la tasa de contracción por secado. Además, reduciendo la tasa de secado al proteger el concreto con condiciones de viento y baja HR durante las primeras edades minimizaría el potencial de agrietamiento por contracción restringida.

Referencias

1. Lindquist, W.D.; Darwin, D.; Browning, J.; and Miller, G.G., “Effect of Cracking on Chloride Content in Concrete Bridge Decks,” ACI Materials Journal, V. 103, No. 6, Nov.-Dec. 2006, pp. 467-473.

2. Attiogbe, E.K.; See, H.T.; and Miltenberger, M.A., “Tensile Creep in Restrained Shrinkage,” Proceedings of the 6th International Conference, Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Other Quasi-Brittle Materials, F.J. Ulm, Z.P. Bazant, and F.H. Wittman, eds., Elsevier, 2001, pp. 651-656.

3. See, H.T.; Attiogbe, E.K.; and Miltenberger, M.A., “Shrinkage Cracking Characteristics of Concrete Using Ring Specimens,” ACI Materials Journal, V. 100, No. 3, May-June 2003, pp. 239-245.

4. See, H.T.; Attiogbe, E.K.; and Miltenberger, M.A., “Potential for Restrained Shrinkage Cracking of Concrete and Mortar,” Cement, Concrete, and Aggregates, V. 26 No. 2, Dec. 2004, pp. 123-130.

5. Altoubat, S.A., and Lange, D.A., “Creep, Shrinkage, and Cracking of Restrained Concrete at Early Age,” ACI Materials Journal, V. 98, No. 4, July-Aug. 2001, pp. 323-331.

6. Attiogbe, E.K.; Weiss, W.J.; and See, H.T., “A Look at the Rate of Stress Versus Time of Cracking Relationship Observed in the Restrained Ring Test,” Advances in Concrete Through Science and Engineering, Mar. 22-24, 2004, 14 pp.

7. Darwin, D.; Khajehdehi, R.; Feng, M.; Lafikes, J.; Ibrahim, E.; and O’Reilly, M., “Low-Cracking High-Performance Concrete (LC-HPC) for Durable Bridge Decks,” SP-336, Cracking and Durability in Sustainable Concretes, R. Leistikow and K. Waggle Kramer, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, pp. 101-116.

8. ACI Committee 231, “Report on Early-Age Cracking: Causes, Measurements, and Mitigation (ACI 231R-10),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 46 pp.

9. Reggia, A.; Macobatti, F.; Minelli, F.; and Plizzari, G.A., “A New Restrained Shrinkage Test for HPC Repair Materials,” 4th International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, Leipzig, Germany, Oct. 2015, 8 pp.

10. Swamy, R.N., and Stavrides, H., “Influence of Fiber Reinforcement on Restrained Shrinkage and Cracking,” ACI Journal Proceedings, V. 76, No. 3, Mar. 1979, pp. 443-460.

11. Grzybowski, M, and Shah, S.P., “Shrinkage Cracking of Fiber Reinforced Concrete,” ACI Materials Journal, V. 87, No. 2, Mar.-Apr. 1990, pp. 138-148.

12. ACI Committee 209, “Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures (ACI 209R-92) (Reapproved 1997),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 47 pp.

13. Narrow, I., and Ullberg, E., “Correlation Between Tensile Splitting Strength and Flexural Strength of Concrete,” ACI Journal Proceedings, V. 60, No. 1, Jan. 1963, pp. 27-38.

14. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 520 pp.

15. D’Ambrosia, M.D.; Altoubat, S.; Park, C.; and Lange, D.A., “Early-Age Tensile Creep and Shrinkage of Concrete with Shrinkage Reducing Admixtures,” Proceedings of the 6th International Conference, Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Other Quasi-Brittle Materials, F.J. Ulm, Z.P. Bažant, F.H. Wittman, eds., Elsevier, 2001, pp. 645-651.

16. Hossain, A.B.; Pease, B.; and Weiss, W.J., “Quantifying Early-Age Stress Development and Cracking in Low w/c Concrete Using the Restrained Ring Test with Acoustic Emission,” Transportation Research Record, V. 1834, No. 1, Jan. 2003, pp. 24-32.

17. ACI Committee 207, “Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete (ACI 207.2R-07),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2007, 28 pp.

18. Al-Gburi, M.; Jonasson, J.E.; Nilsson, M.; Hedlund, H.; and Hosthagen, A., “Simplified Methods for Crack Risk Analyses of Earl y Age Concrete, Part 1: Development of Equivalent Restraint Method,” Nordic Concrete Research, Publication No. 46, Dec. 2012, pp. 17-38.

19. Al-Gburi, M.; Jonasson, J.E.; Youssif, S.T.; and Nilsson, M., “Simplified Methods for Crack Risk Analyses of Early Age Concrete, Part 2: Restraint Factors for Typical Case Wall-on-Slab,” Nordic Concrete Research, Publication No. 46, Dec. 2012, pp. 39-56.

20. Bažant, Z.P., “Prediction of Concrete Creep Effects Using Age-Adjusted Effective Modulus Method,” ACI Journal Proceedings, V. 69, No. 4, Apr. 1972, pp. 212-217.

21. Miltenberger, M.A., and Attiogbe, E.K., “Shrinkage-Based Analysis for Control-Joint Spacing in Slabs-on-Ground,” ACI Structural Journal, V. 99, No. 3, May-June 2002, pp. 352-359.

Emmanuel K. Attiogbe, FACI, es un ingeniero investigador que ejerce de forma privada en Discovery Bay, California, EE. UU. Se retiró en 2016 como Jefe de Innovación para el Desarrollo de Refuerzos Alternativos para el Concreto en BASF Construction Chemicals, ahora Master Builders Solutions. Fue presidente del Comité de Transferencia de Tecnología TAC y del Grupo Asesor de Transferencia de Tecnología del Consejo de Desarrollo Estratégico de la ACI Foundation (ahora reorganizado como Consejo de Innovación del Concreto) y fue miembro de la Junta Directiva del ACI. Es miembro de varios comités del ACI y del Consejo de Investigación del Concreto de la ACI Foundation. En 2021 ingresó en la Academia de Ingeniería Civil, Medioambiental y Arquitectónica de la Universidad de Kansas, Lawrence, KS, EE. UU., como Exalumno Distinguido. Se licenció en ingeniería civil en la Universidad de Ciencia y Tecnología Kwame Nkrumah de Kumasi (Ghana) y obtuvo un máster y un doctorado en ingeniería civil en la Universidad de Kansas.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noreste

Título: Procedimiento para evaluar el potencial para el agrietamiento debido a la contracción por secado del concreto bajo condiciones de movimiento restringido

Traductor:
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Revisor Técnico:
Dr. Alejandro Durán Herrera

ARTÍCULO

3 TRES

Reflexiones sobre cemento, SCM, concreto y CO_2

La industria debe ir más allá del reemplazo del clinker para reducir nuestra huella

por Mohan Malhotra y Terry Holland

Como atestiguan las biografías de nuestros autores, hemos apoyado activamente los esfuerzos de sostenibilidad de nuestra industria durante décadas. Y debido a que el interés en este tema ha crecido exponencialmente en los últimos años, creemos que es apropiado expresar nuestras opiniones con respecto a los esfuerzos actuales de sustentabilidad dentro de la industria del concreto.

Nuestras observaciones se derivan de nuestra reciente participación en la 11.ª Conferencia Internacional Virtual ACI/RILEM sobre materiales cementantes y aglutinantes alternativos para el concreto sostenible[1]. Si bien felicitamos a los organizadores de la conferencia y a su compañía de soporte técnico por una conferencia virtual excelentemente realizada, también nos preocupa que muchas de las presentaciones y documentos demuestran que nuestra industria continúa examinando muchos de los mismos temas que se han discutido en conferencias anteriores.

Conclusiones de las presentaciones

Debido a que las actas comprenden 761 páginas, comenzaremos con nuestras reflexiones sobre algunos temas comúnmente tratados por muchos ponentes, seguidos de nuestras observaciones sobre temas tratados por cuatro ponentes en particular.

Como siempre en estas conferencias, se nos recordó repetidamente que la producción de cemento portland es responsable de entre el 6 y el 8 % del CO_2 total del mundo. Sin embargo, el informe más reciente del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)[2] establece que la producción de cemento representa alrededor del 4% de la producción mundial de CO_2, tanto por el consumo de combustibles fósiles como por la descalcificación de la piedra caliza. Este informe también establece que la carbonatación del concreto absorberá alrededor de la mitad del CO_2 emitido durante la producción de cemento.

Por el lado de la producción, el verdadero valor probablemente esté entre los citados por los ponentes y el proporcionado en el informe del IPCC. Por el lado de la extracción, hay que tener en cuenta que la mayor absorción de CO_2 proviene del concreto de menor calidad. Debido al menor contenido de agua que normalmente se usa en el concreto en los Estados Unidos, rara vez se observa carbonatación. Probablemente lo mismo sea cierto en otros países, por lo que creemos que el informe del IPCC es demasiado optimista.

Hubo muchas investigaciones sobre cementos alternativos y materiales cementicios suplementarios (SCM). Ciertamente, estos son temas importantes para la investigación. Será interesante ver si alguno de estos materiales logra comercializarse; sin embargo, su éxito depende en gran medida de encontrar un socio comercial con mucha liquidez y paciencia. Como señalaron recientemente Holland y Hover en Concrete International,[3]

es un gran paso desde el laboratorio hasta la comercialización, la estandarización y la aceptación para el uso general.

Maria Juenger nos recordó que un material natural solo necesita ser tan reactivo como las cenizas volantes para ser considerado un nuevo recurso puzolánico. Esta es una barrera relativamente baja, y significa que se pueden considerar muchos más materiales para su uso como SCM, particularmente si solo se consideran aplicaciones específicas.

Doug Hooton resumió las opciones para usar menos cemento portland:

• Optimizar la gradación del agregado para minimizar la pasta. La mayor parte del concreto en los Estados Unidos todavía se fabrica solo con agregados finos y gruesos. Usar más de una fracción de tamaño de agregado grueso es una victoria fácil que requiere inversión por parte de los productores de concreto y agregados. Y ese cambio viene con un rápido retorno de la inversión a través de la reducción simultánea de cemento;

• Lograr una buena trabajabilidad y un bajo contenido de agua - materiales cementicios (w/cm) usando aditivos reductores de agua y reductores de agua de alto rango en lugar de agregar más agua y cemento. Esta es otra victoria fácil. Es increíble que algunos miembros de la industria sigan argumentando que alcanzar una relación w/cm baja requiere mezclas con altos contenidos de cemento; y

• Usar cemento compuesto con piedra caliza. Si bien todavía hay dudas sobre el uso de este material, la investigación ha demostrado que las mezclas duraderas se logran utilizando la cantidad máxima de reemplazos de cemento disponibles actualmente.

Jean-Martin Lessard, candidato a doctorado de la Universidad de Sherbrooke, presentó un concepto de modelado interesante para la producción y el uso de cemento y SCM. Nos recordó que, para satisfacer las crecientes necesidades de concreto previstas, las plantas de cemento deberán seguir produciendo a la capacidad actual. El énfasis de Lessard estaba en el uso cada vez mayor de cementos mezclados para reducir el factor de clínker:

"Reducir la relación del clinker con cemento en la producción de cemento mezclado es una solución prometedora para lograr ahorros globales de gases de efecto invernadero (GEI); esto reduce significativamente la intensidad de carbono por tonelada de cemento mezclado producido. Una consecuencia que no suele discutirse es que las plantas de cemento pueden producir más cemento mezclado para la misma capacidad de producción de clínker. Por lo tanto, debemos anticipar que este apalancamiento cambiará la dinámica actual de oferta y demanda de los SCM y del cemento a nivel mundial. Por ejemplo, los fabricantes de cemento en los estados del noreste de los EE. UU., que carecen de la capacidad de producción suficiente para satisfacer sus necesidades actuales de cemento, podrían reducir su dependencia de las importaciones de cemento extranjero a través de esta palanca". (fuente: comunicado posterior a la conferencia)

Desafortunadamente, aunque los cementos compuestos ofrecen la oportunidad de reducir la huella de carbono, tradicionalmente no se han utilizado mucho en los Estados Unidos. Para lograr la reducción del contenido de clínker que ofrecen estos productos, es necesario que haya un cambio en el nivel de aceptación de los cementos compuestos.

Karen Scrivener presentó parte de su trabajo sobre cemento de arcilla calcinada con piedra caliza (LC3). Este material tiene un gran potencial para reemplazar cantidades significativas de cemento portland. El producto es aproximadamente 50% clínker de cemento portland, 30% arcilla calcinada y 15% piedra caliza. Ofrece una reducción significativa de CO_2 del clinker de cemento portland, pero no deja de tener su propia contribución de CO_2.

El cemento LC3 actualmente no está disponible comercialmente en los Estados Unidos. Como cualquier otro material nuevo, LC3 requerirá un fabricante dispuesto a invertir el tiempo y los fondos para llevar el material a un uso generalizado. En correspondencia posterior a la conferencia, Scrivener escribió que el material cumple con los requisitos

para un cemento compuesto de ASTM. Si bien ese reconocimiento resuelve un problema de estándares, también plantea el problema de que el cemento compuesto tradicionalmente no es ampliamente aceptado en los Estados Unidos. La comercialización de este cemento también requerirá una aceptación mucho mayor de los cementos compuesto basados en el desempeño.

Nuestras Conclusiones

Basándonos en nuestra experiencia de sostenibilidad y nuestras observaciones de la última conferencia, hemos sacado algunas conclusiones:

• Los esfuerzos actuales para reemplazar el cemento usando SCM ciertamente reducirán la cantidad de CO_2 por yarda cúbica de concreto. Sin embargo, esta reducción solo llevará a la industria hasta cierto punto. Incluso si obtuviéramos un 10% de reemplazo en todo el concreto, eso no resolverá el problema de CO_2 de la industria;

• El suministro del material de reemplazo de cemento más utilizado, las cenizas volantes, se está reduciendo en los Estados Unidos. Las centrales eléctricas de carbón se están desconectando a un ritmo que habría sido impensable hace solo unos años. Para compensar la reducción de la producción, los proveedores de cenizas volcánicas actualmente están cosechando y procesando el material almacenado. Se están realizando esfuerzos para que estos materiales, así como las cenizas de fondo trituradas, se incluyan en las normas de la ASTM. El suministro general de cenizas volantes (Tabla 1) seguirá siendo sustancial a corto plazo, pero puede verse limitado en el futuro. Es de esperar que haya discrepancias entre la ubicación de la oferta y la necesidad. Sin embargo, si todas las cenizas volantes disponibles se usaran en concreto, compensaría solo aproximadamente un tercio del uso actual de cemento en los Estados Unidos;

• Las recomendaciones para mejorar la clasificación de los agregados, aumentar el uso de aditivos reductores de agua y reducir el factor de escoria ayudarán. Es difícil entender por qué estas simples medidas no se especifican e implementan más ampliamente;

• En el mejor de los casos, la reducción de cemento o el reemplazo limitado extenderán el tiempo hasta que se requieran plantas de cemento mezclados para satisfacer la creciente demanda. Estos enfoques también pueden proporcionar tiempo para permitir que un nuevo material sea lanzado al mercado, estandarizado y aceptado en nuestros códigos;

• Nadie habla de una reducción en la producción de cemento y concreto. Dado que se ha aprobado un proyecto de ley de infraestructura muy grande en los Estados Unidos, se puede esperar que aumente el consumo de cemento. A nivel mundial, la necesidad de infraestructura nueva y de reemplazo seguirá aumentando la demanda de cemento portland;

• Si las plantas de cemento continúan produciendo a los niveles actuales o mayores, continuarán produciendo las cantidades actuales de CO_2 por tonelada de clínker. No ha habido reducciones significativas en la cantidad de CO_2 producido por tonelada de clínker; y

• A medida que otros emisores de CO_2, como las centrales eléctricas de carbón y el transporte alimentado con carbono, reduzcan su producción de CO_2, el porcentaje de contribución de la producción de cemento portland en realidad aumentará. Este aumento traerá más escrutinio sobre la industria del concreto. Esto ciertamente no es un resultado deseable.

Finalmente, de cara al futuro, parece que hay varias opciones:

• Usar tanto cemento de reemplazo como esté disponible para dar tiempo a que se desarrollen, estandaricen y aparezcan nuevos materiales en los códigos de construcción;

• Mejorar la aceptación de los cementos compuestos en los Estados Unidos. La práctica de agregar cemento portland y otros materiales cementantes por separado debe cambiarse para permitir el máximo uso de nuevos materiales que pueden estar compuestos por varios ingredientes;

• Desarrollar materiales de reemplazo del cemento con una menor huella de carbono que reduzcan o reemplacen la producción actual de cemento portland. Dichos materiales se están desarrollando, pero actualmente no están disponibles comercialmente. El éxito se medirá cuando las plantas de cemento

se desconecten o se conviertan para producir materiales menos intensivos en carbono; y

• Tratar las emisiones de CO_2 de la producción de cemento mediante algún tipo de captura y eliminación. Si bien la reutilización del CO_2 capturado es una posibilidad, aumentará el costo del cemento portland, lo que puede ser inaceptable pero también inevitable. Habiendo estado involucrado personalmente en uno de esos esfuerzos, un autor (Holland) sabe que la captura y reutilización de carbono es un enfoque difícil y costoso. Fue interesante que no se informó de ninguna investigación sobre este tema en la última conferencia.

El futuro de la industria del cemento y del concreto está en nuestras manos. Sin embargo, sin una acción significativa de nuestra parte, es solo cuestión de tiempo hasta que la industria pueda ser controlada por los reguladores.

Nota: Mientras se completaba este documento, California promulgó una nueva ley, descrita en la referencia 4. En diciembre del 2021, el gobernador de Nueva York firmó la Ley de Liderazgo del Concreto Bajo en Carbono Incorporado.[5] El proceso regulatorio ya comenzó.

Tabla 1: Cenizas volantes, usos y producción en millones de toneladas

Ceniza Volante	Año	
	2019	2020
Producción total	29.3	26.5
Total usado	17.8	17.1
Usado de la producción de cemento y concreto	15.2	13.4
Otras aplicaciones	2.6	3.7
Disponible	11.5	9.4

Referencias

1. "11th ACI/RILEM International Conference on Cementitious Materials and Alternative Binders for Sustainable Concrete," SP-349, A. Tagnit-Hamou, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 773 pp.

2. "Climate Change 2021: The Physical Science Basis," Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, Aug. 2021, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/.

3. Holland, T.C., and Hover, K.C., "Proposed Data Sheet for Alternative Cementitious Materials," Concrete International, V. 42, No. 8, Aug. 2020, pp. 43-47.

4. Leggate, J., "New California Law Will Set Cement Sector Strategy to Cut GHG Emissions," Engineering News-Record, Oct. 10, 2021, https://www.enr.com/articles/52613-new-california-law-will-set-cement- sector-strategy-to-cut-ghg-emissions.

5. Leggate, J., "New York Governor Signs Low-Embodied-Carbon Concrete Bill," Engineering News-Record, Jan. 4, 2022, https://www. enr.com/articles/53355-new-york-governor-signs-low-embodied-carbon- concrete-bill.

6. Malhotra, V.M., "Making Concrete 'Greener' with Fly Ash," Concrete International, V. 21, No. 5, May 1999, pp. 61-66.

7. Mehta, P.K., "Concrete Technology for Sustainable Development," Concrete International, V. 21, No. 11, Nov. 1999, pp. 47-53. Selected for reader interest by the editors.

Mohan Malhotra, Miembro Honorario del ACI, fue autor de uno de los primeros artículos sobre sustentabilidad en Concrete International en mayo de 1999.[6] Ha sido el organizador de numerosas conferencias y talleres sobre sustentabilidad, además de escribir artículos de manera continua. Malhotra y Kumar Mehta (autor de otro de los primeros artículos de ACI sobre sostenibilidad en noviembre de 1999[7]) fueron los primeros beneficiarios del ACI Concrete Premio a la Sostenibilidad en 2012

Terry Holland, Miembro Honorario del ACI, como vicepresidente de ACI a principios 2000, formó el Grupo de Trabajo de la Junta sobre Sostenibilidad, presidido por Mohan Malhotra. Este grupo de tareas se ha convertido en el Comité 130 de ACI, Sostenibilidad de hormigón. En 2003, Holanda asistió a la U.S. Green la conferencia Greenbuild del Building Council (USGBC) para hacer el alcance inicial de ACI a esa organización. El intento fue rechazado porque USGBC consideraba a ACI como una organización comercial. Curiosamente, en su clase de capacitación LEED en ese evento, se refirieron al concreto por tonelada en lugar de por yarda cúbica. Holanda también recibió el 2014 Premio ACI a la Sustentabilidad del Concreto.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Perú

Título: Reflexiones sobre cemento, SCM, concreto y CO_2

Traductor
Walter Jesús Sánchez

Revisor Técnico:
Luciano López Vinatea

ARTÍCULO 4 CUATRO

Concreto, Preguntas y Respuestas: ¿Los laboratorios de pruebas pueden tener pruebas complementarias reales?

P Trabajamos en un área rural que tan sólo cuenta con dos productores de concreto premezclado a 30 minutos de la mayoría de nuestros sitios de obra. El propietario contrata directamente a las agencias de pruebas de concreto, de manera que no tenemos control sobre la elección de los laboratorios de pruebas que monitorean nuestro trabajo. No obstante, nuestros productores locales a menudo ofrecen a su propio personal para que realice pruebas simultáneas (complementarias) y ocasionalmente cuestionan los resultados de las pruebas (por revenimiento, contenido de aire o resistencia a la compresión) proporcionados por la agencia del propietario. La Tabla 1 muestra los resultados de uno de nuestros proyectos. ¿Cómo sabemos si esta prueba se está realizando apropiadamente y cuál es una varianza aceptable entre resultados de dos laboratorios que llevan a cabo pruebas paralelas sobre la misma carga de concreto?

R ACI 301-20, Sección 1.7.3[1], especifica los deberes y responsabilidades de la agencia de pruebas del propietario, incluyendo:

• Las muestras deberán obtenerse de acuerdo con ASTM C172/C172M[2] de una carga completa después de hacer todos los ajustes;

• El revenimiento y el contenido de aire se medirán de conformidad con ASTM C143/C143M[3] y ASTM C231/C231M[4], respectivamente; y

• Los cilindros producidos para pruebas de resistencia se harán y curarán de acuerdo con ASTM C31/C31M[5].

Las pruebas de contenido de aire y revenimiento pueden hacerse en muestras preliminares y los ajustes pueden realizarse y comunicarse a la planta dosificadora para cargas subsecuentes. De acuerdo con ASTM C94/C94M, Sección 17.6[6], si el revenimiento o contenido de aire caen fuera de los límites que se especifican, deberá hacerse una prueba en una muestra separada antes de tomar una decisión de rechazar la carga.

Cuando prepare cilindros para pruebas, deberán curarse en campo de acuerdo con ASTM C31/31M. De acuerdo con la Sección 10.1.2, los testigos deben almacenarse inicialmente hasta 48 horas a un rango de temperatura de 60 a 80°F (16 a 27°C) para mezclas de concreto con especificación de resistencia menor a 40 MPa (6000 psi) y 68 a 78°F (20 a 26°C)

para mezclas con especificación de resistencia de 40 MPa o más. El curado inicial deberá documentarse utilizando un termómetro mínimo/máximo o mediante un dispositivo que registre continuamente la temperatura. Los cilindros deberán transportarse al laboratorio dentro de las 48 horas (2 días) y deberán someterse a curado en una sala húmeda o sumergidos en agua con cal y conservados a una temperatura de entre 73.5 ± 3.5°F (23 ± 2°C).

Si bien ACI 301 no toca este tema, es aceptable que el personal de control de calidad, en representación del productor de concreto, lleve a cabo una prueba complementaria (en su defecto, un tercero puede tomar video de la prueba realizada por la agencia del propietario).

Las diferencias aceptables en los resultados de pruebas entre las dos agencias se basan en los estudios inter laboratorio y se mencionan en las declaraciones de precisión de las normas ASTM pertinentes:

- ASTM C143/C143M, Sección 9.1.4, indica que la diferencia aceptable del revenimiento medido entre dos pruebas en la misma muestra es de 0.82 pulgadas (20 mm) para revenimiento de 1.20 pulgadas (30 mm), 1.10 pulgadas (28 mm) para revenimiento de 3.4 pulgadas (85 mm) y 1.50 pulgadas (38 mm) para revenimiento de 6.5 pulgadas (160 mm).
- ASTM C231/C231M, Sección 11.2.2.2, indica que la diferencia aceptable entre resultados de dos pruebas en la misma muestra varía dependiendo del contenido de aire, pero es de aproximadamente 0.49 a 1.30% para un contenido de aire promedio de entre 3 y 8%; y
- ASTM C39/C39M, Sección 11.1.3, indica que no se espera que los resultados de pruebas hechas con la misma muestra difieran en más de 14% de su promedio, cuando un resultado de prueba sea la resistencia promedio medida de dos o tres testigos de prueba.

Estas diferencias aceptables pueden utilizarse para comparar los resultados de pruebas obtenidas por dos agencias, de preferencia realizadas en la misma muestra (carretilla), o menos preferible, en diferentes muestras de la misma carga de concreto.

Tal como usted observa en su pregunta, la Tabla 1 proporciona datos obtenidos por dos agencias. La diferencia en los resultados de pruebas complementarias de revenimiento no es mayor a 0.75 pulgadas (19 mm) para revenimiento de 4 a 5 pulgadas (102 a 127 mm), que es menos que el límite de una diferencia aceptable mencionada en ASTM C143/C143M. La diferencia máxima en contenido de aire es 0.3%, que también es menor que la diferencia aceptable estipulada en ASTM C231/C231M. Finalmente, las diferencias en los resultados de pruebas de resistencia a la compresión medidos por las dos agencias no superan 14% de su promedio (mostrado entre paréntesis) señalado en ASTM C39/C39M.

Las preguntas de esta columna las hicieron usuarios de documentos ACI y fueron 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. Envíe sus comentarios a keith.tsolt@concrete.org.

Tabla 1: Comparaciones de resultados de pruebas proporcionados por las agencias de pruebas del propietario y de productor

Fecha	Agencia de Prueba	Revenimiento Pulgadas	Contenido de Aire %	Resistencia a la Compresión a 28 días, psi
10/27/21	Propietario	1.00	4.50	5730
	Productor	1-1/2	4.50	6240
	Diferencia	0.50	0.00	510 (838)*
2/8/22	Propietario	4-1/2	4.70	5100
	Productor	5.00	4.80	5230
	Diferencia	0.50	0.10	130 (723)*
2/8/22	Propietario	4-1/4	4.75	5540
	Productor	4-1/2	4.60	5640
	Diferencia	0.25	0.15	100 (783)*
2/9/22	Propietario	4-1/4	7.20	4310
	Productor	4-1/2	7.50	4280
	Diferencia	0.25	0.30	30 (601)*
2/25/22	Propietario	5-3/4	4.80	3590
	Productor	5-3/4	5.00	3730
	Diferencia	0.00	0.20	140 (512)*
3/1/22	Propietario	4-1/4	5.20	4060
	Productor	5.00	5.50	4530
	Diferencia	0.75	0.30	470 (601)*

El valor entre paréntesis es 14% del promedio de los dos resultados de pruebas indicados en ASTM C39/C39M como la diferencia máxima permisible (no deberá superarse) entre dos laboratorios.
Nota: 1 pulgada = 25 mm; 10 psi = 0.07 MPa

Basándose en estos resultados de pruebas, las diferencias entre las agencias están dentro de la precisión estipulada en los métodos de prueba de ASTM correspondientes. En la mayoría de los casos, la resistencia a la compresión de la agencia de pruebas del proveedor de concreto es marginalmente más alta que la de la agencia del propietario, lo que sugiere que puede haber un sesgo sistémico, pero no hay base para indicar que estos resultados sean estadísticamente diferentes. Tampoco podemos decir si los resultados de una agencia son mejores o peores que los de la otra.

En NRMCA TIP 16,[7] parte de la serie de Technology in Practice (TIP) de NRMCA se ofrece guía adicional respecto a pruebas de concreto realizadas por terceros y solución de problemas comunes de pruebas que surgen durante los proyectos de construcción, así como cálculos de resistencia de una muestra de concreto, con el propósito de ayudar a garantizar la calidad de la prueba de concreto.

Referencias

1. ACI Committee 301, “Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.
2. ASTM C172/C172M-17, “Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 3 pp.
3. ASTM C143/C143M-20, “Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 4 pp.
4. ASTM C231/C231M-17a, “Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 10 pp.
5. ASTM C31/C31M-21a, “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 7 pp.
6. ASTM C94/C94M-21b, “Standard Specification for Ready-Mixed Concrete”, ASTM International, West Conshohocken, PA0 2021, 15 pp.
7. “TIP 16 – Evaluating Strength Test Results”, National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 8 pp.

La traducción de este artículo correspondió al México Centro y Sur

Título: Concreto, Preguntas y Respuestas: ¿Los laboratorios de prueba pueden tener pruebas complementarias reales?

Traductor:
Lic. Ana Patricia García Medina

Revisor Técnico:
M.I. Sergio Váldes Constantino

aci American Concrete Institute
Always advancing

Valioso. Fácil.

El valor de la membresía del ACI nunca había sido tan grande.
Nuestros tres mayores beneficios valen ahora miles de dólares.

- Nuevo - Acceso gratuito a todos los webinars y cursos sobre pedido de la Universidad ACI
- Acceso ilimitado a las prácticas ACI (Incluyéndo guías y reportes ACI)
- Conexión con más de 30,000 profesionales miembros de ACI en todo el mundo relacionados con la industria del concreto

La membresía del ACI es su mayor recurso para desarrollarse en la industria del concreto.
Forma parte de la comunidad mundial más importante dedicada a mejorar el uso del concreto

*"ACI es la primera organización para la industria del concreto.
El convertirse en miembro de ella, fortalecerá la carrera profesional de quién lo haga"*
John F.

La membresía del ACI significa un gran valor para su carrera.

Los miembros del ACI lo saben

Inscríbete en **concrete.org**

ARTÍCULO

5 CINCO

¿Qué bebida puede salvar una mezcla?

¡Oh no! ¡El camión se averió!

por Ryan Scott

Imagina que son las 3:00 p.m. en un día cálido y soleado. Sus camiones mezcladores de concreto están ocupados cumpliendo con los pedidos y no ha habido problemas ni quejas. La vida es buena y ya estás planeando tu noche después de que termine el trabajo. Entonces, suena el teléfono. Respondes de mala gana a una voz que grita: “Nuestro camión se descompuso al costado de la carretera y está lleno de concreto. ¿Qué podemos hacer para salvar el tambor?

Si el tambor puede girar, está en una buena posición. Pero si el tambor no puede girar, el primer paso es hacer que un mecánico y otro camión se dirijan al lugar. Por lo general, las líneas hidráulicas del segundo camión se pueden conectar al camión averiado y proporcionan la potencia necesaria para hacer girar el tambor. Los tambores giratorios son críticos, ya que permiten que las adiciones se mezclen con el concreto y retrasen el tiempo de fraguado.

Durante la cuarentena, decidí ejecutar una serie de minimezclas combinadas con calorimetría semiadiabática para investigar varios escenarios. Las minimezclas son mezclas de mortero preparadas en laboratorio que se dosifican para replicar la fracción de mortero tamizado húmedo de una mezcla de concreto. Se comportan de manera muy similar a la fracción de mortero utilizada para ensayar el tiempo de fraguado del concreto. Históricamente, esta prueba se conocía como el "Método Grace Mini-Mix"; ahora, el método se menciona en la norma ASTM C1810/C1819M, "Guía estándar para comparar el rendimiento de materiales para la fabricación de concreto usando mezclas de mortero". Se utilizó arena embolsada EN 196 por tratarse de una arena estandarizada.

El mezclado se realizó modificando un procedimiento de la norma ASTM C305, “Práctica estándar para el mezclado mecánico de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica”. Se mezclaron los morteros durante 5 minutos, se apagó la batidora y se cubrió el recipiente durante 5 minutos más. Con base en un escenario de retardo dado, se mezcló una adición preseleccionada en el mortero durante 1 minuto y luego se colocó el mortero en un molde cilíndrico de 3 x 6 pulgadas (76 x 152 mm). Después de pesar cada muestra, se colocó en un calorímetro semiadiabático, también conocido como "Adiacal". Para mi programa de prueba, los siguientes parámetros se mantuvieron constantes:

- El mortero era una mezcla de 6 bolsas (564 lb/yd³ [335 kg/m³]) con una relación agua-cemento (a/c) de 0,5 y sin aditivos; y
- La temperatura del agua de mezclado se ajustó para mantener una temperatura de mortero objetivo entre 84 y 87 °F (29 y 31 °C).

El sistema Adiacal mide las temperaturas de las muestras a lo largo del tiempo y el software patentado proporciona los tiempos aproximados para el fraguado inicial y final. Si bien el desempeño de las mezclas de concreto del mundo real puede diferir de mis mezclas de mortero, el propósito de este programa de prueba fue hacer comparaciones de manzanas con manzanas de los diversos escenarios de retardo.

Como señalé anteriormente, los tambores giratorios permiten que las adiciones se mezclen con el concreto. Los siguientes escenarios para retrasar el fraguado se evaluaron bajo el supuesto de que las adiciones se pueden introducir en un tambor giratorio.

Escenario 1: ¿Agarrar toda el agua en el tanque?

Los camiones transportan habitualmente una carga de concreto de 10 yd³ (7,7 m³). Por lo general, hay 150 gal. (570 L) tanque de agua montado en los lados del camión, debajo del tambor y en frente de las ruedas traseras. Como parte del proceso de procesamiento por lotes, los conductores llenarán los tanques con agua. Esa agua estará fresca en el verano (~65°F [18°C]) y caliente en el invierno (~120°F [49°C]).

En este escenario, se supuso que toda el agua del tanque se introduciría en una carga de 10 yd³ a 86 °F (30 °C). Esta adición de 15 gal./yd³ (74 L/m³) aumentaría el w/c de 0,50 a 0,72. Sabemos que este aumento tendrá un efecto negativo en la ganancia de resistencia, pero aquí solo nos preocupa cuánto podemos retrasar el tiempo de fraguado.

En esta comparación, se usaron dos temperaturas de agua diferentes para mostrar el efecto del agua "fría" (24 °C [75 °F]) y agua "caliente" (38 °C [101 °F]). Usando los cálculos de predicción de temperatura de la Asociación de Cemento Portland (PCA), podemos calcular que una adición de 15 gal. de agua por 1 yd³ de concreto tiene un efecto mínimo en la temperatura del concreto. Con las minimezclas, la temperatura medida cambió solo aproximadamente ± 2 °F (1 °C) con respecto a la mezcla de referencia. La ventaja de utilizar calorimetría semiadiabática es que podemos calcular el indicador de ajuste térmico a partir del perfil de temperatura registrado. Como muestra la Fig. 1, las adiciones de agua dieron como resultado picos de temperatura más bajos, pero los tiempos transcurridos hasta los picos no cambiaron significativamente. Si bien los datos de temperatura indican que las adiciones de agua reducirán las resistencias a la compresión de las mezclas, también muestran que las adiciones tendrán un efecto mínimo en los tiempos de fraguado.

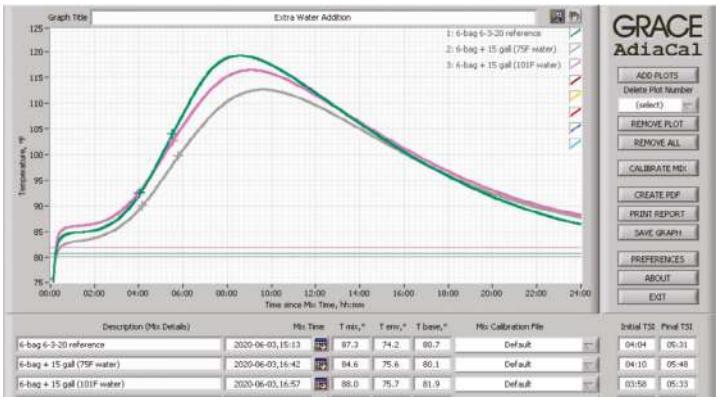


Figura. 1: Resultados de Adiacal del efecto de adiciones de agua de 15 gal./yd³ (74 L/m³) sobre el desarrollo de temperatura en mezclas de mortero. Los tiempos de ajuste están etiquetados como TSI inicial y TSI final.

Escenario 2: ¿Agregar azúcar o un estabilizador de hidratación?

Desde la década de 1930, los tecnólogos del concreto han sabido que agregar varios azúcares retardaría la hidratación del cemento. Dependiendo de la química, la dosis y los efectos de retardo variarán. El azúcar común de mesa, la sacarosa, tiende a retardar el fraguado hasta que haya suficientes iones de calcio libres para saturar un sistema. En ese caso, el concreto tiende a reaccionar rápidamente, lo que resulta en una rápida pérdida de asentamiento. Los "retardadores" modernos, conocidos como estabilizadores de la hidratación, generalmente se basan en una molécula de glucosa. Estas adiciones funcionan como una pastilla para dormir para el concreto: cuando el efecto desaparece, el concreto fragua normalmente.

Para esta comparación, se comparó un estabilizador de hidratación comercial (HS) con azúcar de mesa (TS). Recuerde, se supone que esta prueba representa una emergencia. Para las dosis, utilicé tasas sencillas. El azúcar suele estar disponible en bolsas de 0,45 kg (1 lb), por lo que se probaron dos dosis: 0,3 y 0,6 kg/m³ (0,5 y 1 lb/yd³). También se probaron dos dosis para el HS: 6 y 12 fl oz/cwt (391 y 782 mL/100 kg) de cemento.

Como muestra la Fig. 2, las dos clases de productos dan como resultado curvas de temperatura versus tiempo similares. La dosis más altas de HS esencialmente mató la mezcla: después de 5,5 días, el mortero todavía era plástico y no se había "despertado".

Escenario 3: ¿Agregar refrescos?

La última opción: vierta botellas de refrescos de 2 L (0,5 gal.) en el tambor. Suena fácil, pero si los recoges en una tienda de conveniencia, ¿cuál eliges? Para dar una respuesta, esta parte del experimento se dividió en dos partes: normal y dieta.

Figura. 2: Resultados de Adiacal de los efectos de las adiciones de azúcar de mesa (TS) o estabilizador de hidratación (HS) en el desarrollo de temperatura en mezclas de mortero

Se seleccionaron siete marcas comunes de refrescos para comparar. Las dosis se mantuvieron constantes y sencillas: una botella de 2 L por yd³ (2,6 L/m³) de concreto. Para nuestra mezcla de 6 bolsas, esta dosis se convierte en 12 fl oz/cwt. Mi elección de esta dosis quedará clara más adelante en este artículo. Los resultados de Adiacal (Fig. 3 y 4) proporcionan estas conclusiones:

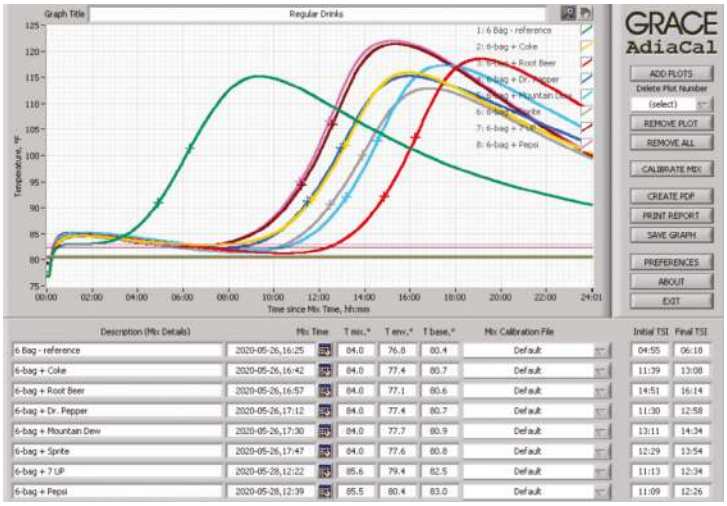


Figura. 3: Resultados de Adiacal de los efectos de las adiciones regulares de refrescos (con azúcar) en el desarrollo de temperatura en mezclas de mortero

Figura. 4: Resultados de Adiacal de los efectos de las adiciones de refrescos "dietéticos" (con edulcorantes artificiales) en el desarrollo de temperatura en mezclas de mortero.

• Las bebidas regulares duplicaron con creces los tiempos de fraguado en relación con la mezcla de referencia; y

• Las bebidas dietéticas no afectaron los tiempos de fraguado.

¿Energía, contenido de sodio o contenido de azúcar?

Las bebidas regulares tenían efectos muy variados en los tiempos de fraguado, así que investigué los efectos más a fondo. ¿Cuál fue el parámetro clave? ¿contenido de energía (calorías), contenido de sodio o contenido de azúcar?

Todos los refrescos deben tener etiquetas que enumeren los valores de nutrientes fundamentales por porción. Durante este experimento, sin embargo, descubrí que el tamaño de la porción del

producto varía según el tamaño de la botella. Mientras que los recipientes más pequeños usarán el tamaño de la botella como el tamaño de la porción, las botellas más grandes indicarán 8 o 12 fl oz (237 a 355 mL) como el tamaño de la porción. Para mis comparaciones, asumí un tamaño de porción "estándar" de 12 onzas líquidas (consulté la Tabla 1). Por consistencia, esa dosis también se usó en el Escenario 2. La información de la Tabla 1 se muestra en un diagrama de dispersión en la Fig. 5. En pocas palabras: el contenido calórico es el mejor indicador del potencial de retraso. Para este conjunto de datos, A&W Root Beer fue el mejor "retardador de 2 L".

Tabla 1: Valores Nutricionales y tiempo de fraguado

Marca	Supuesta porción fl oz	Contenido Energético kcal	Contenido sodio g	Contenido azúcar g	Tiempo fraguado hr	Retraso fraguado hr
Reference	NA	NA	NA	NA	6.30	-
Coke	12	140	45	39	13.13	6.83
Sprite	12	150	68	38	13.90	7.60
7 UP	12	153	45	38	12.66	6.36
Dr. Pepper	12	150	53	41	12.96	6.66
Mountain Dew	12	165	60	45	14.56	8.26
A&W Root Beer	12	180	83	48	16.23	9.93
Pepsi	12	150	30	41	12.43	6.13

Nota: 1 fl oz = 30 mL; 1 g = 0.04 oz

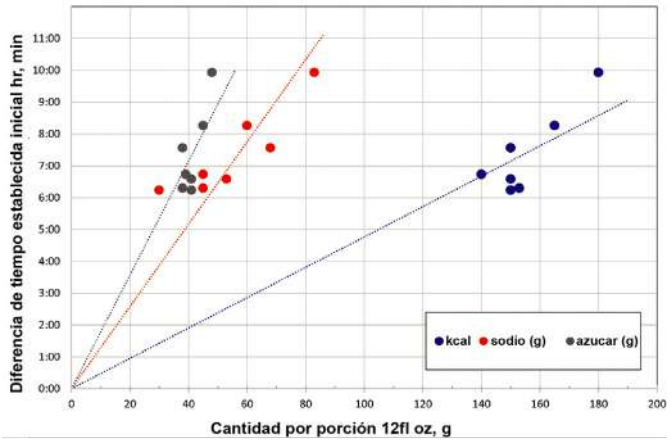


Figura. 5: Configuración de los retrasos en función de los contenidos de energía, sodio y azúcar en una porción de 12 fl oz (355 ml). Nota: 1 g = 0,04 oz

En resumen

Mi investigación fue diseñada para explorar formas de salvar el tambor mezclador en un camión mezclador varado. Según mis escenarios de prueba, los HS son la mejor opción y recomiendo que cada camión mezclador lleve unos cuantos galones de HS en un lugar de fácil acceso en el camión. Sin embargo, incluso la mejor planificación a veces puede salir mal, por lo que los productores también deben tener en cuenta la solución de 2L, simplemente no elegir una versión sin calorías. Entonces, ¡haz girar el tambor y "¡engorda la mezcla!"

Nota: Puede encontrar información adicional sobre las normas de ASTM analizadas en este artículo en www.astm.org.

Seleccionado por el interés del lector por los editores.

Ryan Scott, Es Gerente de Servicios Técnicos, Región Medio Oeste, para GCP Applied Technologies. En 2001, comenzó su carrera en el laboratorio, trabajando en varios tipos de cemento basados en la tecnología de cenizas volantes activadas. Durante los últimos 16 años, Scott ha sido un tipo de "tecnología" tanto en el lado del cemento (Essroc/Lehigh) como en el lado de la mezcla (GCP Applied Technologies). Apasionado por la relevancia histórica, ha impartido conferencias sobre materiales de concreto y mampostería. Sus responsabilidades actuales giran en torno a la resolución de problemas de campo, el diseño de mezclas y la R&D. Scott es un tecnólogo de concreto de nivel IV de NRMCA y maestro prefabricador de NPCA.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noroeste

Título: ¿Qué bebida puede salvar una mezcla?

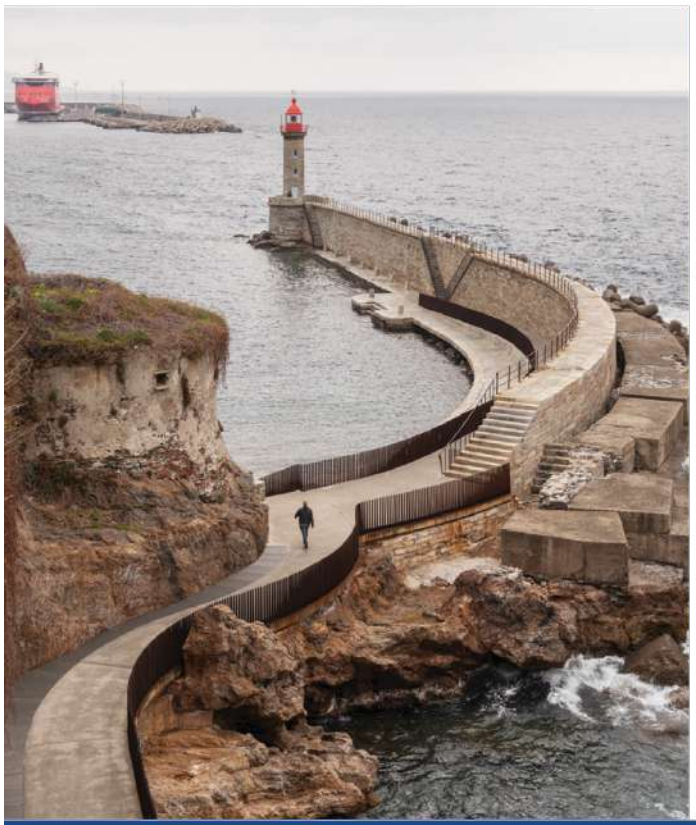
Traductor:
Cristian Silva

Revisor Técnico:
Ing. Genaro Salinas

!Consiga hoy sus boletos!

"Acompáñenos en la Gala 2022 de ACI Excellence in Concrete Awards que celebraremos en Dallas, Texas USA el lunes 24 de octubre de 2022 en el marco de la Convención de Otoño del ACI!"

aci Excellence in Concrete Construction Awards



Boletos en **www.aciconvention.org**

CONCRETO
LATINOAMÉRICA