



Polymer membranes used in slab-on-ground construction are tough enough to resist puncture by embedded hardware and finishing equipment (photo courtesy of Stego Industries, LLC)

# Vapor Barriers Used with Capillary Breaks Reduce the Severity of Sulfate Exposure of Concrete

Industry practice and test data provide supporting evidence

by James Klinger, Colin L. Lobo, and Bruce A. Suprenant

A recent Concrete Q&A published in ACI's *Concrete International* dealt with the question "What can be done to protect slabs-on-ground that will be subject to various exposure conditions as defined in ACI 318?"<sup>1</sup> The answer included the recommendation that "...an effective vapor retarder should be used for slabs-on-ground placed in contact with water or exposed to sulfates (Exposure Class W or S per ACI 318, respectively)." This implies that vapor retarders protect concrete slabs-on-ground from sulfates, thus allowing the licensed design professional to consider the concrete not subject to more severe exposure. However, the answer provided no further information. In this article, we support the answer with a summary of industry practice and test data.

## ACI 318-19 Exposure Categories, Classes, and Requirements

While ACI 318 (the Code) does not apply to the design and construction of slabs-on-ground that do not transmit vertical loads or lateral forces from other portions of the structure to the soil, designers often defer to the Code to specify requirements for all concrete mixtures on a project. Concrete durability requirements are defined in Section 19.3 of ACI 318-19,<sup>2</sup> with the requirement that: "The licensed design professional shall assign exposure classes in accordance with the severity of the anticipated exposure of members for each category in Table 19.3.1.1." Concrete in contact with soil or water containing deleterious amounts of water-soluble sulfate ions is deemed to be in Exposure Category S. Based on the amounts of sulfate in the soil or water, four sulfate exposure

classes are defined in Table 19.3.1.1. The Exposure Category S classes are provided in Table 1 herein.

Based on the exposure classes assigned by the licensed design professional, concrete mixture requirements are set forth in Table 19.3.2.1 in the Code. Exposure Category S requirements are provided in Table 2. The requirements include:

- Maximum water-cementitious materials ratio ( $w/cm$ );
- Minimum concrete compressive strength  $f'_c$ , psi;
- Types of cementitious materials that provide sulfate resistance; and
- Restriction on the use of calcium chloride as an admixture.

The Code permits alternative combinations of cementitious materials when tested for sulfate resistance in accordance with ASTM C1012/C1012M, "Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution," and meeting the expansion limits provided in Table 26.4.2.2(c) (Table 3 herein). Note that the two expansion limits are 0.05 and 0.10% and the test duration can take up to 12 or 18 months for more severe exposure conditions. This test evaluates the sulfate resistance of the cementitious system but not the effect of the  $w/cm$  of concrete.

It is generally presumed that the durability requirements in the Code apply if concrete is in contact with the conditions that impact its durability—contact with water, chlorides, sulfates, and cycles of freezing and thawing. While one might surmise that these requirements will not apply to concrete that is adequately isolated from exposure, the Code does not specifically address isolation methods or evaluation of such systems. However, some concrete industry documents do recommend the use of isolation systems.

## Industry Standards and Reports

The 2008 edition of PTI DC10.5, “Standard Requirements for Design and Analysis of Shallow Post-Tensioned Concrete Foundations on Expansive and Stable Soils,”<sup>3</sup> provided requirements in Section 6.2 for concrete in direct contact with soil containing water-soluble sulfates or chlorides. However, the Commentary stated:

“**R6.2**—When a moisture control barrier such as a polyethylene vapor retarder is placed between the concrete and the soil, the concrete is not considered to be in direct contact with soil within the context of Section 6.2.”

The Commentary to the 2019 edition<sup>4</sup> of the document has slightly different language, clarifying that the vapor barrier must encapsulate the full interface between the concrete and the soil:

“**C10.4.2**—When a moisture control barrier such as a polyethylene vapor retarder is placed between the concrete (including the sides and bottom of the ribs) and the soil, the concrete is not considered to be in direct contact with soil within the context of Section 10.4.”

This is the only industry reference we have found that

explicitly advocates using a vapor retarder to impact the class selection within ACI 318 Exposure Category S.

ACI 201.2R-16, Section 8.5,<sup>5</sup> recommends, in case of the risk of physical salt attack, separating concrete from contact using a capillary break or protective coating. The capillary break prevents water-soluble sulfate ions from being in contact with the concrete and the vapor retarder minimizes moisture vapor transmission. Data and information with respect to using a capillary break and a vapor retarder to improve durability of concrete exposed to sulfate environments is provided.

ACI 515.2R-13<sup>6</sup> provides recommendations for protective systems. Although resin sheets are not referred to in the guide for selecting protective treatments, the document notes in Section 4.18 that resin sheets may be used wherever comparable resin coatings are recommended. The guide also notes that sheet types include acrylic, polyethylene, and polypropylene. These materials are widely recognized as being resistant to sulfates (see, for example, [www.tdiinternational.com/technical-source-product-info/chemical-compatibility-charts/acrylic](http://www.tdiinternational.com/technical-source-product-info/chemical-compatibility-charts/acrylic), [www.hmcpolymers.com/uploads/files/resources/hmc-pp-chemical-resistance.PDF](http://www.hmcpolymers.com/uploads/files/resources/hmc-pp-chemical-resistance.PDF), and

**Table 1:**

**Exposure classes for Exposure Category S per ACI 318-19, Table 19.3.1.1**

Sulfate (S)	Class	Water-soluble sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) in soil, percent by mass (per ASTM C1580)	Dissolved sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) in water, ppm (per ASTM D516 <sup>†</sup> or D4130 <sup>‡</sup> )
	S0	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> < 0.10	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> < 150
S1	0.10 ≤ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> < 0.20	150 ≤ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> < 1500 or seawater	
S2	0.20 ≤ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ≤ 2.00	1500 ≤ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ≤ 10,000	
S3	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > 2.00	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > 10,000	

\*ASTM C1580, “Standard Test Method for Water-Soluble Sulfate in Soil.”

†ASTM D516, “Standard Test Method for Sulfate Ion in Water.”

‡ASTM D4130, “Standard Test Method for Sulfate Ion in Brackish Water, Seawater, and Brines.”

**Table 2:**

**Requirements for concrete by exposure class per ACI 318-19, Table 19.3.2.1**

Class	Max w/cm	Min f' <sub>c</sub> , psi	Cementitious materials			Calcium chloride admixture
			ASTM C150/C150M <sup>*</sup>	ASTM C595/C595M <sup>†</sup>	ASTM C1157/C1157M <sup>‡</sup>	
S0	N/A	2500	No type restriction	No type restriction	No type restriction	No restriction
S1	0.50	4000	II	Types with (MS) designation	MS	No restriction
S2	0.45	4500	V	Types with (HS) designation	HS	Not permitted
S3	Option 1	4500	V plus pozzolan or slag cement	Types with (HS) designation plus pozzolan or slag cement	HS plus pozzolan or slag cement	Not permitted
	Option 2	5000	V	Types with (HS) designation	HS	Not permitted

\*ASTM C150/C150M, “Standard Specification for Portland Cement.”

†ASTM C595/C595M, “Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.”

‡ASTM C1157/C1157M, “Standard Performance Specification for Hydraulic Cement.”

[www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm\\_tecnico/PP%20Chemical%20Resistance.pdf](http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/PP%20Chemical%20Resistance.pdf)) and at least polyethylene is commonly used in vapor retarder sheets for building construction.

## Tests of Isolation Systems

There have been several evaluations of systems for isolating concrete from sulfates, chlorides, or other aggressive chemicals; for example:

- Redner et al.<sup>7,8</sup> evaluated the performance of more than 20 different coating systems in a 10% solution of sulfuric acid;
- Vipulanandan and Liu<sup>9</sup> evaluated the performance of a glass-fiber-reinforced epoxy coating in a 3% solution of sulfuric acid;
- Aguiar et al.<sup>10</sup> evaluated the protection provided by water-based acrylic coatings in a sulfate environment;
- Suleiman et al.<sup>11</sup> evaluated the effectiveness of surface treatments in protecting concrete from physical sulfate attack;
- Pan et al.<sup>12</sup> summarized the effectiveness of surface treatments against chemical sulfate attack; and
- Sakr and Bassuoni<sup>13</sup> evaluated the effectiveness of three surface coatings in protecting concrete from physical sulfate attack.

These studies generally indicate that isolating concrete from sulfate exposure minimizes the risk of chemical and physical sulfate attack.

We know of two additional studies, one conducted for a concrete contractor and one for a manufacturer of vapor retarders, in which sheet materials were evaluated for protection of concrete against sulfate attack. The first one was conducted using a modified ASTM C1012/C1012M test and the second in accordance with ASTM F739, “Standard Test Method for Permeation of Liquids and Gases Through Protective Clothing Materials Under Conditions of Continuous Contact.” In addition, the second study included

testing of the effect of a sulfate solution on the properties of a vapor retarder/barrier material. These evaluations were for project-specific needs and not published. They are described in this article.

## Contractor-sponsored study

In 2002, Baker Concrete Construction, Inc., was engaged to place a 1 million ft<sup>2</sup> industrial slab-on-ground. Based on the soil sulfate content stated in the project’s geotechnical report, the project specification called for a concrete mixture with a maximum *w/cm* of 0.45 and Type V cement plus a pozzolan. Type V cement was not locally available, and a mixture with a *w/cm* below 0.47 is generally considered to be too harsh to consistently produce a high-quality, hard-troweled finish. The contractor engaged CTLGroup, Skokie, IL, USA, to perform tests to determine whether a vapor barrier placed on a capillary break would provide adequate protection of the concrete slab so that a concrete mixture applicable to the construction needs could be used.

Four tests were carried out to evaluate the performance of mortar bars exposed to a 5% concentrated sodium sulfate (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) solution. Based on previous experience, CTLGroup produced mortar specimens using a cement that was known to fail the length change criterion in ASTM C1012/C1012M. Mortar bars that did not expand would indicate that a vapor retarder/barrier provided effective protection from sulfate attack.

The four test exposures were:

- Continuous immersion in a 5% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution in accordance with ASTM C1012/C1012M (Exposure 1)—this is considerably more concentrated than that measured in the soil;
- Storage of mortar bars on a 12 in. granular base that was compacted on a coarse crushed rock layer inundated with the Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> test solution contained within a polymer storage container; and
  - The container was left uncovered during the test (Exposure 2);
  - The container was covered with a polymer lid during the test (Exposure 3); or
  - A 10 mil (0.25 mm) vapor retarder was placed beneath the mortar bar specimens and the container was left uncovered during the test (Exposure 4).

The polymer container for Exposure 1 was 7 x 11 in. in cross section and 4 in. deep. The containers for the other three exposure conditions were 16 x 20 in. in cross section and 15 in. deep. For Exposures 1 and 3, the covers on the containers were sealed to prevent evaporation and to maintain a high relative humidity (RH).

For Exposures 2, 3, and 4, the 4 in. deep granular base comprised 52 lb of crushed dolomite rock (Fig. 1(a)). After the base layer was rodded and tamped, 16 lb of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution was added to bring the solution to a 1/2 in. head above the compacted crushed stone (Fig. 1(b)). This was followed by the addition of 65 lb of a blended mixture of dolomite and siliceous sand that was compacted by rodding, resulting in an

**Table 3:**  
Requirements for establishing suitability of combinations of cementitious materials exposed to water-soluble sulfate per ACI 318-19, Table 26.4.2.2(c)

Class		Maximum length change for tests in accordance with ASTM C1012/C1012M, %		
		At 6 months	At 12 months	At 18 months
S1		0.10	No requirement	No requirement
S2		0.05	0.10*	No requirement
S3	Option 1	No requirement	No requirement	0.10
	Option 2	0.05	0.10	No requirement

\*The 12-month expansion limit applies only if the measured expansion exceeds the 6-month maximum expansion limit.



**Fig. 1: Preparation of the base layer in a 16 x 29 x 15 in. test container: (a) compacting the 4 in. base layer; and (b) adding 16 lb of an  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solution to the base layer**

8 in. layer of “soil” above the 4 in. granular base. Shortly after placement of the soil layer, a thin film of the  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solution appeared at the top.

Twenty companion mortar bars were made for this program, with five specimens randomly selected and placed in each test exposure container (Fig. 2). As required in ASTM C1012/C1012M, 2 in. mortar cubes were tested for compressive strength to establish when the mortar bars would be exposed to sulfate solution in accordance with ASTM C1012/C1012M.

Length and weight change measurements were determined up to an age of 15 weeks (105 days). RH measurements were made three times during the test period. These readings were taken electronically, immediately after containers were opened to take a measurement. At the conclusion of the test period of 105 days, the RHs measured for Exposures 1, 2, 3, and 4 were 99%, 53%, 92%, and 47%, respectively.

The length change results are illustrated in Fig. 3.

For the ASTM C1012/C1012M evaluation (Exposure 1), the mortar bar specimens failed the ACI 318 expansion criteria for sulfate resistance. The use of this cement in concrete is not suitable for Exposure Category S. The average expansion of these mortar bars exceeded the 0.05% criteria at about 2 months. Expansion exceeded 0.10% in about 3 months, and it was about 0.30% at the conclusion of testing at 105 days of exposure.

The negative length change of specimens placed directly on the sulfate-contaminated soil layer and in an open container (Exposure 2) is consistent with drying shrinkage. Samples in Exposure 3, where the container was closed and sealed with a lid, exhibited negligible expansion. The length changes for Exposures 2 and 3 are consistent with the measured RH in each (53% and 92%, respectively).

The specimens placed on the vapor retarder, separated from the sulfate soil layer, exhibited the largest negative length change (drying shrinkage), illustrating that the vapor retarder

provided protection from sulfate attack. This supports the premise that the use of a vapor retarder/barrier with a capillary break protects concrete from the potential of damage from sulfate attack.

### Supplier-sponsored study

In 2010, Stego Industries, LLC, contracted with a lab to conduct sulfate permeation and exposure tests on a sample of Stego® Wrap Vapor Barrier (15 mil [0.38 mm]). The sulfate permeation test quantifies sulfate penetration, and the sulfate exposure test evaluates the effect of sulfate exposure on the vapor barrier properties.

**Sulfate permeation:** Permeability of sulfate ions through a vapor barrier sample was tested in accordance with ASTM F739, modified for discrete sampling time points over a 5-week period. In this test, the vapor retarder served as a barrier between two chambers, with one filled with a 10,000 ppm solution of  $\text{SO}_4^{2-}$  and the other filled with distilled water (Fig. 4). In this modified version of the test, the concentration of the  $\text{SO}_4^{2-}$  in the distilled water chamber was measured after 1, 3, 7, 14, 28, and 35 days of exposure.

For each of the seven measurements, sulfate permeation was not detectable (the limit of detection was 0.5 ppm).

**Sulfate exposure:** To simulate severe exposure, samples of 15 mil vapor barrier material were soaked in a 10,000 ppm solution of  $\text{SO}_4^{2-}$  for 28 days at ambient temperature and with constant liquid stirring as described in ASTM D5322, “Standard Practice for Laboratory Immersion Procedures for Evaluating the Chemical Resistance of Geosynthetics to Liquids.” In addition, control samples were soaked in distilled water under the same test conditions. Test coupons were evaluated for mass and volume for each exposure. Mass was measured with an analytical balance. Density was determined by the displacement method, as described in ASTM D792, “Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by

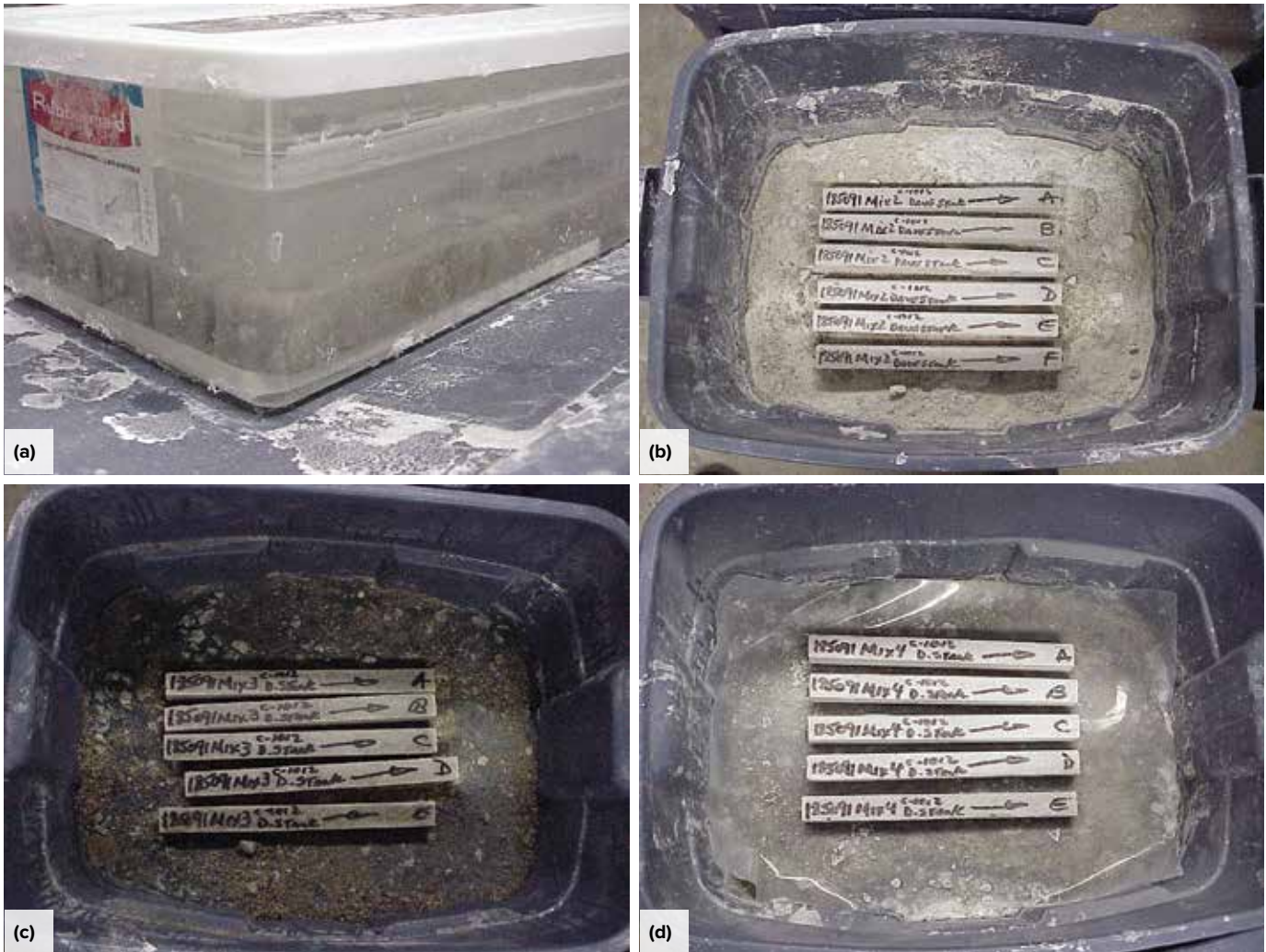


Fig. 2: Specimens and containers for sulfate exposure tests: (a) Exposure 1, per ASTM C1012/C1012M; (b) Exposure 2, with specimens bearing directly on an 8 in. thick soil layer containing an  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solution and with container left open during the test; (c) Exposure 3, with specimens bearing directly on an 8 in. thick soil layer containing an  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solution and with container sealed during the test; and (d) Exposure 4, with specimens placed on a 10 mil vapor barrier/retarder over an 8 in. thick soil layer containing an  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solution and with the container left open during the test

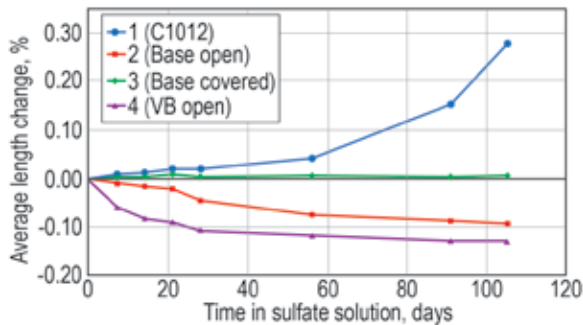


Fig. 3: Length change of mortar bars subjected to various sulfate exposures

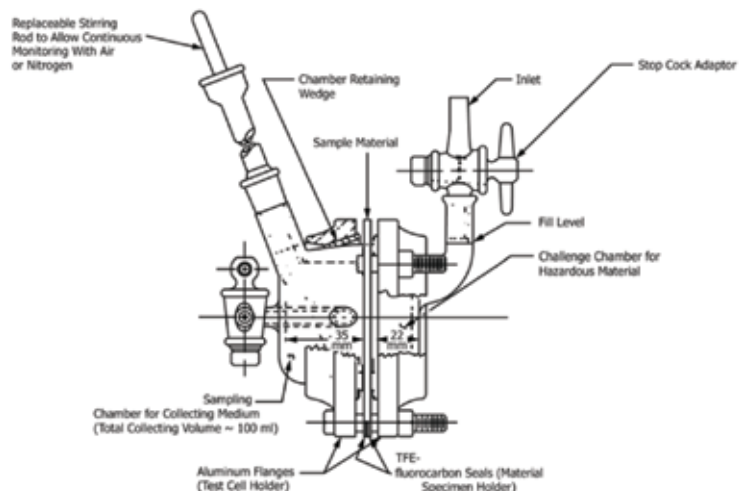


Fig. 4: Test apparatus used for evaluation of a vapor barrier as protection against a sulfate solution

Displacement.” Volume was calculated based on dry mass and density. Percent change in mass and volume were calculated from these data.

Specimens cut from a larger vapor barrier sample that had been immersed in the severe sulfate solution were evaluated for tensile properties per ASTM D882, “Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.” The results were compared to a set of control specimens immersed in distilled water for 28 days. The yield strength, ultimate strength, and elongation were reported for each principal direction (lengthwise and crosswise). Two specimens exposed to the sulfate solution were further tested for water vapor permeance per ASTM F1249, “Standard Test Method for Water Vapor Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Modulated Infrared Sensor.”

The five test coupons exposed to the sulfate solution exhibited slight changes in mass and volume during exposure. The average mass change was  $-0.03\%$ , and the average volume change was  $-0.73\%$ . The average mass change for the five test coupons exposed to the distilled water solution was  $+0.06\%$ , and the average volume change was  $-0.02\%$ . The average ultimate tensile strengths of the five specimens exposed to the sulfate solution were 74.2 lbf/in. lengthwise and 69.2 lbf/in. crosswise. The average ultimate tensile strengths of the five specimens exposed to distilled water were 73.6 lbf/in. lengthwise and 70.9 lbf/in. crosswise. For comparison, the minimum tensile strength for a Class A vapor barrier material in accordance with ASTM E1745, “Standard Specification for Plastic Water Vapor Retarders Used in Contact with Soil or Granular Fill under Concrete Slabs,” is 45 lbf/in.

The average elongations of the five samples exposed to the sulfate solution were 1731% lengthwise and 1678% crosswise. The average elongations of the five samples exposed to distilled water were 1759% lengthwise and 1693% crosswise. The two samples exposed to the sulfate solution and further tested for water vapor permeance exhibited an average permeance of 0.008 perms.

The tests showed no significant changes in mass and volume of the vapor barrier samples exposed to either the sulfate solution or distilled water. The difference in results for samples in the two exposure conditions was not statistically significant, based on a t-test at a 95% confidence level.

The differences in the ultimate tensile strength and elongation of specimens immersed in the sulfate solution and distilled water were also not statistically significant based on a statistical t-test at a 95% confidence level. Based on the similarity of water vapor permeance test results for vapor retarder material in different exposures, the material is not affected by exposure to significantly high concentrations of sulfate solution. The vapor barrier material properties were not affected after being soaked in a severe sulfate solution for 28 days, supporting the use of a vapor retarder/barrier to provide protection to concrete from the potential for sulfate attack from subgrades with high sulfate contents.

## Is It a Vapor Retarder or a Vapor Barrier?

In this article, we have used the terms “vapor retarder,” “vapor barrier,” and “vapor retarder/barrier.” It is unclear how the vapor sheet was classified in the tests conducted for Baker Concrete, but in the tests conducted for Stego Industries, a vapor barrier was used. The 2021 International Building Code (IBC)<sup>14</sup> separates vapor retarder materials into three classes: I, II, and III:

- Class I with a perm rating of 0.1 or less;
- Class II with a perm rating greater than 0.1 but less than 1.0; and
- Class III with a perm rating greater than 1.0 but less than 10.0.

For a vapor retarder/barrier to meet ASTM E1745, a perm rating of 0.1 or less is required. ACI 302.1R-15,<sup>15</sup> Section 5.2.3.1, states that “the industry has not established a permeance level that serves as the dividing point between materials classed as vapor barriers or vapor retarders. It is most likely that when a dividing point between barrier and retarder is established it will be at 0.01 perms or less.” Stego Industries recognizes vapor barriers as having a perm rating of 0.01 or less. Consequently, we recommend the use of a vapor barrier with a perm rating of 0.01 as protection for concrete against sulfate exposure.

## Edges, Joints, Penetrations, and Punctures

It is recognized that during construction, installation of vapor retarders can result in isolation that can be compromised due to tears, edges, and overlaps. ASTM E1643, “Standard Practice for Selection, Design, Installation, and Inspection of Water Vapor Retarders Used in Contact with Earth or Granular Fill Under Concrete Slabs,” covers procedures for selecting, designing, installing, and inspecting flexible, prefabricated membranes in contact with earth or granular fill used as a vapor retarder/barrier under concrete slabs. This standard is typically referenced in construction specifications for slab-on-ground construction. Further, a granular capillary break, which is generally required in project specifications, will prevent sulfate ions from being in contact with the vapor retarder/barrier. Thus, moisture vapor transmission should be the only concern at the lap joints because dissolved sulfates are not transmitted through water vapor.

## Other Benefits

ACI 302.1R-15 and ACI 360R-10<sup>16</sup> recommend a vapor retarder/barrier below concrete slabs that are to receive moisture-sensitive floor coverings. Even if moisture-sensitive floor coverings are not used, a below-slab vapor retarder/barrier can be used to minimize sweating slab syndrome.<sup>17,18</sup> Vapor retarders provide other potential benefits, including reduction of unwanted moisture ingress that can lead to mold growth in susceptible building materials, reduction of moisture contributing to interior RH levels (and associated latent loads), reduction of alkali-silica reactivity potential by

reducing slab RH, and reduction in slab curling.<sup>19,20</sup>

It can sometimes be difficult to provide a consistent hard-trowel finish on concrete with a  $w/cm$  of 0.40 and 0.45 that would be specified with Exposure Classes S2 and S3 based on soil sulfate concentration, as these mixtures may require the use of high quantities of admixtures that result in sticky mixtures or high cementitious materials contents that could reduce bleeding. ACI 302.1R recommends a  $w/cm$  in the range of 0.47 to 0.55 for concrete floors to receive a hard-troweled finish. The use of a vapor retarder/barrier to isolate the slab from the soil for sulfate resistance would allow the  $w/cm$  to be that recommended by ACI 302.1R.

Although this article does not explicitly address the use of vapor retarders/barriers for limiting exposure to soil containing chlorides, or to protect concrete in contact with water, these can be considered as other potential benefits associated with the use of a vapor retarder/barrier.

### One Answer to Sulfate Exposure for Slabs-on-Ground

The ACI 318 Building Code requires the licensed design professional to assign exposure categories and the appropriate class for each category, and ACI 301-20<sup>21</sup> requires the

designer to designate the exposure classes or specify requirements for concrete mixtures for portions of the structure requiring concrete resistant to sulfate attack in project specifications. We believe that information provided in this article can assist design professionals in addressing requirements of ACI 318 and ACI 301 with respect to sulfate resistance of concrete for slabs-on-ground.

### Acknowledgments

The authors would like to thank Mike Schneider, Vice President at Baker Concrete Construction, Inc., for providing Baker Concrete's data; and Dan Marks, Technical Director, and Bret Houck, Vice President of Business Development and Marketing, of Stego Industries, LLC, for providing data and assistance for this article.

### References

1. "Concrete Q&A: Design and Construction of Slabs-on-Ground (Exposure Conditions)," *Concrete International*, V. 42, No. 11, Nov. 2020, pp. 87-88.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
3. PTI Committee DC-10, "Standard Requirements for Design and

# The NEW ACI Detailing Manual

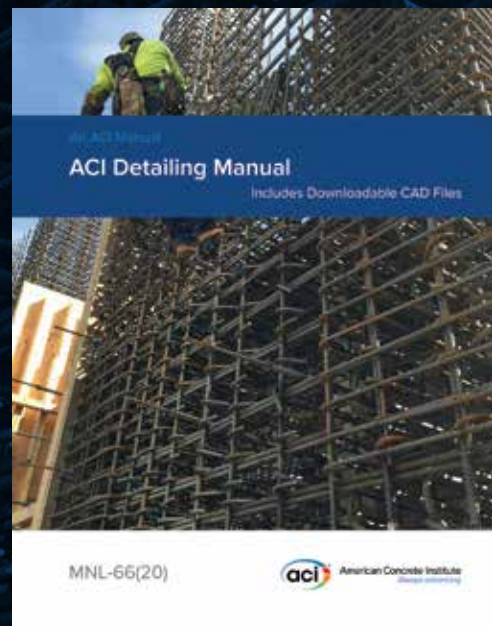
## Includes FREE Downloadable CAD Files

The 2020 edition of the *ACI Detailing Manual* includes many new updates and revisions, plus the addition of valuable downloadable CAD files.

Visit [concrete.org/store](https://concrete.org/store) for more information.



American Concrete Institute  
Always advancing





Analysis of Shallow Post-Tensioned Concrete Foundations on Expansive and Stable Soils (PTI DC10.5-08),” Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 17 pp.

4. PTI Committee DC-10, “Standard Requirements for Design and Analysis of Shallow Post-Tensioned Concrete Foundations on Expansive and Stable Soils (PTI DC10.5-19),” Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 56 pp.

5. ACI Committee 201, “Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-16),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 84 pp.

6. ACI Committee 515, “Guide to Selecting Protective Treatments for Concrete (ACI 515.2R-13),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 25 pp.

7. Redner, J.A.; Esfandi, E.J.; and Hsi, R.P., “Evaluating Protective Coatings for Concrete Exposed to Sulfide Generation in Wastewater Treatment Facilities,” *Journal of Protective Coatings & Linings*, Nov. 1991, pp. 81-89.

8. Redner, J.A.; Hsi, R.P.; and Esfandi, E.J., “Evaluating Coatings for Concrete in Wastewater Facilities: An Update,” *Journal of Protective Coatings & Linings*, Dec. 1994, pp. 48-59.

9. Vipulanandan, C., and Liu, J., “Glass-Fiber Mat-Reinforced Epoxy Coating for Concrete in Sulfuric Acid Environment,” *Cement and Concrete Research*, V. 32, No. 2, Feb. 2002, pp. 205-210.

10. Aguiar, J.B.; Camões, A.; and Moreira, P.M., “Coatings for Concrete Protection against Aggressive Environments,” *Journal of Advanced Concrete Technology*, V. 6, No. 1, Feb. 2008, pp. 243-250.

11. Suleiman, A.R.; Soliman, A.M.; and Nehdi, M.L., “Effect of Surface Treatment on Durability of Concrete Exposed to Physical Sulfate Attack,” *Construction and Building Materials*, V. 73, Dec. 2014, pp. 674-681.

12. Pan, X.; Shi, Z.; Shi, C.; King, T.-C.; and Li, N., “A Review on Surface Treatment for Concrete—Part 2: Performance,” *Construction and Building Materials*, V. 133, Feb. 2017, pp. 81-90.

13. Sakr, M.R., and Bassuoni, M.T., “Surface Treatments for Concrete Under Physical Salt Attack,” ICDCS 2018: Sixth International Conference on Durability of Concrete Structures, P.M.A. Basheer, ed., University of Leeds, Leeds, UK, July 2018, pp. 633-640.

14. “2021 International Building Code (IBC),” International Code Council, Country Club Hills, IL, 2020, 833 pp.

15. ACI Committee 302, “Guide to Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-15),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 76 pp.

16. ACI Committee 360, “Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.

17. Craig, P., “Sweating Slab Syndrome,” *Concrete Surfaces*, Oct. 2006, [www.concreteconstruction.net/how-to/sweating-slab-syndrome-1\\_o](http://www.concreteconstruction.net/how-to/sweating-slab-syndrome-1_o).

18. McKinney, A.W., “Resolving ‘Sweating’ in Open Industrial Floor Slabs,” *Concrete International*, V. 34, No. 2, Feb. 2012, pp. 26-29.

19. Tarr, S.M., and Farny, J.A., *Concrete Floors on Ground*, EB075.04, fourth edition, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2008, 239 pp.

20. “Concrete Q&A: Concrete Slab Curling Over Vapor Retarders,” *Concrete International*, V. 38, No. 9, Sept. 2016, pp. 75-76.

21. ACI Committee 301, “Specifications for Concrete Construction

(ACI 301-20),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.

Note: Additional information on the ASTM standards discussed in this article can be found at [www.astm.org](http://www.astm.org).

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **James Klinger** is Concrete Construction Specialist for the American Society of Concrete Contractors (ASCC), St. Louis, MO, USA. He is a member of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances; ACI Committees 134, Concrete Constructability, and 318, Structural Concrete Building Code; and ACI Subcommittee 318-A, General, Concrete, and Construction. Klinger received his master's degree in structural engineering from the University of Maryland, College Park, MD, USA.



**Colin L. Lobo**, FACI, is Executive Vice President of the Engineering Division at the National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Silver Spring, MD, USA. He serves on several ACI committees, including 132, Responsibility in Concrete Construction; 211, Proportioning Concrete Mixtures; 214, Evaluation of Results of Tests Used to Determine the Strength of Concrete; 301, Specifications for Concrete Construction; 318, Structural Concrete Building Code; and 329, Performance Criteria for Ready Mixed Concrete. He received his BE in civil engineering from the University of Mysore, Mysore, Karnataka, India; his MS from Northeastern University, Boston, MA, USA; and his PhD from Purdue University, West Lafayette, IN, USA. He is a licensed engineer in the state of Maryland.



**Bruce A. Suprenant**, FACI, is the ASCC Technical Director. He is a member of ACI Committees 134, Concrete Constructability, and 302, Construction of Concrete Floors; and Joint ACI-ASCC Committees 117, Tolerances, and 310, Decorative Concrete. His honors include 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.

# Barreras de vapor usadas en fisuras capilares para reducir la severidad de la exposición a los sulfatos en el concreto

*La práctica en la industria y los datos de pruebas proporcionan evidencia al respecto.*  
por James Klinger, Colin L. Lobo, y Bruce A. Suprenant

En un reciente P y R de Concreto publicada en la revista Concrete Internacional del ACI se aborda la siguiente pregunta: “¿Qué se puede hacer para proteger las losas sobre terreno que van a estar sometidas a diversas condiciones de exposición, como se definen en el ACI 318?”<sup>1</sup> La respuesta incluía la recomendación de que “... deberá utilizarse un retardante de vapor eficaz para las losas sobre terreno colocadas en contacto con agua o expuestas a los sulfatos (Exposición Clase W o S según ACI 318, respectivamente)”. Esto implica que los retardantes de vapor protegen las losas sobre terreno de concreto de los sulfatos, permitiendo así que el profesional de diseño autorizado considere que el concreto no está sujeto a una exposición más severa. Sin embargo, la respuesta no proporcionó más información. En este artículo, respaldamos la respuesta con un resumen de las prácticas en la industria y con datos de pruebas.

## ACI 318-19 Categorías, Clases y Requisitos de Exposición

Aunque el ACI 318 (el Código) no se aplica al diseño y la construcción de losas sobre el terreno que no transmiten cargas verticales o fuerzas laterales de otras partes de la estructura al suelo, los diseñadores a menudo se remiten al Código para especificar los requisitos para todas las mezclas de concreto en un proyecto.

Los requisitos de durabilidad del concreto se definen en la Sección 19.3 del ACI del 318-19,<sup>2</sup> indicando que: “El profesional de diseño autorizado deberá asignar las clases de exposición de acuerdo con la severidad de la exposición prevista de los miembros para cada categoría de la Tabla 19.3.1.1.” El concreto en contacto con el suelo o el agua que contiene cantidades perjudiciales de iones de sulfato solubles en agua es considerado como Categoría de Exposición S. Basándose en las cantidades de sulfato en el suelo o el agua, en la Tabla 19.3.1.1 se definen cuatro clases de exposición al sulfato. En la Tabla 1 se indican las clases de Categoría de Exposición S.

Basándose en las clases de exposición asignadas por el profesional del diseño, en la Tabla 19.3.2.1 del Código se establecen los requisitos de las mezclas de concreto. En la Tabla 19.3.2.1 del Código. En la Tabla 2 se indican los requisitos de la Categoría de Exposición S se indican en la Tabla 2. Los requisitos incluyen:

- Relación máxima agua-materiales cementantes ( $a/cm$ );
- Resistencia mínima a la compresión del concreto  $f'_c$ , psi;

- Tipos de materiales cementantes que proporcionan resistencia a los sulfatos; y

- Restricción del uso de cloruro de calcio como aditivo.

El Código permite combinaciones alternativas de materiales cementantes cuando se ensaya a la resistencia a los sulfatos de acuerdo con la norma ASTM C1012/C1012M, “Método de prueba estándar para el cambio de longitud de los morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfatos”, y cumpliendo con los límites de expansión previstos en la Tabla 26.4.2.2(c) (Tabla 3 del presente documento). Hay que tener en cuenta que los dos límites de expansión son 0.05 y 0.10% y que la duración del ensayo puede tardar hasta 12 o 18 meses para condiciones de exposición más severas. Este ensayo evalúa la resistencia a los sulfatos del sistema cementante, pero no el efecto del  $a/c$  del concreto.

Generalmente se presume que los requisitos de durabilidad del Código se aplican si el concreto está en contacto con las condiciones que afectan la durabilidad: contacto con agua, cloruros, sulfatos y ciclos de congelamiento y descongelamiento. Aunque se podría suponer que estos requisitos no se aplicarán al concreto que esté adecuadamente aislado de la exposición, el Código no aborda específicamente los métodos de aislamiento ni la evaluación de tales sistemas. Sin embargo, algunos documentos de la industria del concreto sí recomiendan el uso de sistemas de aislamiento.

## Normas e informes de la Industria

La edición de 2008 de la PTI DC10.5, “Requisitos estándar para el diseño y el análisis de cimentaciones superficiales de concreto postensado en suelos expansivos y estables”,<sup>3</sup> proporcionó requisitos en la sección 6.2 para el concreto en contacto directo con suelos que contienen sulfatos o cloruros solubles en agua. Sin embargo, el Comentario decía:

“R6.2: Cuando se coloca una barrera de control de la humedad, como un retardante de vapor de polietileno, entre el concreto y el suelo, no se considera que el concreto esté en contacto directo con el suelo según el contexto de la Sección 6.2.”

El Comentario a la edición de 2019<sup>4</sup> del documento tiene un lenguaje ligeramente diferente, aclarando que la barrera de vapor debe encapsular toda la interfaz entre el concreto y el suelo: “C10.4.2: Cuando se coloca una barrera de control de la humedad, como un retardante de vapor de polietileno, entre el concreto (incluyendo los lados y el fondo de las costillas) y el suelo, no se considera que el concreto esté en contacto directo con el suelo en el contexto de la Sección 10.4.”

Esta es la única referencia de la industria que se ha encontrado que defiende explícitamente el uso de un retardante de vapor para influir en la selección de la clase dentro de la Categoría de Exposición S del ACI 318.

La norma ACI 201.2R-16, Sección 8.5,<sup>5</sup> recomienda, en caso de riesgo de ataque físico de la sal, separar el concreto que está en contacto utilizando una fisura capilar o un revestimiento protector. La fisura capilar evita que los iones de sulfato solubles en agua estén en contacto con el concreto y el retardante de vapor minimiza la transmisión la humedad del vapor. Se proporcionan datos e información con respecto al uso de una fisura capilar y un retardante de vapor para mejorar la durabilidad del concreto expuesto a ambientes con sulfatos.

EIACI515.2R-13<sup>6</sup> proporciona recomendaciones para los sistemas de protección. Aunque no se hace referencia a las placas de resina en la guía para la selección de tratamientos de protección, el documento señala en la sección 4.18 que las placas de resina pueden utilizarse siempre que se recomienden revestimientos de resina similares. La guía también señala que los tipos de placas incluyen acrílico, polietileno y polipropileno.

Estos materiales son ampliamente reconocidos como resistentes a los sulfatos (véase, por ejemplo, [www.tdiinternational.com/technical-source-product-info/chemical-compatibilitycharts/com/technical-source-product-info/chemical-compatibilitycharts/](http://www.tdiinternational.com/technical-source-product-info/chemical-compatibilitycharts/com/technical-source-product-info/chemical-compatibilitycharts/) acrílico, [www.hmcpolymers.com/uploads/files/resources/hmc-pp-chemical-resistance.PDF](http://www.hmcpolymers.com/uploads/files/resources/hmc-pp-chemical-resistance.PDF), y [www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm\\_tecnico/PP%20Chemical%20Resistance.pdf](http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/PP%20Chemical%20Resistance.pdf)) y al menos el polietileno se utiliza normalmente en placas retardantes de vapor para la construcción de edificios.

**Tabla 1:**  
**Clases de Exposición para la Categoría de Exposición por el ACI 318-19, Tabla 19.3.1.1**

Sulfato (S)	Clase	Sulfato soluble en agua (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) en el suelo, porcentaje por masa (según ASTM C1580*)	Sulfato disuelto (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) en el agua, ppm (según ASTM D516† o D4130‡)
	S0	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> < 0.10	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> < 150
	S1	0.10 ≤ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> < 0.20	150 ≤ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> < 1500 o agua de mar
	S2	0.20 ≤ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ≤ 2.00	1500 ≤ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ≤ 10,000
	S3	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > 2.00	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > 10,000

\*ASTM C1580, “Método de prueba estándar para sulfatos solubles en agua en el suelo”.

†ASTM D516, “Método de prueba estándar para iones de sulfato en agua”.

‡ASTM D4130, “Método de prueba estándar para iones de sulfato en agua salobre, agua de mar y salmueras”.

**Tabla 2:**  
**Requisitos del concreto por clase de exposición según ACI 318-19, Tabla 19.3.2.1**

Clase	a/cm máx.	f' <sub>c</sub> , psi mín	Materiales cementantes			
			ASTM C150/C150M*	ASTM C595 C595M†	ASTM C1157/C1157M‡	
S0	N/A	2500	Sin restricción de tipo	Sin restricción de tipo	Sin restricción de tipo	
S1	0.50	4000	II	Tipos con designación MS	MS	
S2	0.45	4000	V	Tipos con designación HS	HS	
S3	Opción 1	0.45	4500	V más puzolana o cemento de escoria	Tipos con designación HS más puzolana o cemento de escoria	NS más puzolana o cemento de escoria
	Opción 2	0.40	5000	V	Tipos con designación HS	HS

\*ASTM C150/C150M, “Especificación estándar para el cemento Portland”.

†ASTM C595/C595M, “Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados”.

‡ASTM C1157/C1157M, “Especificación estándar para el desempeño del cemento hidráulico”.

## Pruebas de los sistemas de aislamiento

Se han realizado varias evaluaciones de sistemas para aislar el concreto de los sulfatos, cloruros u otros productos químicos agresivos; por ejemplo:

- Redner et al.<sup>7,8</sup> evaluaron el desempeño de más de 20 sistemas de recubrimiento diferentes en una solución de ácido sulfúrico al 10%;
- Vipulanandan y Liu<sup>9</sup> evaluaron el desempeño de un recubrimiento epóxico reforzado con fibra de vidrio en una solución de ácido sulfúrico al 3%;

- Aguiar et al.<sup>10</sup> evaluaron la protección proporcionada por los revestimientos acrílicos de base agua en un ambiente sulfatado;
- Suleiman et al.<sup>11</sup> evaluaron la eficacia de los tratamientos superficiales para proteger al concreto del ataque físico de los sulfatos;
- Pan et al.<sup>12</sup> resumieron la eficacia de los tratamientos superficiales contra el ataque químico de los sulfatos; y
- Sakr y Bassuoni<sup>13</sup> evaluaron la eficacia de tres revestimientos para proteger al concreto del ataque físico de los sulfatos.

En general, estos estudios indican que aislar el concreto de la exposición a los sulfatos minimiza el riesgo de ataque químico y físico de los mismos.

Se conocen otros dos estudios, uno realizado para un contratista y otro para un fabricante de retardantes de vapor, en los que se evaluaron materiales en placas para la protección del concreto contra el ataque de los sulfatos. El primero se llevó a cabo utilizando una prueba modificada de la norma ASTM C1012/C1012M y el segundo de acuerdo con la norma ASTM F739, “Método de prueba estándar para la Permeación de líquidos y gases mediante materiales textiles de protección en condiciones de contacto continuo”. Además, el segundo estudio incluía pruebas del efecto de una solución de sulfato en las propiedades de un material retardante/barrera de vapor. Estas evaluaciones eran para necesidades específicas del proyecto y no se publicaron. Se describen en este artículo.

**Tabla 3:**  
**Requisitos para establecer la conveniencia de las combinaciones de materiales cementantes expuestos a sulfatos solubles en agua según ACI 318-19, Tabla 26.4.2.2(c)**

Clase	Cambio máximo de longitud para ensayos según ASTM C1012/C1012M,		
	A los 6 meses	A los 12 meses	ASTM C150/C150M*
S1	0.10	Sin requisito	Sin requisito
S2	0.05	0.10*	Sin requisito
S3	Opción 1	Sin requisito	0.10
	Opción 2	0.05	Sin requisito

\*El límite de expansión de 12 meses sólo se aplica si la expansión medida supera el límite de expansión máximo de 6 meses.

## Estudio patrocinado por el contratista

En 2002, Baker Concrete Construction, Inc. fue contratada para colocar una losa sobre terreno industrial de 1 millón de pies cuadrados. Basándose en el contenido de sulfato del suelo indicado en el informe geotécnico del proyecto, la especificación del proyecto exigía una mezcla de concreto con una relación a/cm máxima de 0.45 y un cemento Tipo V, además de una puzolana. El cemento tipo V no estaba disponible localmente, y una mezcla con una relación a/cm inferior a 0.47 se considera generalmente demasiado difícil para producir de forma consistente un acabado de alta calidad con una llana. El contratista contrató a CTLGroup, Skokie, IL, EE.UU., para que realizara pruebas con el fin de determinar si una barrera de vapor colocada sobre una fisura capilar proporcionaría una protección adecuada a la losa de concreto, de modo que pudiera utilizarse una mezcla de concreto aplicable a las necesidades de la construcción.

Se realizaron cuatro pruebas para evaluar el comportamiento de las barras de mortero expuestas a una solución concentrada de sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) al 5%. Basándose en experiencias



anteriores, CTL Group produjo muestras de mortero utilizando un cemento que era conocido por no cumplir el criterio de cambio de longitud de ASTM C1012/C1012M. Las barras de mortero que no se expandieron indicarían que un retardante/barrera de vapor proporcionó una protección eficaz contra el ataque de los sulfatos.

Las cuatro pruebas de exposición fueron:

- Inmersión continua en una solución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  al 5% de acuerdo con ASTM C1012/C1012M (Exposición 1) - esta es considerablemente más concentrada que la registrada en el suelo;
- Almacenamiento de barras de mortero sobre una base granular de 12 pulg. que fue compactada sobre una capa de roca gruesa triturada inundada con la solución de prueba de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dentro de un contenedor de almacenamiento de polímero; y
- El contenedor se dejó al descubierto durante la prueba (Exposición 2);
- El contenedor estaba cubierto con una tapa de polímero durante la prueba (Exposición 3); o
- Se colocó un retardante de vapor de 10 milésimas de pulgada (0.25 mm) debajo de las muestras de barras de mortero y el contenedor se dejó al descubierto durante la prueba (Exposición 4).

El contenedor de polímero para la Exposición 1 tenía una sección transversal de 7 x 11 pulg. y una profundidad de 4 pulg.

Los contenedores para las otras tres condiciones de exposición tenían una sección transversal de 16 x 20 pulg. y una profundidad de 15 pulg. Para las Exposiciones 1 y 3, las tapas de los contenedores estaban selladas para evitar la evaporación y mantener una alta humedad relativa (HR).

Para las Exposiciones 2, 3 y 4, la base granular de 4 pulg. de profundidad comprendía 52 lb de roca dolomita triturada (Fig. 1(a)). Después de que la capa base fuera apisonada, se añadieron 16 lb de solución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  para llevar la solución a una cabeza de 1/2 pulg. por encima de la piedra triturada compactada (Fig. 1(b)). A continuación, se añadieron 65 lb de una mezcla de dolomita y arena silíceas que se compactó con varillas, lo que dio lugar a una capa de 8 pulg. de "suelo" por encima de la base granular de 4 pulg. Poco después de la colocación de la capa de tierra, apareció en la parte superior una fina película de solución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Las mediciones de cambios de longitud y de peso se determinaron hasta una edad de 15 semanas (105 días). Las mediciones de la HR se realizaron tres veces durante el periodo de prueba. Estas lecturas se tomaron electrónicamente, inmediatamente después de que se abrieran los contenedores para realizar una medición. Al final del periodo de prueba de 105 días, las HR medidas para las Exposiciones 1, 2, 3 y 4 fueron del 99%, 53%, 92% y 47%, respectivamente.

Los resultados del cambio de longitud se presentan en la Fig. 3.  
 Para la evaluación con ASTM C1012/C1012M (Exposición 1), los especímenes de barras de mortero

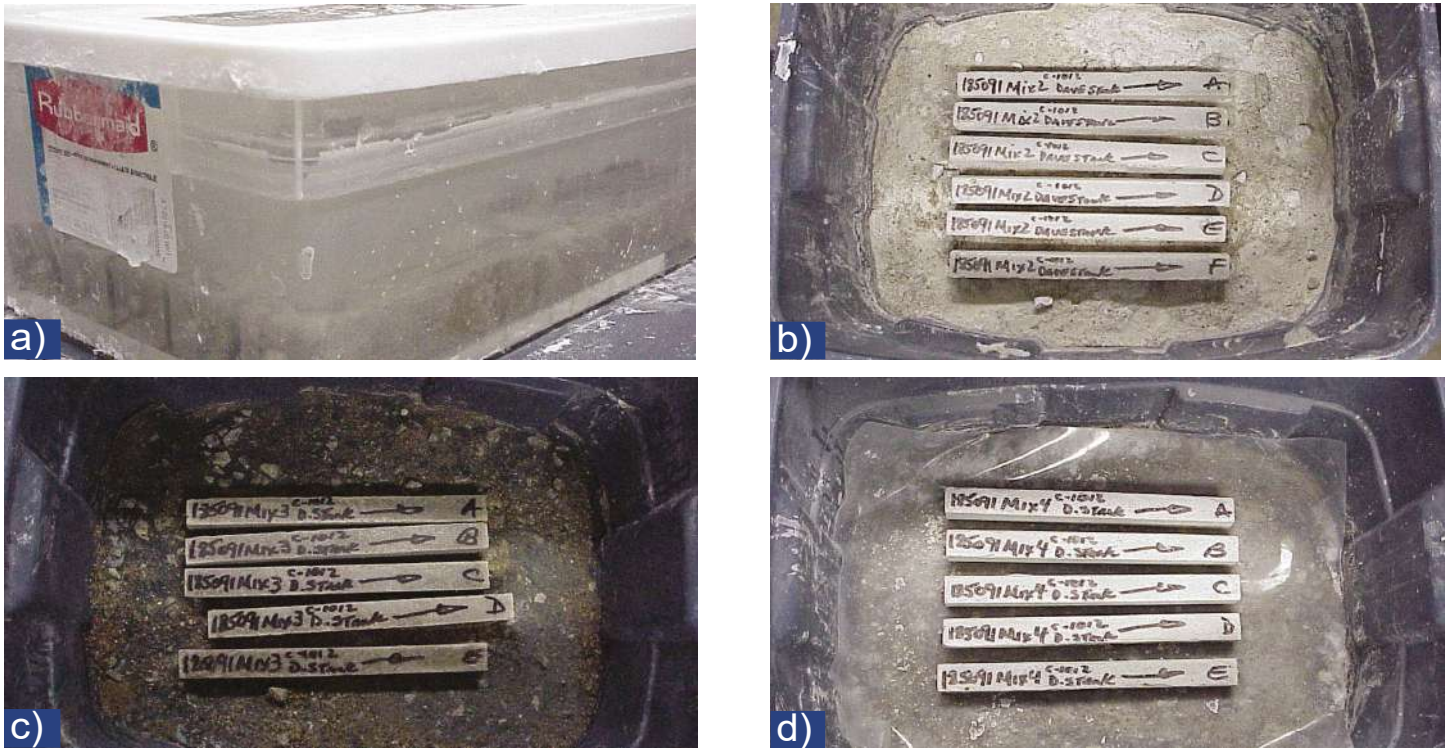


Fig. 2: Muestras y recipientes para los ensayos de exposición a los sulfatos: (a) Exposición 1, según ASTM C1012/C1012M; (b) Exposición 2, con las muestras apoyadas directamente sobre una capa de suelo de 8 pulg. de espesor que contiene una solución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y dejando el contenedor abierto durante el ensayo; (c) Exposición 3, con las muestras apoyadas directamente sobre una fina capa de suelo de 8 pulg. que contiene una solución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y con el contenedor sellado durante el ensayo; y (d) Exposición 4, con las muestras colocadas sobre una barrera/retardante de vapor de 10 milésimas de pulgada sobre una capa de suelo de 8 pulg. que contiene una solución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y con el contenedor abierto durante el ensayo.

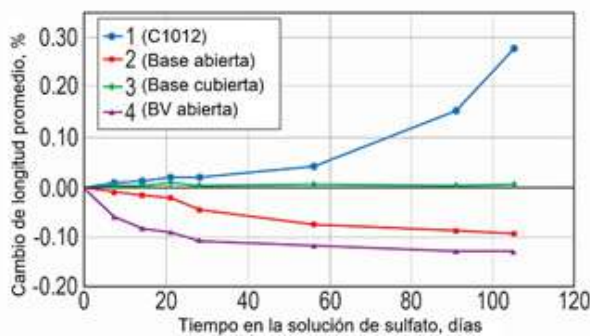


Fig. 3: Cambio de longitud de las barras de mortero sometidas a diversas exposiciones al sulfato

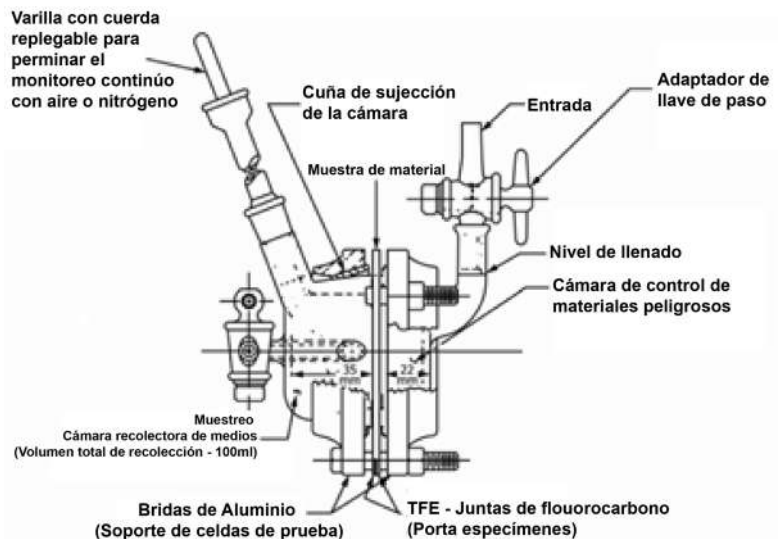


Fig. 4: Aparato de ensayo utilizado para evaluación de una barrera de vapor como protección contra una solución de sulfato

no cumplieron los criterios de expansión del ACI 318 para la resistencia a los sulfatos. El uso de este cemento en el concreto no es adecuado para la Categoría de Exposición S. La expansión media de estas barras de mortero superó el criterio del 0.05% aproximadamente a los 2 meses. La expansión superó el 0.10% en unos 3 meses, y fue de alrededor del 0.30% al concluir las pruebas a los 105 días de Exposición.

El cambio de longitud negativo de los especímenes colocados directamente sobre la capa de suelo contaminada con sulfatos y en un contenedor abierto (Exposición 2) es consistente con la contracción por secado. Las muestras en la Exposición 3, donde el contenedor estaba cerrado y sellado con tapa, exhibieron una expansión negligible.

Los cambios de longitud para las Exposiciones 2 y 3 son consistentes con la HR medida en cada una (53% y 92%, respectivamente). Los especímenes colocados sobre el retardante de vapor, separados de la capa de suelo sulfatado, mostraron el mayor cambio negativo de longitud (contracción por secado), lo que ilustra que el retardante de vapor proporcionó protección contra el ataque de los sulfatos. Esto respalda la premisa de que el uso de un retardante/barrera de vapor con una fisura capilar protege al concreto de los posibles daños causados por el ataque de los sulfatos.

## Estudio patrocinado por el proveedor

En 2010, Stego Industries, LLC, contrató a un laboratorio para realizar pruebas de permeación y exposición a los sulfatos en una muestra de Stego® Wrap Vapor Barrier (15 milésimas de pulgada [0.38 mm]). La prueba de permeación a los sulfatos cuantifica la penetración de los sulfatos, y la prueba de Exposición a los sulfatos evalúa el efecto de la exposición a los sulfatos en las propiedades de las barreras de vapor.

**Permeación de sulfatos:** Se probó la permeabilidad de los iones sulfato a través de una muestra de barrera de vapor de acuerdo con ASTM F739, modificada para puntos de tiempo de muestreo discretos durante 5 semanas.

En esta prueba, el retardante de vapor sirvió de barrera entre dos cámaras, una llena de una solución de 10,000 ppm de  $\text{SO}_4^{2-}$  y la otra llena de agua destilada (Fig. 4). En esta versión modificada de la prueba, se midió la concentración del  $\text{SO}_4^{2-}$  en la cámara de agua destilada después de 1, 3, 7, 14, 28 y 35 días de Exposición. En cada una de las siete mediciones, la permeación de sulfato no fue detectable (el límite de detección fue de 0.5 ppm).

**Exposición a los sulfatos:** Para simular una exposición severa, se empaparon muestras de material de barrera de vapor de 15 milésimas de pulgada en una solución de 10,000 ppm de  $\text{SO}_4^{2-}$  durante 28 días a temperatura ambiente y con agitación constante del líquido, tal y como se describe en ASTM D5322, “Práctica estándar para los procedimientos de inmersión en laboratorio para evaluar la resistencia química de los geosintéticos a los líquidos”. Además, las muestras de control se empaparon en agua destilada bajo las mismas condiciones de ensayo. Se evaluó la masa y el volumen de los cupones de prueba para cada Exposición. La masa se midió con una balanza analítica. La densidad se determinó por el método de desplazamiento, como se describe en ASTM D792, “Métodos de prueba estándar para la densidad y el peso específico (densidad relativa) de los plásticos por desplazamiento”. El volumen se calculó en función de la masa seca y la densidad. A partir de estos datos se calculó el porcentaje de cambio en la masa y el volumen.

Los especímenes cortados de una muestra más grande de la barrera de vapor que había sido sumergida en la solución de sulfato intensa fueron evaluados para determinar las propiedades de tracción según ASTM D882, “Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de placas plásticas delgadas”. Los resultados se compararon con un juego de muestras de control sumergidas en agua destilada durante 28 días. Para cada dirección principal (longitudinal y transversal), se registraron la resistencia a la fluencia, la resistencia última y la elongación.



Dos muestras expuestas a la solución de sulfato se sometieron posteriormente a pruebas de permeación al vapor de agua según ASTM F1249, “Método de prueba estándar para determinar la tasa de transmisión de vapor de agua a través de películas y placas de plástico utilizando un sensor infrarrojo modulado”. Los cinco cupones de prueba expuestos a la solución de sulfato mostraron ligeros cambios de masa y volumen durante la exposición. El cambio de masa promedio fue de -0.03%, y el cambio de volumen promedio fue de -0.73%. El cambio de masa promedio de los cinco cupones de prueba expuestos a la solución de agua destilada fue de +0.06%, y el cambio de volumen promedio fue de -0.02%. La resistencia a la tracción última promedio de las cinco muestras expuestas a la solución de sulfato fue de 74.2 lbf/pulg. en sentido longitudinal y de 69.2 lbf/pulg. en sentido transversal. La resistencia a la tracción última promedio de las cinco muestras expuestas al agua destilada fue de 73.6 lbf/pulg. en sentido longitudinal y 70.9 lbf/pulg. en sentido transversal. A modo de comparación, la resistencia mínima a la tracción para un material de barrera de vapor de Clase A de acuerdo con la ASTM E1745, “Especificación estándar para retardantes de vapor de agua plásticos utilizados en contacto con el suelo o el relleno granular bajo las losas de concreto”, es de 45 lbf/pulg.

Las elongaciones promedio de las cinco muestras expuestas a la solución de sulfato fueron del 1731% en sentido longitudinal y del 1678% en sentido transversal. Las elongaciones promedio de las cinco muestras expuestas al agua destilada fueron de 1759% en sentido longitudinal y 1693% en sentido transversal. Las dos muestras expuestas a la solución de sulfato y sometidas a pruebas posteriores de permeación al vapor de agua mostraron una permeación promedio de 0.008 perms.

Las pruebas no mostraron cambios significativos en la masa y el volumen de las muestras de barreras de vapor expuestas a la solución de sulfato o a la de agua destilada.

La diferencia en los resultados de las muestras en las dos condiciones de exposición no fue estadísticamente significativa, según una prueba t con un nivel de confianza del 95%.

Las diferencias en la resistencia a la tracción última y la elongación de los especímenes sumergidos en la solución de sulfato y en el agua destilada tampoco fueron estadísticamente significativas según una prueba t estadística con un nivel de confianza del 95%. Basándose en la similitud de los resultados de las pruebas de permeación al vapor de agua del material retardante de vapor en diferentes exposiciones, el material no se ve afectado por la exposición a concentraciones significativamente altas de solución de sulfato. Las propiedades del material de barrera de vapor no fueron afectadas después de ser sumergido en una solución severa de sulfatos por 28 días, apoyando el uso de una barrera/retardante de vapor para proveer protección al concreto del potencial de ataque de sulfatos desde las subrasantes con altos contenidos de sulfatos

## ¿Es un retardante de vapor o una barrera de vapor?

En este artículo, hemos utilizado los términos “retardante de vapor”, “barrera de vapor” y “retardante/barrera de vapor”. No está claro cómo se clasificó la placa de vapor en las pruebas realizadas para Baker Concrete, pero en las realizadas para Stego Industries, se utilizó una barrera de vapor. El Código Internacional de la Construcción de 2021 (IBC)14 separa los materiales retardantes de vapor en tres clases: I, II y III:

- Clase I con un índice de permeabilidad igual o inferior a 0.1;
- Clase II con un índice de permeabilidad superior a 0.1 pero inferior a 1.0; y
- Clase III con un índice de permeabilidad superior a 1.0 pero inferior a 10.0.

Para que un retardante/barrera de vapor cumpla con la norma ASTM E1745, se requiere un índice de permeabilidad de 0.1 o menor.

EIACI 302.1R-15,15 Sección 5.2.3.1, establece que “la industria no ha establecido un nivel de permeación que sirva como punto de división entre los materiales clasificados como barreras de vapor o retardantes de vapor. Lo más probable es que cuando se establezca un punto de separación entre la barrera y el retardante éste se sitúe en 0.01 perms o menos”. Stego Industries reconoce que las barreras de vapor tienen un índice de permeabilidad de 0.01 o menos. En consecuencia, recomendamos el uso de una barrera de vapor con un índice de permeabilidad de 0.01 como protección para el concreto contra la exposición a los sulfatos.

## Bordes, Juntas, Penetraciones y Perforaciones

Se reconoce que, durante la construcción, la instalación de los retardantes de vapor puede dar lugar a un aislamiento que puede verse comprometido debido a desgarros, bordes y traslapes. La norma ASTM E1643, “Práctica estándar para la selección, el diseño, la instalación y la inspección de los retardantes de vapor de agua utilizados en contacto con tierra o relleno granular bajo las losas de concreto”, cubre los procedimientos para la selección, el diseño, la instalación y la inspección de las membranas flexibles prefabricadas en contacto con la tierra o el relleno granular utilizadas como retardante/barrera de vapor bajo losas de concreto. Esta norma suele mencionarse en las especificaciones de construcción de losas sobre el terreno. Además, una fisura capilar granular, que generalmente se exige en las especificaciones del proyecto, evitará que los iones de sulfato estén en contacto con el retardante/barrera de vapor. Por lo tanto, la transmisión de la humedad por vapor debería ser la única preocupación en las juntas solapadas, ya que los sulfatos disueltos no se transmiten a través del vapor de agua.

## Otros beneficios

Las normas ACI 302.1R-15 y ACI 360R-1016 recomiendan colocar un retardante/barrera de vapor debajo de las losas de concreto que van a recibir recubrimientos de piso sensibles a la humedad. Aunque no se utilicen recubrimientos de piso sensibles a la humedad, se puede utilizar un retardante de vapor/barrera bajo la losa para minimizar el síndrome de la losa sudada.<sup>17,18</sup>

Los retardantes de vapor proporcionan otros beneficios potenciales, incluyendo la reducción del ingreso de humedad no deseada que puede conducir al crecimiento de moho en materiales de construcción susceptibles, la reducción de la humedad que contribuye a los niveles de HR interior (y a las cargas latentes asociadas), la reducción del potencial de reactividad alcali-sílice disminuyendo la HR de la losa, y la reducción del curvado de la losa.<sup>19,20</sup>

En ocasiones resulta difícil proporcionar un acabado uniforme con llana en un concreto con una relación a/cm de 0.40 y 0.45 que se especificaría con las Clases de Exposición S2 y S3 basadas en la concentración de sulfato en el suelo, ya que estas mezclas pueden requerir el uso de altas cantidades de aditivos que resultan en mezclas pegajosas o altos contenidos de materiales cementantes que podrían reducir el sangrado. El ACI 302.1R recomienda una relación a/cm de entre 0.47 y 0.55 para los suelos de concreto que vayan a recibir un acabado de llana dura. El uso de un retardante/barrera de vapor para aislar la losa del suelo para obtener una resistencia a los sulfatos permitiría que la relación a/cm fuera la recomendada por el ACI 302.1R.

Aunque este artículo no aborda explícitamente el uso de retardantes/barreras de vapor para limitar la exposición a suelos que contienen cloruros, o para proteger al concreto en contacto con agua, estos pueden ser considerados como otros beneficios potenciales asociados con el uso de un retardante/barrera de vapor.

## Una respuesta a la exposición a los sulfatos para las losas en el terreno

El Reglamento de Construcción ACI 318 requiere que el profesional de diseño autorizado asigne las categorías de exposición y la clase apropiada para cada categoría, y el ACI 301-2021 requiere que el diseñador designe las clases de exposición o estipule en las especificaciones de diseño los requisitos para las mezclas de concreto para los tramos de la estructura que requieran un concreto resistente al ataque de los sulfatos. Creemos que la información proporcionada en este artículo puede ayudar a los profesionales del diseño a abordar los requisitos del ACI 318 y del ACI 301 respecto a la resistencia a los sulfatos del concreto para las losas sobre el terreno.

### Agradecimientos

Los autores desean dar las gracias a Mike Schneider, Vicepresidente de Baker Concrete Construction, Inc. por facilitar los datos de Baker Concrete; y a Dan Marks, Director Técnico, y a Bret Houck, Vicepresidente de Desarrollo Comercial y Marketing, de Stego Industries, LLC, por facilitar datos y brindar su ayuda para este artículo.

### Referencias

1. "Concrete Q&A: Design and Construction of Slabs-on-Ground (Exposure Conditions)," Concrete International, V. 42, No. 11, Nov. 2020, pp. 87-88.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
3. PTI Committee DC-10, "Standard Requirements for Design and Analysis of Shallow Post-Tensioned Concrete Foundations on Expansive and Stable Soils (PTI DC10.5-08)," Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 17 pp.
4. PTI Committee DC-10, "Standard Requirements for Design and Analysis of Shallow Post-Tensioned Concrete Foundations on Expansive and Stable Soils (PTI DC10.5-19)," Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 56 pp.
5. ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-16)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 84 pp.
6. ACI Committee 515, "Guide to Selecting Protective Treatments for Concrete (ACI 515.2R-13)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 25 pp.
7. Redner, J.A.; Esfandi, E.J.; and Hsi, R.P., "Evaluating Protective Coatings for Concrete Exposed to Sulfide Generation in Wastewater Treatment Facilities," Journal of Protective Coatings & Linings, Nov. 1991, pp. 81-89.
8. Redner, J.A.; Hsi, R.P.; and Esfandi, E.J., "Evaluating Coatings for Concrete in Wastewater Facilities: An Update," Journal of Protective Coatings & Linings, Dec. 1994, pp. 48-59.
9. Vipulanandan, C., and Liu, J., "Glass-Fiber Mat-Reinforced Epoxy Coating for Concrete in Sulfuric Acid Environment," Cement and Concrete Research, V. 32, No. 2, Feb. 2002, pp. 205-210.

10. Aguiar, J.B.; Camões, A.; and Moreira, P.M., "Coatings for Concrete Protection against Aggressive Environments," *Journal of Advanced Concrete Technology*, V. 6, No. 1, Feb. 2008, pp. 243-250.
11. Suleiman, A.R.; Soliman, A.M.; and Nehdi, M.L., "Effect of Surface Treatment on Durability of Concrete Exposed to Physical Sulfate Attack," *Construction and Building Materials*, V. 73, Dec. 2014, pp. 674-681.
12. Pan, X.; Shi, Z.; Shi, C.; King, T.-C.; and Li, N., "A Review on Surface Treatment for Concrete—Part 2: Performance," *Construction and Building Materials*, V. 133, Feb. 2017, pp. 81-90.
13. Sakr, M.R., and Bassuoni, M.T., "Surface Treatments for Concrete Under Physical Salt Attack," *ICDCS 2018: Sixth International Conference on Durability of Concrete Structures*, P.M.A. Basheer, ed., University of Leeds, Leeds, UK, July 2018, pp. 633-640.
14. "2021 International Building Code (IBC)," International Code Council, Country Club Hills, IL, 2020, 833 pp.
15. ACI Committee 302, "Guide to Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-15)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 76 pp.
16. ACI Committee 360, "Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.
17. Craig, P., "Sweating Slab Syndrome," *Concrete Surfaces*, Oct. 2006, [www.concreteconstruction.net/how-to/sweating-slabsyndrome-1\\_o](http://www.concreteconstruction.net/how-to/sweating-slabsyndrome-1_o).
18. McKinney, A.W., "Resolving 'Sweating' in Open Industrial Floor Slabs," *Concrete International*, V. 34, No. 2, Feb. 2012, pp. 26-29.
19. Tarr, S.M., and Farny, J.A., *Concrete Floors on Ground*, EB075.04, fourth edition, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2008, 239 pp.
20. "Concrete Q&A: Concrete Slab Curling Over Vapor Retarders," *Concrete International*, V. 38, No. 9, Sept. 2016, pp. 75-76.
21. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.



**James Klinger**, miembro de ACI, es especialista en construcción con concreto de la Sociedad Americana de Contratistas de Concreto (ASCC), en San Luis, MO, EE. UU. Es miembro del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias; de los Comités ACI 134, Constructibilidad del Concreto, y 318, Reglamento de Construcción con Concreto Estructural; y del Subcomité ACI 318-A, General, Concreto y Construcción. Klinger obtuvo un máster en ingeniería estructural en la Universidad de Maryland, College Park, MD, EE. UU.



**Colin L. Lobo**, FACI, es Vicepresidente Ejecutivo de la División de Ingeniería de la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Silver Spring, MD, EE.UU. Forma parte de varios comités del ACI, entre ellos el 132, Responsabilidad en la construcción de concreto; 211, Proporcionamiento de mezclas de concreto; 214, Evaluación de los Resultados de los Ensayos Utilizados para Determinar la Resistencia del Concreto; 301, Especificaciones para la Construcción con Concreto; 318, Reglamento de Construcción con Concreto Estructural; y 329, Criterios de Desempeño para el Concreto Premezclado. Obtuvo su licenciatura en ingeniería civil en la Universidad de Mysore, Mysore, Karnataka, India; su máster en la Universidad de Northeastern, Boston, MA, EE.UU.; y su doctorado en la Universidad de Purdue, West Lafayette, IN, EE.UU. Es ingeniero autorizado en el estado de Maryland.



**Bruce A. Suprenant**, FACI, es el Director Técnico de la ASCC. Es miembro de los comités ACI 134, Constructibilidad del Concreto, y 302, Construcción de Pisos de Concreto; y de los comités conjuntos ACI-ASCC 117, Tolerancias, y 310, Concreto Decorativo. Entre sus distinciones se encuentran la Medalla ACI Arthur R. Anderson en 2021, el Premio ACI de Construcción en 2021, el Premio ACI de Certificación en 2020, el Premio ACI Roger H. Corbetta al Constructor con Concreto en 2010 y el Premio ACI de Construcción en 2010.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noreste

*Título: Barreras de vapor usadas en fisuras capilares para reducir la severidad de la exposición a los sulfatos en el concreto*



Traductor: Lic. Iliana Margarita Gárza Gutiérrez



Revisor Técnico: M.C. Francisco David Anguiano Pérez