

Coast-to-Coast Concrete: Exploring Hydration Control for Sustainable Construction Practices

by Mark A. Bury and Carlito Cascone

Concrete in its plastic state is perishable, as hydration (the reaction between cement and water) causes fresh concrete to lose its initial fluidity. The resulting limited working time creates challenges with concrete construction projects, especially those with extended haul times, placement delays, or multi-stage concrete placements. To address these and other challenges, a hydration-controlling admixture (HCA) can be introduced into the concrete mixture at a low dosage to temporarily suspend the hydration process. Additionally, an HCA can be used at higher dosages to keep returned fresh concrete sufficiently fluid to be recycled by combining it with newly batched concrete.

This article provides an overview of an HCA, its use for recycling returned concrete, a system addressing returned concrete process management using innovations in sensors and artificial intelligence (AI), details on a robustness evaluation of stabilization performance in a unique cross-country experiment, and information on the potential for lowering the environmental impacts of concrete production.

Hydration-Controlling (Stabilizing) Admixture

Development of an HCA began in the early twentieth century as admixture scientists sought ways to improve concrete's properties, including extending its workability. Early retarding admixtures provided hydration control, but inconsistencies in performance limited their practical use where precise control was needed for challenging construction projects.

The next generation of retarding admixtures emerged as a potential solution because of their ability to retard concrete setting time. However, these admixtures presented dosing challenges because concrete setting times could vary depending on the type and concentration of the chemistry, as well as the specific concrete mixture. To address the inconsistencies of early retarding admixtures and the

challenges posed to concrete producers in dealing with returned concrete waste from projects, researchers developed a novel HCA that offers a controlled and predictable response.¹ A modern HCA (also known as a hydration-stabilizing admixture [HSA]) can regulate the hydration process more consistently, allowing producers to control concrete's setting properties, thus allowing contractors to build more effectively. An HCA achieves this by slowing or halting the hydration reactions in concrete (stabilizing the concrete or putting the concrete to sleep), providing a controlled delay in setting time without compromising the mixture's strength or durability.

HCAs meeting the performance requirements of ASTM C494/C494M, Type B, retarding, and Type D, water-reducing and retarding admixtures,² have become essential in modern construction. Because these admixtures provide predictable and precise results, they improve efficiency on construction sites by enabling contractors to accurately schedule work.

Reusing Returned Plastic Concrete

It is common for extra concrete to be returned to the producer's plant for disposal. Aggregates can be reclaimed from fresh returned concrete using a recovery plant, fresh returned concrete can be placed in forms to produce precast concrete blocks, or hardened returned concrete can be crushed to produce fill or recycled concrete aggregate, however, these options may not be economical or sustainable. Alternatively, adding an HCA to a returning plastic concrete mixture can preserve this concrete and keep it fresh for subsequent reuse. ASTM 1798/1798M-19, "Standard Specification for Returned Fresh Concrete for Use in a New Batch of Ready-Mixed Concrete,"³ is the relevant industry standard. The basic steps for treating and reusing returned plastic concrete are shown in Fig. 1.

The durability aspects of reusing returned plastic concrete in subsequent composite mixtures have been evaluated,⁴ including testing to assess the susceptibility of the composite concrete to cracking due to drying shrinkage. For example, a concrete testing program was conducted using concrete specimens measuring 3.5 x 3.5 x 40 in. (890 x 890 x 10,160 mm), as shown in Fig. 2. Each specimen contained a 1 in. (25 mm) diameter steel bar running through its center. The bar was pinned at the ends using steel rods for restraint, while the middle two-thirds had a rubber sleeve as a bond breaker, allowing the concrete to shrink freely.

Table 1 summarizes the results of a comparative durability study by Senbetta and Bury⁴ examining the difference between traditional concrete and a combination of recycled, preserved fresh concrete with newly batched fresh concrete at a 33 to 67% ratio, respectively.

The data from this study showed that none of the durability-related parameters were adversely affected by the use of an HCA as part of a treated concrete composite mixture. On the contrary, the compressive strength, performance parameters relevant to corrosion of steel, and susceptibility of concrete to cracking were improved.

Operational Efficiency Using Digitalization Tools

Although the practice of stabilizing returned plastic concrete for reuse has been done for decades, the process has not been without its challenges for producers. Some of these challenges include measuring and monitoring the slump, temperature, and quantity of returned concrete, as well as tracking the mixture proportions. Each of these tasks can be labor-intensive and require significant administrative resources.

Recent developments in concrete sensor technology, AI, and digitization have enabled the development of a relevant

software platform for concrete producers. This new digital tool facilitates the implementation of a returned concrete program using real-time, accurate data with minimal labor requirements, starting as early as the beginning of the truck's return trip to the plant. The innovative platform (MasterAtlas™) has the capabilities of collecting, storing, and sending concrete information, providing admixture dosage suggestions, and providing automated alerts to both dispatch teams and quality control personnel to manage the returned concrete process more easily. Furthermore, the platform has capabilities to document and report information for managing returned concrete business activities and audits, such as profitability enhancements and lowered carbon dioxide (CO₂) emissions values, thereby enhancing operational efficiency and sustainability initiatives. The software platform provides a variety of ways to analyze the data relating to returned concrete and can be customized for the producer's operation based on the desired outputs.

History-Making Experimentation

To further evaluate the performance of an HCA, a unique experiment was initiated to test the limits of cement hydration control. The concept of the experiment was to batch and keep concrete fresh (plastic) for a period of 7 days using an HCA while transporting it across the United States from coast to coast, ultimately recycling it into a fresh concrete composite mixture.

Laboratory Feasibility Study

To prepare for the long-haul experimentation, a lab feasibility study was performed to find out if concrete could be kept fluid for at least a week. The goal was to determine the required dosage of the HCA. The lab study explored innovative concrete mixing techniques and tested three distinct concrete mixtures:

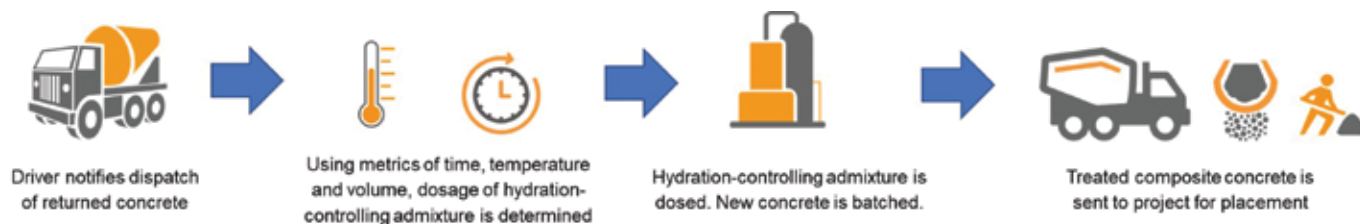


Fig. 1: Steps for treating and reusing returned plastic concrete

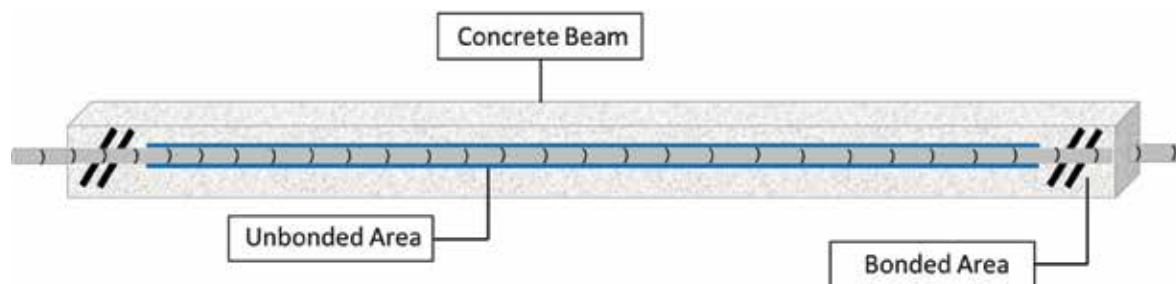


Fig. 2: Sample specimen used in the concrete testing program

- Reference concrete;
- Concrete treated with an HCA; and
- Composite concrete (25% of recycled concrete and 75% of fresh concrete).

The mixture proportions for the lab batches are shown in Table 2. The reference concrete was proportioned as a traditional mixture using Type IL cement. The reference mixture was designed to achieve good workability characterized by a high slump, a moderate concrete set, and strong compressive and flexural strength at 28 days. The second mixture had the same mixture proportions but also contained an HCA for maintaining fluidity for at least a week. The third concrete mixture was a recycled composite mixture comprising 25% stabilized recycled concrete and 75% fresh concrete by mass, which was designed to simulate returned concrete being reused in a new mixture. A unique combination of innovative admixtures was used in the composite mixture to help initiate hydration (“wake up the concrete”) after

being stabilized for 7 days. The admixture combination included the use of a high-range water-reducing admixture, a strength-enhancing admixture,⁵ a nonchloride set-accelerating admixture, and synthetic macrofibers.

The lab results shown in Table 2 highlight several key observations:

Table 1:
Results of a comparative durability study

Performance attribute	Treated concrete relative to reference concrete			Treated concrete comparison
Compressive strength	3 days	7 days	28 days	Better
	+21%	+7%	+6%	
Freezing and thawing	101% of reference			Similar
Hardened air void analysis	Good spacing factors and specific surface			Similar
Long-term corrosion test	Lower corrosion current			Better
Short-term corrosion test	Stable passivation layer			Similar
Abrasion	+5%			Similar
Absorption	–5%			Similar
Permeable void volume	–5%			Similar
Susceptibility to cracking	75% less potential			Better

Table 2:
Laboratory concrete mixture proportions with plastic and hardened concrete properties

Concrete mixture composition and plastic and hardened concrete properties	Reference mixture	1-week hydration-controlled mixture	75% fresh concrete + 25% returned concrete mixture
Type IL cement, lb/yd ³ (kg/m ³)	705 (418)	705 (418)	529 (314)
Coarse aggregate, lb/yd ³ (kg/m ³)	1584 (940)	1583 (939)	1188 (705)
Fine aggregate, lb/yd ³ (kg/m ³)	1296 (769)	1295 (768)	972(577)
Returned concrete, lb/yd ³ (kg/m ³)	—	—	984 (584)
Water, lb/yd ³ (kg/m ³)	353 (209)	353 (209)	264 (157)
Water-reducing admixture, fl oz/cwt (mL/100 kg) cement	1 (0.65)	1 (0.65)	—
Hydration-controlling admixture, fl oz/cwt (mL/100 kg) cement	—	90 (58.5)	—
High-range water-reducing admixture, fl oz/cwt (mL/100 kg) cement	—	—	3 (1.95)
Set accelerating admixture, fl oz/cwt (mL/100 kg) cement	—	—	60 (39)
Strength enhancing admixture, fl oz/cwt (mL/100 kg) cement	—	—	40 (26)
Synthetic fiber, lb/yd ³ (kg/m ³)	—	—	1.5 (0.9)
Slump, in. (mm)	8.75 (222)	9.50 (241)	9.50 (241)
Air content, %	1.6	2.1	1.1
28-day compressive strength, psi (MPa)	6580 (45)	—	7910 (55)
28-day flexural strength, psi (MPa)	530 (4)	—	660 (5)
Initial setting time, hours	3.5	—	7.8
Final setting time, hours	5	—	11.4

- All three mixtures had high workability/slump;
- The use of different combinations of admixtures had minimal effect on the air content of the mixtures;
- The selected HCA at a 90 fl oz (5.85 L/100 kg) dosage could maintain concrete fluidity (freshness) for a week; and
- The composite mixture had a noticeably extended setting time compared to the reference mixture; however, it had much higher compressive and flexural strength performance.

The goal of the lab study to determine the dosage of the selected HCA required for keeping the concrete plastic for 7 days was achieved. The lab study further showed that a composite mixture using a portion of the highly stabilized concrete could still achieve good compressive and flexural strengths. In practice, the use of an additional accelerating admixture could have helped achieve a similar setting time compared to the reference mixture. The appropriate dosage of an accelerator for this purpose is generally achieved by performing a mockup evaluation. The extreme concrete stabilization success in the lab study confirmed that a cross-country trip with fresh concrete is possible if treated with an HCA.

Cross-Country Concrete Transport

The concrete mixture proportions used for the experimental cross-country trip were the same as those used in the 1-week hydration-controlled mixture from the lab study. The 8-day event is summarized in the following:

Day 1

The experiment began in Eastport, ME, USA, the easternmost city in the continental United States, on the Bay of Fundy. The concrete ingredients and mixing equipment were pre-shipped to that location for batching and mixing at a local hotel parking area.

Day 2

A volume of 2 ft³ (0.06 m³) of concrete was mixed at 5:00 a.m., stabilized (put to sleep) with the selected HCA, and loaded into a hybrid SUV for transport across the country to its destination of San Francisco, CA, USA. The concrete was mixed to a fluid consistency of 10 in. (254 mm) spread as measured by a mini-slump cone. After measuring the spread and temperature, eight 5 gal. (18.9 L) pails, each containing 0.25 ft³ (0.007 m³) of concrete, were loaded into the SUV and the 7-day journey began. The initial check of the concrete was a visual inspection of the fluidity at a stop at America's first inn, the Wayside Inn, in Boston, MA, USA. The journey then continued westward. After a 12-hour (total) drive to Seneca Falls, NY, USA, the concrete was still fluid, far exceeding the typical flowing concrete shelf life.

Day 3

An early morning check of the concrete on Day 3 revealed that the concrete was stiffer than expected, perhaps due to settling and particle packing induced by the continuous vibration in the SUV. The concrete was restored to its original, homogeneous,

fluid state by stirring the concrete for approximately 1 minute using a paddle mounted on a battery-driven drill. From this point forward, the concrete was mixed each morning, and the concrete fluidity and temperature measurements were taken. Day 3 of the experiment ended in Portage, IN, USA.

Day 4

On Day 4, the concrete was transported through Chicago, IL, USA, and Madison, WI, USA, finally reaching Mitchell, SD, USA. Along this route, many traffic delays were encountered.

Day 5

The day began with a visit to Mount Rushmore, where stabilized concrete in a pail nicknamed "Concrete Connie" quickly became a second tourist attraction (Fig. 3). Because of the unique face affixed to the pail and after hearing about the experimental trip by the author in real time, visitors took photos with the now famous stabilized concrete. Before the day ended, the concrete was transported for an additional 14 hours to Denver, CO, USA.

Day 6

At 4:00 a.m., the concrete was mixed, and the temperature recorded. The temperature and fluidity measurements revealed hydration was dormant, as the data showed no reaction activity. The cross-country journey resumed with Las Vegas, NV, USA, as the Day 6 destination.

Day 7

The final day of travel had the stabilized concrete visiting Hoover Dam, an iconic landmark for the concrete industry, before ultimately arriving in San Francisco, CA. The concrete was mixed and found to be plastic after 7 days of transporting.

Day 8

The final morning of the experiment began at 5:00 a.m., where the concrete's fluidity was confirmed. A local concrete producer in San Jose, CA, helped evaluate the week-old concrete by treating it like returned stabilized concrete and simulating the recycling process by mixing it with fresh concrete at a 25% recycled concrete and 75% fresh concrete ratio by mass. The proportions of the fresh concrete are shown in Table 3. The fresh concrete, (the "wake-up mixture"), was the same as that used in the lab evaluation but also contained a concrete conditioning admixture (CCA) to help facilitate the workability of the composite mixture.

A CCA is a new class of liquid admixture developed to enhance and expand the robustness of all properties associated with handling fresh concrete. This includes but is not limited to the production, delivery, pumping, placement, consolidation, and finishing of concrete. A CCA will reduce the plastic viscosity of a concrete mixture while maintaining a constant slump (static yield stress value). This reduced viscosity results in mixtures that can be handled with significantly lower expenditure of energy and effort. A CCA



Fig. 3: The pail containing the stabilized concrete was nicknamed “Concrete Connie”

can be used in any concrete mixture but should be a consideration in reusing returned concrete, especially when blending two or more different concrete mixture designs at varying ratios into a single composite mixture.

Table 3:
Proportions of the fresh concrete mixture made with local materials

Concrete mixture made with local materials	Amount
Cement, lb/yd ³ (kg/m ³)	529 (314)
Coarse aggregate, lb/yd ³ (kg/m ³)	1188 (705)
Fine aggregate, lb/yd ³ (kg/m ³)	987 (586)
Water, lb/yd ³ (kg/m ³)	264.5 (157)
Macrofiber, lb/yd ³ (kg/m ³)	1.5 (0.9)
Design air, %	2.5
High-range water-reducing admixture, fl oz/cwt (mL/100 kg)	3 (195)
Accelerator, fl oz/cwt (mL/100 kg)	90 (5870)
Strength-enhancing admixture, fl oz/cwt (mL/100 kg)	7 (455)
Concrete-conditioning admixture, fl oz/cwt (mL/100 kg)	1.5 (98)

Education

RESOURCES

ACI Members receive **FREE** access to all ACI live webinars and 220+ on-demand courses on 55+ unique topics.

UNIVERSITY

To view all access options, visit

ACIUniversity.com

Test cylinders were cast from the composite mixture to evaluate the strength of the concrete. The extended fresh concrete journey aimed to test the limits of hydration control and promote a zero-waste concept for concrete by recycling. Some interesting statistics of the cross-country trip, as well as the route driven, are shown in Fig. 4. Visit <https://master-builders-solutions.com/en-us/news/blog/concrete-riding-shotgun/> for more details about the trip.

Test Results

The slump and temperature measurements of the concrete, taken daily throughout the experimental trip, were measured using a mini slump cone and a digital thermometer. The values are plotted in Fig. 5. The results indicate that the slump of concrete can be maintained for an extended period. In addition, the minimal change in concrete temperature also indicated that hydration is controlled.

At 90 days after batching, the average compressive strength of the composite concrete was measured at 10,890 psi (75.1 MPa).

The transportation of fresh concrete over 7 days and 4295 miles (6912 km) has likely never been done before and has undoubtedly set a record for testing the limits of hydration control. Real-world requirements for maintaining fresh concrete would fall well under this parameter.

Sustainable Practices

Reusing returned plastic concrete as part of a new composite mixture has a positive, sustainable impact by reducing the need for fresh concrete production. This reduction has a two-fold effect: lowering CO₂ emissions by requiring less virgin concrete and potentially extending the service life of structures due to enhanced durability. Additionally, composite mixtures using recycled concrete can be optimized for economics and performance using statistical techniques described by Luciano and Bobrowski.⁶ An example

of the potential CO₂ emissions savings for different annual plant production volumes, assuming the reuse of a 4% returned concrete, is shown in Table 4. These values are calculated based on a typical 4000 psi (27.6 MPa) concrete mixture (includes CO₂ emissions from transporting materials) and will vary based in the actual strength, mixture design, and region. The values provided are indicative of potential savings. In addition to CO₂ emissions savings, Table 5 also shows the potential volume of returned concrete that can be diverted from landfills through recycling.

Concluding Remarks

The successful completion of the cross-country trip with fluid concrete demonstrates the robust effectiveness of the tested HCA in extending the plastic state of concrete. Maintaining constant slump and temperature values throughout the trip confirmed minimal, if any, hydration activity within the concrete mixture.

This experiment has significant implications for the construction industry. By predictably extending concrete workability, an HCA can:

- Facilitate extended transportation times—The ability to keep concrete fluid for longer durations allows for transportation over greater distances without compromising its usability;
- Manage delays in placement—Construction schedules affected by



Fig. 4: Journey statistics and the driven route

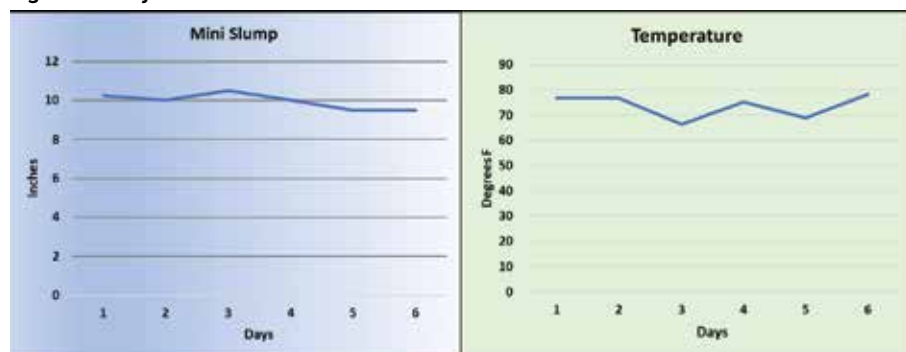


Fig. 5: Slump and temperature of stabilized concrete measured during its trip across the United States

weather, mechanical breakdowns, or other events can benefit from the flexibility offered by controlling hydration for concrete placement;

- Minimize concrete waste—Leftover (returned) concrete from a project can be preserved using an HCA and reused in other projects; and
- Enhance sustainable construction practices—Reusing returned concrete will not only keep material from entering landfills but reduce overall CO₂ emissions by minimizing the need for producing additional virgin concrete.

The possibilities offered by hydration control, set-control, strength-enhancing, and concrete-conditioning admixtures have contributed valuable insights for future research, provided solutions for challenging construction obstacles, and facilitated the development and use of sustainable practices.

Acknowledgments

The authors would like to thank John Luciano, Greg Guecia, Maria Navarro, and the lab team of Master Builders Solutions for their assistance in developing and testing the concrete mixtures. The authors would also like to thank Alana Guzzetta and her team from Vulcan Materials Company's National Research Lab in San Jose, CA, USA, for their assistance in evaluating the concrete post cross-country trip.

References

1. Bobrowski, G., and Bury, M.A., "Novel Approach for Controlling Cement Hydration and Its Applications," *Construcción y Tecnología*, 1990, pp. 15-21.
2. ASTM C494/C494M-24, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 15 pp.
3. ASTM C1798/1798M-19, "Standard Specification for Returned Fresh Concrete for Use in a New Batch of Ready-Mixed Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 3 pp.
4. Senbetta, E., and Bury, M.A., "Controlled Cement Hydration: Its Effect on Durability of Concrete," SP-131: *Durability of Concrete—G.M. Idorn International Symposium*, Jens Holm and Mette Geiker, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, Mar. 1992, pp. 179-194.
5. Grissom, T., "Dealing with Type IL Cement Challenges?—Nanoparticle-Based Admixtures," *Concrete International*, V. 46, No. 1, Jan. 2024, pp. 53-55.
6. Luciano, J.J., and Bobrowski, G.S., "Using Statistical Methods to Optimize High-Strength Concrete Performance," *Transportation Research Record*, No. 1284, 1990, pp. 60-69.

Selected for reader interest by the editors.

Table 4:

Potential CO₂ emissions savings for different annual plant production volumes (assuming reuse of 4% returned concrete)

	Annual returned concrete at 4%					
Annual production, yd ³	60,000	50,000	40,000	30,000	20,000	10,000
Returned concrete, yd ³	2400	2000	1600	1200	800	400
Annual CO ₂ emissions savings, lb	1,619,352	1,349,460	1,079,568	809,676	539,784	269,892

Note: 1 yd³ = 0.76 m³; 1 lb = 0.45 kg

Table 5:

Potential CO₂ emissions savings for different fresh to recycled concrete ratios

	Fresh to recycled concrete ratio				
	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50
CO ₂ emissions savings, lb/10 yd ³ (kg/7.65 m ³) truck	675 (306)	1349 (612)	2024 (918)	2699 (1224)	3374 (1530)



Mark A. Bury, FACI, is a Product Manager with Master Builders Solutions with 44 years of concrete experience. He has degrees in applied science and business marketing. Bury is an Honorary Member of ASTM Committee C09, Concrete and Concrete Aggregates. He is the recent past Chair of ASTM Subcommittee C09.47, Self-

Consolidating Concrete, and current task group Chair of ASTM Subcommittee C09.23, Section 3, Chemical Admixtures. Bury has multiple patents on durability-related admixtures for concrete, has published numerous papers on concrete and admixture technology, and was involved in the unique experimentation on concrete in outer space aboard the space shuttle Endeavour.



ACI member **Carlito Cascone** is an Engineering Scientist with Master Builder Solutions, Beachwood, OH, USA. He has been in the research and development community for 4 years. Cascone received his training in biology and chemistry from Hiram College, Hiram, OH. His research interests include microbial induced corrosion of

concrete, macro cell corrosion, nano materials, and astrocrete. He is a member of ACI Committees 211, Proportioning Concrete Mixtures; 222, Corrosion of Metals in Concrete; 231, Properties of Concrete at Early Ages; and 309, Consolidation of Concrete; as well as a member of ACI Subcommittees 201-K, Biogenic Attack; and 241-A, The Application and Implementation of Nano-Engineered Concrete.

Concreto de costa a costa: exploración del control de la hidratación para prácticas de construcción sostenibles

Por Mark A. Bury y Carlito Cascone

El hormigón en su estado plástico es perecedero, ya que la hidratación (la reacción entre el cemento y el agua) hace que el hormigón fresco pierda su fluidez inicial. El resultado de tiempo de trabajo limitado crea desafíos con los proyectos de construcción de concreto, especialmente aquellos con tiempos de transporte prolongados, retrasos en la colocación o colocaciones de concreto en varias etapas. Para abordar estos y otros desafíos, se puede incluir un aditivo controlador de hidratación (HCA) en la mezcla de concreto en una dosis baja para suspender temporalmente el proceso de hidratación. Además, se puede usar un HCA en dosis más altas para mantener el concreto fresco devuelto lo suficientemente fluido como para reciclarlo combinándolo con concreto recién dosificado.

Este artículo proporciona una descripción general de un aditivo controlador de hidratación (HCA), su uso para reciclar concreto devuelto, un sistema que aborda la gestión del proceso de concreto devuelto utilizando innovaciones en sensores e inteligencia artificial (IA), detalles sobre una sólida evaluación del comportamiento de la estabilización, en un experimento único en todo el país, así como información sobre el potencial para reducir los impactos ambientales de la producción de concreto.

Aditivo Controlador de Hidratación (Estabilizador)

El desarrollo de estos aditivos comenzó a principios del siglo XX cuando los científicos buscaban formas de mejorar las propiedades del concreto, incluida la ampliación de su trabajabilidad. Los primeros aditivos retardantes proporcionaron control de la hidratación, pero las inconsistencias en el rendimiento limitaron su uso práctico allí donde se necesitaba un control preciso para proyectos de construcción desafiantes.

La siguiente generación de aditivos retardantes surgió como una solución potencial, debido a su capacidad para retardar el tiempo de fraguado del concreto. Sin embargo, estos aditivos presentaban retos para su dosificación porque los tiempos de fraguado del concreto podían variar dependiendo del tipo y la concentración de la química, así como de la mezcla de concreto específica. Para abordar las inconsistencias de los aditivos retardantes tempranos y los problemas que enfrentan los productores de concreto al lidiar con los desechos de concreto devueltos de los proyectos, los investigadores desarrollaron un novedoso HCA que ofrece una respuesta controlada y predecible¹. Un HCA moderno (también conocido como aditivo estabilizador de hidratación [HSA]) puede regular el proceso de hidratación de manera más consistente, permitiendo a los productores controlar las propiedades de fraguado del concreto, y a los contratistas construir de manera más efectiva. Un HCA logra esto retardando o deteniendo las reacciones de hidratación en el concreto (estabilizando el concreto o poniéndolo a dormir), proporcionando un retraso controlado en el tiempo de fraguado sin comprometer la resistencia o durabilidad de la mezcla.

Los aditivos controladores de hidratación que cumplen con los requisitos de rendimiento de la norma ASTM C494/C494M, Tipo B, retardantes, y Tipo D, reductores de agua y retardantes², se han vuelto esenciales en la construcción moderna, ya que estos aditivos ofrecen resultados predecibles y precisos, mejorando la eficiencia en los sitios de construcción al permitir que los contratistas programen el trabajo de manera más precisa.

Reutilización del Concreto Plástico Devuelto

Es común que el concreto sobrante se devuelva a la planta del productor para su eliminación. Los agregados usados en ese concreto fresco devuelto pueden ser recuperados mediante una planta de reciclaje de agregados; el concreto fresco devuelto se puede colocar en moldes para producir bloques de concreto prefabricados, o el concreto devuelto endurecido se puede triturar para producir relleno o agregado de concreto reciclado, sin embargo, estas opciones pueden no ser económicas o ambientalmente sustentables. Alternativamente, agregar un HCA a una mezcla de concreto plástico que regrese a la planta puede preservar este concreto y mantenerlo fresco para su posterior reutilización. ASTM 1798/1798M-19, "Especificación estándar para productos devueltos concreto fresco

para uso en un nuevo lote de concreto premezclado³, es una norma relevante de la industria. Los pasos básicos para tratar y reutilizar el concreto plástico devuelto se muestran en la Fig. 1.

Los aspectos de durabilidad por la reutilización de concreto plástico devuelto en mezclas compuestas posteriores,⁴ han sido evaluados, incluidas pruebas para valorar la susceptibilidad del concreto compuesto al agrietamiento debido a la contracción por secado. Por ejemplo, se llevó a cabo un programa de pruebas de concreto utilizando muestras de concreto que medían 3.5 x 3.5 x 40 pulgadas (890 x 890 x 10,160 mm), como se muestra en la Fig. 2. Cada muestra contenía una barra de acero de 1 pulgada (25 mm) de diámetro recorriendo su centro. La barra estaba sujeta por sus extremos usando varillas de acero para sujetarla, mientras que los dos tercios centrales de la misma, tenían una funda de goma como rompedor de adherencia, permitiendo que el concreto se contrajera libremente.

La Tabla 1 resume los resultados de un estudio de durabilidad comparativo realizado por Senbetta y Bury⁴ que examina la diferencia entre el concreto tradicional y una combinación de concreto fresco preservado reciclado con concreto fresco recién dosificado en una proporción de 33 a 67 %, respectivamente.

Los datos de este estudio mostraron que ninguno de los parámetros relacionados con la durabilidad se vio afectado negativamente por el uso de un HCA como parte de una mezcla compuesta de concreto tratado. Por el contrario, se mejoraron la resistencia a la compresión, los parámetros de rendimiento relevantes a la corrosión del acero y la susceptibilidad del concreto al agrietamiento.

Eficiencia Operativa Mediante Herramientas de Digitalización

Aunque la práctica de estabilizar el hormigón plástico devuelto para su reutilización se ha realizado durante décadas, el proceso no ha estado exento de desafíos para los productores. Algunos de estos desafíos incluyen medir y monitorear el asentamiento, la temperatura y la cantidad de concreto devuelto, así como también el seguimiento de las proporciones de la mezcla. Cada una de estas tareas puede requerir mucha mano de obra y recursos administrativos significativos.

Los avances recientes en la tecnología de sensores de hormigón, la inteligencia artificial y la digitalización han permitido el desarrollo de una plataforma de software útil para los productores de concreto premezclado. Esta nueva herramienta digital facilita la implementación de un programa de devolución de concreto utilizando datos precisos en tiempo real, con requisitos mínimos de mano de obra y comenzando desde el inicio del viaje de regreso del camión a la planta.

La innovadora plataforma (MasterAtlas™) tiene la capacidad de recopilar, almacenar y enviar información del concreto, brindar sugerencias de dosificación de aditivos y alertas automatizadas tanto a los equipos de despacho como al personal de control de calidad para administrar el proceso de retorno del concreto más fácilmente. Además, la plataforma tiene capacidad de documentar y reportar información para gestionar auditorías y actividades comerciales de concreto devuelto, así como mejoras de rentabilidad y valores reducidos de emisiones de



Fig. 1: Pasos para tratar y reutilizar el concreto plástico devuelto

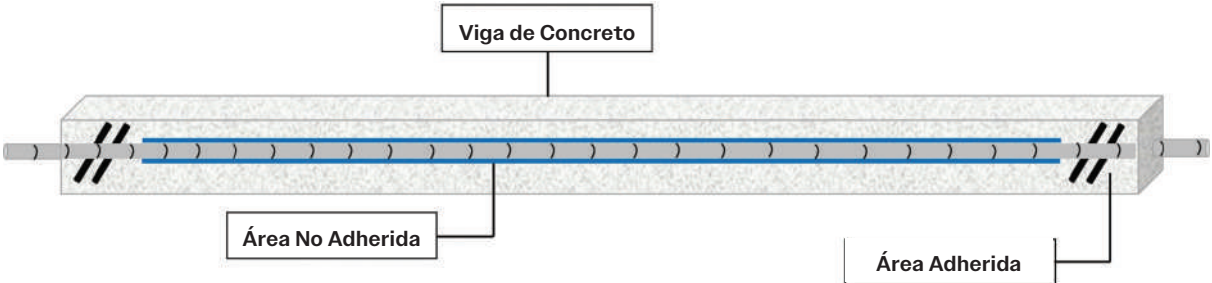


Fig. 2: Especimen de muestra utilizado en el programa de pruebas de concreto

dióxido de carbono (CO₂), mejorando así la eficiencia operativa y las iniciativas de sustentabilidad. La plataforma de software proporciona una variedad de formas de analizar los datos relacionados con el concreto devuelto y puede personalizarse para la operación del productor en función de los resultados deseados.

Experimentación que hace Historia

Para evaluar más a fondo el rendimiento de un HCA, se inició un experimento único para probar los límites del control de hidratación del cemento. El concepto del experimento era dosificar y mantener concreto fresco (plástico) durante un período de 7 días usando un HCA mientras lo transportaba a través de los Estados Unidos de costa a costa, y finalmente reciclarlo en una mezcla compuesta de concreto fresco.

Estudio de Viabilidad de Laboratorio

Para prepararse para la experimentación a largo plazo, se realizó un estudio de viabilidad en laboratorio para descubrir si el hormigón podría mantenerse fluido durante al menos una semana. El objetivo era determinar la dosis necesaria de HCA. El estudio de laboratorio exploró técnicas innovadoras de mezcla de concreto y probó tres mezclas de concreto distintas:

- Concreto de referencia
- Concreto tratado con un HCA
- Concreto compuesto (25% de concreto reciclado y 75% de concreto fresco)

Las proporciones de mezcla para los lotes producidos en el laboratorio se muestran en la Tabla 2. El concreto de referencia se diseñó como una mezcla tradicional utilizando cemento Tipo II. Esta mezcla se formuló para lograr buena trabajabilidad, caracterizada por un asentamiento o revenimiento alto, un fraguado moderado y alta resistencia a compresión y flexión a los 28 días. La segunda mezcla tuvo las mismas proporciones, pero incluyó un HCA para mantener la fluidez del concreto por al menos una semana. La tercera mezcla fue una mezcla compuesta reciclada, compuesta por un 25% de concreto reciclado estabilizado y un 75% de concreto fresco por masa, diseñada para simular concreto devuelto que se reutiliza en una nueva mezcla. Se utilizó una combinación única de aditivos innovadores en la mezcla compuesta para ayudar a iniciar la hidratación (“despertar el concreto”) después de haber sido estabilizado durante 7 días. La combinación de aditivos incluyó: un aditivo reductor de agua de alto rango, un aditivo potenciador de resistencia⁵, un aditivo acelerador de fraguado libre de cloruros, y macro fibras sintéticas. Los resultados de laboratorio mostrados en la Tabla 2 destacan varias observaciones clave:

- Las tres mezclas presentaron alta trabajabilidad/asentamiento.
- El uso de diferentes combinaciones de aditivos tuvo un efecto mínimo en el contenido de aire de las mezclas.
- El HCA seleccionado, en una dosificación de 90 fl oz (5.85 L/100 kg), pudo mantener la fluidez (frescura) del concreto durante una semana.
- La mezcla compuesta presentó un tiempo de fraguado notablemente extendido en

Tabla 1:
Resultados de un estudio comparativo de durabilidad

Atributo de desempeño	Concreto tratado en relación al concreto de referencia			Comparación del concreto tratado
Resistencia a compresión	3 días	7 días	28 días	Mejor
	+21%	+7%	+6%	
Ciclo de congelación y descongelación	101% del de referencia			Similar
Análisis de vacíos de aire endurecidos	Factores de espaciamiento y superficie específica adecuados			Similar
Prueba de corrosión a largo plazo	Corriente de corrosión más baja			Mejor
Prueba de corrosión a corto plazo	Capa de pasivación estable			Similar
Abrasión	+5%			Similar
Absorción	-5%			Similar
Volumen de vacíos permeables	-5%			Similar
Susceptibilidad al agrietamiento	75% menos potencial			Mejor

comparación con la mezcla de referencia; sin embargo, mostró un desempeño mucho mayor en resistencia a compresión y flexión.

El objetivo del estudio de laboratorio, para determinar la dosis del HCA necesario para mantener el concreto plástico durante 7 días, se logró. Además, el estudio demostró que una mezcla compuesta con una porción de concreto altamente estabilizado aún puede alcanzar buenas resistencias a compresión y flexión. En la práctica, el uso de un aditivo acelerador adicional podría haber ayudado a lograr un tiempo de fraguado similar al de la mezcla de referencia. La dosificación adecuada de un acelerador para este propósito generalmente se determina mediante una evaluación preliminar. El éxito en esta extrema estabilización del concreto realizada en el laboratorio confirmó que un viaje de larga distancia con concreto fresco es posible si se trata con un HCA.

Transporte de Concreto a campo traviesa

Las proporciones de la mezcla de concreto utilizadas para el viaje experimental a través del país fueron las mismas que las utilizadas en la mezcla de hidratación controlada de 1 semana del estudio de laboratorio. El evento de 8 días se resume en lo siguiente:

Tabla 2: Proporciones de mezcla de concreto de laboratorio con propiedades en estado fresco y endurecido

Composición de la mezcla de concreto y propiedades en estado fresco y endurecido	Mezcla de referencia	Mezcla con hidratación controlada de 1 semana	Mezcla con 75% de concreto fresco + 25% de concreto devuelto
Cemento Tipo IL, lb/yd ³ (kg/m ³)	705 (418)	705 (418)	529 (314)
Agregado grueso, lb/yd ³ (kg/m ³)	1,584 (940)	1,583 (939)	1,188 (705)
Agregado fino, lb/yd ³ (kg/m ³)	1,296 (769)	1,295 (768)	972(577)
Concreto devuelto, lb/yd ³ (kg/m ³)	—	—	984 (584)
Agua, lb/yd ³ (kg/m ³)	353 (209)	353 (209)	264 (157)
Aditivo reductor de agua, fl oz/cwt (mL/100 kg) de cemento	1 (0.65)	1 (0.65)	—
Aditivo controlador de hidratación, fl oz/cwt (mL/100 kg) de cemento	—	90 (58.5)	—
Aditivo reductor de agua de alto rango, fl oz/cwt (mL/100 kg) de cemento	—	—	3 (1.95)
Aditivo acelerante de fraguado, fl oz/cwt (mL/100 kg) cement	—	—	60 (39)
Aditivo potenciador de resistencia, fl oz/cwt (mL/100 kg) cement	—	—	40 (26)
Fibra sintética, lb/yd ³ (kg/m ³)	—	—	1.5 (0.9)
Asentamiento, in. (mm)	8.75 (222)	9.50 (241)	9.50 (241)
Contenido de aire, %	1.6	2.1	1.1
Resistencia a compresión a 28 días, psi (MPa)	6,580 (45)	—	7,910 (55)
Resistencia a flexión a 28 días, psi (MPa)	530 (4)	—	660 (5)
Tiempo inicial de fraguado, horas	3.5	—	7.8
Tiempo final de fraguado, horas	5	—	11.4

Día 1

El experimento comenzó en Eastport, ME, EE. UU., la ciudad más al oriente en los Estados Unidos continentales, en la Bahía de Fundy. Los ingredientes del concreto y el equipo de dosificación y mezclado se enviaron previamente a ese lugar para su dosificación y mezcla en el área de estacionamiento de un hotel local.

Día 2

Se mezcló un volumen de 0,06 m³ (2 pies cúbicos) de concreto a las 5:00 a. m., se estabilizó (se puso a dormir) con el HCA seleccionado y se cargó en un SUV híbrido para transportarlo por todo el país hasta su destino en San Francisco, CA. EE.UU. El concreto se mezcló hasta obtener una consistencia fluida de 10 pulgadas (254 mm) de extensión, medida con un mini cono de asentamiento. Después de medir la extensión y la temperatura, se cargaron en la camioneta SUV ocho contenedores de 5 gal (18.9 L) cada uno. Cada contenedor contenía 0.007 m³ (0.25 pies³) de concreto; y comenzó el viaje de 7 días. La comprobación inicial del hormigón fue una inspección visual de la fluidez en una parada en la primera posada de Estados Unidos, el Wayside Inn, en Boston, MA, EE. UU. Luego el viaje continuó hacia el oeste. Después de un viaje de 12 horas (en total) hasta Seneca Falls, Nueva York, EE. UU., el concreto todavía estaba fluido, superando con creces la vida útil típica del concreto fluido.

Día 3

Al revisar el concreto temprano en la mañana el Día 3 se encontró que el concreto estaba más rígido de lo esperado, posiblemente debido al asentamiento y al empaquetamiento de partículas inducido por la vibración continua en la camioneta SUV. El concreto se restauró a su estado fluido, homogéneo y original agitando el hormigón durante aproximadamente 1 minuto utilizando una paleta montada en un taladro accionado por batería. A partir de este momento, el concreto se mezcló cada mañana y se tomaron las medidas de fluidez y temperatura. El día 3 del experimento terminó en Portage, IN, EE. UU.

Día 4

El día 4, el concreto fue transportado a través de Chicago, IL, EE.UU., y Madison, WI, EE.UU., llegando finalmente a Mitchell, SD, EE.UU. A lo largo de esta ruta se produjeron numerosos retrasos causados por el tráfico.

Día 5

El día comenzó con una visita al Monte Rushmore, donde el concreto estabilizado en un cubo apodado “Concrete Connie” rápidamente se convirtió en una segunda atracción turística (Fig. 3). Gracias a la cara única del cubo y después de conocer en tiempo real el viaje experimental del autor, los visitantes se fotografiaron con el ya famoso concreto estabilizado. Antes de que terminara el día, el concreto fue transportado durante 14 horas más llegando a Denver, CO, EE. UU.

Día 6

A las 4:00 a.m. se mezcló el concreto y se registró la temperatura. Las mediciones de temperatura y fluidez revelaron que la hidratación estaba latente, ya que los datos no mostraron actividad de reacción. El viaje a través del país se reanudó con Las Vegas, NV, EE. UU., como destino para este día 6.

Día 7

El último día de viaje para el concreto estabilizado, se visitó la presa Hoover, un hito icónico para la industria del concreto, para después llegar finalmente a San Francisco, CA. El concreto se mezcló y se encontró que era plástico después de 7 días de transporte.

Día 8

La última mañana del experimento comenzó a las 5:00 a.m., donde se confirmó la fluidez del concreto. Un productor de concreto local en San José, CA, ayudó a evaluar el concreto de una semana tratándolo como concreto estabilizado devuelto

y simulando el proceso de reciclaje mezclándolo con concreto fresco en una proporción de 25% de concreto reciclado y 75% de concreto fresco en masa. Las proporciones del concreto fresco se muestran en la Tabla 3. El concreto fresco (la “mezcla de activación”) era el mismo que se usó en la evaluación de laboratorio pero también contenía un aditivo acondicionador de concreto (CCA) para ayudar a facilitar la trabajabilidad de la mezcla compuesta.

Un CCA es una nueva clase de aditivo líquido desarrollado para mejorar y ampliar la robustez de todas las propiedades asociadas con el manejo de concreto fresco. Esto incluye, entre otros, la producción, entrega, bombeo, colocación, consolidación y acabado de concreto. Un CCA reducirá la viscosidad plástica de una mezcla de concreto mientras mantiene un asentamiento constante (valor de límite elástico estático). Esta viscosidad reducida da como resultado mezclas que se pueden manipular con un gasto de energía y esfuerzo significativamente menor. Un ACC se puede utilizar en cualquier mezcla de concreto, pero debe considerarse especialmente al reutilizar concreto devuelto, particularmente cuando se combinan dos o más diseños de mezcla de concreto en diferentes proporciones para formar una sola mezcla compuesta.

Tabla 3:
Proporciones de la mezcla de concreto fresco elaborada con materiales locales

Material de la mezcla de concreto con materiales locales	Cantidad
Cemento, lb/yd ³ (kg/m ³)	529 (314)
Agregado grueso, lb/yd ³ (kg/m ³)	1,188 (705)
Agregado fino, lb/yd ³ (kg/m ³)	987 (586)
Agua, lb/yd ³ (kg/m ³)	264.5 (157)
Macrofibra, lb/yd ³ (kg/m ³)	1.5 (0.9)
Aire diseñado, %	2.5
Aditivo reductor de agua de alto rango, fl oz/cwt (mL/100 kg)	3 (195)
Acelerante, fl oz/cwt (mL/100 kg)	90 (5,870)
Aditivo para mejorar resistencia, fl oz/cwt (mL/100 kg)	7 (455)
Aditivo para acondicionamiento de concreto, fl oz/cwt (mL/100 kg)	1.5 (98)

Se fabricaron cilindros de prueba a partir de la mezcla compuesta para evaluar la resistencia del concreto. El viaje ampliado del concreto fresco tenía como objetivo poner a prueba los límites del control de la hidratación y promover un concepto de residuo cero para el concreto mediante el reciclaje. En la Fig. 4 se muestran algunas estadísticas interesantes del viaje a través del país, así como de la ruta recorrida.

Visite <https://master-builders-solutions.com/en-us/news/blog/concrete-riding-shotgun/> para obtener más detalles sobre el viaje.

Resultados de la prueba

Las mediciones de asentamiento y temperatura del concreto tomadas diariamente durante todo el viaje experimental, se realizaron utilizando un mini cono de asentamiento y un termómetro digital. Los valores se representan en la Fig. 5. Los resultados indican que el asentamiento del concreto se puede mantener durante un período prolongado. Además, el cambio mínimo en la temperatura del concreto también indicó que la hidratación está controlada.

90 días después del procesamiento por lotes, la resistencia a la compresión promedio del concreto compuesto se midió en 10,890 psi (75.1 MPa). El transporte de concreto fresco durante 7 días y 4,295 millas (6,912 km) probablemente nunca se haya realizado antes y, sin duda, ha establecido un récord para probar los límites del control de hidratación. Los requisitos del mundo real para mantener el concreto fresco estarían muy por debajo de este parámetro.

Prácticas Sostenibles

La reutilización del concreto fresco devuelto como parte de una nueva mezcla compuesta tiene un impacto positivo y sostenible al reducir

la necesidad de producción de hormigón fresco. Esta reducción tiene un doble efecto: reducir las emisiones de CO₂ al requerir menos hormigón virgen y extender potencialmente la vida útil de las estructuras debido a una mayor durabilidad. Además, las mezclas compuestas que utilizan hormigón reciclado se pueden optimizar en términos económicos y de rendimiento utilizando técnicas estadísticas descritas por Luciano y Bobrowski⁶. Un ejemplo de los posibles ahorros en emisiones de CO₂ para diferentes volúmenes de producción anual de plantas, asumiendo la reutilización de un 4% de concreto devuelto, se muestra en la Tabla 4. Estos valores se calculan con base en una mezcla típica de concreto de 4,000 psi (27.6 MPa) (incluye las emisiones de CO₂ por el transporte de materiales) y variarán según la resistencia real, el diseño de la mezcla y la región. Los valores proporcionados son indicativos de los posibles ahorros. Además de los ahorros en emisiones de CO₂, la Tabla 5 también muestra el volumen potencial de concreto devuelto que se puede desviar de los vertederos mediante el reciclaje.

Comentarios finales

La exitosa finalización del viaje a través del país con concreto fluido demuestra la robusta efectividad del HCA probado para extender el estado plástico del concreto. El mantenimiento constante de los valores de revenimiento y temperatura a lo largo del viaje confirmó una actividad de hidratación mínima, si es que hubo alguna, dentro de la mezcla de concreto.

Este experimento tiene importantes implicaciones para la industria de la construcción. Al extender de manera predecible la trabajabilidad del concreto, un HCA puede:



Fig. 3: El cubo que contenía el concreto estabilizado fue apodado “Connie Concreto”

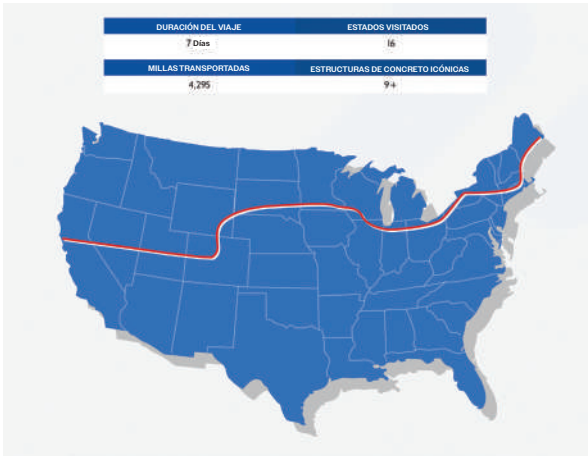


Fig. 4: Estadísticas del viaje y la ruta recorrida

- Facilite tiempos de transporte prolongados: la capacidad de mantener el concreto fluido durante períodos más prolongados permite el transporte a mayores distancias sin comprometer sus características finales;
- Gestionar los retrasos en la colocación: los horarios de construcción afectados por el clima, fallos mecánicos u otros eventos pueden beneficiarse de la flexibilidad que ofrece el control de la hidratación para la colocación del concreto.
- Minimizar el desperdicio de concreto: sobrantes de concreto (y concreto devuelto) de un proyecto se pueden conservar mediante un HCA y reutilizarse en otros proyectos; y
- Mejorar las prácticas de construcción sostenible: la reutilización del hormigón devuelto no sólo evitará que el material entre en los vertederos, sino que también reducirá las emisiones generales de CO₂ al minimizar la necesidad de producir concreto adicional.

Las posibilidades que ofrecen los aditivos de control de hidratación, control de fraguado, mejoradores de resistencia y acondicionamiento del concreto han aportado conocimientos valiosos para futuras investigaciones, proporcionado soluciones para obstáculos retadores en la construcción y facilitando el uso de prácticas sustentables.

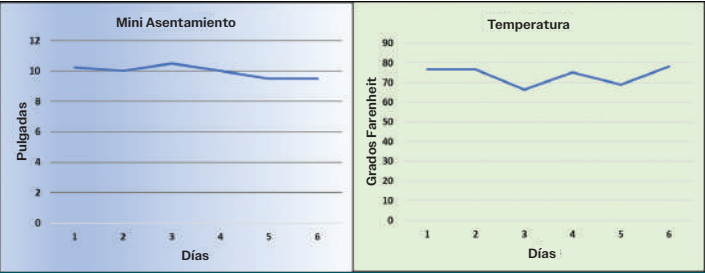


Fig. 5: Asentamiento (Revenimiento) y temperatura del concreto estabilizado medidos durante su viaje a través de los Estados Unidos

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a John Luciano, Greg Guecia, María Navarro y al equipo de laboratorio de Master Builders Solutions por su ayuda en el desarrollo y prueba de las mezclas de concreto. Los autores también desean agradecer a Alana Guzzetta y su equipo del Laboratorio Nacional de Investigación de Vulcan Materials Company en San José, CA, EE. UU., por su ayuda en la evaluación del viaje concreto posterior a campo traviesa.

Referencias

1. Bobrowski, G. y Bury, M.A., “Novel Approach for Controlling Hidratación del cemento y sus aplicaciones”, Construcción y Tecnología, 1990, págs. 15-21.
2. ASTM C494/C494M-24, “Especificación estándar para aditivos químicos para concreto”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 15 págs.
3. ASTM C1798/1798M-19, “Especificación estándar para productos devueltos de concreto fresco para uso en un nuevo lote de concreto premezclado”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 3 págs.
4. Senbetta, E. y Bury, M.A., “Hidratación controlada del cemento: Su efecto sobre la durabilidad del concreto”, SP-131: Durabilidad del concreto—G.M. Simposio Internacional Idorn, Jens Holm y Mette Geiker, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, marzo de 1992, págs. 179-194.
5. Grissom, T., “¿Cómo afrontar los desafíos del cemento tipo IL?—Aditivos basados en nanopartículas”, Concrete International, V. 46, No. 1, enero de 2024, págs. 53-55.
6. Luciano, J.J. y Bobrowski, G.S., “Using Statistical Methods to Optimize High-Strength Concrete Performance”, Transportation Research Record, No. 1284, 1990, págs. 60-69.

Tabla 4: Potenciales ahorros de emisiones de CO₂ para diferentes volúmenes de producción anual de la planta (asumiendo la reutilización del 4% del concreto devuelto)

	Concreto devuelto anual del 4%					
Producción anual, yd ³	60,000	50,000	40,000	30,000	20,000	10,000
Concreto devuelto anual, yd ³	2,400	2,000	1,600	1,200	800	400
Ahorro anual de emisiones de CO ₂ , lb	1,619,352	1,349,460	1,079,568	809,676	539,784	269,892

Nota: 1 yd3 = 0.76 m3; 1 lb = 0.45 kg

Tabla 5: Potenciales ahorros de emisiones de CO₂ para diferentes proporciones de concreto fresco y reciclado

	Relación entre concreto fresco y reciclado				
	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50
Ahorro de emisiones de CO ₂ , lb/10 yd ³ (kg/7.65 m ³)	675 (306)	1,349 (612)	2,024 (918)	2,699 (1224)	3,374 (1,530)

Mark A. Bury, FACI, es Gerente de Producto en Master Builders Solutions con 44 años de experiencia en concreto. Posee títulos en ciencias aplicadas y mercadeo empresarial. Bury es Miembro Honorario del Comité C09 de ASTM, Concreto y Agregados para Concreto. Fue Presidente reciente del Subcomité C09.47 de ASTM, Concreto Autocompactante, y es actualmente Presidente del grupo de trabajo del Subcomité C09.23, Sección 3, Aditivos Químicos. Bury tiene múltiples patentes relacionadas con aditivos para la durabilidad del concreto, ha publicado numerosos artículos sobre tecnología del concreto y aditivos, y participó en experimentos únicos sobre concreto en el espacio a bordo del transbordador espacial Endeavour.



Carlito Cascone, miembro de ACI, es Científico de Ingeniería en Master Builders Solutions, Beachwood, OH, EE. UU. Lleva 4 años en la comunidad de investigación y desarrollo. Cascone se formó en biología y química en Hiram College, Hiram, OH. Sus intereses de investigación incluyen la corrosión inducida por microorganismos en concreto, la corrosión por macrocelda, los nanomateriales y astroconcreto. Es miembro de los Comités del ACI 211, Proporción de Mezclas de Concreto; 222, Corrosión de Metales en Concreto; 231, Propiedades del Concreto en Edades Tempranas; y 309, Consolidación del Concreto; además de ser miembro de los Subcomités del ACI 201-K, Ataque Biogénico; y 241-A, Aplicación e Implementación de Concreto Nanoingenierizado.



Título original en inglés:
**Coast-to-Coast Concrete:
Exploring Hydration Control
for Sustainable
Construction Practices**

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo Ecuador**



Traductor:
**Ing. Jorge
Campoverde**



Revisor Técnico:
**Ing. Santiago Velez
Guayasamín, MSc
DIC**