

# Smart Sustainable Concrete Construction

A framework for concrete contractor participation

by Kyle Kammer, Jeremy Dominik, Monica Chhatwani, Beverly A. Garnant, and Bruce A. Suprenant

**W**e agree with the statement from the American Institute of Architects (AIA) Carbon Leadership Forum (CLF) Part III of the Embodied Carbon Toolkit for Architects: “Concrete mix design has a huge impact on embodied carbon. Architects should collaborate with the structural engineer and contractor to ensure that reducing embodied carbon in concrete is a priority.”<sup>1</sup> This article sets out the framework for concrete contractors’ participation in smart sustainable concrete construction. The American Society of Concrete Contractors (ASCC) initiated a Sustainability Committee in 2022, and this article reflects input from that committee; however, the views expressed herein are those of the authors.

## Participation in Accordance with AIA Guide

Concrete contractors’ participation in sustainable concrete construction aligns with AIA’s “Guide for Sustainable Projects.”<sup>2</sup> This document provides design and construction practices intended for projects that offer sustainable benefits. Special definitions are used to facilitate the development of coordinated agreements for sustainable projects and provide a blueprint to achieve that goal. The following definitions will be embedded in the contractors’ sustainability framework:

- **Sustainable objective**—The owner’s goal of incorporating sustainable measures into the design, construction, maintenance, and operations of a project to benefit the environment, enhance the health and well-being of building occupants, and/or improve energy efficiency. The sustainability objective is identified in the sustainability plan;
- **Sustainable measure**—A specific design or construction element; post-occupancy use, operation, maintenance; or monitoring requirement that must be completed to achieve the sustainable objective. The owner, architect, and contractor shall have responsibility for the sustainable measure(s) allocated to each of them in the sustainability plan;

- **Sustainability plan**—A contract document that identifies and describes the sustainable objective; the targeted sustainable measures; implementation strategies selected to achieve the sustainable measures; the owner’s, architect’s, and contractor’s roles and responsibilities associated with achieving the sustainable measures; the specific details about design reviews, testing, and/or metrics to verify achievement of each sustainable measure; and the sustainability documentation required for the project. The sustainability plan is developed by the owner and design team at the sustainability workshop. The concrete contractor and ready mixed concrete producer want to attend—and should be required to attend—the sustainability workshop. This workshop needs to take place early in the design phase; and
- **Sustainability documentation**—All documentation related to the sustainable objective or to a specific sustainable measure that the owner, architect, or contractor is required to prepare in accordance with the contract documents. Responsibility for preparation of specific portions of the sustainability documentation will be allocated among the owner, architect, and contractor in the sustainability plan. Periodic review of the documentation and plan goals should be undertaken to establish that the project goals will be met.

## Framework for Communication

While planning is an important part of all concrete construction, it is vital for successful sustainable concrete construction. Sustainable concrete construction is based on specific structural elements, with design and construction requirements particular to each element on the project (for example, foundations, columns, walls, or slabs).

Sustainable concrete mixtures are developed for each specific concrete element based on the engineer’s requirements, the contractor’s needs, the owner’s sustainability objectives, and the architect’s sustainability

plan. This carefully constructed communication flow establishes the framework for smart sustainable concrete construction.

The proposed element-by-element approach is consistent with AIA MasterSpec® 033000 Cast-in-Place Concrete specification<sup>3</sup> that requires specific concrete mixtures by element: A. Footings, B. Foundation walls, C. Slabs-on-ground (normalweight [NW]), D. Suspended slabs (NW), E. Suspended slabs (lightweight [LW]), F. Concrete toppings (NW), G. Building frame members, and H. Building walls.

### Structural design requirements

ACI 318-19(22)<sup>4</sup> provides structural requirements for concrete elements such as slabs, beams, columns, walls, foundations, and other items. The Code requires the licensed design professional to specify design information and compliance requirements such as strength, durability, and construction requirements for each element in the contract documents.

The Code, Section 4.9—Sustainability, also permits the engineer to specify sustainability requirements in the construction documents, with the caveat that the strength, serviceability, and durability requirements take precedence over sustainability considerations.

To achieve the design requirements, contractors' means and methods are specifically tailored for each concrete element, and ready mixed concrete producers customize concrete mixtures for these elements. Thus, it is not surprising that sustainable concrete construction is best delivered by considering the requirements of each element separately, including the embodied carbon. This approach provides a total project embodied carbon level that allows for optimization of each element—maximizing the overall project quality and performance delivered to the owner.

The engineer's requirements are best communicated in a table organized by element and grouped into categories such as strength, durability, and compliance requirements. Table 1 provides an example of this communication. The table conveys the specified compressive strength at a designated age ( $f'_c$ ); durability requirements for freezing and thawing (F), sulfate exposure (S), contact with water (W), and corrosion protection of reinforcement (C); and finally, compliance requirements such as maximum water-cementitious materials ratio ( $w/cm$ ), maximum nominal aggregate size, air content, maximum water-soluble chlorides, and limits on the amount of supplementary cementitious materials (SCMs). The table also proposes slump and slump flow requirements be jointly determined by the engineer and concrete contractor.

An ACI Standard

IN-LEB Inch-Pound Units

Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars—Code and Commentary

Reported by ACI Committee 440

ACI CODE-440.11-22

aci American Concrete Institute Always advancing

The brand new **ACI CODE-440.11-22** is the first comprehensive building code covering the use of nonmetallic, GFRP reinforcing bars in structural concrete applications.

The code provides minimum requirements for the materials, design, and detailing of structural concrete buildings and, where applicable, nonbuilding structures reinforced with GFRP bars that conform to the requirements of ASTM D7957/D7957M-22.

To learn more or purchase, visit [concrete.org/store](https://concrete.org/store).

## Construction recommendations

Project specifications set strength and durability requirements for each concrete mixture per element. But just as strength and durability parameters vary by element, so do the construction needs. Thus, the contractor provides constructability recommendations for each element such that the concrete mixture, designed to meet the project requirements, can be pumped, placed, finished, and cured. To facilitate this communication, the contractor should also develop a table to establish the construction needs for each element. This detailed communication is an important component of the framework for concrete contractor participation at the sustainability workshop.

Table 2 provides an example of a contractor’s table with blank columns for adding other parameters as necessary. The recommendations in Table 2 can be used for initial planning, then, after detailed discussion between the contractor and design team, filled out to reflect the specific element-by-element constructability requirements for which the ready mixed producer can develop appropriate mixtures. The table uses three separate recommendations to describe typical element-by-element constructability recommendations for a project. Note that construction recommendations are not always numerical-based, which is why Table 2 uses three levels of importance: HI—high importance, MI—medium importance, and LI—low importance.

**Table 1:**  
Engineer’s requirements

Element	Specified compressive strength ( $f'_c$ )			Freezing and thawing (F)				Sulfate (S)				In contact with water (W)			Corrosion protection of reinforcement (C)			Max $w/cm$	Nom. max. aggregate size, in.	Air content, %	Max. water-soluble chlorides	Limits on type or amount of SCMs	Slump or slump flow	
	psi	Age, days			F0	F1	F2	F3	S0	S1	S2	S3	W0	W1	W2	C0	C1							C2
		28	56	90																				
Foundations																								
Footings	5000			X	X					X				X			X		0.45	3/4	6	0.30	NA	
Mats	7000			X	X						X		X			X		0.40	3/4	6	0.30	NA		
Basement walls	5000	X				X				X				X		X		0.45	3/4	6	0.30	NA		
Walls																								
Shear	8000		X		X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
Architectural	5000	X			X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
Other																								
Columns																								
Lower story	10,000		X		X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
Upper story	7000	X			X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
Slabs																								
Elevated (NW)	5000		X		X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
Elevated (LW)	4000	X			X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
Topping slabs	4500	X			X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
Slabs-on-ground																								
Trowel finish	4500	X			X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
i. Broom finish	5000	X					X			X				X			X	0.40	3/4	6	0.30	YES		
ii. Decorative finish	4500	X			X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
iii. Polished finish	4500	X			X				X				X			X		NA	3/4	0	NA	NA		
iv. Other																								

Note: 100 psi = 0.7 MPa; 1 in. = 25 mm

Values selected in collaboration with concrete contractor

### Concrete producer's mixture selection

With both the engineering requirements and contractor recommendations, the concrete producer develops a specific mixture for each element that sets a carbon baseline for discussion. Table 3 is an example of communicating the proposed mixture designs element-by-element. The natural and crushed aggregate quantities must be provided separately as the global warming potential (GWP) is different; upstream processes for natural aggregate are quarry and sort, and for crushed aggregate, quarry, crush, and sort. Besides the proposed mixture design, the GWP is also provided for each mixture.

### Employing sustainability workshop

This concise, directed communication, on an element-by-element basis provided by the engineer, contractor, and ready mixed concrete producer, should be discussed at the sustainability workshop to assist in establishing the sustainability objective, measure, and plan. Comparing the three tables can assist in eliminating conflicts or generating additional discussion. For example, Table 1 shows the specified compressive strength for NW concrete as 5000 psi

(34 MPa) at 56 days for elevated slabs. Table 2 indicates that high early strength is of high importance for constructability of elevated slabs.

Owners typically want the cost and schedule benefit of form removal in 3 days that requires 75% of the specified compressive strength. For a specified concrete strength at 56 days, it may take 5 to 7 days or longer to achieve 75%. While the 56-day specified compressive strength will enable a lower cementitious content and thus, lower GWP, it will be offset by a cost and schedule increase. The owner and design team need to determine the optimum balance for these requirements.

### Implementing Low-Carbon Concrete Requirements

While the proposed element-by-element approach is best suited for implementing low-carbon concrete requirements for an overall project, there are different methods for meeting low-carbon concrete requirements:

- Cement limit per mixture (Marin County,<sup>5</sup> New York<sup>6</sup>);
- Embodied carbon limit per mixture (Marin County,<sup>5</sup>

**Table 2:**  
**Contractor's recommendations**

Element	Fresh concrete properties					Hardened concrete properties			Construction		
	Set time	Slump or slump flow	Air content	Bleed water	Add if needed	Early-age strength	Surface hardness	Add if needed	Pump	Place	Finish
<b>A. Foundations</b>											
1. Footings	LI	MI	LI	LI		LI			MI	MI	LI
2. Mats	LI	MI	LI	LI		LI			HI	MI	LI
3. Basement walls	LI	HI	LI	LI		LI			HI	HI	LI
<b>B. Walls</b>											
1. Shear	LI	HI	LI	LI		LI			HI	HI	LI
2. Architectural	LI	HI	MI	LI		MI			HI	HI	HI
3. Other											
<b>C. Columns</b>											
1. Lower story	LI	MI	LI	LI		LI			HI	HI	LI
2. Upper story	LI	MI	LI	LI		LI			HI	HI	LI
<b>D. Slabs</b>											
1. Elevated (NW)	HI	HI	HI	HI		HI			HI	MI	HI
2. Elevated (LW)	HI	HI	HI	HI		MI			HI	MI	HI
3. Topping slabs	HI	HI	HI	HI		MI			HI	MI	HI
4. Slabs-on-ground											
v. Trowel finish	HI	HI	HI	HI		MI			LI	MI	HI
vi. Broom finish	MI	MI	LI	MI		LI			LI	MI	MI
vii. Decorative finish	HI	HI	HI	HI		MI			LI	MI	HI
viii. Polished finish	HI	HI	HI	HI		MI	HI		LI	MI	HI
ix. Other											

Note: LI—low importance; MI—medium importance; HI—high importance

GSA,<sup>7</sup> NBI<sup>8</sup>);

- Cement limit per project (Marin County<sup>5</sup>); and
- Embodied carbon limit per project (Marin County,<sup>5</sup> NBI,<sup>8</sup> NRMCA<sup>9</sup>).

### 5000 psi foundation, parking lot, and elevated slab mixture

As an example, there are varying requirements for 5000 psi concrete based on the design intent and construction practices for a foundation, parking lot, and elevated slab. While the

strength is the same, there can be different durability and construction needs for each element. For example, a 5000 psi mixture used in a foundation will have a strikeoff (screed) finish and later-age strength requirements (90 days). This foundation mixture will work well with high levels of SCMs, and thus will have a lower GWP. The parking lot will have a bullfloat and broom finish and possibly a 56-day strength requirement. The strength requirement could change based on when the parking lot needs to be opened for either construction or public traffic. The parking lot mixture will work well with

**Table 3:**  
Ready mixed producer’s selections

Mixture properties and ingredients	Foundations			Walls		Columns		Slabs						
	Footings	Mats	Basement walls	Shear	Architectural	Lower story	Upper story	Elevated (NW)	Elevated (LW)	Topping slabs	SOG*—trowel finish	SOG—broom finish	SOG—decorative finish	SOG—polished finish
<b>Compressive strength, psi</b>	<b>5000</b>	<b>7000</b>	<b>5000</b>	<b>8000</b>	<b>5000</b>	<b>10,000</b>	<b>7000</b>	<b>5000</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>4500</b>	<b>4500</b>
<i>w/cm</i>	0.45	0.39	0.45	0.39	0.45	0.36	0.39	0.45	0.53	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Portland cement, lb/yd <sup>3</sup>	576	719	576	719	576	800	7000	576	475	526	526	526	526	526
Fly ash, lb	101	126	101	126	101	154	719	101	83	92	92	92	92	92
Slag cement, lb	28	35	28	35	28	41	126	28	23	26	26	26	26	26
<b>Total cementitious content, lb</b>	<b>705</b>	<b>880</b>	<b>705</b>	<b>880</b>	<b>705</b>	<b>995</b>	<b>880</b>	<b>705</b>	<b>581</b>	<b>644</b>	<b>644</b>	<b>644</b>	<b>644</b>	<b>644</b>
Mixing water, lb	315	341	315	341	315	352	341	315	308	310	310	310	310	310
Crushed coarse aggregate, lb	1029	1018	1029	1018	1029	1004	0.39	1029	0	1056	1056	1056	1056	1056
Natural coarse aggregate, lb	505	499	505	499	505	475	1018	505	0	518	518	518	518	518
<b>Total coarse aggregate, lb</b>	<b>1534</b>	<b>1517</b>	<b>1534</b>	<b>1517</b>	<b>1534</b>	<b>1479</b>	<b>1159</b>	<b>1534</b>	<b>0</b>	<b>1574</b>	<b>1574</b>	<b>1574</b>	<b>1574</b>	<b>1574</b>
Crushed fine aggregate, lb	154	152	154	152	154	154	499	154	149	158	158	158	158	158
Natural fine aggregate, lb	1171	1159	1171	1159	1171	1187	152	1171	1130	1202	1202	1202	1202	1202
Total fine aggregate, lb	1325	1311	1325	1311	1325	1341	1517	1325	2364	1360	1360	1360	1360	1360
Man. lightweight aggregate, lb	0	0	0	0	0	0	0	0	990	0	0	0	0	0
Total aggregate content, lb	2859	2828	2859	2828	2859	2820	2828	2859	2364	2934	2934	2934	2934	2934
Fine to total aggregate, %	46	46	46	46	46	48	46	46	100	46	46	46	46	46
Target air content, %	6	0	6	0	6	0	0	0	6	0	0	6	0	0
Air-entraining admixture, fl oz.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Plasticizer/superplasticizer, fl oz.	7	3	7	3	7	5	1	7	7	7	7	7	7	7
Set accelerator, fl oz.	10	20	10	20	10	24	3	10	10	10	10	10	10	10
<b>Total weight, lb/yd<sup>3</sup></b>	<b>3878</b>	<b>4049</b>	<b>3878</b>	<b>4049</b>	<b>3878</b>	<b>4167</b>	<b>4049</b>	<b>3878</b>	<b>2168</b>	<b>3888</b>	<b>3888</b>	<b>3888</b>	<b>3888</b>	<b>3888</b>
<b>GWP, kg CO<sub>2</sub>e/yd<sup>3</sup></b>	<b>405</b>	<b>525</b>	<b>405</b>	<b>575</b>	<b>405</b>	<b>675</b>	<b>525</b>	<b>405</b>	<b>650</b>	<b>342</b>	<b>342</b>	<b>405</b>	<b>342</b>	<b>342</b>

\*SOG is slabs-on-ground

Note: 100 psi = 0.7 MPa; 1 lb/yd<sup>3</sup> = 0.6 kg/m<sup>3</sup>; 1 lb = 0.45 kg; 1 fl oz. = 30 mL

moderate levels of SCMs. The elevated slab mixture will have a trowel finish, will need high early strength for either form removal or stressing of post-tensioning strands, and will have the highest cementitious material content and GWP.

While the SCM contents and the GWP values for the foundation, parking lot, and elevated slab mixtures will differ, the important parameter is the weighted average GWP generated by the project’s concrete, allowing the engineer, contractor, and ready mixed producer the flexibility to provide the quality and performance, by element, to the owner. The method for implementing low-carbon concrete needs to account for this and still deliver the overall sustainability objective as identified in the sustainability plan of the “embodied carbon budget” for concrete and the project with the understanding that the percentage of GWP reductions will be different across all different concrete elements.

### Marin County

Compliance to the Title 19 Marin County Building Code, Chapter 19.07 – Carbon Concrete Requirements (refer to Table 4 and Textbox 1)<sup>5</sup> includes two pathways to reduce greenhouse gas (GHG) emissions by reducing cement levels or replacing lower carbon-emitting cementitious materials in concrete designs. Compliance options for this code include the cement limit method by mixture and project, and the embodied carbon method by mixture and project. The cement and embodied carbon limits, based on specified compressive strength, are shown in Table 4 and are the basis for the four compliance options. These requirements apply to all plain and reinforced concrete installed within the unincorporated areas of Marin County, CA, USA. Compliance is verified with a

cradle-to-gate Environmental Product Declaration (EPD), and the statute provides exemptions to the provisions.

The Marin County Code<sup>5</sup> includes NW and LW concretes, high-early-strength concrete, and other approved cements, such as portland-limestone cement (PLC). The high-early-strength concrete allows for a 30% increase in cement or embodied carbon limits, when approved by the building official. The 30% represents a value determined by various stakeholders and is assumed to achieve the high early strength in 1 to 7 days. Recognizing the need of early strength for form removal, the Marin County Code specifically includes beams and slabs above grade as high-early-strength concrete.

The maximum cement contents may be increased proportionally above the tabulated values if the approved plant-specific EPD is lower than 1040 kg CO<sub>2</sub>e/metric ton (2080 lb/ton). The 1040 kg CO<sub>2</sub>e/metric ton represents the PCA 2016 industry-wide EPD<sup>10</sup> for cements specified in ASTM C150/C150M and C1157/C1157M. The 2021 PCA industry-wide EPD<sup>11</sup> for PLC (ASTM C595/C595M) lists the GWP as 846 kg CO<sub>2</sub>e/metric ton. Thus, if using PLC, the cement limits in Table 4 may be increased by 23%.

### New York

New York Senate Bill S542A<sup>6</sup> (January 6, 2021) required the Office of General Services (OGS) to establish requirements for lower carbon concrete. Type III cradle-to-gate EPDs are used to verify compliance. OGS provides cement limit contents (listed as follows) but also sets a minimum 30% inclusion of SCMs and encourages the use of blended aggregates for a reduction in percentage of paste. The cement content limits are:

**Table 4:**  
**Cement and embodied carbon limit pathways (Table 19.07.050 in Reference 5)**

Minimum specified compressive strength $f'_c$ , psi <sup>a</sup>	Cement limits for use with any compliance method 19.07.050.2 through 19.07.050.5	Embodied carbon limits for use with any compliance method 19.07.050.2 through 19.07.050.5
	Maximum ordinary portland cement content, lb/yd <sup>3</sup>	Maximum embodied carbon kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> , per EPD
Up to 2500	362	260
3000	410	289
4000	456	313
5000	503	338
6000	531	356
7000	594	394
7001 and higher	657	433
Up to 3000 lightweight	512	578
4000 lightweight	571	626
5000 lightweight	629	675

<sup>a</sup>For concrete strengths between the stated values, use linear interpolation to determine cement and/or embodied carbon limits

<sup>†</sup>Portland cement of any type per ASTM C150/C150M

Note: 100 psi = 0.7 MPa; 1 lb/yd<sup>3</sup> = 0.6 kg/m<sup>3</sup>; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/yd<sup>3</sup>



- Mixture designs are limited to a maximum portland cement content of 400 lb/yd<sup>3</sup> (237 kg/m<sup>3</sup>):
  - This does not include sidewalks, slabs-on-ground, or any application that requires a final finish; and
- Mixture designs are limited to a maximum portland cement content of 300 lb/yd<sup>3</sup> (178 kg/m<sup>3</sup>) for mass concrete and all concrete applications below grade and against earth, or below grade and confined concrete such as concrete fill within steel pipe piles:
  - The design may also limit the cement content to 300 lb/yd<sup>3</sup> for other applications, provided the performance requirements established by the design professional are met.

The new rule will take effect on January 1, 2025, and apply to all state agency contracts exceeding 1 million USD with more than 50 yd<sup>3</sup> (38 m<sup>3</sup>) of concrete, or Department of Transportation contracts above 3 million USD with at least 200 yd<sup>3</sup> (153 m<sup>3</sup>) of concrete.

### General Services Administration

The General Services Administration (GSA) uses an embodied carbon limit per mixture approach requiring a product-specific cradle-to-gate Type III EPD to show compliance for all GSA projects that use at least 10 yd<sup>3</sup> (8 m<sup>3</sup>) of concrete. GSA does allow a waiver request process if it is not feasible to meet the EPD requirement or GWP limits. In

## Textbox 1: Per Marin County Code<sup>5</sup>

### 19.07.050.1 Allowable Increases

(1) *Cement and Embodied Carbon Limit Allowances.* Cement or Embodied Carbon limits shown in Table 19.07.050 can be increased by 30% for concretes demonstrated to the Building Official as requiring high early strength. Such concretes could include, but are not limited to, precast, prestressed concrete; beams and slabs above grade; and shotcrete.

(2) *Approved Cements:* The maximum cement content may be increased proportionally above the tabulated value when using an approved cement, or blended cement, demonstrated by approved EPD to have a plant-specific EPD lower than 1040 kg CO<sub>2</sub>e/metric ton. The increase in allowable cement content would be (1040/plant = specific EPD%).

### 19.07.050.2 Cement Limit Method – Mixture

Cement content of a concrete mixture using this method shall not exceed the value shown in the Table 19.07.050. Use of this method is limited to concrete with specified compressive strength not exceeding 5000 psi.

### 19.07.050.3 Cement Limit Method – Project

Total cement content shall be based on total cement usage of all concrete mixture designs within the same project. Total cement content for a project shall not exceed the value calculated according to Eq. (19.07.050.3).

#### Eq. 19.07.050.3:

$$Cem_{proj} < Cem_{allowed}, \text{ where } Cem_{proj} = \sum Cem_n v_n \text{ and } Cem_{allowed} = \sum Cem_{lim} v_n$$

and  $n$  is the total number of concrete mixtures for the project;  $Cem_n$  is the cement content for mixture  $n$  in kg/m<sup>3</sup> or lb/yd<sup>3</sup>;  $Cem_{lim}$  is the maximum cement content for mixture  $n$  per Table 19.07.050 in kg/m<sup>3</sup> or lb/yd<sup>3</sup>; and  $v_n$  is the volume of mixture  $n$  concrete to be placed in yd<sup>3</sup> or m<sup>3</sup>.

Applicant can use yd<sup>3</sup> or m<sup>3</sup> for calculation but must keep same units throughout.

### 19.07.050.4 Embodied Carbon Method – Mixture

Embodied carbon of a concrete mixture, based on an approved Environmental Product Declaration (EPD), shall not exceed the value given in Table 19.07.050.

### 19.07.050.5 Embodied Carbon Method – Project

Total embodied carbon ( $EC_{proj}$ ) of all concrete mixture designs within the same project shall not exceed the project limit ( $EC_{allowed}$ ) determined using Table 19.07.050 and Equation 19.07.050.5.

#### Eq. 19.07.050.5:

$$EC_{proj} < EC_{allowed}, \text{ where } EC_{proj} = \sum EC_n v_n \text{ and } EC_{allowed} = \sum EC_{lim} v_n$$

and  $n$  is the total number of concrete mixtures for the project;  $EC_n$  is the embodied carbon potential for mixture  $n$  per mixture EPD in kg/m<sup>3</sup>;  $EC_{lim}$  is the embodied carbon potential limit for mixture  $n$  per Table 19.07.050 in kg/m<sup>3</sup>; and  $v_n$  is the volume of concrete  $n$  mixture to be placed in yd<sup>3</sup> or m<sup>3</sup>.

Applicant can use yd<sup>3</sup> or m<sup>3</sup> for calculation but must keep same units throughout.

September 2022, GSA<sup>7</sup> (Table 5) revised its GWP limits to reflect a 20% reduction in the limits proposed by the New Buildings Institute (NBI).<sup>8</sup> On average, the GSA GWP requirements for the standard concrete mixture are about the same as Marin County, while the GSA GWP requirements for the LW concrete mixture are about 20% lower.

### New Buildings Institute

In the proposed IBC language (refer to Table 6 and Textbox 2), the NBI provides an embodied carbon limit per mixture and per project. The embodied carbon limits are based on specified compressive strength and are satisfied by submitting a product-specific cradle-to-gate Type III EPD.

**Table 5:**  
GSA carbon limits.<sup>7</sup> These numbers reflect 20% reduction from GWP (CO<sub>2</sub>e) limits in proposed code language in Reference 8

Maximum GWP limits for GSA low embodied carbon concrete, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>			
f' <sub>c</sub> , psi	Normal-weight	High early strength	Lightweight
up to 2499	242	314	462
2500 to 3499	306	398	462
3500 to 4499	346	450	501
4500 to 5499	385	500	540
5500 to 6499	404	526	N/A
6500 and up	414	524	N/A

Note: 100 psi = 0.7 MPa; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/yd<sup>3</sup>

**Table 6:**  
CO<sub>2</sub>e limits in concrete mixture (Table 1903.5.1 in Reference 8)

Specified compressive strength f' <sub>c</sub> , psi	Maximum, kg/m <sup>3</sup>	High early strength maximum, kg/m <sup>3</sup>	Lightweight concrete maximum, kg/m <sup>3</sup>
up to 2499	302	408	578
2500 to 3499	382	516	578
3500 to 4499	432	583	626
4500 to 5499	481	649	675
5500 to 6499	505	682	N/A
6500 and greater	518	680	N/A

Note: 100 psi = 0.7 MPa; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/yd<sup>3</sup>

### Textbox 2: NBI Lifecycle GHG impacts in Building Codes<sup>8</sup>

(International Building Code, Chapter 19 Concrete, Section 1903 Specifications for Tests and Materials)

#### 1903.5 Embodied CO<sub>2</sub>e of concrete materials.

Concrete products used in the building project shall be in accordance with Sections 1903.5.1 or 1903.5.2.

Exceptions:

- Precast concrete;
- Masonry units complying with Section 2103.1.2; and
- Projects where no concrete suppliers with product-specific Environmental Product Declarations (EPDs) for concrete are located within 10 miles of the project site, where Type III industry-wide EPDs and an inventory of CO<sub>2</sub>e values for all concrete mixtures are provided to the authority having jurisdiction (AHJ).

#### 1903.5.1 CO<sub>2</sub>e Limit Method – Mixture

The total CO<sub>2</sub>e of the concrete mixtures used in the project shall not exceed the value given in Table 1903.5.1 based on the compressive strength of the concrete. CO<sub>2</sub>e content shall be documented by a product-specific Type III Environmental Product Declaration (EPD) for each product. EPDs used for compliance with this section shall be certified as complying with the goal and scope for the cradle-to-gate requirements in accordance with ISO Standards 14025 and 21930 and be available in a publicly accessible database.

#### 1903.5.2 CO<sub>2</sub>e Limit Method – Project

Total CO<sub>2</sub>e (CO<sub>2</sub>e<sub>proj</sub>) of all concrete placed at the building project shall not exceed the project limit (CO<sub>2</sub>e<sub>allowed</sub>) determined using Table 1903.5.1 and Eq. (1903.5.2).

Eq. (1903.5.2):

$$CO_2e_{proj} < CO_2e_{allowed}, \text{ where } CO_2e_{proj} = \sum CO_2E_{nvn} \text{ and } CO_2e_{allowed} = \sum CO_2e_{lim} v_n$$

and *n* is the total number of concrete mixtures for the project; CO<sub>2</sub>E<sub>*n*</sub> is the GWP for mixture *n* per mixture EPD in kg/m<sup>3</sup>; CO<sub>2</sub>e<sub>*lim*</sub> is the GWP limit for mixture *n* per Table 1903.5 in kg/m<sup>3</sup>; and *v<sub>n</sub>* is the volume of mixture *n* concrete to be placed.



The project carbon limits can use the element-by-element approach as it sums up the GWP for each mixture and compares that to a benchmark limit established by using the carbon limits per mixture.

### NRMCA

GSA and NBI use carbon limits on a national basis, while the National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) calculates the average environmental impacts for eight different regions in the United States (Fig. 1).<sup>9</sup> These benchmarks (Table 7) represent the environmental impacts of products with varying strengths for different applications and exposure conditions, which can be used to compare these environmental impacts to those of concrete mixtures supplied for each project. NRMCA uses the Athena Impact Estimator for Buildings<sup>12,13</sup> to define a reference building with benchmark GWP in a chosen region to a proposed building(s) with GWP mixtures selected to be lower than the benchmark mixtures.



Fig. 1: NRMCA regions for the calculation of average environmental impacts of concrete production<sup>9</sup>

Table 7: NRMCA regional carbon limits for benchmark mixtures<sup>9</sup>

NRMCA carbon limits, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>									
<i>f<sub>c</sub></i> at 28 days, psi	Eastern	Great Lakes	North Central	Pacific Northwest	Pacific Southwest	Rocky Mountain	South Central	South Eastern	National average
2500	240	232	241	235	257	232	226	247	240
3000	264	255	264	261	279	255	245	268	262
4000	314	303	312	316	323	301	286	309	308
5000	378	363	372	386	378	358	336	360	365
6000	399	383	394	408	401	379	356	382	385
8000	472	452	460	487	456	440	409	435	446
3000 LW	517	499	487	518	500	484	468	478	492
4000 LW	573	551	537	575	546	532	510	521	540
5000 LW	628	603	591	632	594	580	555	562	588

Note: 100 psi = 0.7 MPa; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/yd<sup>3</sup>

NRMCA<sup>12</sup> provides an example where the concrete mixtures in the proposed building(s) would result in a 36% reduction in GWP compared to the benchmark concrete mixtures in the same building. Considering they were overly optimistic with regard to the percentages of portland cement replacement, they recommend selecting a target 30% reduction in GWP from the reference building.

NRMCA proposes specification language based on their example:

“Supply concrete mixtures such that the total Global Warming Potential (GWP) of all concrete on the project is 30% or more below the GWP of a reference building using Benchmark mixes as established by NRMCA and available for download at [www.nrmca.org](http://www.nrmca.org). Submit a summary report of all the concrete mixtures, their quantities and their GWP to demonstrate that the total GWP of the building is 30% or more below the GWP of the reference building. Contractor may use the Athena Impact Estimator for Buildings software available at [www.athenasmi.org](http://www.athenasmi.org) or other similar software with the capability of calculating GWP of different mix designs.”<sup>12</sup>

While NRMCA uses total CO<sub>2</sub>e, we prefer a weighted average of CO<sub>2</sub>e/yd<sup>3</sup>. For their example, NRMCA sets the benchmark reference building at 6,220,000 CO<sub>2</sub>e, proposing a 30% reduction to establish a target of 4,354,000 CO<sub>2</sub>e.<sup>12</sup> The reference building has 16,884 yd<sup>3</sup> (12,909 m<sup>3</sup>) of concrete. Thus, the weighted average for the reference building is 368 CO<sub>2</sub>e/yd<sup>3</sup> (6,220,000/16,884) or 482 CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (6,220,000/12,909) and the target is 258 CO<sub>2</sub>e/yd<sup>3</sup> (4,354,000/16,844) or 337 CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (4,354,000/12,909). We believe the weighted average provides a better understandable reference than the total CO<sub>2</sub>e and prefer its use. The 2022 California Green Building Standards<sup>14</sup> also use a weighted average approach.

### Existing and proposed embodied carbon policy

The CLF<sup>15</sup> provides an interactive map with links to information regarding 115 city/county, state, and national

policy/programs within North America.

## Environmental Communication—PCR, LCA, and EPD

Figure 2 illustrates the sequence in developing an EPD. Product Category Rules (PCRs) define parameters for a Life Cycle Analysis (LCA), used to generate an EPD.

PCRs define how data is collected for a specific type of product. PCRs may include the boundary conditions, data used, and system inputs. When these parameters are followed, it allows reviewers to achieve consistent results, which then allows different products to be compared.

An LCA is a systematic set of procedures for compiling and examining the inputs and outputs of materials and energy, and the associated environmental impacts directly attributable to a product throughout its life cycle (ISO 14040<sup>16</sup>).

An EPD provides standardized reporting of the GWP of concrete and other construction materials. GWP is the potential climate change impact of a product measured by LCAs reported in units, typically kilograms, of CO<sub>2</sub>e also marked as CO<sub>2</sub>e, CO<sub>2</sub>eq, or CO<sub>2</sub>-e. Note that EPDs for concrete can be based on yd<sup>3</sup> or m<sup>3</sup>.

### Types of product claims

International Standards Organization (ISO) standards identify three types of environmental claims for products:

- Type I claims are third-party verified labels based on criteria set by a third party and governed by ISO 14024<sup>17</sup>;
- Type II claims are self-declarations made by manufacturers or retailers and governed by ISO 14021.<sup>18</sup> Type II claims are not third-party verified; and
- Type III claims contain quantified product information based on life-cycle impacts and are governed by ISO 14025.<sup>19</sup> Type III claims must be third-party verified.

### PCR

PCRs provide guidelines for calculating industry-average and product-specific EPDs for each product type. For example, the PCR for concrete defines product-specific EPDs as one “for a specific product or group of concrete mix designs categorized by performance developed by a manufacturer for a specific ready mix plant location” and an industry-average EPD as one “for a specific product or group

of concrete mix designs categorized by performance for a specified region.”<sup>20</sup>

### EPD categories

EPDs vary in their level of product, supply chain, and regional specificity. The following categories of EPDs are used by purchasers to identify which level of specificity is required to comply with an EPD requirement:

- Industry-wide EPDs represent typical manufacturing impacts for a range of products or for a group of manufacturers. Industry-wide EPDs provide the least-specific data on a product’s embodied carbon footprint and cannot be used to compare products, but they are used in understanding the typical impact of a product. Industry-wide EPDs are available for portland cement, reinforcing steel, and concrete;
- Product-specific EPDs represent the impacts for a specific product and manufacturer across multiple facilities;
- Supply chain-specific EPDs—A product-specific EPD that uses supply chain-specific data in the LCA to model the impacts of key processes upstream in a product’s supply chain; and
- Facility-specific EPDs—A product-specific EPD in which the environmental impacts can be attributed to a single manufacturer and manufacturing facility.

CLF identifies the type of EPD required for different existing and proposed legislation.<sup>21</sup>

### Batch-specific EPD

There are discussions about requiring “as-batch product specific EPD.” The argument is that the product-specific EPDs do not account for batching tolerances. ASTM C94/C94M<sup>22</sup> provides batching tolerances of ±1% for cement and SCMs, ±2% for aggregates, ±1% for mixture water, and ±3% for admixtures. Some ready mixed concrete producers indicate that they can produce an EPD for each batch. The documentation then changes from one product-specific EPD to an as-batched product-specific EPD, turning 2000 yd<sup>3</sup> (1530 m<sup>3</sup>) of one mixture from one EPD into 200 EPDs (assuming 10 yd<sup>3</sup> truckloads). This is a dramatic change in documentation, and, as will be explained, one that concrete contractors do not believe is warranted.

### EPD variability

The PCR for concrete requires a statement regarding data quality and variability in the EPD.<sup>23</sup> Options include one of the following:

- A. This Product Carbon Footprint/GHG Inventory was created using industry average data for upstream materials. Variation can result from differences in supplier locations, manufacturing processes, manufacturing efficiency, and fuel type used. Climate change impacts could range between XXCO<sub>2</sub>e and YYCO<sub>2</sub>e per m<sup>3</sup> (insert actual range predicted); or
- B. This Product Carbon Footprint/GHG Inventory was



Fig. 2: The sequence of processing an EPD. Product category rules (PCRs) define parameters for a life-cycle analysis (LCA) used to generate an EPD (courtesy of Long Trail Sustainability website)

created using plant-specific data for upstream materials. Potential variations due to supplier locations, manufacturing processes and efficiencies, and fuel use are thus accounted for in this inventory.

Building Transparency provides information on the variability of EPDs using its EC3 model.<sup>24</sup> EPDs typically declare a single, deterministic value as a given product's impact. There can, however, be a high degree of uncertainty in the LCA. Conducting an uncertainty analysis requires analyzing a base LCA model for concrete.

DeRousseau et al.<sup>25</sup> conducted a probability-based cradle-to-gate LCA model representing process-related variability in the embodied carbon of concrete. Their paper lists life-cycle inventory data sources and probability distribution parameters. It also includes box plots to illustrate the range of life-cycle inputs for a concrete mixture (Fig. 3) and the distribution of embodied carbon for 10 concrete mixtures ranging from 3000 to 8000 psi (21 to 55 MPa) (Fig. 4).

The range in embodied carbon per unit of concrete (kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>) for the lower strength concretes is about 200, and for higher-strength concretes approaches almost 400. If we consider the interquartile range (IQR), it's about 40 for lower-strength concretes and about 60 for higher-strength concretes. Estimates for the standard deviation are three-quarters of the IQR, or about 30 for the lower strength and about 60 for the higher strengths. With this type of variability, requiring as-batched EPDs for concrete, where a 1% cement change affects the GWP by 4, isn't necessary. Also, this variability should be used as a guide to consider the precision required when making decisions about low-carbon concrete.

### Concrete and reinforcement EPDs

In April 2021, NBI collected over 36,000 EPDs for concrete.<sup>8</sup> Some of that data is shown in Table 8 and represents six strength mixtures found in 23 states. California, New Jersey, New York, and Washington have the greatest number of ready mixed concrete EPDs. With 4000 and 5000 psi (28 and 34 MPa) being the most common concrete mixtures, this table reflects the trend with the majority of the EPDs in the 3500 and 4500 psi (24 and 31 MPa) strength classes. In August 2023, NBI reported that there are over 70,000 concrete EPDs.<sup>26</sup> But concrete contractor experience with EPDs varies. For example, in 2023, Baker Concrete was being supplied with concrete from 21 different ready mixed plants in Ohio.<sup>27</sup> Only three of the 21 plants could supply EPDs.

While we have focused primarily on EPDs for concrete, there are many other products in concrete that must be considered:

- Reinforcing steel—CRSI industry-wide EPD reporting a cradle-to-gate GWP of 854 kg CO<sub>2</sub>e/metric ton<sup>28</sup>;
- Post-tensioning cables—Suncoast Post-Tension product specific EPD reporting a cradle-to-gate GWP of 1430 kg CO<sub>2</sub>e/metric ton<sup>29</sup>;
- Studrails—JORDAHL GmbH product-specific EPD reporting a cradle-to-gate GWP of 296 kg CO<sub>2</sub>e/metric

ton<sup>30</sup>; and

- Fibers—Euclid Chemical product-specific EPD for fiber reinforcement products reporting a cradle-to-gate GWP of 2.8 kg CO<sub>2</sub>e/kg of fiber.<sup>31</sup>

### Sustainability Workshop Recommendations

The agenda for the sustainability workshop that needs to occur during the design phase and include the concrete contractor must comprise items described in the following paragraphs.

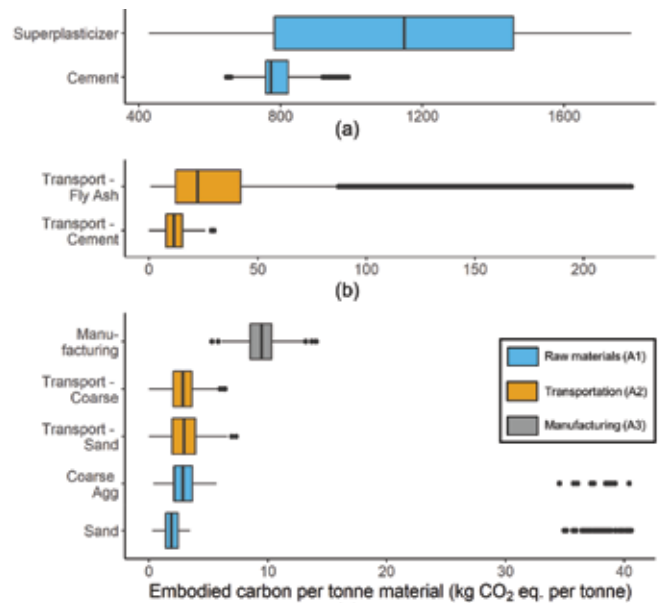


Fig. 3: Embodied carbon of life cycle inputs on a per metric ton basis categorized by (a) high; (b) medium; and low impacts (from Reference 25) (Note: 1 kg/tonne = 2 lb/ton)

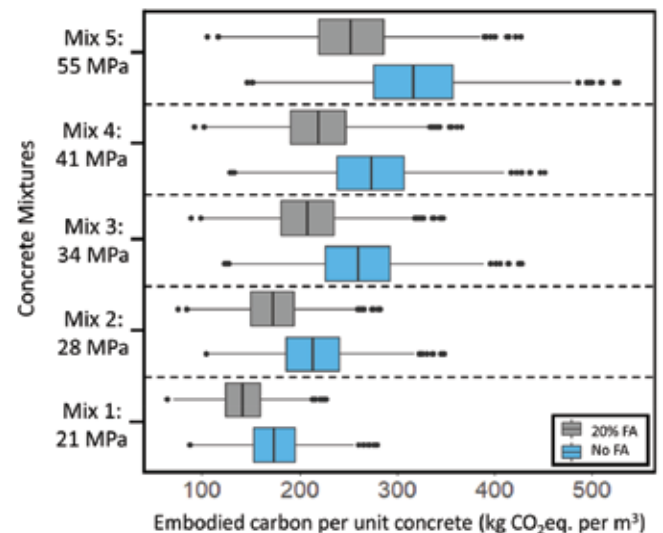


Fig. 4: Distribution of embodied carbon for 10 concrete mixtures (from Reference 25) (Note: 1 MPa = 145 psi; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/yd<sup>3</sup>)



**Table 8:**  
EPDs per state and by strength

State	2499 psi	2500 psi	3500 psi	4500 psi	5500 psi	6500+ psi
AL	1	6	5	4	0	0
CA	569	4237	6012	5427	2041	785
CO	2	30	113	214	28	36
DC	1	4	4	3	3	4
FL	3	11	67	16	14	9
GA	8	115	135	75	22	11
IA	2	10	55	21	0	0
IL	0	6	70	52	32	15
MA	0	0	15	12	5	2
MD	5	25	20	15	16	20
NC	1	92	107	71	4	6
NE	0	16	63	25	0	0
NJ	60	883	1515	1014	204	16
NM	4	23	24	3	2	0
NV	2	1	0	5	1	1
NY	11	132	303	164	36	1
OH	10	26	19	12	0	0
OK	1	2	12	12	3	0
OR	24	299	529	197	42	4
SC	0	39	31	13	1	0
TX	0	26	16	29	6	0
VA	1	6	4	3	3	4
WA	42	164	451	412	250	87
	747	6,153	9,570	7,799	2,713	1,001

Note: 100 psi = 0.7 MPa

### Exclusion and limitations

Although GSA applies its low-carbon concrete requirements to any project with at least 10 yd<sup>3</sup> of concrete, there might be a more practical limit, such as 500 yd<sup>3</sup> (380 m<sup>3</sup>). The exclusion could also be based on gross floor area such as 5000 or 10,000 ft<sup>2</sup> (465 or 929 m<sup>2</sup>). Shotcrete, precast concrete, and auger-cast concrete are often excluded from low-carbon concrete requirements. Consider whether to include or exempt flowable fill, cellular concrete, or other concretes, and whether GWP limits apply to repair or rehabilitation.

Limitations may also be placed on compressive strength. ACI 318-19(22) requires a minimum specified compressive strength of 2500 psi

(17 MPa) at 28 days. In addition, NRMCA regional benchmarks are for concrete strengths of 8000 psi or less. Although it's not a large concrete volume, it should be discussed how to handle high-strength columns that may be 12,000 psi (83 MPa).

### Supply chain

The building industry periodically experiences supply fluctuations for essential concrete construction materials including cement, fly ash, and aggregates. Cost fluctuations can also be a factor. Whenever possible, early involvement of the concrete contractor and their major product suppliers—during project design—can optimize the ability of the owner's design and construction team to manage the material supply chain. Early dialogue regarding pricing, mill orders, availability of price lock mechanisms, and delivery date projections can maximize benefits to the owner and help minimize project risk. For sustainable concrete construction, the lack of fly ash or slag cement would create substantial difficulties in achieving a project's carbon footprint target. As of July 2023, Type IL cement was only available in about 40% of the United States.

Project planning must include consideration of supply and cost fluctuations in the project's sustainability objective. More information on this topic is available in "ASCC Position Statement #45: Managing Concrete Projects: Concrete/Steel Price and Delivery Volatility Risks," *Concrete International*, June 2022.<sup>32</sup>

### Specifications

Concrete mixture proportions have the greatest impact on carbon footprint. Because of this, the ready mixed producer needs to use performance specifications to achieve project goals. We recommend NRMCA's "Guide to Improving Specifications for Ready Mixed Concrete—With Notes on Reducing Embodied Carbon Footprint."<sup>33</sup> This document provides recommendations for specifying concrete to meet specific carbon footprint reduction goals while

still maintaining all the performance characteristics required for concrete. It provides guidance on how to establish a carbon budget for a building, the submittals required to demonstrate compliance, and the qualifications of concrete producers to participate on a project that has a carbon reduction goal.

### Timeline for trial mixtures

Unique to sustainable concrete mixtures is the desire to lower cementitious content, thus reducing the carbon footprint, by specifying compressive design strengths at ages later than 28 days. It is common for sustainable concrete mixtures to develop strengths at 56 or 90 days. Because these are not "off the shelf" mixtures, trial mixtures are used to establish proportions for concrete mixtures for each specific element. These trial mixtures are performed in accordance with ACI 301-20.<sup>34</sup> In addition to compressive strength, the trial mixtures confirm their suitability by meeting specified fresh and hardened concrete properties as well as the contractor's need to pump, place, and finish these mixtures for each specific element. Although appropriate sustainable concrete mixtures can be developed on the first round of trials, it sometimes takes multiple attempts. Plans need to consider the time necessary to develop suitable sustainable concrete mixtures.

### Concrete waste

The PCR requires the LCA to include an assumed 5% concrete waste or actual recorded losses (loss = volume returned or disposed of divided by total volume produced at plant per year) when developing an EPD. Thus, for every theoretical yd<sup>3</sup> or m<sup>3</sup> in-place, the EPD provides GWP for 5% more. This discrepancy between theoretical volume and EPD volume needs to be discussed.

### Specified compressive strength beyond 28 days

NRMCA benchmarks are compressive strength at 28 days. Other benchmarks such as GSA, Marin County, and NBI use specified

**Table 9:**  
Concrete mixture performance schedule

Class	Application	Exposure class	Compressive strength		Max w/cm	Air content, %	Nominal max aggregate, in.	Drying shrinkage, %	Unit weight, lb/ft <sup>3</sup>	Design estimated volume, m <sup>3</sup>	Target GWP, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	Total Target GWP, kg CO <sub>2</sub> e
			f' <sub>c</sub> , ksi	Age, days								
1	Footings and wall footings	NA	4.0	56	—	—	1.5	—	NW	465	268	124,620
2	Foundation walls, piers, and grade beams	F2	4.5	56	0.45	5.5	1.5	—	NW	101	306	30,906
3	Column wraps	F3 C2	5.0	56	0.40	5.5	1.5	—	NW	14	320	4480
4	Interior slabs-on-ground	NA	4.0	28	—	—	1.5	≤ 0.04	NW	289	268	77,452
5a	Slab on metal deck	NA	4.0	28	—	—	0.75	≤ 0.04	NW	328	268	87,904
5b	Slab on metal deck	NA	4.0	28	—	—	0.75	≤ 0.04	LW	89	484	43,076
6	Shear walls	NA	4.0	56	—	—	1.5	—	NW	419	275	115,225
7	Miscellaneous	NA	3.5	28	—	—	0.5	—	NW	—	<b>Required project deliverable</b>	
8	Mud slab	NA	2.5	28	—	—	0.75	—	NW	—		
<b>Total</b>										<b>1705</b>	<b>284</b>	<b>483,663</b>

Note: 1 ksi = 7 MPa; 1 in. = 25 mm; 1 lb/ft<sup>3</sup> = 16 kg/m<sup>3</sup>; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/yd<sup>3</sup>; 1 kg = 2.2 lb

compressive strength without providing an age. Sustainable concrete mixtures are often specified by the engineer to achieve strength at 56 or 90 days. There are several approaches to handle this, but no matter which approach is used, it needs to be determined so that the appropriate carbon limits apply.

### Resolution when not meeting requirements

Perhaps the most important discussion at the sustainability workshop is how to reach a resolution if the low-carbon concrete requirements are not met. Understandably, contractors need to know this to analyze their risk. The option to remove and replace would not seem to be a sustainable approach.

### Concrete Contractor Recommendations

Based on the information presented, our recommendations for smart, sustainable concrete construction are as follows:

- **Sustainability objective:** Reduce the average weighted carbon footprint as measured by GWP by 15 to 25% with the final value to be determined at the sustainability workshop;
- **Sustainability measure:** Establish the GWP of a reference building using NRMCA regional benchmark mixtures with the Athena Impact Estimator for Buildings or other similar software with the capability of calculating GWP of

different mixture designs;

- **Sustainability plan:** Use an element-by-element approach for design, construction, and concrete mixtures to provide owners the best overall quality and performance with the lowest possible carbon budget;
- **Sustainability documentation:** Using Type III cradle-to-gate product-specific EPDs in accordance with ISO Standards 14025 and 21930,<sup>35</sup> available in a publicly accessible database, to submit a summary report of all concrete mixtures, quantities, and GWP to demonstrate that the sustainability objective of the total GWP of the building is below the GWP of the reference building; and
- **Sustainability workshop:** Create a performance schedule for all concrete mixtures. An example of such a deliverable is shown in Table 9.

### Final Note

We anxiously await the arrival of a standard produced by ACI Committee 323, Low-Carbon Concrete Code, which we understand will be published by the end of 2023, to provide a uniform, consistent approach on a national basis. We also are reviewing Carbon Budget software, a tool recently introduced by NRMCA, for integration into our framework.

### References

1. Lewis, M.; Huang, M.; Carlisle, S.; and Simonen, K., "Strategies

for Reducing Embodied Carbon,” Part III, AIA-CLEF Embodied Carbon Toolkit for Architects, Carbon Leadership Forum, University of Washington, Seattle, WA, 2021, 8 pp.

2. AIA Document D503™-2020, “Guide for Sustainable Projects,” American Institute of Architects, Washington, DC, 2020, 67 pp.

3. AIA MasterSpec®, “033000 Cast-in-Place Concrete,” Deltek, Inc., Herndon, VA, 2021, 58 pp.

4. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Reapproved 2022),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.

5. “Marin County Building Code,” Chapter 19.07 – Carbon Concrete Requirements, Marin County, CA, Aug. 3, 2023, [https://library.municode.com/ca/marin\\_county/codes/municipal\\_code?nodeId=TIT19MACOBUCO\\_CH19.07CACORE\\_19.07.020DE](https://library.municode.com/ca/marin_county/codes/municipal_code?nodeId=TIT19MACOBUCO_CH19.07CACORE_19.07.020DE).

6. New York Senate Bill S542A, “An Act to Amend State Finance law, in Relation to Provisions in State Procurement Contracts Involving the Use of Low Embodied Carbon Concrete,” Jan. 6, 2021, 3 pp.

7. “Low Embodied Carbon Concrete Standards for all GSA Projects,” General Services Administration, Washington, DC, Sept. 2022, 1 pp.

8. Bowles, W.; Cheslak, K.; and Edelson, J., “Lifecycle GHG Impacts on Building Codes,” New Buildings Institute, Portland, OR, Jan. 2022, 24 pp.

9. “Appendix D: NRMCA Member National and Regional LCA Benchmark (Industry Average) Report – V 3.0,” National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 42 pp., [https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/02/NRMCA\\_REGIONAL\\_BENCHMARK\\_Nov2019.pdf](https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/02/NRMCA_REGIONAL_BENCHMARK_Nov2019.pdf).

10. “Environmental Product Declaration: Portland Cements,” EPD 035, Portland Cement Association, Skokie, IL, June 1, 2016, 11 pp.

11. “Environmental Product Declaration: Portland-Limestone Cement,” EPD 196, Portland Cement Association, Skokie, IL, Mar. 3, 2021, 13 pp.

12. “A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Ready-Mixed Concrete Manufactured by NRMCA Members – Version 3.2,” National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, July 2022, 101 pp.

13. “Athena Impact Estimator for Buildings,” version 5.4.01, Athena Sustainable Materials Institute, Ottawa, ON, Canada.

14. “2022 California Green Building Standards Code, Title 24, Part 11 (CALGreen),” California Building Standards Commission, Sacramento, CA, 2022, 250 pp.

15. “Embodied Carbon Policy Toolkit,” Carbon Leadership Forum, University of Washington, Seattle, WA, 2023, <https://carbonleadershipforum.org/clf-policy-toolkit/>.

16. ISO 14040:2006, “Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006, 20 pp.

17. ISO 14024:2018, “Environmental Labels and Declarations—Type I Environmental Declarations—Principles and Procedures,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2018, 14 pp.

18. ISO 14021:2016, “Environmental Labels and Declarations—Self-declared Environmental Claims (Type II Environmental Labelling),” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2016, 3 pp.

19. ISO 14025:2006, “Environmental Labels and Declarations—Type III Environmental Declarations—Principles and Procedures,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006, 25 pp.

20. “Product Category Rule for Environmental Product Declarations: PCR for Concrete,” NSF International, Ann Arbor, MI, Aug. 2021, 39 pp., [https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/pcr\\_concrete.pdf?mti=20210903125351&focal=none](https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/pcr_concrete.pdf?mti=20210903125351&focal=none).

21. Lewis, M.; Huang, M.; Waldman, B.; Carlisle, S.; and Simonen, K., “Environmental Product Declaration Requirements in Procurement Policies,” Carbon Leadership Forum, University of Washington, Seattle, WA, 2021, 19 pp.

22. ASTM C94/94M-22a, “Standard Specification for Ready-Mixed Concrete,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 16 pp.

23. “North American Product Category Rules (PCR) for ISO 14025 Type III Environmental Product Declarations (EPDs) and/or GHG Protocol Conformant Product “Carbon Footprint” of Concrete,” Carbon Leadership Forum, University of Washington, Seattle, WA, Nov. 30, 2012, 48 pp.


24. Hasik, V.; DeRousseau, M.; and Northcott, P., “EC3 Uncertainty General Methodology,” Building Transparency, Seattle, WA, Feb. 2, 2023, 10 pp.

25. DeRousseau, M.A.; Arehart, J.H.; Kapryzk, J.R.; and Srubar, W.V. III, “Statistical Variation in the Embodied Carbon of Concrete Mixtures,”

## aci Career Center

### Students—the next step has never been easier

Find internships, browse jobs,  
and post your résumé.



**The Career Center Offers**

- ✓ Résumé writing assistance
- ✓ Career coaching
- ✓ Career learning center
- ✓ Reference checking

Follow @ACICareerCenter

[www.concrete.org/careercenter](http://www.concrete.org/careercenter)



*Journal of Cleaner Production*, V. 275, Dec 2020, 20 pp.

26. Bowles, W.; Edelson, J.; and Braciulyte, L., “Embodied Carbon Building Code,” New Building Institute, Portland, OR, Aug. 2023, 43 pp.

27. Rowswell, K., Sustainability Manager, Baker Concrete, Monroe, OH, Sept. 2023 (private communication).

28. “Environmental Product Declaration: Steel Reinforcement Bar,” ASTM-EPD362, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL, 2022, 13 pp.

29. “Environmental Product Declaration for Post-Tensioning System,” SCS-EPD-06741, Suncoast Post-Tension, Houston, TX, 2021, 16 pp.

30. “Environmental Product Declaration: Punching Shear Reinforcement System,” JORDHAL GmbH, Berlin, Germany, 2021, 10 pp.

31. “Environmental Product Declaration, Product Specific Type III EPD: Fiber Reinforcement Products for Concrete,” Euclid Chemical, Cleveland, OH, 2023, 11 pp.

32. “ASCC Position Statement #45: Managing Concrete Projects: Concrete/Steel Price and Delivery Volatility Risks,” *Concrete International*, V. 44, No. 6, June 2022, pp. 54-55.

33. “Guide to Improving Specifications for Ready Mixed Concrete—With Notes on Reducing Embodied Carbon Footprint,” 2PE004-21c, National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 2021, 70 pp.

34. ACI Committee 301, “Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 74 pp.

35. ISO 21930:2017, “Sustainability in Buildings and Civil Engineering Works—Core Rules for Environmental Product Declarations of Construction Products and Services,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017, 80 pp.

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **Kyle Kammer** is the Director of Quality for Concrete Strategies. He also heads up Concrete Strategies’ sustainability efforts and works in tandem with Clayco Enterprise and large clients to deliver the most sustainable projects possible. Kammer is a member of ACI Committees 121, Quality Assurance Systems for Concrete; 306, Cold Weather Concreting; and 308, Curing Concrete; as well as several ACI Committee 301 subcommittees.



ACI member **Jeremy Dominik** is a Vice President, Project Executive with Morley Builders. He has been in the construction industry for almost 30 years since he started with Morley in 1994, and is currently overseeing a full range of concrete construction services and operations for the Southern California region. Dominik is also a member of

ASCC, participating on the ASCC Sustainability Committee. Dominik received his bachelor’s degree in construction management from California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA, USA, and his MBA from California State University, Long Beach, CA.



**Monica Chhatwani** is the Decarbonization Program Leader at DPR Construction. She focuses on establishing consistent carbon tracking across the most impactful emission categories at DPR and developing embodied carbon tracking and reduction strategies within projects, self-perform work, and prefabrication. She is a

member of the ASCC Sustainability Committee along with the AGC Decarbonization Task Force that DPR is co-leading to help create a guide for construction projects to track emissions. Chhatwani received her master’s degree in sustainable and resilient infrastructure systems at University of Illinois, Urbana-Champaign, IL, USA.



ACI Honorary Member **Beverly A. Garnant** is a former Executive Director of ASCC and Co-Chair of ASCC Sustainability Committee. She is a member of ACI Committees 134, Concrete Constructability; C641, Decorative Concrete Finisher Certification; and E703, Concrete Construction Practices.



**Bruce A. Suprenant**, FACI, is a Concrete Consultant and Co-Chair of the ASCC Sustainability Committee. He is Chair of ACI Subcommittee 117-M, Movements Affecting Tolerances, and Vice Chair of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, as well as a member of ACI Committees 134, Concrete Constructability; and 302, Construction of Concrete Floors. His honors include the 2022 ACI *Concrete International* Award, the 2021 ACI Arthur R. Anderson Medal, the 2020 ACI Construction Award, the 2013 ACI Certification Award, the 2010 ACI Roger H. Corbetta Concrete Constructor Award, and the 2010 ACI Construction Award.

# Construcción inteligente y sostenible con concreto

*Un modelo para la participación de los contratistas de concreto*

*por Kyle Kammer, Jeremy Dominik, Monica Chhatwani, Beverly A. Garnant, y Bruce A. Suprenant*

Estamos de acuerdo con la afirmación presentada en la tercera versión del Foro de Liderazgo sobre Carbono (CLF, por sus siglas en inglés) del Instituto Americano de Arquitectos (AIA, por sus siglas en inglés) con relación al Kit de Herramientas sobre Emisión de Carbono para Arquitectos: “El diseño de la mezcla de concreto tiene un enorme impacto en el carbono incorporado. Los arquitectos deben colaborar con el ingeniero estructurista y el contratista para garantizar que la reducción del carbono contenido en el concreto sea una prioridad<sup>1</sup>”. Este artículo establece el marco para la participación de los contratistas de concreto en la construcción sostenible e inteligente con concreto. La Sociedad Americana de Contratistas de Concreto (ASCC, por sus siglas en inglés) inició en 2022 un Comité de Sostenibilidad, y este artículo refleja los aportes de ese comité; sin embargo, las opiniones expresadas en este documento son las de los autores.

## Participación conforme a la Guía del AIA

La participación de los contratistas de concreto en la construcción sostenible con concreto se alinea con la "Guía para Proyectos Sostenibles" del AIA<sup>2</sup>. Este documento proporciona prácticas de diseño y construcción destinadas a proyectos que ofrecen beneficios sostenibles. Se utilizan definiciones especiales para facilitar el desarrollo de acuerdos coordinados para proyectos sostenibles y proporcionar un plan para lograr ese objetivo. Las siguientes definiciones se integrarán en el marco de sostenibilidad de los contratistas:

- **Objetivo de sostenibilidad:** El propósito del propietario de incorporar medidas sostenibles en el diseño, la construcción,

el mantenimiento y las operaciones de un proyecto para beneficiar al medio ambiente, mejorar la salud y el bienestar de los ocupantes del edificio y/o mejorar la eficiencia energética. El objetivo de sostenibilidad se identifica en el plan de sostenibilidad;

- **Medida sostenible:** elemento específico de diseño o construcción, uso posterior a la ocupación, operación, mantenimiento o requisito de supervisión que debe completarse para alcanzar el objetivo sostenible. El propietario, el arquitecto y el contratista serán responsables de la(s) medida(s) sostenible(s) asignada(s) a cada uno de ellos en el plan de sostenibilidad;
- **Plan de sostenibilidad:** Un documento contractual que identifica y describe el objetivo sostenible; las medidas sostenibles previstas; las estrategias de aplicación seleccionadas para lograr las medidas sostenibles; las funciones y responsabilidades del propietario, el arquitecto y el contratista asociadas a la implantación de las medidas sostenibles; los detalles específicos sobre las revisiones del diseño, las pruebas y/o los parámetros para verificar el cumplimiento de cada medida sostenible; y la documentación sobre sostenibilidad necesaria para el proyecto. El plan de sostenibilidad lo desarrollan el propietario y el equipo de diseño en el taller de sostenibilidad. El contratista y el productor de concreto deben asistir al taller de sostenibilidad. Este taller debe celebrarse al inicio de la fase de diseño.
- **Documentación sobre sostenibilidad:** Toda la documentación relacionada con

el objetivo sostenible o con una medida sostenible específica que el propietario, el arquitecto o el contratista deben preparar de acuerdo con los documentos contractuales. La responsabilidad de la preparación de partes específicas de la documentación de sostenibilidad se distribuirá entre el propietario, el arquitecto y el contratista en el plan de sostenibilidad. Deberá realizarse una revisión periódica de la documentación y de los objetivos del plan para comprobar que se cumplen los objetivos del proyecto.

## Marco para la comunicación

Aunque la planeación es una parte importante de toda construcción con concreto, esta resulta vital para el éxito de la construcción sostenible con concreto. La construcción sostenible con concreto se basa en elementos estructurales específicos, con requisitos de diseño y construcción particulares para cada elemento del proyecto (por ejemplo, cimientos, columnas, muros o losas).

Las mezclas de concreto sostenible se desarrollan para cada elemento de concreto específico basándose en los requisitos del ingeniero, las necesidades del contratista, los objetivos de sostenibilidad del propietario y el plan de sostenibilidad del arquitecto. Este flujo de comunicación cuidadosamente construido establece el marco para una construcción con concreto sostenible e inteligente.

El enfoque propuesto elemento por elemento es coherente con la especificación<sup>3</sup> MasterSpec® 033000 Concreto Colado en Obra del AIA que requiere mezclas específicas de concreto por elemento: A. Zapatas, B. Muros de cimentación, C. Losas sobre el terreno (peso normal [NW, por sus siglas en inglés]), D. Losas suspendidas (NW), E. Losas suspendidas (aligeradas [LW, por sus siglas en inglés]), F. Acabados de concreto (NW), G. Elementos de la estructura del edificio, y H. Muros del edificio.

### Requerimientos del diseño estructural

El ACI 318-19(22)<sup>4</sup> establece los requerimientos estructurales para elementos de concreto tales como losas, vigas, columnas, muros, cimientos y otros elementos. El Código exige que el profesional

de diseño autorizado especifique la información de diseño y los requisitos de cumplimiento, como la resistencia, la durabilidad y los requisitos de construcción de cada elemento en los documentos contractuales.

La Sección 4.9 sobre Sostenibilidad del Código también permite al ingeniero especificar requisitos de sostenibilidad en los documentos de construcción, con la observación de que los requisitos de resistencia, capacidad de servicio y durabilidad tienen prioridad sobre las consideraciones de sostenibilidad.

Para cumplir los requisitos de diseño, los medios y métodos de los contratistas se adaptan específicamente a cada elemento de concreto, y los productores de concreto premezclado personalizan las mezclas de concreto para estos elementos. Así pues, no es de extrañar que la mejor forma de conseguir una construcción de concreto sostenible sea considerar los requisitos de cada elemento por separado, incluido el carbono contenido. Este enfoque proporciona un nivel total de carbono contenido por el proyecto que permite la optimización de cada elemento, maximizando la calidad general y el rendimiento del proyecto entregado al propietario.

La mejor forma de comunicar los requisitos del ingeniero es en una tabla organizada por elementos y agrupada en categorías como resistencia, durabilidad y requisitos de conformidad. La Tabla 1 ofrece un ejemplo de esta comunicación. La tabla indica la resistencia a la compresión especificada a una edad determinada ( $f'_c$ ); los requisitos de durabilidad para la congelación y descongelación (F), la exposición a sulfatos (S), el contacto con el agua (A) y la protección contra la corrosión del refuerzo (C); y, por último, los requisitos de conformidad, como la relación máxima entre agua y materiales cementantes ( $a/cm$ ), el tamaño nominal máximo de los agregados, el contenido de aire, los cloruros solubles en agua máximos y los límites en la cantidad de materiales cementantes suplementarios (SCM, por sus siglas en inglés). La tabla también propone que los requisitos de revenimiento y flujo de revenimiento sean determinados conjuntamente por el ingeniero y el contratista de concreto.

**Tabla 1:**  
**Requisitos del ingeniero**

Elemento	Resistencia a la compresión especificada (f'c)			Congelamiento y descongelamiento (F)				Sulfatos (S)				En contacto con agua (A)			Protección contra la corrosión del refuerzo (C)			a/cm Max	Tamaño max. nominal del agregado, pulg.	Contenido de aire, %	Cloruros solubles en agua max.	Límites en tipo o cantidad de SCM	Revenimiento o flujo del revenimiento	
	psi	Edad, días			F0	F1	F2	F3	S0	S1	S2	S3	W0	W1	W2	C0	C1							C2
		28	56	90																				
Cimentaciones																								
Zapatas	5000			X	X					X			X			X			0.45	3/4	6	0.30	NA	
Placas de apoyo	7000			X	X						X		X			X			0.40	3/4	6	0.30	NA	
Muros subterráneos	5000	X			X					X			X			X			0.45	3/4	6	0.30	NA	
Muros																								
De Corte	8000		X		X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
Arquitectónicos	5000	X			X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
Otro																								
Columnas																								
Piso inferior	10,000		X		X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
Piso superior	7000	X			X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
Losas																								
Elevada (NW)	5000		X		X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
Elevada (LW)	4000	X			X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
Losas de cubierta	4500	X			X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
Losas sobre suelo																								
Acabado con llana	4500	X			X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
i. Acabado con escoba	5000	X					X		X				X				X		0.40	3/4	6	0.30	YES	
ii. Acabado decorativo	4500	X			X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
iii. Acabado pulido	4500	X			X			X				X			X				NA	3/4	0	NA	NA	
iv. Otro																								

Valores seleccionados en colaboración con el contratista de concreto

Nota: 100 psi = 0.7 MPa; 1 pulg. = 25 mm

## Recomendaciones de construcción

Las especificaciones del proyecto establecen los requisitos de resistencia y durabilidad de cada mezcla de concreto por elemento. Pero al igual que los parámetros de resistencia y durabilidad varían según el elemento, también lo hacen las necesidades de construcción. Así, el contratista proporciona recomendaciones de constructibilidad para cada elemento de forma que la mezcla de concreto, diseñada para cumplir con los requisitos del proyecto, pueda ser bombeada, colocada, acabada y curada. Para facilitar esta comunicación, el contratista también debe elaborar una tabla para establecer las necesidades de construcción de cada elemento. Esta comunicación detallada es un componente importante del marco de participación del contratista de concreto en el grupo de trabajo sobre sostenibilidad.

La Tabla 2 ofrece un ejemplo de tabla del contratista con columnas en blanco para añadir otros parámetros según sea necesario. Las recomendaciones de la Tabla 2 pueden utilizarse para la planificación inicial y, tras un debate detallado entre el contratista y el equipo de diseño, completarse para reflejar los requisitos específicos de constructibilidad elemento por elemento para los que el productor de concreto premezclado puede desarrollar las mezclas adecuadas. La tabla utiliza tres recomendaciones independientes para describir las recomendaciones típicas de constructibilidad elemento por elemento para un proyecto. Obsérvese que las recomendaciones de construcción no siempre se basan en cifras, por lo que la Tabla 2 utiliza tres niveles de importancia: HI-importancia alta, MI-importancia media e LI-importancia baja.

**Tabla 2:**  
**Recomendaciones del contratista**

Elemento	Propiedades del concreto fresco					Propiedades del concreto endurecido			Construcción		
	Tiempo de fraguado	Revenimiento o flujo de revenimiento	Contenido de aire	Agua de sangrado	Adición si se requiere	Resistencia temprana	Dureza de la superficie	Adición si se requiere	Bombeo	Colocación	Acabado
<b>A. Cimentaciones</b>											
1. Zapatas	LI	MI	LI	LI		LI			MI	MI	LI
2. Placas de apoyo	LI	MI	LI	LI		LI			HI	MI	LI
3. Muros subterráneos	LI	HI	LI	LI		LI			HI	HI	LI
<b>B. Muros</b>											
1. De corte	LI	HI	LI	LI		LI			HI	HI	LI
2. Arquitectónicos	LI	HI	MI	LI		MI			HI	HI	HI
3. Otro											
<b>C. Columnas</b>											
1. Piso inferior	LI	MI	LI	LI		LI			HI	HI	LI
2. Piso superior	LI	MI	LI	LI		LI			HI	HI	LI
<b>D. Losas</b>											
1. Elevada (NW)	HI	HI	HI	HI		HI			HI	MI	HI
2. Elevada (LW)	HI	HI	HI	HI		MI			HI	MI	HI
3. Losa de cubierta	HI	HI	HI	HI		MI			HI	MI	HI
4. Losa sobre el terreno											
v. Acabado con llana	HI	HI	HI	HI		MI			LI	MI	HI
vi. Acabado con escoba	MI	MI	LI	MI		LI			LI	MI	MI
vii. Acabado decorativo	HI	HI	HI	HI		MI			LI	MI	HI
viii. Acabado pulido	HI	HI	HI	HI		MI	HI		LI	MI	HI
ix. Otro											

Nota: LI-importancia baja; MI-importancia media; HI-importancia alta



## Selección de mezclas por el productor de concreto

Con los requisitos de ingeniería y las recomendaciones del contratista, el productor de concreto desarrolla una mezcla específica para cada elemento que establece una línea base de carbono para analizar. La Tabla 3 es un ejemplo de comunicación de los diseños de mezcla propuestos elemento por elemento. Las cantidades de agregados naturales y triturados deben indicarse por separado, ya que el potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) es diferente; los procesos previos para los agregados naturales son la extracción y la clasificación, y para los triturados, la extracción, la trituración y la clasificación. Además del diseño de mezcla propuesto, también se facilita el GWP de cada mezcla.

**Tabla 3:**  
Selecciones de los productores de concreto premezclado

Propiedades de la mezcla e ingredientes	Cimentación			Muros		Columnas		Losas						
	Zapatatas	Esteras	Muros subterráneos	Cortante	Arquitectónico	Piso inferior	Piso superior	Elevada (NW)	Elevada (LW)	Losa de cubierta	SOG*—acabado con llana	SOG—Acabado con escoba	SOG—acabado decorativo	SOG—polished finish
<b>Resistencia a compresión, psi</b>	<b>5000</b>	<b>7000</b>	<b>5000</b>	<b>8000</b>	<b>5000</b>	<b>10,000</b>	<b>7000</b>	<b>5000</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>4500</b>	<b>4500</b>
<i>a/cm</i>	0.45	0.39	0.45	0.39	0.45	0.36	0.39	0.45	0.53	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Cemento Portland, lb/yd <sup>3</sup>	576	719	576	719	576	800	7000	576	475	526	526	526	526	526
Ceniza volante, lb	101	126	101	126	101	154	719	101	83	92	92	92	92	92
Cemento de escoria, lb	28	35	28	35	28	41	126	28	23	26	26	26	26	26
<b>Contenido de cementante total, lb</b>	<b>705</b>	<b>880</b>	<b>705</b>	<b>880</b>	<b>705</b>	<b>995</b>	<b>880</b>	<b>705</b>	<b>581</b>	<b>644</b>	<b>644</b>	<b>644</b>	<b>644</b>	<b>644</b>
Agua de mezcla, lb	315	341	315	341	315	352	341	315	308	310	310	310	310	310
Agregado grueso triturado, lb	1029	1018	1029	1018	1029	1004	0.39	1029	0	1056	1056	1056	1056	1056
Agregado grueso natural, lb	505	499	505	499	505	475	1018	505	0	518	518	518	518	518
<b>Agregado grueso total, lb</b>	<b>1534</b>	<b>1517</b>	<b>1534</b>	<b>1517</b>	<b>1534</b>	<b>1479</b>	<b>1159</b>	<b>1534</b>	<b>0</b>	<b>1574</b>	<b>1574</b>	<b>1574</b>	<b>1574</b>	<b>1574</b>
Agregado fino triturado, lb	154	152	154	152	154	154	499	154	149	158	158	158	158	158
Agregado fino natural, lb	1171	1159	1171	1159	1171	1187	152	1171	1130	1202	1202	1202	1202	1202
Agregado fino total, lb	1325	1311	1325	1311	1325	1341	1517	1325	2364	1360	1360	1360	1360	1360
Agregado ligero Man., lb	0	0	0	0	0	0	0	0	990	0	0	0	0	0
Contenido total de agregado, lb	2859	2828	2859	2828	2859	2820	2828	2859	2364	2934	2934	2934	2934	2934
Agregado fino con respecto al total, %	46	46	46	46	46	48	46	46	100	46	46	46	46	46
Contenido de aire objetivo, %	6	0	6	0	6	0	0	0	6	0	0	6	0	0
Aditivo inclusor de aire, fl oz.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Plastificante/superplastificante, fl oz.	7	3	7	3	7	5	1	7	7	7	7	7	7	7
Acelerante de fraguado, fl oz.	10	20	10	20	10	24	3	10	10	10	10	10	10	10
<b>Peso total, lb/yd<sup>3</sup></b>	<b>3878</b>	<b>4049</b>	<b>3878</b>	<b>4049</b>	<b>3878</b>	<b>4167</b>	<b>4049</b>	<b>3878</b>	<b>2168</b>	<b>3888</b>	<b>3888</b>	<b>3888</b>	<b>3888</b>	<b>3888</b>
<b>GWP, kg CO<sub>2</sub>e/yd<sup>3</sup></b>	<b>405</b>	<b>525</b>	<b>405</b>	<b>575</b>	<b>405</b>	<b>675</b>	<b>525</b>	<b>405</b>	<b>650</b>	<b>342</b>	<b>342</b>	<b>405</b>	<b>342</b>	<b>342</b>

\*SOG significa losa sobre suelo

Nota: 0.7 MPa = 100 psi; 0.6 kg/m<sup>3</sup> = 1 lb/yd<sup>3</sup>; 0.45 kg = 1 lb; 30 ml = 1 fl oz.



## Uso de los talleres de sostenibilidad

Esta comunicación concisa y dirigida, realizada elemento por elemento por el ingeniero, el contratista y el productor de concreto premezclado, debe discutirse en el taller de sostenibilidad para ayudar a establecer el objetivo, la medida y el plan de sostenibilidad. La comparación de las tres tablas puede ayudar a eliminar conflictos o generar discusiones adicionales. Por ejemplo, la Tabla 1 muestra la resistencia a la compresión especificada para el concreto NW como 34 MPa (5000 psi) a 56 días para losas elevadas. La Tabla 2 indica que una alta resistencia inicial es de gran importancia para la construcción de losas elevadas.

Los propietarios suelen querer el beneficio en cuanto a costo y plazo del desmoldado en 3 días que requiere el 75% de la resistencia a la compresión especificada. Para una resistencia especificada del concreto a los 56 días, puede tomar de 5 a 7 días o más para alcanzar el 75%. Aunque la resistencia a la compresión especificada a los 56 días permitirá un menor contenido de cemento y, por tanto, un menor GWP, se verá compensado por un aumento en los costos y en los plazos. El propietario y el equipo de diseño deben determinar el equilibrio óptimo entre estos requisitos.

## Implementación de los requisitos del concreto bajo en carbono

Aunque el planteamiento de elemento por elemento propuesto es el más adecuado para cumplir los requisitos de un proyecto global de concreto con bajas emisiones de carbono, existen diferentes métodos para cumplir los requisitos de un concreto con bajas emisiones de carbono:

- Límite de cemento por mezcla (Condado de Marin<sup>5</sup>, Nueva York<sup>6</sup>);
- Límite de carbono contenido por mezcla (Condado de Marin<sup>5</sup>, GSA7, NBI<sup>8</sup>);
- Límite de cemento por proyecto (Condado de Marin<sup>5</sup>); y
- Límite de carbono contenido por proyecto (Condado de Marin<sup>5</sup>, NBI<sup>8</sup>, NRMCA<sup>9</sup>)

## Mezcla de 5000 psi para cimentación, estacionamiento y losa elevada

Por ejemplo, los requerimientos para el concreto de 5000 psi varían según la intención del diseño y las prácticas de construcción para una cimentación, un estacionamiento y una losa elevada. Aunque la resistencia es la misma, puede haber diferentes necesidades de durabilidad y construcción para cada elemento. Por ejemplo, una mezcla de 5000 psi utilizada en una cimentación tendrá un acabado de remate (enrasado) y unos requerimientos de resistencia a edades más avanzadas (90 días). Esta mezcla de cimentación funcionará bien con altos niveles de SCM, y por lo tanto tendrá un GWP más bajo. El estacionamiento tendrá un acabado de flotador y escoba y posiblemente un requerimiento de resistencia de 56 días. El requerimiento de resistencia podría cambiar en función de cuándo sea necesario abrir el estacionamiento, ya sea para la construcción o para el tráfico público. La mezcla para el estacionamiento funcionará bien con niveles moderados de SCM. La mezcla de la losa elevada tendrá un acabado con llana, necesitará una alta resistencia temprana para el desmoldado o el tensado de los cordones de postensado, y tendrá el mayor contenido de material cementante y GWP.

Aunque los contenidos de SCM y los valores de GWP para las mezclas de la cimentación, el estacionamiento y la losa elevada serán diferentes, el parámetro importante es la media ponderada de GWP generado por el concreto del proyecto, lo que permite al ingeniero, al contratista y al productor de concreto premezclado la flexibilidad para proporcionar la calidad y el desempeño, por elemento, al propietario. El método para la implementación del concreto bajo en carbono debe tener esto en cuenta y aún así cumplir con el objetivo general de sostenibilidad identificado en el plan de sostenibilidad del "presupuesto de carbono contenido" para el concreto y el proyecto, entendiendo que el porcentaje de reducción de GWP será distinto en los diferentes elementos del concreto.

El cumplimiento del Título 19 del Código de Edificación del Condado de Marin, Capítulo 19.07, Requerimientos para el Concreto con Carbono (véase la Tabla 4 y el Cuadro de Texto 1)<sup>5</sup> incluye dos vías para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante la reducción de los niveles de cemento o la sustitución de materiales cementantes que emiten menos carbono en los diseños de concreto. Las opciones de cumplimiento de este código incluyen el método de límite de cemento por mezcla y proyecto, y el método de carbono contenido por mezcla y proyecto. Los límites de cemento y carbono contenido, basados en la resistencia a la compresión especificada, se muestran en la Tabla 4 y son la base para las cuatro opciones de cumplimiento. Estos requisitos se aplican a todos los concretos simples y reforzados instalados dentro de las áreas no incorporadas del Condado de Marin, CA, EE.UU. El cumplimiento se verifica mediante una Declaración Ecológica de Producto (EPD, por sus siglas en inglés) de principio a fin, y la ley prevé exenciones a las disposiciones.

El Código del Condado de Marin<sup>5</sup> incluye los concretos NW y LW, el concreto de alta resistencia temprana y otros cementos aprobados, como el cemento portland de caliza (PLC, por sus siglas en inglés). El concreto de alta resistencia temprana permite un aumento del 30% en los límites de cemento o carbono contenido, siempre que lo apruebe el responsable de la construcción. El 30% representa un valor determinado por diversos participantes y se supone que alcanza la mayor resistencia temprana en 1 a 7 días. Reconociendo la necesidad de una resistencia temprana para el desmoldado, el Código del Condado de Marin incluye específicamente las vigas y losas sobre nivel como concreto de alta resistencia temprana.

Los contenidos máximos de cemento pueden aumentarse proporcionalmente por encima de los valores tabulados si la EPD específica de planta aprobada es inferior a 1040 kg CO<sub>2</sub>e/tonelada métrica (2080 lb/tonelada). Los 1040 kg CO<sub>2</sub>e/tonelada métrica representan la EPD<sup>10</sup> de la PCA de 2016 para cementos especificados en ASTM C150/C150M y C1157/C1157M. La EPD<sup>11</sup> de 2021 de la PCA para toda la industria para PLC (ASTM C595/C595M) enlista el GWP como 846 kg CO<sub>2</sub>e/tonelada métrica. Por lo tanto, si se utiliza PLC, los límites del cemento de la Tabla 4 pueden incrementarse en un 23%.

**Tabla 4:**  
Trayectorias límite del cemento y del carbono contenido (Tabla 19.07.050 de la Referencia 5)

Resistencia a la compresión mínima especificada f'c psi*	Límites de cemento para uso con cualquier método de conformidad de 19.07.050.2 a 19.07.050.5	Límites de carbono contenido para su uso con cualquier método de cumplimiento de 19.07.050.2 a 19.07.050.5
	Contenido máximo de cemento portland ordinario, lb/yd <sup>3†</sup>	Máximo carbono contenido kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> , por EPD
Hasta 2500	362	260
3000	410	289
4000	456	313
5000	503	338
6000	531	356
7000	594	394
7001 y superior	657	433
Hasta 3000 peso ligero	512	578
4000 peso ligero	571	626
5000 peso ligero	629	675

\*En el caso de resistencias del concreto comprendidas entre los valores indicados, utilizar la interpolación lineal para determinar los límites de cemento y/o carbono contenido.

†Cemento Portland de cualquier tipo según ASTM C150/C150M

Nota: 100 psi = 0.7 MPa; 1 lb/yd<sup>3</sup> = 0,6 kg/m<sup>3</sup>; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1,7 lb/yd<sup>3</sup>

## Nueva York

El Proyecto de Ley S542A6 (6 de enero de 2021) del Senado de Nueva York exigía a la Oficina de Servicios Generales (OGS, por sus siglas en inglés) que estableciera requisitos para el concreto con bajo contenido de carbono. Las EPD de tipo III de principio a fin se utilizan para verificar el cumplimiento. La OGS establece contenidos límite de cemento (enumerados a continuación), pero también fija una inclusión mínima del 30% de SCM y fomenta el uso de agregados compuestos para reducir el porcentaje de pasta. Los límites de contenido de cemento son:

- Los diseños de las mezclas están limitados a un contenido máximo de cemento portland de 237 kg/m<sup>3</sup> (400 lb/yd<sup>3</sup>).
  - Esto no incluye aceras, losas sobre el suelo o cualquier aplicación que requiera un acabado final; y
- Los diseños de mezclas se limitan a un contenido máximo de cemento portland de 178 kg/m<sup>3</sup> (300 lb/yd<sup>3</sup>) para concreto masivo y todas las aplicaciones de concreto por debajo del nivel del suelo y contra tierra, o por debajo del nivel del suelo y concreto confinado como relleno de concreto dentro de pilotes de tuberías de acero.
  - El diseño también puede limitar el contenido de cemento a 300 lb/yd<sup>3</sup> para otras aplicaciones, siempre que se cumplan los requisitos de comportamiento establecidos por el profesional del diseño.

La nueva regla entrará en vigor el 1 de enero de 2025 y se aplicará a todos los contratos de agencias estatales que superen el millón de dólares estadounidenses con más de 38 m<sup>3</sup> (50 yd<sup>3</sup>) de concreto, o a los contratos del Departamento de Transporte que superen los 3 millones de dólares estadounidenses con al menos 153 m<sup>3</sup> (200 yd<sup>3</sup>) de concreto.

## Administración de los Servicios Generales

La Administración de Servicios Generales (GSA, por sus siglas en inglés) utiliza un enfoque de límite de carbono contenido por mezcla que requiere una EPD de Tipo III de principio a

fin específica del producto para demostrar el cumplimiento de todos los proyectos de la GSA que utilicen al menos 8 m<sup>3</sup> (10 yd<sup>3</sup>) de concreto. La GSA permite un proceso de solicitud de exención si no es factible cumplir el requisito de la EPD o los límites de GWP. En septiembre de 2022, la GSA<sup>7</sup> (Tabla 5) revisó sus límites de GWP para reflejar una reducción del 20% en los límites propuestos por el Instituto de Edificios Nuevos (NBI, por sus siglas en inglés)<sup>8</sup>. En promedio, los requisitos de GWP de la GSA para la mezcla de concreto estándar son aproximadamente los mismos que los del condado de Marin, mientras que los requisitos de GWP de la GSA para la mezcla de concreto LW son aproximadamente un 20% más bajos.

### Cuadro de texto 1: Según el Código del Condado Marin<sup>5</sup>

#### 19.07.050.1 Incrementos admisibles

(1) *Límites admisibles de cemento y carbono contenido.* Los límites de cemento o carbono mostrados en la Tabla 19.07.050 pueden incrementarse en un 30% para concretos que se demuestre al Oficial de la Construcción que requieren una alta resistencia a edades tempranas. Tales concretos podrían incluir, pero no están limitados a, prefabricados, concreto pretensado; vigas y losas a nivel; y concreto lanzado.

(2) *Cementos aprobados:* El contenido máximo de cemento puede aumentarse proporcionalmente por encima del valor tabulado cuando se utilice un cemento aprobado, o cemento mezclado, del que se demuestre mediante EPD aprobada que tiene una EPD específica de la planta inferior a 1040 kg CO<sub>2</sub>e/tonelada métrica. El aumento del contenido de cemento permitido sería (1040/planta = EPD específica%).

#### 19.07.050.2 Método límite de cemento - Mezcla

El contenido de cemento de una mezcla de concreto utilizando este método no deberá exceder el valor mostrado en la Tabla 19.07.050.

El uso de este método está limitado a concreto con resistencia a la compresión especificada que no exceda 5000 psi.

### 19.07.050.3 Método límite del cemento - Proyecto

El contenido total de cemento se basará en el uso total de cemento de todos los diseños de mezcla de concreto dentro del mismo proyecto. El contenido total de cemento para un proyecto no excederá el valor calculado según la Ecuación (19.07.050.3).

Eq. 19.07.050.3:

$Cem_{proy} < Cem_{permitido}$ , donde  $Cem_{proy} = \sum Cem_n v_n$  and  $Cem_{permitido} = \sum Cem_{lim} v_n$   
y  $n$  es el número total de mezclas de concreto para el proyecto;  $Cem_n$  es el contenido de cemento para la mezcla  $n$  en  $kg/m^3$  o  $lb/yd^3$ ;  $Cem_{lim}$  es el contenido máximo de cemento para la mezcla  $n$  según la Tabla 19.07.050 en  $kg/m^3$  o  $lb/yd^3$ ; y  $v_n$  es el volumen de concreto de la mezcla  $n$  a ser colocado en  $m^3$  o  $yd^3$ .

El solicitante puede utilizar  $m^3$  o  $yd^3$  para el cálculo, pero debe mantener las mismas unidades en todo el proceso.

### 19.07.050.4 Método límite del cemento - Mezcla

El carbono contenido de una mezcla de concreto, basado en una Declaración Ambiental de Producto (EPD) aprobada, no deberá exceder el valor dado en la Tabla 19.07.050.

### 19.07.050.5 Método límite del cemento - Proyecto

El carbono contenido total ( $EC_{proy}$ ) de todos los diseños de mezclas de concreto dentro del mismo proyecto no deberá exceder el límite del proyecto ( $EC_{permitido}$ ) determinado utilizando la Tabla 19.07.050 y la Ecuación 19.07.050.5.

Eq. 19.07.050.5:

$EC_{proy} < EC_{permitido}$ , donde  $EC_{proy} = \sum EC_n v_n$  y  $EC_{permitido} = \sum EC_{lim} v_n$   
y  $n$  es el número total de mezclas de concreto para el proyecto;  $EC_n$  es el potencial de carbono contenido para la mezcla  $n$  según la EPD de la mezcla en  $kg/m^3$ ;  $EC_{lim}$  es el límite de potencial de carbono contenido para la mezcla  $n$  según la Tabla 19.07.050 en  $kg/m^3$ ; y  $v_n$  es el volumen de mezcla de concreto  $n$  que se colocará en  $m^3$  o  $yd^3$ .

El solicitante puede utilizar  $m^3$  o  $yd^3$  para el cálculo, pero debe mantener las mismas unidades en todo el proceso.

## Instituto de Edificios Nuevos

En el lenguaje propuesto por el International Building Code (IBC) (Ver Tabla 6 y Cuadro de texto 2), el NBI determina un límite de carbón capturado por mezcla y por proyecto. Los límites de carbón capturado se basan en la resistencia especificada a la compresión y se satisfacen mediante la presentación de una EPD Tipo III específica para el producto de principio a fin. El límite de carbón del proyecto puede usar una aproximación de elemento por elemento en tanto sume el total del GWP para cada mezcla y se compare con un límite establecido usando los límites por mezcla totales.

## Cuadro de texto 2: Impacto de los GHG en el ciclo de vida según NBI<sup>8</sup>

(Código Internacional de Construcción, Capítulo 19 Concreto, Sección 1903 Especificaciones para ensayos y materiales.)

### 1903.5 CO<sub>2</sub>e atrapado en los materiales para concreto.

Los materiales para concreto utilizados en una construcción deberán cumplir con las Secciones 1903.5.1 o 1903.5.2

Excepciones:

- Elementos prefabricados
- Piezas de mampostería que cumplan con la Sección 2103.1.2: y
- Proyectos en donde no se encuentren productores de concreto que cuenten con declaraciones ambientales de producto (EPDs) en un radio de 10 millas de distancia del proyecto en cuestión, y donde existan declaraciones ambientales de producto tipo III aplicables a toda industria y un inventario de los valores de CO<sub>2</sub>e para todas las mezclas de concreto se provea a la autoridad que tenga jurisdicción. (AHJ)

### 1903.5.2 Método del límite de CO<sub>2</sub>e - Mezclas

El monto total de CO<sub>2</sub>e de las mezclas de concreto usadas en un proyecto no deberán exceder los valores dados en la tabla 1903.5.1 basados en la resistencia a la compresión del concreto. El contenido de CO<sub>2</sub>e deberá ser documentado con una EPD de producto específico tipo III para cada tipo de producto.

La EPD que se utilice para cumplir con esta sección, deberá ser certificada y cumplir con el objetivo y alcance de los requisitos de cuna a puerta de acuerdo con las normas ISO 14025 y 21930 y debe estar disponible en una base de datos pública.

### 1903.5.2 Método del límite de CO<sub>2</sub>e – Proyecto

El CO<sub>2</sub>e total (CO<sub>2</sub>e<sub>proy</sub>) de todo el concreto colocado en un proyecto de edificación no excederá los límites del proyecto (CO<sub>2</sub>e<sub>permitido</sub>)

determinados utilizando la tabla 1903.5.1 y equivalente. (1903.5.2).

### Equivalente (1903.5.2):

$$CO_2e_{proy} < CO_2e_{permitido}, \text{ donde } CO_2e_{proy} = \sum CO_2En_{vn} \text{ and } CO_2e_{permitido} = \sum CO_{2elim} V_n$$

Donde  $n$  es el número total de mezclas de concreto para el proyecto;  $CO_2En$  es el GWP (Potencial Global de calentamiento) para la mezcla  $n$  por cada declaración de impacto por mezcla EPD en kg/m<sup>3</sup>;  $CO_2e_{limite}$  es el GWP límite para la mezcla  $n$  de acuerdo con la tabla 1903.5 en kg/m<sup>3</sup>; y  $V_n$  es el volumen de concreto de la mezcla  $n$  que será colocada.

**Tabla 5:**

**Límites de la GSA7. Estas cifras reflejan una reducción del 20% del GWP (CO<sub>2</sub>e) respecto a los límites en el lenguaje de códigos propuesto en la Referencia 8.**

Límites máximos de la GWP para concretos de GSA con bajo contenido de carbono kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>			
f' <sub>c</sub> , psi	Peso normal	Alta resistencia temprana	Peso Ligero
Hasta 2499	242	314	462
2500 a 3499	306	398	462
3500 a 4499	346	450	501
4500 a 5499	385	500	540
5500 a 6499	404	526	N/A
6500 y más	414	524	N/A

Nota: 100 psi = 0.7 MPa; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/yd<sup>3</sup>

**Tabla 6:**

**Límites de CO<sub>2</sub>e para una mezcla de concreto (Tabla 1903.5.1 de la Referencia 8)**

Resistencia especificada a la compresión f' <sub>c</sub> , psi	Máximo, kg/m <sup>3</sup>	Máximo para alta resistencia temprana, kg/m <sup>3</sup>	Máximo para concreto ligero, kg/m <sup>3</sup>
Hasta 2499	302	408	578
2500 a 3499	382	516	578
3500 a 4499	432	583	626
4500 a 5499	481	649	675
5500 a 6499	505	682	N/A
6500 y mayor	518	680	N/A

Nota: 100 psi = 0.7 MPa; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/yd<sup>3</sup>



## NRMCA



Fig. 1: Regiones de la NRMCA para el cálculo de los impactos ambientales promedio de la producción de concreto<sup>9</sup>.

La GSA y el NBI utilizan límites de carbono a escala nacional, mientras que la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NRMCA, por sus siglas en inglés) calcula el impacto medioambiental medio de ocho regiones distintas de Estados Unidos (Fig. 1)<sup>9</sup>. Estos valores de referencia (Tabla 7) representan los impactos ambientales de productos con distintas resistencias para diferentes aplicaciones y condiciones de exposición, que pueden utilizarse para comparar estos impactos ambientales con los de las mezclas de concreto suministradas para cada proyecto. La NRMCA utiliza el Calculador de Impacto para Edificios Athena<sup>12,13</sup> para definir un edificio de referencia con GWP de referencia en una región elegida a un edificio(s) propuesto(s) con mezclas GWP seleccionadas para ser inferiores a las mezclas de referencia.

Tabla 7:

Límites regionales de carbono de la NRMCA para las mezclas de referencia<sup>9</sup>

Límite de carbono de la NRMCA, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>									
f' <sub>c</sub> a 28 días, psi	Este (Gris)	Grandes Lagos (Verde)	Central Norte (Café)	Noroeste del Pacífico (Celeste)	Sureste del Pacífico (Morado)	Montañas Rocallosas (Rojo)	Central Sur (Naranja)	Central Sur (Naranja)	Promedio nacional
2500	240	232	241	235	257	232	226	247	240
3000	264	255	264	261	279	255	245	268	262
4000	314	303	312	316	323	301	286	309	308
5000	378	363	372	386	378	358	336	360	365
6000	399	383	394	408	401	379	356	382	385
8000	472	452	460	487	456	440	409	435	446
3000 LW	517	499	487	518	500	484	468	478	492
4000 LW	573	551	537	575	546	532	510	521	540
5000 LW	628	603	591	632	594	580	555	562	588

Nota: 100 psi = 0.7 MPa; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/yd<sup>3</sup>

La NRMCA<sup>12</sup> proporciona un ejemplo en el que las mezclas de concreto en los edificios propuestos darían lugar a una reducción del 36% en el GWP en comparación con las mezclas de concreto de referencia en el mismo edificio. Considerando que fueron demasiado optimistas con respecto a los porcentajes de sustitución del cemento portland, recomiendan seleccionar como objetivo una reducción del 30% del GWP del edificio de referencia.

La NRMCA propone un lenguaje de especificación basado en su ejemplo:

“Suministrar mezclas de concreto tales que el Potencial de Calentamiento Global (GWP) total de todo el concreto en el proyecto sea 30% o más por debajo del GWP de un edificio de referencia utilizando mezclas de referencia según lo establecido por la NRMCA y disponible para su descarga en [www.nrmca.org](http://www.nrmca.org). Presentar un informe resumido de todas las mezclas de concreto, sus cantidades y su GWP para demostrar que el GWP total del edificio es un 30% o más inferior al GWP del edificio de referencia. El contratista puede utilizar el software Calculador de Impacto para Edificios Athena, disponible en [www.athenasmi.org](http://www.athenasmi.org) u otro software similar con capacidad para calcular el GWP de diferentes diseños de mezcla<sup>12</sup>”.



Mientras que la NRMCA utiliza el CO<sub>2</sub>e total, nosotros preferimos una media ponderada de CO<sub>2</sub>e/yd<sup>3</sup>. En su ejemplo, la NRMCA fija el edificio de referencia en 6;220,000 CO<sub>2</sub>e, proponiendo una reducción del 30% para establecer un objetivo de 4;354,000 CO<sub>2</sub>e<sup>12</sup>. El edificio de referencia tiene 12,909 m<sup>3</sup> de concreto. Así pues, la media ponderada del edificio de referencia es de 368 CO<sub>2</sub>e/yd<sup>3</sup> (6;220,000/16,884) o 482 CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (6;220,000/12,909) y el objetivo es de 258 CO<sub>2</sub>e/yd<sup>3</sup> (4;354,000/16,844) o 337 CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (4;354,000/12,909). Creemos que la media ponderada proporciona una referencia más sencilla de entender que el CO<sub>2</sub>e total y preferimos su uso. Las Normas de Construcción Ecológica de California de 2022<sup>14</sup> también utilizan un enfoque de media ponderada.

## Política actual y propuesta en materia de carbono contenido

El CLF<sup>15</sup> ofrece un mapa interactivo con enlaces a información sobre 115 políticas y programas municipales, estatales y nacionales en Norteamérica.

## Comunicación Ambiental-PCR, LCA, y EPD

La Figura 2 ilustra la secuencia de desarrollo de una EPD. Las Reglas para Categorías de Productos (PCR) definen los parámetros para un Análisis del Ciclo de Vida (LCA), utilizado para generar una EPD.

Las PCR definen cómo se recopilan los datos para un tipo específico de producto. Las PCR pueden incluir las condiciones límite, los datos utilizados y las entradas del sistema. Cuando se siguen estos parámetros, los revisores obtienen resultados coherentes, lo que permite comparar distintos productos.

Un LCA es un conjunto sistemático de procedimientos para recopilar y examinar las entradas y salidas de materiales y energía, y los impactos ambientales asociados directamente atribuibles a un producto a lo largo de su ciclo de vida (ISO 14040<sup>16</sup>).

Una EPD proporciona información estandarizada sobre el GWP del concreto y otros materiales de construcción. El GWP es el impacto potencial sobre el cambio climático de un producto medido por los LCAs reportados en unidades, normalmente kilogramos, de CO<sub>2</sub>e también marcado como CO<sub>2</sub>e, CO<sub>2</sub>eq, o CO<sub>2</sub>-e. Nótese que las DAP para el concreto pueden basarse en m<sup>3</sup> o yd<sup>3</sup>.



**Fig. 2:** La secuencia de procesamiento de una EPD. Las reglas de categoría de producto (PCR) definen los parámetros de un análisis del ciclo de vida (LCA) utilizado para generar una EPD (cortesía del sitio web Long Trail Sustainability)<sup>9</sup>.

### Tipos de reclamaciones sobre productos

Las normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO) identifican tres tipos de declaraciones ambientales para los productos:

- Las declaraciones de Tipo I son etiquetas verificadas por terceros, basadas en criterios establecidos por un tercero y regidas por la norma ISO 14024<sup>17</sup>.
- Las declaraciones de Tipo II son autodeclaraciones realizadas por fabricantes o minoristas y se rigen por la norma ISO 14021<sup>18</sup>. Las declaraciones de Tipo II no son verificadas por terceros; y
- Las declaraciones de Tipo III contienen información cuantificada sobre el producto basada en los impactos del ciclo de vida y se rigen por la norma ISO 14025<sup>19</sup>. Las declaraciones de Tipo III deben ser verificadas por terceros.

## PCR

Las PCR proporcionan directrices para calcular las EPD medias del sector y específicas de cada producto. Por ejemplo, la PCR para el concreto define las EPD de determinado producto como aquellas “para un producto específico o grupo de diseños de mezclas de concreto categorizados por su desempeño desarrollados por un fabricante para una ubicación específica de una planta de concreto premezclado” y una EPD promedio de la industria como aquella “para un producto específico o grupo de diseños de mezclas de concreto categorizados por su desempeño para una región específica”<sup>20</sup>.

### Categorías de EPD

Las EPD varían en su nivel de especificación de producto, cadena de suministro y región. Los compradores utilizan las siguientes categorías de EPD para identificar qué nivel de especificación se requiere para cumplir un requisito de EPD:

- Las EPD industriales representan los impactos típicos de la fabricación de una serie de productos o de un grupo de fabricantes. Las EPD industriales proporcionan los datos menos específicos sobre la huella de carbono contenida en un producto y no pueden utilizarse para comparar productos, pero sirven para comprender el impacto típico de un producto. Existen EPD industriales para el cemento portland, el acero de refuerzo y el concreto;
- Las EPD de productos específicos representan los impactos de un producto y un fabricante concretos en múltiples instalaciones;
- Las EPD específicas de una cadena de suministro: una EPD específica de un producto que utiliza datos específicos de la cadena de suministro en el LCA para simular los impactos de los procesos clave previos en la cadena de suministro de un producto.
- EPD específicas de una instalación: EPD específicas de un producto en las que los impactos ambientales pueden atribuirse a un único fabricante y a una única instalación de fabricación.

CLF identifica el tipo de EPD requerida para las diferentes legislaciones existentes y propuestas<sup>21</sup>.

### EPD específica por lote

Hay discusiones sobre exigir “EPD específicas de producto según lote”. El argumento es que las EPD específicas del producto no tienen en cuenta las tolerancias de los lotes. La ASTM C94/C94M<sup>22</sup> establece tolerancias de dosificación de  $\pm 1\%$  para el cemento y los SCM,  $\pm 2\%$  para los agregados,  $\pm 1\%$  para el agua de mezcla y  $\pm 3\%$  para los aditivos. Algunos productores de concreto premezclado indican que pueden producir una EPD para cada lote. A continuación, la documentación cambia de una EPD específica de un producto a una EPD específica de un producto tal como se mezcla, convirtiendo 2.000 yd<sup>3</sup> (1,530 m<sup>3</sup>) de una mezcla de una EPD en 200 EPD (suponiendo cargas de camión de 10 yd<sup>3</sup>). Se trata de un cambio drástico en la documentación que, como se explicará, los contratistas de concreto no consideran justificado.

### Variabilidad de la EPD

La PCR para el concreto requiere una declaración relativa a la calidad y variabilidad de los datos en la EPD<sup>23</sup>. Las opciones incluyen una de las siguientes:

A. Este Inventario de la Huella de Carbono/ GHG del Producto se ha creado utilizando datos promedio de la industria para los materiales anteriores. Las variaciones pueden deberse a diferencias en la ubicación de los proveedores, los procesos de fabricación, la eficiencia de la fabricación y el tipo de combustible utilizado. Los impactos del cambio climático podrían oscilar entre  $XXCO_2e$  y  $YYCO_2e$  por m<sup>3</sup> (insertar el rango real previsto); o

B. Este Inventario de la Huella de Carbono/ GHG del Producto se ha creado utilizando datos específicos de la planta para los materiales anteriores. Por lo tanto, en este inventario se tienen en cuenta las posibles variaciones debidas a la ubicación de los proveedores, los procesos y eficiencias de fabricación y el uso de combustibles.

Transparencia de la Construcción ofrece información sobre la variabilidad de las EPD utilizando su modelo EC3<sup>24</sup>. Las EPD suelen

declarar un valor único y determinista como impacto de un producto dado. Sin embargo, puede haber un alto grado de incertidumbre en el LCA. Realizar un análisis de incertidumbre requiere analizar un modelo de LCA base para el concreto.

DeRousseau et al.<sup>25</sup> realizaron un modelo de LCA de principio a fin basado en probabilidades que representa la variabilidad relacionada con el proceso en el carbono contenido en el concreto. Su documento enumera las fuentes de datos del inventario del ciclo de vida y los parámetros de distribución de probabilidad. También incluye gráficos de caja para ilustrar la gama de entradas del ciclo de vida para una mezcla de concreto (Fig. 3) y la distribución del carbono contenido para 10 mezclas de concreto que van de 3000 a 8000 psi (21 a 55 MPa) (Fig. 4).

El rango de carbono contenido por unidad de concreto ( $\text{kg CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ) para los de menor resistencia es de unos 200, y para los de mayor resistencia se aproxima a los 400. Si consideramos el rango intercuartílico (IQR), es de unos 40 para los de menor resistencia y de unos 60 para los de mayor resistencia. Las estimaciones de la desviación típica son tres cuartos del IQR, o alrededor de 30 para la fuerza más baja y aproximadamente 60 para las fuerzas superiores. Con este tipo de variabilidad, no es necesario exigir EPD de lotes de concreto en los que un cambio del 1% en el cemento afecta en 4 veces al GWP. Además, esta variabilidad debería utilizarse como guía para considerar la precisión necesaria a la hora de tomar decisiones sobre el concreto bajo en carbono.

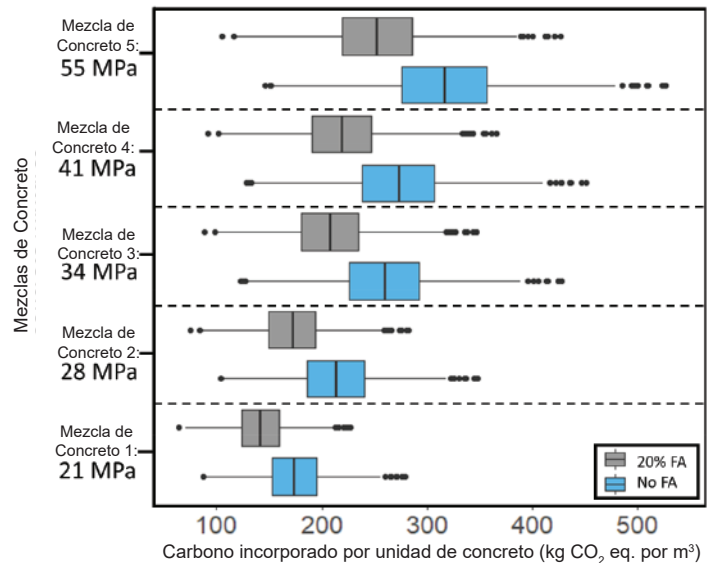
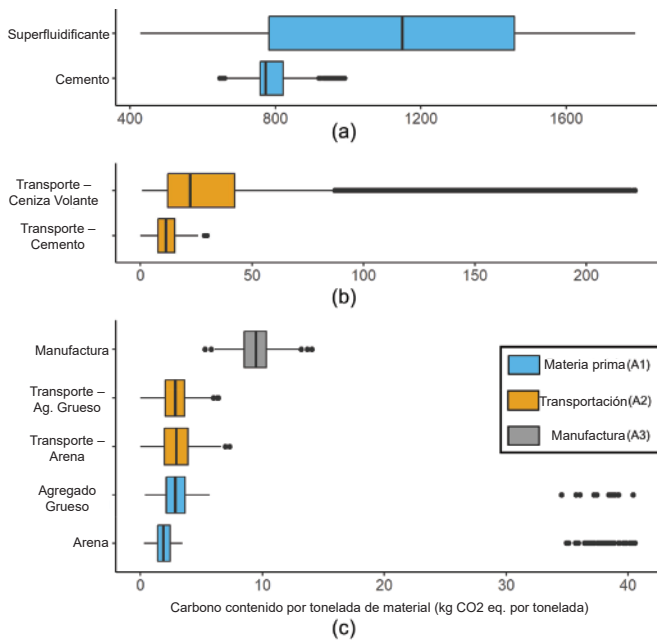


Fig. 3: Carbono contenido en los insumos del ciclo de vida por tonelada métrica categorizado por (a) impacto alto; (b) medio; y bajo (de la Referencia 25) (Nota: 1 kg/tonelada = 2 lb/tonelada).

Fig. 4: Distribución de Carbono incorporado para 10 mezclas de concreto (Referencia 25) (Nota: 1MPa=145 psi; 1kg/m<sup>3</sup> =1.7 lb/yard<sup>3</sup>).

## El Concreto y la EPD's para el Refuerzo

En abril de 2021, la NBI recopiló más de 36.000 EPD para concreto<sup>8</sup>. Algunos de esos datos se muestran en la Tabla 8 y representan a seis mezclas para seis resistencias encontradas en 23 estados. California, Nueva Jersey, Nueva York y Washington tienen el mayor número de EPD para concreto premezclado. Siendo las mezclas de concreto más comunes las de 4000 y 5000 psi (28 y 34 MPa), esta tabla refleja la tendencia con la mayoría de las EPD correspondientes a clases de resistencia de 3500 y 4500 psi (24 y 31 MPa). En agosto de 2023, la NBI informó que hay más de 70.000 EPD's para el concreto<sup>26</sup>. Pero la experiencia de los contratistas de concreto con las EPD varía. Por ejemplo, en 2023, Baker Concrete se surtía sus necesidades de concreto en Ohio de 21 plantas premezcladoras diferentes<sup>27</sup>. Sólo tres de las 21 plantas podían suministrar EPD.

Si bien nos hemos centrado principalmente en las EPD para concreto, hay muchos otros productos en concreto que deben tenerse en cuenta:

- El acero de refuerzo - Con relación al EPD, el Instituto del Concreto Reforzado con Acero (CRSI por sus siglas en inglés) reporta un Potencial de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés) desde la cuna-hasta -la-puerta de 854 kg CO<sub>2</sub>e/T<sup>28</sup>;
- Cables postensados – el EPD especificado para los cables de postensado de Suncoast reporta un GWP desde la cuna-hasta -la-puerta de 1430 kg CO<sub>2</sub>e/T<sup>29</sup>;
- Conectores: el EPD especificado para los conectores de JORDAHL GmbH reporta un GWP desde la cuna-hasta -la-puerta de 296 kg CO<sub>2</sub>e/T<sup>30</sup>; y
- Fibras—las especificaciones del producto para las fibras de Euclid Chemical reportan un GWP desde la cuna-hasta -la-puerta de 2.8 kg CO<sub>2</sub>e/T<sup>31</sup>;

## Recomendaciones del taller sobre sostenibilidad

Los aspectos que surgieron de las recomendaciones del taller de sostenibilidad, que deben ser considerados en la etapa de diseño y en los que debe involucrarse el contratista se presentan en los siguientes párrafos.

### Exclusión y limitaciones

Aunque la GSA aplica sus requisitos de bajas emisiones de carbono para cualquier proyecto que utilice al menos 10 yd<sup>3</sup> de concreto, podría establecerse un límite más práctico, tal como 500 yd<sup>3</sup> (380 m<sup>3</sup>). La exclusión podría también basarse en términos de la superficie bruta de las losas, como por ejemplo 5000 o 10,000 pies<sup>2</sup> (465 o 929 m<sup>2</sup>). El concreto lanzado, el concreto prefabricado y el colado con barrenos suelen quedar excluidos de los requisitos para concretos con bajas emisiones de carbono. Debería considerarse si el concreto celular, el relleno fluido, u otros concretos deben ser incluidos o exentados para estos requisitos y si los límites de GWP aplica para reparaciones o rehabilitaciones.

**Tabla 8:**  
EPDs por estado y por resistencia

Estado	2499 psi	2500 psi	3500 psi	4500 psi	5500 psi	6500+ psi
AL	1	6	5	4	0	0
CA	569	4237	6012	5427	2041	785
CO	2	30	113	214	28	36
DC	1	4	4	3	3	4
FL	3	11	67	16	14	9
GA	8	115	135	75	22	11
IA	2	10	55	21	0	0
IL	0	6	70	52	32	15
MA	0	0	15	12	5	2
MD	5	25	20	15	16	20
NC	1	92	107	71	4	6
NE	0	16	63	25	0	0
NJ	60	883	1515	1014	204	16
NM	4	23	24	3	2	0
NV	2	1	0	5	1	1
NY	11	132	303	164	36	1
OH	10	26	19	12	0	0
OK	1	2	12	12	3	0
OR	24	299	529	197	42	4
SC	0	39	31	13	1	0
TX	0	26	16	29	6	0
VA	1	6	4	3	3	4
WA	42	164	451	412	250	87
	747	6,153	9,570	7,799	2,713	1,001

Nota: 100 psi = 0.7 MPa

También se pueden imponer limitaciones para la resistencia a la compresión. El ACI 318-19(22) requiere una resistencia mínima especificada a la compresión de 2500 psi (17 MPa) a los 28 días. Además, las referencias regionales de la NRMCA son para resistencias del concreto de 8000 psi o menos. Aunque no es un volumen de concreto muy grande, se debe discutir cómo tratar a las columnas con altas resistencias que puedan ser de 12.000 psi (83 MPa).

### Cadena de suministro

Periódicamente, la industria de la construcción experimenta variaciones en la oferta de materiales de construcción esenciales para la producción del concreto, incluyendo cemento, cenizas volantes y agregados. Las variaciones en los costos también



**Tabla 9:**  
**Programa de desempeño de la mezcla de concreto**

Clase	Aplicación	Tipo de exposición	Resistencia a compresión		a/cm Max	Contenido de Aire %	Agregado Nominal max, in	Contracción por secado, %	Peso Unitario, lb/ft <sup>3</sup>	Volumen estimado de diseño, m <sup>3</sup>	GWP Meta, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	GWP Total Meta, kg CO <sub>2</sub> e
			f' <sub>c</sub> , ksi	Edad, días								
1	Zapatas y cimientos de muros	NA	4.0	56	—	—	1.5	—	NW	465	268	124,620
2	Muros de cimentación, pilares y vigas de apoyo	F2	4.5	56	0.45	5.5	1.5	—	NW	101	306	30,906
3	Envolturas de columna	F3 C2	5.0	56	0.40	5.5	1.5	—	NW	14	320	4480
4	Losas interiores sobre el suelo	NA	4.0	28	—	—	1.5	≤ 0.04	NW	289	268	77,452
5a	Losa sobre cubierta metálica	NA	4.0	28	—	—	0.75	≤ 0.04	NW	328	268	87,904
5b	Losa sobre cubierta metálica	NA	4.0	28	—	—	0.75	≤ 0.04	LW	89	484	43,076
6	Muros a cortante	NA	4.0	56	—	—	1.5	—	NW	419	275	115,225
7	Varios	NA	3.5	28	—	—	0.5	—	NW	—	Entrega requerida del proyecto	
8	Losa de barro	NA	2.5	28	—	—	0.75	—	NW	—		
<b>Total</b>										<b>1705</b>	<b>284</b>	<b>483,663</b>

Nota: 1 ksi = 7 MPa; 1 in. = 25 mm; 1 lb/ft<sup>3</sup> = 16 kg/m<sup>3</sup>; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.7 lb/ft<sup>3</sup>; 1 kg = 2.2 lb

pueden ser un factor. Siempre que sea posible, el involucramiento temprano del contratista y sus principales proveedores, durante la etapa de diseño del proyecto—puede optimizarle al propietario el diseño y al equipo de construcción la administración de la cadena de suministro de materiales. El discutir con anticipación respecto a los precios, los pedidos de fábrica, la disponibilidad de mecanismos de bloqueo de precios, y las proyecciones de las fechas de entrega, pueden maximizar los beneficios para el propietario y ayudar a minimizar los riesgos para el proyecto. Para una construcción sostenible con concreto, la falta de cenizas volantes o cemento de escoria originaria importantes dificultades para lograr los objetivos de un proyecto con respecto a la huella de carbono objetivo. Para julio de 2023, el cemento tipo IL sólo estaba disponible en cerca del 40% del territorio de los Estados Unidos.

La planificación del proyecto debe considerar el impacto de las fluctuaciones de los suministros y los costos en el objetivo de sostenibilidad del proyecto. Más información sobre este tema está disponible en la “Declaración de posición de ASCC #45: Administración de proyectos de concreto: Riesgos en los precios del concreto/acero en la volatilidad de los suministros”, Concrete International, junio 2022<sup>32</sup>.

## Especificaciones

Las proporciones de la mezcla de concreto tienen el mayor impacto en la huella de carbono. Debido a esto, el premezclador necesita utilizar especificaciones por desempeño para lograr los objetivos del proyecto. Para esto recomendamos la “Guía para Mejora de las especificaciones para el concreto premezclado: con notas sobre como reducir la huella de carbono incorporada<sup>33</sup>”. Este documento proporciona recomendaciones para especificar concretos que cumplan con requisitos específicos de reducción de la huella de carbono, manteniendo todas las características de desempeños requeridas para el concreto. También proporciona una guía sobre cómo establecer un presupuesto de carbono

para un edificio, los requisitos para demostrar el cumplimiento y las calificaciones de los productores del concreto para participar en un proyecto que tiene como objetivo la reducción de carbono.

## Cronograma para mezclas de prueba

Para producir mezclas de concreto con objetivos de sostenibilidad es deseable bajar contenido de cemento, reduciendo así la huella de carbono, especificando resistencias de diseño a la compresión en edades posteriores a los 28 días. Para estas mezclas es común que las resistencias especificadas se desarrollen a las edades de 56 o 90 días. Debido a que estas no son mezclas convencionales, se utilizan mezclas de prueba para establecer las proporciones de las mezclas de concreto para cada elemento específico. Estas mezclas de pruebas se realizan de acuerdo con el ACI 301-20<sup>34</sup>. Para cada elemento, además de la resistencia a la compresión, para confirmar el cumplimiento de las especificaciones integrales, al satisfacer requisitos tanto en estado fresco, como en estado endurecido, así como las necesidades del contratista para bombear, colocar y acabar estas mezclas. Aunque se pueden desarrollar mezclas de concreto sostenibles en una primera ronda de pruebas o tanteos, algunas veces se requieren múltiples tanteos. Se requiere considerar una planeación para definir el tiempo necesario para optimizar mezclas de concreto con objetivos de sostenibilidad.

## Residuos de concreto

Cuando se desarrolla una EPD, el PCR requiere que al LCA que asuma un 5% de desperdicio de concreto o las pérdidas que se hayan registrado (pérdida = volumen devuelto o eliminado dividido entre el volumen total producido en la planta por año). Así, por cada yd<sup>3</sup> teórica o m<sup>3</sup> en el lugar, la EPD proporciona un GWP para 5% o más. Esta discrepancia entre el volumen teórico y el volumen en el EPD requiere ser discutida.

## Resistencia a la compresión especificada a edades posteriores a los 28 días

Las resistencias de referencia de la NRMCA son resistencia a la compresión a los 28 días de edad. Otras referencias como las proporcionadas por la GSA, el condado de Marin y el NBI utilizan la resistencia a la compresión especificada sin proporcionar una edad. A menudo el ingeniero suele especificar que las mezclas de concreto sostenibles alcancen sus resistencias objetivo a las edades de 56 o 90 días. Hay varios enfoques para manejar esto, pero no importa qué enfoque sea utilizado, es necesario determinarlo para que se establezcan los límites de carbón aplicables.

## Resolución al no cumplir los requisitos

Quizás la discusión más importante en el taller sobre sostenibilidad es el cómo llegar a una resolución si no se cumplen las bajas emisiones establecidas para el concreto. Es comprensible que los contratistas necesitan conocer esto para analizar su riesgo. La opción de eliminar y reemplazar no parece ser una solución sostenible.

## Recomendaciones para contratistas de concreto

Con base en la información presentada, nuestras recomendaciones para una construcción de hormigón inteligente y sostenible son las siguientes:

- **Objetivo de sostenibilidad:** Reducir la media ponderada de la huella de carbono medida en GWP entre un 15 y un 25 % con el valor final determinado en el taller de sostenibilidad;



- **Medida de sostenibilidad:** Establecer el GWP para un edificio de referencia utilizando mezclas de referencia regionales de la NRMCA y el estimador Athena de Impacto para edificios u otros softwares similares con la capacidad de calcular el GWP para diferentes diseños de mezcla;
- **Plan de sostenibilidad:** para diseño, la construcción y el diseño de las mezclas de concreto utilice un enfoque de elemento por elemento, para proporcionar a los propietarios la mejor calidad y rendimiento general con el presupuesto de carbono más bajo posible;
- **Documentación de sostenibilidad:** utilice los EPD tipo III específicos para el producto de principio a fin de acuerdo con las Normas ISO 14025 y 21930<sup>35</sup>, disponibles en una base de datos accesible de manera pública, para presentar un informe resumido de todas las mezclas de concreto, las cantidades y el GWP para demostrar que el objetivo de sostenibilidad del GWP total del edificio está por debajo del GWP del edificio de referencia; y
- **Taller de sostenibilidad:** crear un cronograma de desempeño para todas las mezclas de concreto. Un ejemplo de tal entregable se muestra en la Tabla 9.

## Nota final

Esperamos ansiosamente la llegada de un estándar producido por el Comité ACI 323, Código de Concreto Bajo en Carbono, que sabemos se publicará a finales de 2023, para con ello proporcionar una enfoque uniforme y coherente a nivel nacional. Nosotros también estamos revisando el software Carbon Budget, una herramienta recientemente producida por la NRMCA, para integrarla a nuestro marco.

La Fundación ACI espera financiar futuras investigaciones e innovaciones que aporten soluciones a las necesidades de la industria, afirmó Masek. Las organizaciones pueden contribuir a los esfuerzos de la Fundación y apoyar la investigación y los avances tecnológicos relacionados con el concreto aportando sus conocimientos, experiencia y donaciones. Para más información, visite [www.acifoundation.org/giving](http://www.acifoundation.org/giving).

## Referencias

1. Lewis, M.; Huang, M.; Carlisle, S.; and Simonen, K., "Strategies for Reducing Embodied Carbon," Part III, AIA-CLEF Embodied Carbon Toolkit for Architects, Carbon Leadership Forum, University of Washington, Seattle, WA, 2021, 8 pp.
2. AIA Document D503™-2020, "Guide for Sustainable Projects," American Institute of Architects, Washington, DC, 2020, 67 pp.
3. AIA MasterSpec®, "033000 Cast-in-Place Concrete," Deltek, Inc., Herndon, VA, 2021, 58 pp.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
5. "Marin County Building Code," Chapter 19.07 – Carbon Concrete Requirements, Marin County, CA, Aug. 3, 2023, [https://library.municode.com/ca/marin\\_county/codes/municipal\\_code?nodeId=TIT19MACOBUCO\\_CH19.07CACORE\\_19.07.020DE](https://library.municode.com/ca/marin_county/codes/municipal_code?nodeId=TIT19MACOBUCO_CH19.07CACORE_19.07.020DE).
6. New York Senate Bill S542A, "An Act to Amend State Finance law, in Ration to Provisions in State Procurement Contracts Involving the Use of Low Embodied Carbon Concrete," Jan. 6, 2021, 3 pp.
7. "Low Embodied Carbon Concrete Standards for all GSA Projects," General Services Administration, Washington, DC, Sept. 2022, 1 pp.
8. Bowles, W.; Cheslak, K.; and Edelson, J., "Lifecycle GHG Impacts on Building Codes," New Buildings Institute, Portland, OR, Jan. 2022, 24 pp.
9. "Appendix D: NRMCA Member National and Regional LCA Benchmark (Industry Average) Report – V 3.0," National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 42 pp., [https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/02/NRMCA\\_REGIONAL\\_BENCHMARK\\_Nov2019.pdf](https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/02/NRMCA_REGIONAL_BENCHMARK_Nov2019.pdf).
10. "Environmental Product Declaration: Portland Cements," EPD 035, Portland Cement Association, Skokie, IL, June 1, 2016, 11 pp.
11. "Environmental Product Declaration: Portland-Limestone Cement," EPD 196, Portland Cement Association, Skokie, IL, Mar. 3, 2021, 13 pp.
12. "A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Ready-Mixed Concrete Manufactured by NRMCA Members – Version 3.2," National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, July 2022, 101 pp.
13. "Athena Impact Estimator for Buildings," version 5.4.01, Athena Sustainable Materials Institute, Ottawa, ON, Canada.
14. "2022 California Green Building Standards Code, Title 24, Part 11 (CALGreen)," California Building Standards Commission, Sacramento, CA, 2022, 250 pp.
15. "Embodied Carbon Policy Toolkit," Carbon Leadership Forum, University of Washington, Seattle, WA, 2023, <https://carbonleadershipforum.org/clf-policy-toolkit/>.

16. ISO 14040:2006, "Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006, 20 pp.
17. ISO 14024:2018, "Environmental Labels and Declarations—Type I Environmental Declarations—Principles and Procedures," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2018, 14 pp.
18. ISO 14021:2016, "Environmental Labels and Declarations—Selfdeclared Environmental Claims (Type II Environmental Labelling)," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2016, 3 pp.
19. ISO 14025:2006, "Environmental Labels and Declarations—Type III Environmental Declarations—Principles and Procedures," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006, 25 pp.
20. "Product Category Rule for Environmental Product Declarations: PCR for Concrete," NSF International, Ann Arbor, MI, Aug. 2021, 39 pp., [https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/pcr\\_concrete.pdf?mtime=20210903125351&focal=none](https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/pcr_concrete.pdf?mtime=20210903125351&focal=none).
21. Lewis, M.; Huang, M.; Waldman, B.; Carlisle, S.; and Simonen, K., "Environmental Product Declaration Requirements in Procurement Policies," Carbon Leadership Forum, University of Washington, Seattle, WA, 2021, 19 pp.
22. ASTM C94/94M-22a, "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 16 pp.
23. "North American Product Category Rules (PCR) for ISO 14025 Type III Environmental Product Declarations (EPDs) and/or GHG Protocol Conformant Product "Carbon Footprint" of Concrete," Carbon Leadership Forum, University of Washington, Seattle, WA, Nov. 30, 2012, 48 pp.
24. Hasik, V.; DeRousseau, M.; and Northcott, P., "EC3 Uncertainty General Methodology," Building Transparency, Seattle, WA, Feb. 2, 2023, 10 pp.
25. DeRousseau, M.A.; Arehart, J.H.; Kapryzk, J.R.; and Srubar, W.V. III, "Statistical Variation in the Embodied Carbon of Concrete Mixtures," Journal of Cleaner Production, V. 275, Dec 2020, 20 pp.
26. Bowles, W.; Edelson, J.; and Braciulyte, L., "Embodied Carbon Building Code," New Building Institute, Portland, OR, Aug. 2023, 43 pp.
27. Rowswell, K., Sustainability Manager, Baker Concrete, Monroe, OH, Sept. 2023 (private communication).
28. "Environmental Product Declaration: Steel Reinforcement Bar," ASTM-EPD362, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL, 2022, 13 pp.
29. "Environmental Product Declaration for Post-Tensioning System," SCS-EPD-06741, Suncoast Post-Tension, Houston, TX, 2021, 16 pp.
30. "Environmental Product Declaration: Punching Shear Reinforcement System," JORDHAL GmbH, Berlin, Germany, 2021, 10 pp.
31. "Environmental Product Declaration, Product Specific Type III EPD: Fiber Reinforcement Products for Concrete," Euclid Chemical, Cleveland, OH, 2023, 11 pp.
32. "ASCC Position Statement #45: Managing Concrete Projects: Concrete/Steel Price and Delivery Volatility Risks," Concrete International, V. 44, No. 6, June 2022, pp. 54-55.
33. "Guide to Improving Specifications for Ready Mixed Concrete—With Notes on Reducing Embodied Carbon Footprint," 2PE004-21c, National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 2021, 70 pp.
34. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 74 pp.
35. ISO 21930:2017, "Sustainability in Buildings and Civil Engineering Works—Core Rules for Environmental Product Declarations of Construction Products and Services," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017, 80 pp.



**Kyle Kammer**, miembro de ACI, es Director de Calidad de Concrete Strategies. También dirige los esfuerzos de sostenibilidad de Concrete Strategies y colabora con Clayco Enterprise y sus principales clientes para ofrecer los proyectos más sostenibles posibles. Kammer es miembro de los Comités ACI 121; Sistemas de Garantía de Calidad con concreto; ACI 306, Concreto en Climas Fríos; y ACI 308, Curado del concreto; así como de varios subcomités del Comité ACI 301.



**Jeremy Dominik**, miembro de ACI, es Vicepresidente Ejecutivo de Proyectos de Morley Builders. Con casi 30 años de experiencia en el sector de la construcción, Dominik lleva en Morley desde 1994, supervisando una gama completa de servicios y operaciones de construcción con concreto en el sur de California. También es miembro activo de la ASCC, contribuyendo al Comité de Sostenibilidad. Dominik es Licenciado en Gestión de la Construcción por la Universidad Politécnica Estatal de California, San Luis Obispo, CA, EE.UU., y tiene un MBA por la Universidad Estatal de California, Long Beach, CA.



**Mónica Chhatwani** está al frente del programa de descarbonización de DPR Construction.

Su labor se centra en establecer un sistema coherente de seguimiento del carbono en las categorías de emisiones de mayor impacto dentro de DPR. También desarrolla estrategias de seguimiento y reducción del carbono que se incorporan a los proyectos, al trabajo autoejecutado y a la prefabricación. Como miembro del Comité de Sostenibilidad de la ASCC y codirectora del Grupo de Trabajo de Descarbonización de la AGC, Chhatwani está ayudando a crear una guía para que los proyectos de construcción hagan un seguimiento de sus emisiones. Obtuvo su Máster en Sistemas de Infraestructuras Sostenibles y Resistentes en la Universidad de Illinois, Urbana Champaign, IL, EEUU.



**Bruce A. Suprenant** es Consultor de concreto y Copresidente del Comité de Sostenibilidad de la ASCC. Es Presidente del Subcomité 117-M del ACI, que se ocupa de los movimientos que afectan a las tolerancias, y Vicepresidente del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, que se ocupa de las tolerancias. Además, es miembro de los Comités ACI 134, Constructibilidad de concreto, y del 302 Construcción de Suelos de concreto. Bruce ha sido reconocido con varios premios prestigiosos, como el Premio Internacional de concreto ACI 2022, la Medalla Arthur R. Anderson ACI 2021, el Premio de Construcción ACI 2020, el Premio de Certificación ACI 2013, el Premio Constructor ACI Roger H. Corbetta 2010 y el Premio de Cotnstrucción ACI 2010.



**Beverly A. Garnant**, miembro honorario de ACI, tiene una gran experiencia en la industria del concreto. Como antigua Directora Ejecutiva de la ASCC y copresidenta del Comité de Sostenibilidad de la ASCC, ha desempeñado un papel crucial en el avance de las prácticas sostenibles en el sector. Beverly también es miembro de tres comités del ACI, entre ellos el Comité de Construcción de Concreto 134, el Comité de Certificación de Acabados con Concreto Decorativo C641 y el Comité de Prácticas de Construcción con concreto E703.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noreste

*Título: Construcción inteligente y sostenible con concreto*



**Traductora:**  
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez



**Revisor Técnico:**  
M.C. Francisco David Anguiano Perez