

Strategies for Obtaining Low-Carbon Concrete Mixtures for Paving

Q. *Our paving project requires implementing so-called “low carbon” concrete mixtures. How do we do that?*

A. It is estimated that almost 90% of the embodied carbon emissions in a concrete mixture at the gate of the concrete plant is from the production of portland cement, therefore it makes sense to pay attention to the amount of clinker in a concrete mixture. Toward that goal, the following five strategies can be adopted individually or together:

1) Target the cementitious binder

Select a cement with reduced embodied carbon emissions. For example, use cement that contains clinker interground with limestone at the cement plant (that is, specifying AASHTO M 240/ASTM C595 Type IL portland-limestone cement). This approach, combined with the addition of supplementary cementitious materials (SCMs) at the batch plant, can significantly reduce the amount of portland cement clinker in a mixture. Alternatively, consider using preblended cements complying with the requirements of ASTM C1157.

Note that the fresh properties such as water demand, bleeding, and setting times are likely to differ from conventional mixtures, meaning that the finishing crew may have to change their practices. In addition, such systems typically exhibit slower hydration, resulting in slower setting and a slower rate of strength development. This change from traditional hydration kinetics can impact all phases of construction, especially during cooler weather.

2) Target the concrete mixture to optimize binder content

Once the portland cement clinker content of the cementitious binder is reduced, the next strategy is to

potentially reduce the cementitious binder content in the concrete. Reducing the binder content will not only reduce the embodied carbon emissions of the concrete but, assuming the water-cementitious materials ratio (w/cm) remains constant, will also reduce shrinkage and improve durability without impacting long-term strength.

Reducing the total cementitious materials content while maintaining the required fresh concrete properties is facilitated through optimized aggregate grading, in which the aggregate particle size distribution is selected to promote aggregate packing.

The focus of aggregate grading should be on ensuring that the combined aggregate meets a given specification rather than on whether the individual aggregate sources meet specific sieve requirements. When the aggregate grading is optimized, a reduced amount of paste is needed to fill the void space between the aggregate particles, just enough to separate the particles slightly and act as a lubricant to ensure mixture workability. The Tarantula Curve has been found to be a good approach to guiding the development of an optimized aggregate grading. Related resources can be found at <http://www.tarantulacurve.com/>.

3) Reduce the cradle-to-gate embodied carbon emissions of aggregates

Use aggregates with reduced embodied carbon emissions. For example, use locally available aggregate where possible or use recycled coarse aggregate produced during an earlier stage of the project, if the aggregate’s environmental product declaration (EPD) indicates lower associated embodied

Questions in this column were asked by users of ACI documents and have been answered by ACI staff or by a member or members of ACI technical committees. The answers do not represent the official position of an ACI committee. Comments should be sent to keith.tosolt@concrete.org.

Concrete Q&A

carbon emissions than available virgin aggregate sources. In the latter case, ensure that the recycled aggregate meets all engineering and durability requirements (for example, verify that the aggregate is not susceptible to alkali-silica reactivity [ASR]).

The use of recycled, waste, and by-product materials as aggregate, such as recycled concrete aggregates (RCA), air-cooled blast furnace slag, foundry sand, and even reclaimed asphalt pavement (RAP), in lieu of freshly mined and processed natural aggregates, should be considered if performance is not compromised.

The primary considerations in choosing aggregate sources to support a reduction in the cradle-to-gate embodied carbon emissions of concrete include:

- Ideally, aggregates would be sourced locally, minimizing the distance to the concrete plant. Aggregates transported long distances should be shipped by rail or barge, if possible, to a nearby distribution point where trucks can then deliver them to the plant;
- Aggregate shape and texture affect water demand, workability, and finishability. This is especially true for manufactured fine aggregates, the use of which can result in a harsh mixture that is difficult to finish;
- Aggregates must be durable. The primary durability concern is alkali-aggregate reactivity, which includes ASR and alkali-carbonate reactivity (ACR). AASHTO R 80/ASTM C1778 should be followed to identify potentially deleteriously reactive aggregates and to select appropriate preventive measures to minimize the risk of expansion when such aggregates are used in concrete; and
- Aggregates in some regions are also susceptible to damage when exposed to freezing and thawing while in a high degree of saturation. This damage manifests as concrete pavement deterioration, notably D-cracking. Follow

mitigation strategies to address aggregate freezing-and-thawing damage.

4) Target mixture performance requirements

Use performance specifications for mixture proportioning and acceptance to spur development of innovative mixtures. For example, use AASHTO R 101 and implement performance requirements for paving concrete to ensure long-term durability.

To achieve long-term reductions in embodied carbon emissions, the requirements for concrete should be linked to the long-term performance of the concrete. The adoption of performance specifications also tends to allow for innovation, which itself can lower the embodied carbon emissions of paving concrete.

5) Consider other factors

Identify other strategies to reduce the embodied carbon emissions of the concrete. These may include moving the concrete production plant closer to the project site to reduce transportation distances.

Final Step

Change is difficult to justify if it is not quantified. The preferred tool used by public agencies to assess and understand the embodied carbon emissions of a material is to request an EPD. Embodied carbon emissions are reported in an EPD in units of kg CO₂-eq/m³ or kg CO₂-eq/yd³.

The goal of an EPD is to gather and present environmental impacts for a specific type of material using a consistent framework. An EPD is not intended to be used as a means of comparing the environmental impacts of fundamentally different materials. In cases where two materials are the same type, developed under the same product category rule (PCR), and are meeting the same performance requirements (for example, early-age strength, design strength, permeability, or durability), a comparison of EPDs may be possible.

More detailed information on developing low-carbon concrete mixtures for paving is available in a “Guide for Reducing the Cradle-to-Gate Embodied Carbon Emissions of Paving Concrete” (https://cdn-wordpress.webspec.cloud/intrans.iastate.edu/uploads/2024/03/guide_for_reducing_cradle-to-gate_emissions_w_cvr.pdf).

Note: Additional information on the ASTM and AASHTO standards discussed in this article can be found at www.astm.org and www.transportation.org, respectively.

Thanks to Peter Taylor, CP Tech Center, Ames, IA, USA, for providing the answer to this question.

HUNDREDS OF
Concrete Standards,
Courses, and
Recommended
Practices Available



Estrategias para Obtener Mezclas de Concreto de Bajo Carbono para Pavimentación

P. *Nuestro proyecto de pavimentación requiere implementar las llamadas mezclas de concreto “bajo en carbono”. ¿Cómo lo hacemos?*

R. Se estima que casi el 90% de las emisiones de carbono incorporadas en una mezcla de concreto en la planta de producción provienen de la fabricación de cemento portland, por lo que tiene sentido prestar atención a la cantidad de clinker en la mezcla de concreto. Con ese objetivo, se pueden adoptar las siguientes cinco estrategias de forma individual o conjunta:

1) Orientarse hacia el cementante aglutinante

Selecciona un cemento con emisiones de carbono incorporadas reducidas. Por ejemplo, usa cemento que contenga clinker mezclado con caliza en la planta de cemento (es decir, especificando cemento portland-caliza Tipo IL según AASHTO M 240/ASTM C595). Este enfoque, combinado con la adición de materiales cementantes suplementarios (SCMs) en la planta de mezclado, puede reducir significativamente la cantidad de clinker de cemento portland en una mezcla. Alternativamente, considera el uso de cementos premezclados que cumplan con los requisitos de ASTM C1157.

Es importante tener en cuenta que las propiedades en estado fresco, como la demanda de agua, el sangrado y los tiempos de fraguado, probablemente serán diferentes de las mezclas convencionales, lo que significa que el equipo de acabado puede tener que ajustar sus prácticas. Además, estos sistemas suelen presentar una hidratación más lenta, lo que resulta en un fraguado y un desarrollo de resistencia más tardados. Este cambio en la cinética de hidratación tradicional puede afectar todas las fases de la construcción, especialmente durante climas más fríos.

2) Optimizar la mezcla de concreto para reducir el contenido de aglutinante

Una vez que se ha reducido el contenido de clinker de cemento portland en el cementante aglutinante, la siguiente estrategia consiste en reducir el contenido de cementante aglutinante en el concreto. Reducir este contenido no solo disminuye las emisiones de carbono incorporadas en el concreto, sino que, si se mantiene constante la relación agua/materiales cementantes (a/mc), también reduce la contracción y mejora la durabilidad sin afectar la resistencia a largo plazo.

La reducción del contenido total de materiales cementantes, al mismo tiempo que se mantienen las propiedades requeridas del concreto fresco, se facilita mediante la optimización de la graduación del agregado, donde la distribución del tamaño de las partículas del agregado se selecciona para promover el mejor empaquetamiento del agregado.

Hay que enfocarse en asegurar que la graduación de los agregados combinados cumplan con una especificación dada, en lugar de que cada fuente de agregado cumpla con requisitos específicos de tamizado. Cuando la graduación del agregado está optimizada, se necesita una menor cantidad de pasta para llenar el espacio entre las partículas de agregado, solo lo suficiente para separarlas ligeramente y actuar como lubricante, garantizando la trabajabilidad de la mezcla. La Curva Tarántula ha demostrado ser un buen enfoque para guiar el desarrollo de una gradación optimizada del agregado. Puedes encontrar recursos relacionados en <http://www.tarantulacurve.com/>.

3) Reducir las emisiones de carbono incorporadas en los agregados de la cuna a puerta

Usa agregados con emisiones de carbono incorporadas reducidas. Por ejemplo, siempre que sea posible, utiliza agregados locales, o emplea agregados gruesos reciclados producidos en una etapa anterior del proyecto, siempre que la declaración ambiental de producto (EPD) del agregado indique menores emisiones de carbono incorporadas en comparación con las fuentes de agregados vírgenes disponibles. En este último caso, asegúrate de que el agregado reciclado cumpla con todos los requisitos de ingeniería y durabilidad (por ejemplo, verifica que el agregado no sea potencialmente reactivo álcali-sílice [ASR]).

Debe considerarse también usar como agregados materiales reciclados, desechos y subproductos, tales como agregados de concreto reciclado (RCA), escoria de alto horno enfriada al aire, arena de fundición e incluso pavimento de asfalto recuperado

(RAP), en lugar de agregados naturales recién extraídos y procesados, siempre y cuando no se comprometa el comportamiento.

- Las consideraciones principales para elegir fuentes de agregados para el concreto, que apoyen la reducción de las emisiones de carbono incorporadas de cuna a puerta incluyen:

- Idealmente, los agregados deberían ser obtenidos localmente para minimizar la distancia de transporte a la planta de concreto. Los agregados transportados a largas distancias deben ser enviados por ferrocarril o barcaza, si es posible, a un punto de distribución cercano, desde donde los camiones puedan entregarlos a la planta;

- La forma y textura de los agregados afectan la demanda de agua, la trabajabilidad y la facilidad de acabado. Esto es especialmente cierto para los agregados finos manufacturados, cuyo uso puede resultar en una mezcla áspera que es difícil de terminar;

- Los agregados deben ser durables. La principal preocupación de durabilidad es la reactividad álcali-agregado, que incluye la ASR y la reactividad álcali-carbonato (ACR). Se debe seguir la norma AASHTO R 80/ASTM C1778 para identificar agregados potencialmente reactivos y seleccionar medidas preventivas adecuadas para minimizar el riesgo de expansión cuando dichos agregados se usan en concreto; y

- Los agregados en algunas regiones también son susceptibles a daños cuando se exponen a ciclos de congelación y deshielo mientras están altamente saturados. Estos daños se manifiestan como un deterioro notable de la superficie del concreto en forma de agrietamiento en D. Sigue estrategias de mitigación para reducir los daños causados por congelación y deshielo en los agregados.

4) Enfocarse en los requisitos de rendimiento de la mezcla

Utiliza especificaciones de comportamiento para la proporción y aceptación de la mezcla, con el fin de fomentar el desarrollo de mezclas innovadoras. Por ejemplo, utiliza AASHTO R 101 e implementa requisitos de comportamiento para el concreto de pavimentación para asegurar su durabilidad a largo plazo.

Para lograr reducciones a largo plazo en las emisiones de carbono incorporadas, los requisitos del concreto deben estar vinculados a su comportamiento a largo plazo. La adopción de especificaciones de comportamiento también tiende a permitir la innovación, lo cual puede reducir las emisiones de carbono incorporadas en el concreto de pavimentación.

5) Considerar otros factores

Identifica otras estrategias para reducir las emisiones de carbono incorporadas en el concreto. Estas pueden incluir acercar la planta de producción de concreto al sitio del proyecto para reducir las distancias de transporte.

Paso Final

El cambio es difícil de justificar si no se cuantifica. La herramienta preferida utilizada por las agencias públicas para evaluar y comprender las emisiones de carbono incorporadas en un material es solicitar una Declaración Ambiental de Producto (EPD). Las emisiones de carbono incorporadas se reportan en una EPD en unidades de kg de CO₂-eq/m³ o kg de CO₂-eq/yd³.

El objetivo de una EPD es reunir y presentar los impactos ambientales de un tipo específico de material utilizando un marco consistente. Una EPD no está destinada a ser usada como medio de comparación entre materiales fundamentalmente diferentes. En los casos donde dos materiales son del mismo tipo, desarrollados bajo la misma regla de categoría de producto (PCR) y cumplen con los mismos requisitos de comportamiento (por ejemplo, resistencia inicial, resistencia de diseño, permeabilidad o durabilidad), puede ser posible hacer una comparación de las EPD.

Se puede encontrar información más detallada sobre el desarrollo de mezclas de concreto de bajo carbono para pavimentación en la “Guía para Reducir las Emisiones de Carbono Incorporadas de Cuna a Puerta en el Concreto de Pavimentación” (https://cdn-wordpress.webspec.cloud/intrans.iastate.edu/uploads/2024/03/guide_for_reducing_cradle-to-gate_emissions_w_cvr.pdf).

Nota: Se puede encontrar información adicional sobre las normas ASTM y AASHTO mencionadas en este artículo en www.astm.org y www.transportation.org, respectivamente.

Agradecimiento especial a Peter Taylor, del CP Tech Center en Ames, IA, EE. UU., por proporcionar la respuesta a esta pregunta

Título original en inglés:
Strategies for Obtaining
Low-Carbon Concrete
Mixtures for Paving

La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo Perú



Traductor:
**Bach. Ing.
Braveheart Roger
Rojas Ureta**



Revisores Técnicos:
**Ing. Julio Higashi
Luy**



**Ing. Jakelyn Quispe
Vásquez**