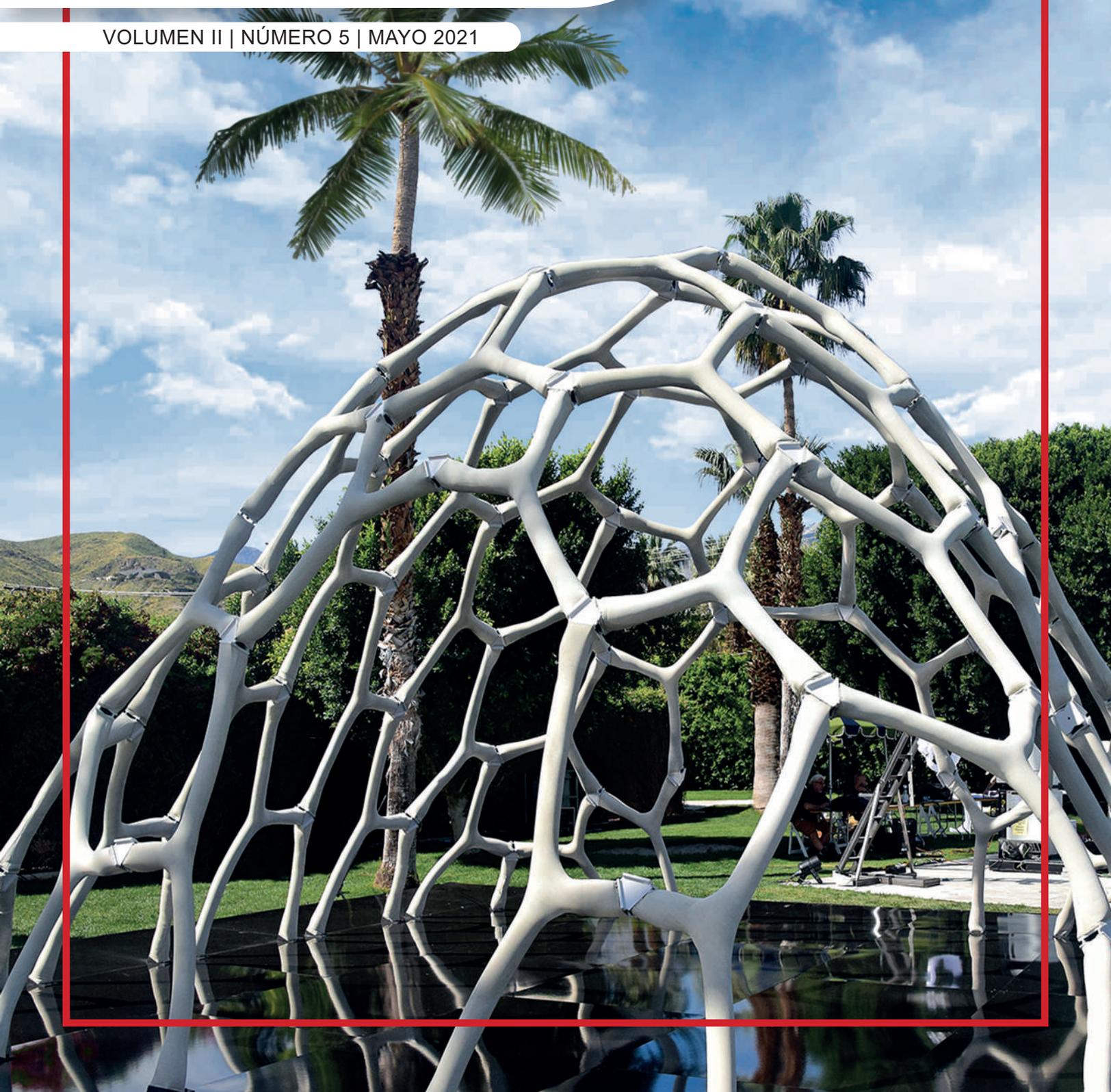


CONCRETO

LATINOAMÉRICA

VOLUMEN II | NÚMERO 5 | MAYO 2021



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

CONTENIDO

Pág.

- 4** **Corrosión del Concreto Inducida por Microbios**
Los miembros del Grupo de Trabajo 5 del Comité 201 del ACI explican la ciencia de la acidificación biogénica en las estructuras del sistema de alcantarillado
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo México Noreste
- 10** **Sistemas de protección contra el vapor de humedad para losas sobre el terreno**
Preguntas y respuestas
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Argentina
- 13** **El Concreto Simple Estructural Adquiere un Aspecto Renovado**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo México Noroeste.
- 20** **Pisos Industriales de Concreto con Fibras**
Necesidades de investigación identificadas
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Puerto Rico
- 26** **2021 Simposio Internacional Especial sobre Pavimentos de Concreto: Un tributo a Juan Pablo Covarrubias**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Perú

COMITÉ EDITORIAL:

Presidente del Comité Editorial:

Ing. Alejandro Miguel Narro Aguirre
Presidente de la Sección Noreste de México del ACI.
(2020-2022)

Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Editor Asociado:

M.C. Lucio Guillermo López Yépez

Soporte Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

Coordinadora de Traducciones:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Comunicación y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a:

Correo: concretolatam@gmail.com

Tel: +52 81 2146 4907

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

Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL

MDG. Rosa Otilia Armendáriz Solís

LDI. Luis Yerel Romo Valdez

LDI. Monserrat Garza Treviño

Auxiliar de Diseño:

Silvia Elizabeth Olivares Araiza

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de **Mayo de 2021**. El Instituto no se hace responsable por las declaraciones u opiniones expresadas en sus publicaciones. Las publicaciones del instituto no pueden ni pretenden suplantar el entrenamiento técnico individual, responsabilidad o juicio del usuario o de quien provee y presenta la información.

Con el propósito de difundir el conocimiento técnico del concreto, se autoriza la difusión de la presente edición a los Capítulos del ACI de habla hispana entre su membresía y grupos de interés, sin embargo, será necesaria la autorización del American Concrete Institute para reproducir total o parcialmente los contenidos de este número salvo que se hagan para uso personal o académico y sin fines comerciales.

Todos los materiales originales en inglés, y contenidos en este número de Concreto Latinoamérica en español, están protegidos por las leyes de Derechos de autor y propiedad industrial, tanto nacionales como internacionales.

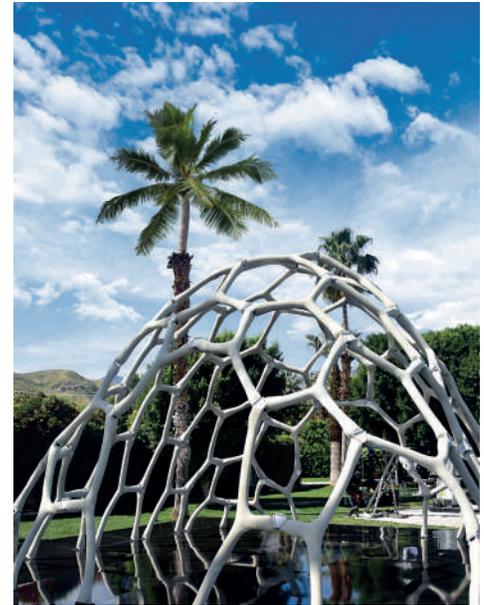
Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina
Colombia

Costa Rica
Ecuador Centro y Sur
Guatemala

México Noreste
Mexico Noroeste
México Centro y Sur
México Sureste
Perú
Puerto Rico

Ing. Raúl Bertero
Ing. Nancy Torres Castellanos
Ing. Fabían Lamus Báez
Ing. Minor Murillo
Ing. Santiago Vélez Guayasamín
Ing. Luis Alvarez Valencia
Ing. Xiomara Sapón
Ing. José Lozano y Ruy Sánchez
Ing. Alejandra Valencia
Ing. Alma Reyes Zamorano
Ing. Joseph Mandujano
Ing. Luciano López Vinatea
Ing. Anabel N. Merejildo



*Fotografía de portada que corresponde a Pabellón MARS.

Montado en Palm Springs, Ca. USA para la exposición 2017 MARS (Machine-learning, Automation, Robotics and Space exploration) Conference. Fabricado por Form Found Design con el apoyo del A+D (Architecture and Design) Museum de Los Angeles, Ca. USA. Elementos prefabricados de concreto hechos con cimbras de nylon y coladas con el apoyo de 2 robots de ABB Robotics sincronizados. (Sarafian, J.; Culver, R.; and Lewis, T.S.)



¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo
local ACI



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



Corrosión del Concreto Inducida por Microbios

Los miembros del Grupo de Trabajo 5 del Comité 201 del ACI explican la ciencia de la acidificación biogénica en las estructuras del sistema de alcantarillado

by Samuel J. Lines, David A. Rothstein, Brent Rollins, and Charles (Chuck) Alt

A pesar de ser uno de los materiales de construcción más duraderos, el concreto puede presentar deterioro como resultado del contacto con productos químicos, minerales o condiciones ambientales. Entre los mecanismos de deterioro más comunes se encuentran los daños por congelamiento y deshielo, el ataque por sal y la carbonatación. Una causa de deterioro menos conocida es la corrosión del concreto inducida por microbios (MICC, por sus siglas en inglés).

La causa fundamental del MICC está bien documentada; Después de la Segunda Guerra Mundial, C.D. Parker descubrió que una bacteria oxidante del azufre, *Acidithiobacillus thiooxidans*, estaba implicada en la conversión del gas de sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico (H_2S) en ácido sulfúrico (H_2SO_4).¹ Parker llamó originalmente a estas bacterias *Thiobacillus concretivorus* porque se comen el concreto. El ácido ataca el concreto, haciendo que la superficie se erosione o se “corroa”, como se denomina en la literatura sobre infraestructura de alcantarillado (no debe confundirse este ataque con la corrosión del acero de refuerzo). Desde la primera identificación del *Acidithiobacillus thiooxidans*, otros han confirmado que se trata de la principal bacteria que causa la MICC de las tuberías de concreto en los sistemas de alcantarillado.² Estas bacterias viven a un pH muy bajo, quizás de 2 a 4, mientras que el concreto después de su fabricación tiene un pH de aproximadamente 13. El elevado pH inicial del concreto nuevo ofrece un periodo de inmunidad a la mayor parte del crecimiento bacteriano. Conforme el pH de la superficie del concreto se reduce por la carbonatación y los gases del alcantarillado, se vuelve más adecuado para albergar colonias bacterianas.



Fig. 1: Representación esquemática del pH en función del tiempo para el proceso de tres etapas de MICC

Basado en el trabajo de Islander et al.³ y confirmado por House,⁴ el proceso de corrosión tiene tres fases muy claras (Fig. 1). La primera fase es la carbonatación del concreto. Con el tiempo, el concreto por debajo de 9. La segunda fase es la fase de fijación biológica, en la que las bacterias neutrófilas oxidantes del azufre (NSOB), como las *Thiomonas intermedia*, las *Halothiobacillus neapolitanus* y las *Thiobacillus thioparus*, comenzarán a colonizar. Sand y Bock,⁵ así como Cho y Mori,⁶ afirman que estas especies son necesarias para que el *Acidithiobacillus thiooxidans* pueda colonizar. Los ácidos reaccionan con el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) y el silicato del calcio hidratado (CSH) constituyentes del concreto que proporcionan esta alta alcalinidad.

La tercera fase es la fase de corrosión ácida. El *Acidithiobacillus thiooxidans*, una bacteria acidófila oxidante del azufre (ASOB), produce un fuerte H_2SO_4 que deteriora rápidamente el concreto. En condiciones extremas, con altas concentraciones de gas H_2S por

encima del nivel de líquido de la alcantarilla, la tasa de erosión puede alcanzar hasta 12 mm/año. Dependiendo de la calidad del concreto y de las condiciones de la alcantarilla, la fase final puede tardar entre 2 y 15 años en causar un daño significativo.

Problemática del sistema de alcantarillado

Desde la década de 1940 hasta la de 1970, los Estados Unidos experimentaron un rápido desarrollo de los suburbios, lo que dio lugar a la creación de enormes redes de infraestructuras subterráneas para gestionar los residuos del alcantarillado. Muchas de estas redes consistían en sistemas de alcantarillado combinados, diseñados para recoger la bajada de aguas pluviales, las aguas residuales domésticas y las aguas residuales industriales en la misma tubería.

A finales de los años 70, Pomeroy y Parkhurst crearon una fórmula para prever la acumulación de sulfuro en las alcantarillas.⁷ Este modelo permitió a los ingenieros de alcantarillado diseñar estructuras con concreto adicional que sirviera como una capa de sacrificio o desgaste. En 1985, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) publicó el “Manual de diseño para el control de olores y la corrosión en los sistemas de alcantarillado sanitario y las plantas de tratamiento”,⁸ convirtiéndose en un modelo que los ingenieros utilizaron para diseñar mejores infraestructuras sanitarias.

Se ha sugerido que la Ley de Aguas Limpias de 1977⁹ y la Ley de Calidad del Agua de 1987¹⁰ afectaron la severidad de la degradación en las alcantarillas al reducir el flujo de las aguas residuales que fluyen en los drenajes¹¹. La nueva normativa provocó el desvío de las aguas pluviales de los sistemas de alcantarillado, lo que redujo en gran medida tanto el volumen de líquido como los metales tóxicos para los microbios en las alcantarillas sanitarias. La reducción del caudal y de los metales tóxicos creó así un entorno propicio para el aumento de las cantidades de gas H₂S. Lamentablemente, los modelos de predicción existentes no consideraban adecuadamente estos cambios.

La formación de H₂S comienza una vez que el agua residual es privada de oxígeno disuelto, lo que ocurre algún tiempo después de entrar en la red de alcantarillado. Las aguas residuales son parcialmente descompuestas por numerosas cepas de bacterias en el agua y otros procesos naturales. Esta actividad bacteriana consume el oxígeno disuelto en el agua y, en algún momento, las aguas residuales alcanzan condiciones anaeróbicas. Incluso antes de que el agua se convierta en anaeróbica, los sedimentos y los depósitos de heces en el fondo de la alcantarilla pueden verse privados de oxígeno.

Algunas bacterias están adaptadas a condiciones anaeróbicas y no necesitan oxígeno para sobrevivir. Una de estas especies es la *Desulfovibrio* sp., una bacteria reductora de sulfato (SRB) que convierte el sulfato de las aguas residuales en H₂S. El H₂S tiene una baja solubilidad en el agua, por lo que tiende a escaparse. Cuando hay turbulencias, el gas sulfuro H₂S se libera a la atmósfera por encima de la superficie del agua. Como el H₂S es más pesado que el aire, tiende a permanecer en el sistema de alcantarillado subterráneo. Como las bacterias necesitan cierto tiempo para consumir el oxígeno disuelto en el agua, la formación de H₂S aumenta con el tiempo de tránsito en el sistema de alcantarillado. Cuanto más tiempo necesite el agua residual para viajar desde el punto de recolección hasta la planta de tratamiento, más problemas ocasionará el H₂S.

El dióxido de carbono (CO₂), el ácido tiosulfúrico y otros ácidos suaves reducen abióticamente el pH del concreto a cerca de 9. Este proceso puede durar meses o incluso años, dependiendo de la calidad del concreto. Una vez que el pH del concreto está por debajo de 9, comienza la colonización por parte de los microorganismos alcalófilos. Entre ellos, una cepa de *Thiobacillus* comienza a colonizar a esa que es aeróbica (requiere oxígeno). Estas bacterias convierten el H₂S en H₂SO₄. El débil H₂SO₄ producido por esta cepa reduce el pH del concreto hasta que se extingue y otra cepa lo coloniza. Cada cepa de *Thiobacillus* aeróbica produce un H₂SO₄ más fuerte que la anterior. Aunque todo el concreto puede ser susceptible de sufrir

esta degradación, no todas las instalaciones presentan las mismas condiciones ambientales que desatan la reacción en cadena. No se sabe con exactitud qué condiciones deben darse para que se produzcan las reacciones. Algunas teorías sugieren una alta cantidad de azufre en el suministro de agua, un alto contenido de hierro en el agua, agua muy dura y los productos

químicos introducidos en el flujo de residuos, sólo para nombrar algunos.

Asimismo, se ha informado de que los sitios con alta humedad relativa experimentan una mayor intensidad.¹¹ Se necesita más investigación para correlacionar las pruebas de laboratorio y las condiciones de campo.



Fig. 2: El sulfato de calcio (yeso) forma una masa espumosa blanquecina sobre el concreto

Hidratación del Cemento y MICC

Durante la hidratación del cemento, se forman CSH los cuales brindan las propiedades deseables del concreto endurecido. El cemento hidratado típico forma alrededor del 50% de CSH. También se forma otro compuesto, el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el cual constituye entre el 15 y el 25% de la pasta de cemento en masa.¹² En los días 3 a 7 del proceso de hidratación, la masa del concreto está compuesta principalmente por tres compuestos: CSH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y los hidratos de aluminoferrita de calcio. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es cal hidratada y no contribuye a la resistencia ni a otras propiedades deseables del concreto, excepto quizás para mantener el entorno protector de alto pH alrededor del acero de refuerzo. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reacciona fácilmente con ácidos y otros compuestos. La reacción con el CO_2 forma carbonato de calcio, lo que

da lugar a lo que se conoce como carbonatación del concreto. Cuando el H_2SO_4 reacciona con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el resultado es un sulfato de calcio hidratado mineral conocido como yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Así, el yeso es un indicador principal de la MICC y suele aparecer como una masa espumosa blanquecina en el concreto (Fig. 2).

En el siguiente paso de este proceso, el concreto se desintegra aún más. Después de que el H_2SO_4 consuma el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, reacciona químicamente con los aluminatos presentes en la pasta de cemento. Esta reacción forma etringita, un compuesto de sulfoaluminato expansivo. A medida que se forma la etringita, se produce una expansión interna, que a su vez provoca la aparición de grietas y desprendimientos. Esta cadena de acontecimientos permite una mayor penetración, el acceso al $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y una bola de nieve de reacciones químicas y daños en el concreto (Fig. 3).

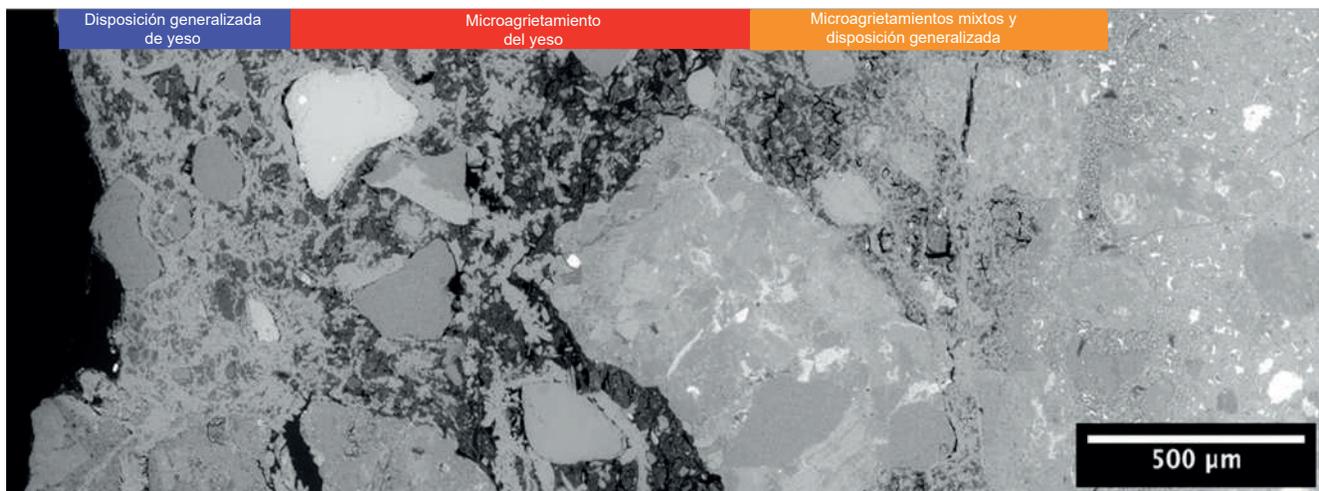


Fig. 3: Micrografía electrónica de retrodispersión de zonas de alteración en un espécimen corroído de concreto (según la Referencia ¹³).

Mezclas de Concreto y MICC

En un entorno hostil expuesto a sulfatos, cloruros o ácidos, es muy importante utilizar una mezcla de concreto de alta calidad con una baja relación agua-cemento (*a/c*). Según el libro *Design and Control of Concrete Mixtures*,¹² “La disminución de la permeabilidad mejora la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo, a la sobresaturación, a la penetración de sulfatos y iones de cloruro y a otros ataques químicos”. Es muy importante reducir la permeabilidad para aumentar la durabilidad. Una relación *w/c* de 0.45 es buena para la mayoría de los productos de concreto que no están expuestos a condiciones adversas. Si existe la posibilidad de que el concreto sea expuesto a estas condiciones adversas, la relación *w/c* no debe exceder de 0.40.

Además de una baja relación *a/c*, el uso de materiales cementantes puzolánicos u otros materiales cementantes secundarios puede aumentar la densidad y reducir la permeabilidad del concreto. Las cenizas volantes, el cemento de escoria y el humo de sílice son sólo algunas de las opciones. El uso de uno o varios de estos aditivos minerales en el diseño de la mezcla de concreto aumentará la resistencia y la densidad mientras disminuye la porosidad y mejora la resistencia química. Los prometedores estudios realizados con nanomateriales, como la sílice coloidal, también indican reducciones significativas de la permeabilidad.¹⁴

Protección del Concreto contra el MICC

Aunque la densificación del concreto es importante para aumentar su vida útil en la estructura, no se detendrá el proceso biológico que hace que la bacteria *Thiobacillus* segregue H_2SO_4 . Sin embargo, los aditivos para el concreto y los selladores antimicrobianos aplicados en la superficie son eficaces para reducir los efectos de la MICC.¹⁵ La efectividad de estos productos puede evaluarse utilizando la norma ASTM C1904.¹⁶

Cuando se prevé que una estructura de alcantarillado estará expuesta a concentraciones muy altas de gas H_2S , el diseñador puede optar por proteger el

concreto con un recubrimiento a base de resina, como epoxi o poliurea. Estos materiales ofrecen una buena resistencia al ácido. Sin embargo, la mayoría son de naturaleza hidrofóbica: el concreto y el aire circundante deben estar lo suficientemente secos para lograr una buena adhesión y polimerización. Los revestimientos a base de resina no impiden el crecimiento bacteriano, por lo que sus superficies acabarán siendo muy ácidas con el tiempo. Mientras no haya ningún defecto, agujero o perforación, el H_2SO_4 no llegará al concreto que se encuentra debajo.

Otro enfoque para proteger las infraestructuras de concreto del alcantarillado de la corrosión por H_2S , es aplicar un mortero hecho de cemento de aluminato de calcio (CAC) y agregado de aluminato de calcio. El CAC es un cemento especializado con una química diferente a la del cemento portland. El CAC inhibe la actividad bacteriana cuando el pH de la superficie se aproxima a 4 debido a la actividad de las bacterias. El CAC no tiene un efecto biocida (las bacterias no mueren),¹⁷ pero éstas entran en reposo y dejan de transformar el H_2S en H_2SO_4 . Como no se forma ningún ácido nuevo, el proceso de corrosión se ralentiza drásticamente.¹⁸⁻²⁰ De esta forma, es posible proteger al concreto ordinario con una barrera mineral hecha de CAC en lugar de una barrera polimérica. También se han incorporado aditivos antimicrobianos en estas barreras.

Las barreras físicas, como los revestimientos y los recubrimientos, son otra opción para controlar la MICC. Los revestimientos que forman membranas tienen la capacidad de cubrir las grietas y otras imperfecciones, como los panales de abeja, que pueden ser puntos de acceso acelerado para los agentes degradantes. Sin embargo, estos revestimientos requieren una inspección periódica y su reparación o sustitución para garantizar un funcionamiento satisfactorio. Los revestimientos y los recubrimientos pueden probarse utilizando la norma ASTM C1898²¹ para validar el rendimiento en la tercera fase de la corrosión.

Resumen

Según un estudio realizado en 2002 por la Administración Federal de Carreteras (FHWA),¹⁷ se estima que la corrosión de los metales genera anualmente unos 36 mil millones de dólares de daños al sistema de agua y alcantarillado en los Estados Unidos. La MICC es probablemente un mecanismo de deterioro menos conocido y documentado que la corrosión del acero o las fugas en las juntas al que deben enfrentarse los usuarios. Una mejor comprensión de la MICC y del complejo ecosistema de bacterias que la propician debería permitir a los ingenieros mejorar las prácticas de diseño de los nuevos sistemas y rehabilitar las estructuras existentes. El Comité 201 del ACI, Durabilidad del Concreto, está trabajando para mejorar el conocimiento de este problema mundial.

Reconocimiento

Agradecemos las aportaciones de los miembros del grupo ACI 201-TG5, Corrosión microbiana del concreto. También agradecemos a Patrick McGrath y Jean Herisson su contribución a este artículo.

Referencias

1. Parker, C.D., "The Corrosion of Concrete: 1. The Isolation of a Species of Bacterium Associated with the Corrosion of Concrete Exposed to Atmospheres Containing Hydrogen Sulphide," *Australian Journal of Experimental Biology and Medical Sciences*, V. 23, No. 2, June 1945, pp. 81-90.
2. Vincke, E.B.; Boon, N.; and Verstraete, W., "Analysis of the Microbial Communities on Corroded Concrete Sewer Pipes—A Case Study," *Applied Microbiology and Biotechnology*, V. 57, No. 5-6, Dec. 2001, pp. 776-785.
3. Islander R.L.; Deviny, J.S.; Mansfeld, F.; Postyn, A.; and Shih, H., "Microbial Ecology of Crown Corrosion in Sewers," *Journal of Environmental Engineering*, V. 117, No. 6, Nov. 1991, pp. 751-770.
4. House, M.W., "Using Biological and Physico-Chemical Test Methods to Assess the Role of Concrete Mixture Design in Resistance to Microbially Induced Corrosion," MS thesis, Department of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, 2013.
5. Sand, W.B., and Bock, E., "Concrete Corrosion in the Hamburg Sewer System," *Environmental Technology Letters*, V. 5, No. 12, Dec. 1984, pp. 517-528.
6. Cho, K.-S., and Mori, T., "A Newly Isolated Fungus Participates in the Corrosion of Concrete Sewer Pipes," *Water Science Technology*, V. 31, No. 7, 1995, pp. 263-271.
7. Pomeroy, R.D., and Parkhurst, J.D., "The Forecasting of Sulfide Build-up Rates in Sewers," *Proceedings of the Eighth International Conference on Water Pollution Research*, Sydney, Australia, 1978, pp. 621-628.
8. "Design Manual: Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage Systems and Treatment Plants," EPA/625/1-85/018, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1985.
9. "Clean Water Act of 1977," Dec. 27, 1977, www.legislation.law.iu.edu/clean-water-act-of-1977.
10. "Water Quality Act of 1987," Feb. 4, 1987, www.legislation.law.iu.edu/water-quality-act-of-1987.
11. Wells, T., and Melchers, R.E., "An Observation-Based Model for Corrosion of Concrete Sewers Under Aggressive Conditions," *Cement and Concrete Research*, V. 61-62, July-Aug. 2014, pp. 1-10.
12. Kosmatka, S.H.; Kerkhoff, B.; and Panarese, W.C., "Design and Control of Concrete Mixtures," EB001, fourteenth edition, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2002, 358 pp.
13. Qiao, C., and Rothstein, D., "Microstructural Evaluation of Durability of Different Cementitious Mixtures in Microbial Induced Corrosion Environments," XV International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC 2020), C. Serrat, J.R. Casas, and V. Gibert, eds., Barcelona, Spain, 2020, 2 pp.
14. ACI Committee 241, "Report on Application of Nanotechnology and Nanomaterials in Concrete (ACI 241R-17)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 36 pp.
15. Erbehtas, A.R.; Isgor, O.B.; and Weiss, W.J., "Evaluating the Efficacy of Antimicrobial Additives against Biogenic Acidification in Simulated Wastewater Exposure Solutions," *RILEM Technical Letters*, V. 4, Aug. 2019, pp. 49-56
16. ASTM C1904-20, "Standard Test Methods for Determination of the Effects of Biogenic Acidification on Concrete Antimicrobial Additives and/or Concrete Products," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 13 pp.
17. Koch, G.H.; Brongers, M.P.H.; Thompson, N.G.; Virmani,

Y.P.; and Payer, J.H., "Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States," FHWA-RD-01-156, Federal Highway Administration, Washington, DC, 2002, 773 pp.

18. Ehrich, S.; Helard, L.; Letourneaux, R.; Willocq, J.; and Bock, E., "Biogenic and Chemical Sulfuric Acid Corrosion of Mortars," Journal of Materials in Civil Engineering, V. 11, No. 4, Nov. 1999, pp. 340-344.

19. Herisson, J.G.; Guinot, D.; and Saucier, F., "Accelerated Biodeterioration of Various Cementitious Materials through an Accelerated Laboratory Chamber," Proceedings of the Final Conference of RILEM TC 253-MCI: Microorganisms-Cementitious Materials Interaction, V. 1, A. Bertron and H. Jonker, eds., Toulouse, France, 2018, pp. 33-43.

20. Wack, H.; Gehrke, T.; Sand, W.; Pape, F.; Hintemann, D.; Brill, F.; and Deckert, S., "Accelerated Testing of Materials Under the Influence of Biogenic Sulphuric Acid Corrosion (BSA)," Proceedings of the Final Conference of RILEM TC 253-MCI: Microorganisms-Cementitious Materials Interaction, V. 1, A. Bertron and H. Jonker, eds., Toulouse, France, 2018, pp. 23-32.

21. ASTM C1898-20, "Standard Test Methods for Determining the Chemical Resistance of Concrete Products to Acid Attack," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 4 pp.



Samuel J. Lines, miembro de ACI, es Director de Ingeniería de Concrete Sealants, Inc. en Tipp City, OH, EUA. Tiene 30 años de experiencia en la industria del concreto prefabricado y lleva más de 20 años estudiando la corrosión inducida por microbios en el concreto. Es miembro de los comités ACI 121, Sistemas de Aseguramiento de la Calidad del Concreto; 201, Durabilidad del Concreto; y 241, Nanotecnología del Concreto. Lines preside el Comité C27 de la

ASTM, Productos Prefabricados de Concreto, y participa activamente en los Comités C09 de la ASTM, Concreto y Agregados para Concreto, y C13, Tuberías de Concreto. En 2020, fue elegido para un mandato de tres años en el Consejo de Administración de la Asociación Nacional de Prefabricados de Concreto. Lines se licenció en administración y obtuvo un MBA en la Universidad de Indiana Wesleyan, Marion, IN, EUA.



Brent Rollins, es el Vicepresidente de Desarrollo de Negocios e Investigación y Desarrollo de Spray-Lock Concrete Protection® LLC, un productor de sílice coloidal con sede en Chattanooga, TN, EUA. Antes de unirse a la empresa en mayo 2017, pasó 7 años como investigador y consultor universitario y 20 años en la industria del concreto premezclado. Rollins ha realizado consultorías y publicado a nivel mundial, principalmente sobre temas de durabilidad

del concreto y resiliencia de las infraestructuras, y forma parte de varios comités de ACI y ASTM International.



David A. Rothstein, FACI, es el principal petrógrafo de DRP, empresa de Twining Company, Boulder, CO, USA. Tiene 25 años de experiencia como petrógrafo especialista en concreto. Rothstein forma parte de varios comités técnicos, entre ellos Comités ACI 201, Durabilidad del Concreto; 221, Agregados; 236, Ciencia de los Materiales del Concreto; y 524, Revestimientos. Se licenció en geología por la Universidad de Wisconsin; obtuvo un máster en geología

de la Universidad del Norte de Arizona, Flagstaff, AZ, USA; y su doctorado en geología por la Universidad de California-Los Ángeles, Los Ángeles, CA, EUA. Fue investigador postdoctoral en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Northwestern, Evanston, IL, EUA. Rothstein es geólogo autorizado en California e Illinois.



Charles (Chuck) Alt, miembro de ACI, es Director del Servicio Técnico de Imerys, Chesapeake, VA, EUA, en el sitio de aluminato de calcio de la empresa. Es miembro de los Comités 223 del ACI, Concreto de Contracción Controlada, y 242, Cementos Alternativos. Es presidente del Subcomité C01.13 de la ASTM, Cementos especiales, y participa activamente en los comités de ASTM C01, Cemento; C09, Concreto y Agregados para Concreto y C13, Tuberías de Concreto. También es miembro del Instituto Internacional de Reparación del Concreto, la Sociedad Americana de Cerámica, y de la Asociación de Protección y Comportamiento de Materiales (antes NACE). NACE). Alt se licenció en ingeniería cerámica por la Ohio State University, Columbus, OH, EUA, y un máster en administración por el College of William and Mary, Williamsburg, VA, EUA.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Noreste de México

Corrosión del Concreto Inducida por Microbios



Traductor: Lic. Iliana Margarita Gárza Gutiérrez



Revisor Técnico: Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Sistemas de Protección contra el Vapor de Humedad para Losas sobre el Terreno

Concreto P&R

Estamos diseñando una losa sobre el terreno para un edificio comercial. El dueño desea instalar un revestimiento del piso sensible a la humedad sobre la losa.

P

- ¿Deberíamos especificar algún tipo de protección contra el vapor de humedad para la losa?
- ¿En ese caso, qué sistema tendría la mayor eficacia?

R

Con base en mi experiencia, la colocación de sistemas de protección contra el vapor de humedad es recomendable para todas las losas de concreto sobre el terreno que vayan a ser posteriormente cubiertas con revestimientos de pisos sensibles a la humedad.

Como tal vez todavía recuerde de sus clases de ciencia, el ciclo hidrológico comienza con el movimiento vertical del vapor de agua desde la napa freática, independientemente de su profundidad, hacia las nubes. Durante su viaje ascendente, el vapor de agua atraviesa todos los obstáculos antes de condensarse como líquido o hielo en las nubes y precipitarse nuevamente hacia la tierra. La gravedad eventualmente devuelve algo del líquido nuevamente a la napa freática. Este ciclo ocurre en todo el planeta, incluyendo los climas secos.

A medida que el vapor asciende de la napa freática y se mueve a través del terreno, alcanza un nivel donde choca con la losa de concreto. Generalmente, la losa tiene una tasa de transmisión del vapor de agua (WVTR, "Water Vapor Transmission Rate") mucho menor que la mayoría de los suelos. Con las condiciones de punto de rocío que existen habitualmente debajo de las losas, parte de la humedad se condensa a fase

líquida y vuelve hacia el interior del terreno mientras otra parte continúa en estado de vapor ascendiendo a través del concreto a una menor velocidad. Esto explica por qué la parte inferior de todas las losas tienen, cuando son ensayadas y con independencia de su ubicación geográfica, una humedad relativa (HR) del 99% al 100%. Debido a que la tasa de transmisión del vapor de agua de la mayoría de los revestimientos de pisos es menor que la del concreto, un potencial de condensación similar también existe por debajo de los revestimientos del piso si el vapor no es lentificado suficientemente en su transmisión en y a través de la losa.

Si el vapor condensa a estado líquido por debajo del revestimiento del piso, el agua no retorna fácilmente hacia el interior del concreto como sí ocurre en el caso de los suelos. Adicionalmente, la parte superior de la losa suele tener una abundancia de sales alcalinas solubles tales como potasio y sodio, transportadas hacia allí por la exudación normal durante la colocación del concreto. Si el condensado se forma por debajo del piso, el mismo constituye en una solución muy alcalina (pH de 11 o más) que puede dañar la mayoría de los adhesivos de revestimientos y producir la falla del piso.

Para evitar estas fallas, la tasa de transmisión del vapor de agua a través de la losa debe disminuirse a una tasa menor que la de los revestimientos del piso.

Existen tres modos potenciales de disminuir la tasa de transmisión del vapor de agua a través de la losa:

- Instalar un retardador de vapor debajo de la losa;
- Instalar un recubrimiento mitigador de humedad aplicado tópicamente sobre la superficie de la losa;
- Incorporar un aditivo integral dentro del concreto de la losa.

Para ser efectivo, el método o métodos seleccionados deben reducir la tasa de transmisión del vapor de agua a través de la losa a valores por debajo de la tasa de los revestimientos del piso. Un retardador de vapor colocado directamente debajo de la losa puede ser la primera línea de defensa y ser capaz de reducir la entrada de vapor a la losa de concreto a una tasa aceptable. La norma ASTM E1745¹ requiere que el retardador de vapor sub-losa tenga una tasa de transmisión del vapor de agua de 0.1 perms (sin ir a los detalles, un “perm” es una unidad de permeabilidad que mide la velocidad de difusión del vapor de agua por unidad de superficie a través de un retardador de vapor para una diferencia unitaria de presiones de vapor de agua a ambos lados de la barrera). Algunos de los productos disponibles tienen permeabilidades menores a 0.01 perms.

Sistemas de mitigación de humedad aplicados tópicamente se utilizan para separar el adhesivo de los revestimientos de la solución alcalina que se desarrolla en el concreto. De acuerdo con la ASTM F3010² también se requiere que estos sistemas tengan una permeabilidad al vapor no mayor que 0.1 perms.

Teniendo en cuenta lo anterior, para ser considerado efectivo en la reducción de la tasa de transmisión del vapor de agua a un nivel aceptable, un aditivo integral debe también reducir la permeabilidad del concreto endurecido a 0.1 perms o menos.

Mientras que el concreto es relativamente impermeable al agua en estado líquido y, por lo tanto, es utilizado en tanques de almacenamiento, represas y cañerías, no lo es para el vapor de agua. De acuerdo con la Referencia 3, un concreto típico tiene una permeabilidad de 4.5 perm-in (la permeabilidad es el producto de la permeabilidad medida y el espesor del objeto ensayado). Sin embargo, usando la norma ASTM E96/E96M⁴, he podido medir en muestras de concreto tomadas de losas de piso valores de tasas de transmisión del vapor de agua por encima de los 8 perms. Es decir que el concreto puede tener una permeabilidad al vapor mucho más alta. Por lo tanto, es importante ensayar el concreto con los potenciales aditivos para verificar su efectividad. Al ser los resultados obtenidos con un mismo aditivo dependiente del concreto, es mejor requerir ensayos de tasa de transmisión del vapor de agua de acuerdo con la norma ASTM E96/E96M como parte de la provisión de aditivo de tal modo que puedan sumarse opciones de mitigación adicionales si resultase necesario.

Cuando se seleccionan opciones para la mitigación del vapor de humedad debería recordarse que no solamente el terreno es una fuente de humedad, sino que el concreto en sí mismo también lo es.

Para prevenir que se desarrolle una solución líquida de alto pH en la interfase entre el concreto y el revestimiento del piso se necesita (aun cuando se utilice un retardador de vapor efectivo) la existencia de un tiempo de secado suficiente u otras medidas de mitigación adicionales.

Referencias

1. ASTM E1745, “Standard Specification for Plastic Water Vapor Retarders Used in Contact with Soil or Granular Fill under Concrete Slabs,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 6 pp.
2. ASTM F3010, “Standard Practice for Two-Component Resin Based Membrane-Forming Moisture Mitigation Systems for Use Under Resilient Floor Coverings,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, 4 pp.
3. “Table 8: Water Vapor Permeability of Building

Materials at Various Relative Humidities,” ASHRAE Handbook: Fundamentals, ASHRAE, Peachtree Corners, GA, 2009, p. 26.17.

4. ASTM E96/E96M, “Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, 14 pp.

Gracias a Scott M. Tarr, North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, USA, y Chair of ACI Committee 360, Design of Slabs on Ground, por suministrar las respuestas a estas preguntas.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Argentina

*Concreto
Preguntas y Respuestas
Sistemas de protección contra
el vapor de humedad para losas
sobre el terreno*



*Traductor y Revisor Técnico:
Dr. Ing. Raúl Bertero*

El Concreto Simple Estructural Adquiere un Aspecto Renovado

by Luke R. Pinkerton

Desde el Comité 322 de ACI, Concreto Simple Estructural, fue dado de alta en 1974, la industria del concreto ha visto desarrollos significativos en materiales y métodos de análisis. Para aprovechar este progreso, los ingenieros, proveedores de materiales, contratistas y funcionarios del código necesitan una guía concisa y actualizada para implementar de manera segura el concreto simple estructural. En respuesta, ACI creó recientemente un nuevo comité, el Comité 380 de ACI, Concreto Simple Estructural. Esta medida es oportuna porque coincide con la iniciativa recientemente anunciada de la Portland Cement Association de desarrollar un mapa vial “para facilitar que sus empresas afiliadas logren la neutralidad de carbono en toda la cadena de valor del concreto para el 2050.”¹ Este ambicioso objetivo requerirá innovación en toda la industria del concreto y el sector de la construcción, incluida la optimización de los estándares de diseño.

Antecedentes

El concreto simple estructural se usa dentro de elementos estructurales que incluyen arcos, pedestales y estructuras sostenidas por el suelo como cimientos (Fig. 1). Los requisitos de diseño se proporcionan actualmente en el Capítulo 14 de ACI 318-19² y la Sección 6.5 de ACI 332-14.³ Además, el Capítulo 12 de ACI 360R-10⁴ enumera las aplicaciones de losas en el suelo que deben diseñarse de acuerdo con las disposiciones de código ACI 318.

Productos del trabajo

Las disposiciones de los documentos actuales del comité ACI pueden derivarse del trabajo del Comité ACI 322, que estuvo activo desde la década de 1940 hasta la de 1970. Los productos finales del

trabajo del comité incluyeron un informe, publicado en 1967,⁵ y el código ACI 322,⁶ publicado en 1972 como un suplemento de ACI 318-71⁷ (Fig. 2). Los enfoques de diseño proporcionados en el código ACI 322 se basaron en principios elásticos lineales. Las capacidades de tracción y flexión se basaron tanto en la medición directa de la resistencia a la flexión como en una relación conservadora entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la tensión del concreto.



Fig. 1: Zapata de cimentación continua

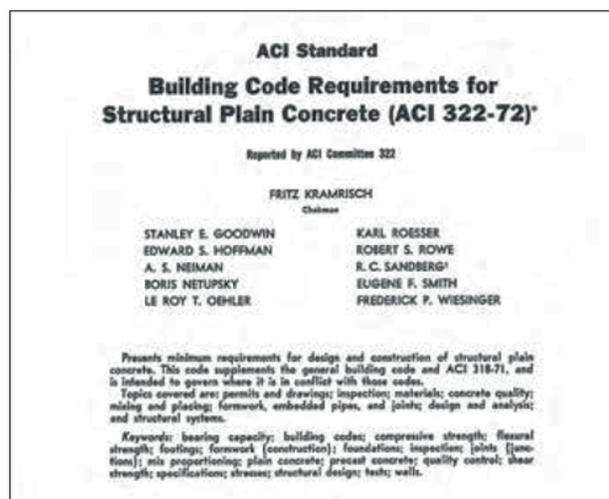


Fig. 2: La página de título del código⁶ ACI 322-72

Además, se emplearon grandes factores de seguridad para evitar fallas.

Después de que el comité fue despedido, muchos de los miembros del Comité ACI 322 se unieron al Comité ACI 318, Código de Construcción de Concreto Estructural. El Comité 318 de ACI publicó al menos una guía separada para concreto simple estructural en 1989⁸ antes de incorporar los requisitos en el Capítulo 12 de ACI 318-89 (revisada en 1992).⁹

Desde entonces, no se han realizado cambios importantes en las disposiciones pertinentes del Código ACI 318. Además, las disposiciones paralelas en los códigos publicados en Canadá,¹⁰ Australia,¹¹ y la Unión Europea¹² siguen muchos de los mismos principios generales presentes en el código ACI 322.

Resumen de los requisitos del Código EE. UU. Código ACI 318.

El concreto simple estructural se trata en el Capítulo 14 de ACI 318-19. La Sección 14.1.3 permite el concreto simple estructural para los siguientes elementos:

- Elementos que están sostenidos continuamente por suelo o apoyados por otros elementos estructurales capaces de proporcionar un soporte vertical continuo;
- Elementos para los que la acción del arco proporciona compresión en todas las condiciones de carga;
- Paredes;
- Pedestales.

Se proporcionan restricciones y pautas adicionales para cada tipo de elemento, incluidos los requisitos para las juntas de contracción. La resistencia nominal a la flexión está limitada por $5\lambda\sqrt{f'_c}S_m$, donde λ es un factor de modificación para reflejar las propiedades mecánicas reducidas del concreto ligero en relación con el concreto de peso normal de la misma resistencia a la compresión f'_c y S_m es el módulo de sección elástica. La sección 21.2 especifica un factor de resistencia ϕ de 0.60 para concreto simple. Cabe señalar que las calibraciones de ϕ se basaron en la resistencia a la compresión en lugar de la propiedad limitante real, la resistencia a la flexión.¹³

Código ACI 332

Las aplicaciones de concreto simple estructural en muros, zapatas y losas apoyadas en el suelo se tratan en el Capítulo 6 de ACI 332-20.¹⁴ La Sección 6.2.1.2 especifica que el módulo de ruptura f_r es $7.5\lambda\sqrt{f'_c}$ en psi ($0.63\lambda\sqrt{f'_c}$ en MPa), aunque esta sección también permite el diseño basado en el rendimiento como un sistema alternativo según la Sección 1.2 del código ACI 332. La última sección establece que un sistema alternativo tendrá la misma fuerza y efecto que las disposiciones del código si el funcionario del código de construcción ha aprobado y promulgado que se ha demostrado su idoneidad mediante un uso, análisis o prueba satisfactoria. Se espera que el Comité 380 de ACI desempeñe un papel en la asistencia al Comité 332 de ACI, Trabajo de concreto residencial, en el suministro de dicha información a los ingenieros y funcionarios del código.

Un nuevo Comité sobre Concreto Simple Estructural

En 2017, le pregunté al personal de ACI sobre la actualización de las disposiciones para el concreto simple porque afectan la construcción residencial, y mi empresa está activa en ese mercado. Jim Baty, director ejecutivo de Concrete Foundations Association, también reconoció la necesidad de actualizaciones, por lo que trabajamos con el personal de ACI para desarrollar un comité con representación de un grupo equilibrado de partes interesadas. Dos años después, el Comité de Actividades Técnicas (TAC) de ACI creó el Comité 380 de ACI, Concreto Simple Estructural, el comité celebró su primera reunión en la Convención de Concreto ACI - Otoño de 2019 en Cincinnati, OH, EE. UU. Actualmente, Baty es el presidente, yo soy el secretario y Barzin Mobasher es el enlace de TAC.

La misión del comité es promover el diseño y la aplicación de concreto simple estructural para mejorar su desempeño y reconocimiento como material de construcción confiable. Hasta ahora, el comité ha identificado varias áreas clave para investigar:

- Orígenes de los modelos de resistencia actuales;
- Criterios de fuerza versus deflexión;
- Ductilidad;
- Fallo y seguridad de la vida;
- Áreas de aplicación;
- Métodos de análisis;
- Diseño basado en desempeño;
- Control de calidad y
- Constructibilidad.

La primera orden del día del comité es llevar a cabo una revisión de la investigación y los códigos de concreto simple estructural. Para reactivar la innovación en aplicaciones de concreto simple con miras a la seguridad y la asequibilidad, el comité revisará el diseño basado en el desempeño utilizando pruebas de flexión para establecer las resistencias del diseño en lugar de aproximarlas a las resistencias a la compresión. De igual importancia, el comité revisará las debilidades, limitaciones y seguridad de los diseños hechos con materiales frágiles.

Si bien hay poca investigación dirigida al diseño de estructuras de concreto simple, el comité planea aprovechar las publicaciones e investigaciones relacionadas. Un ejemplo notable es un artículo de Légeron y Paultre,¹⁵ que presenta una discusión sobre el módulo de prueba de ruptura y su aplicación. El comité está planeando sesiones sobre temas relacionados o afectados por el concreto simple, y espera iniciar nuevas investigaciones en áreas que identifica que necesitan más estudio.

Diseño basado en el desempeño

Una de las declaraciones clave hechas por el Comité ACI 322 fue: “Los intentos de mejorar la calidad general y la seguridad del material, deben recibir crédito”.⁵ En ese sentido, y para continuar la visión del comité original sobre concreto simple, el nuevo comité investigará el diseño basado en el desempeño.

Hay precedentes de diseños basados en el desempeño basados en la resistencia a la flexión. Por ejemplo, en la industria del concreto Tilt-Up, los paneles se

diseñan utilizando principios elásticos. El número de puntos de elevación y los límites de espesor se basan generalmente en la resistencia a la flexión del concreto, con el objetivo de que la sección no se agriete (Fig. 3) durante el montaje. La Figura 4 ilustra los límites de tensión del panel basados en el módulo de ruptura medido, la tensión de elevación permisible basada en f_r del Capítulo 19 del Código ACI 318 y el diseño de resistencia basado en el Capítulo 14 del Código ACI 318.

El Comité ACI 322 también proporcionó una forma simple de diseño basado en el desempeño (Fig. 5), ya que el código ACI 332 permitió al ingeniero especificar la resistencia a la flexión de la mezcla utilizada en una



Fig. 3: Tilt-Up de 114 mm (4.5 pulg.) de espesor diseñado con principios de diseño basados en el desempeño (de la Referencia ¹⁶).

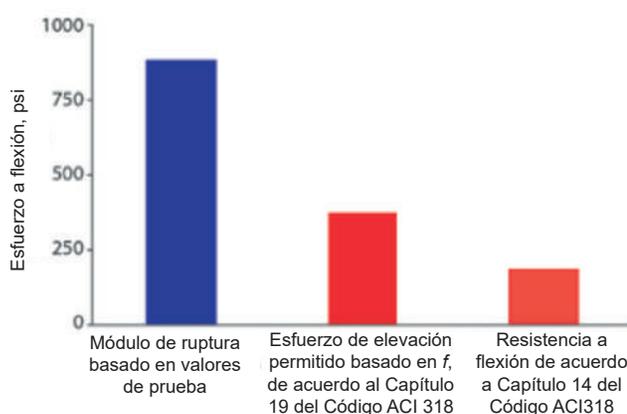


Fig. 4: Ejemplo de comparación de esfuerzos de flexión estructura.

El diseño para flexión se logró multiplicando la resistencia a flexión especificada por 0.42. Una posible consideración sería actualizar este concepto

Descripción		Sección del Código a que se refiere:	Tabla 7.1 (a) Valores permitidos de esfuerzo en concreto simple estructural donde se utiliza el método de diseño por esfuerzo. Nota. Factor de reducción de capacidad ϕ está incluido (Ver sección 7.2.2)		Tabla 7.1 (b) Esfuerzo de trabajo permitido en concreto simple estructural donde se usa el método alternativo de diseño	
Flexión	Compresión	7.6 y 7.8	f_{cu}	$0.65 f'_c$ ó $4.55 f_r$	f_c	$0.34 f'_c$ ó $2.4 f_r$
	Tensión		f_{tu}	$3.25 \sqrt{f'_c}$ ó $0.42 f_r$	f_t	$1.60 \sqrt{f'_c}$ ó $0.21 f_r$
Compresión	En toda el área	7.7 y 7.10	f_{c1u}	$0.60 f'_c$ ó $4.2 f_r$	f_{c1}	$0.30 f'_c$ ó $2.10 f_r$
	En parte del área	7.10	f_{c2u}	$f_{c1u} \sqrt{A_2 / A_1}$ Pero no más de $2 f_{c1u}$	f_{c2}	$f_{c1} \sqrt{A_2 A_1}$ Pero no más de $2 f_{c1}$
Cortante	Un sentido (Acción de viga)	7.9	V_{c1u}	$1.70 \sqrt{f'_c}$ ó $0.23 f_r$	V_{c1}	$1.10 \sqrt{f'_c}$ ó $0.15 f_r$
	Dos sentidos (acción de losa)		V_{c2u}	$3.40 \sqrt{f'_c}$ ó $0.46 f_r$	V_{c2}	$2.00 \sqrt{f'_c}$ ó $0.27 f_r$

Fig. 5: La tabla 7.1 en ACI 322-72 permitió al ingeniero especificar la resistencia a la flexión como base para la tensión de tracción permisible en el concreto.

para permitir que el mercado desarrolle mezclas de concreto diseñadas específicamente para su uso en aplicaciones de concreto simple.

Sin embargo, el Capítulo 14 del Código ACI 318 actual carece de un enfoque para medir el rendimiento de flexión del concreto simple y usarlo en el diseño. Es necesario un modelo basado en el desempeño para el diseño elástico lineal para caracterizar el desempeño del concreto a través de métodos de prueba estándar como ASTM C78 / C78M, "Método de prueba estándar para resistencia a la flexión del concreto (usando viga simple con carga de tercer punto)" (Fig. 6).

De manera similar, un enfoque de diseño basado en el desempeño apoyado en principios de diseño elástico lineal simple (Fig. 7) podría proporcionarse como una alternativa a las ecuaciones basadas en la resistencia a la compresión en los códigos actuales. Si bien el código ACI 322 usaba un multiplicador simple para obtener la fuerza de trabajo, un enfoque moderno también podría incluir un ajuste para el efecto de tamaño.^{15,17}



Fig.6: Configuración típica de la prueba de flexión según ASTM C78 / C78M

Para garantizar un diseño seguro, el factor ϕ especificado en los estándares de diseño requeriría una calibración basada en los requisitos de ASCE 7-10, Sección 1.3,¹⁸ utilizando el método de punto de diseño.¹⁹ La falta de ductilidad; categoría de riesgo de construcción; variabilidad en el módulo de ruptura; otras variabilidades inherentes al sistema, incluidas las cargas, el ancho y la profundidad de los elementos; y la variación in situ se consideraría en la calibración del factor de resistencia. El enfoque también debería

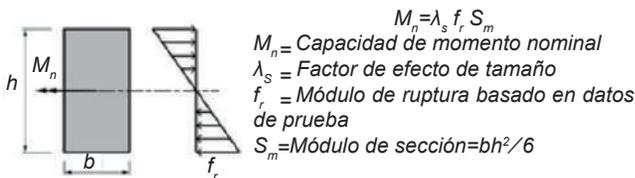


Fig. 7: El diseño a flexión de concreto simple estructural podría, por ejemplo, basarse en una distribución de tensión elástica lineal y el uso de f_r establecido para mezclas específicas y ajustado por variabilidad y tamaño.

considerar factores como el asentamiento, las deformaciones por temperatura, la contracción, la fluencia y la degradación ambiental (como el daño debido a la congelación y descongelación cíclicas) que podrían afectar la capacidad del concreto para proporcionar una resistencia adecuada a lo largo de su vida útil.

Impacto del Diseño basado en Desempeño

Se espera que la actualización del código para permitir el diseño elástico lineal basado en el desempeño fomente el desarrollo de concreto de alto desempeño, lo que potencialmente resultará en estructuras seguras y confiables que se pueden construir en menos tiempo, con menor demanda de mano de obra y con menor energía incorporada y huella de carbono de las permitidas actualmente.

Por lo tanto, el restablecimiento de ACI de un comité sobre concreto simple estructural muestra un compromiso significativo para avanzar en la técnica, expandiendo las posibilidades de diseño para clientes, constructores e ingenieros. La adición de un diseño basado en el rendimiento podría impulsar el desarrollo

de tecnologías de materiales nuevas y mejoradas diseñadas específicamente para su uso en estructuras de concreto simple. Un mayor desarrollo en los métodos de análisis y control de calidad puede brindar oportunidades para mejorar la eficiencia y la seguridad, lo que eventualmente permitirá la construcción robótica



Fig. 8: El Mars Canopy se construyó sin barras de refuerzo²⁰

basada en métodos de fabricación aditiva (Fig. 8). Si bien el potencial es grande, el Comité 380 de ACI también debe ser consciente de las limitaciones asociadas con el concreto simple estructural. Incluso si las mezclas de concreto están diseñadas para un desempeño más alto y más consistente, el comportamiento a largo plazo y los posibles modos de falla frágil deben considerarse al establecer límites en las aplicaciones y establecer factores de resistencia apropiados.

Todavía se necesitan barras de refuerzo para compensar las deficiencias del concreto en términos de ductilidad y resistencia a tensión. Espero que el trabajo del comité incentive a la industria a desarrollar materiales y métodos avanzados que podrían cambiar drásticamente nuestra percepción del concreto como material de construcción y asegurar su futuro como el método de construcción preferido debido a su seguridad, longevidad, rendimiento, eficiencia y sostenibilidad.

Agradecimientos

Jim Baty y los miembros del Comité 380 de ACI proporcionaron valiosos comentarios y reseñas.

Referencias

1. “Portland Cement Association to Further Sustainability Goals by Creating Carbon Neutrality Roadmap for the Cement and Concrete Industry,” Comunicado de prensa, Portland Cement Association, Skokie, IL, 17 de noviembre de 2020.
www.cement.org/newsroom/2020/11/17/portland-cementassociation-to-further-sustainability-goals-by-creating-carbon-neutralityroadmap-for-the-cement-and-concrete-industry.
2. Comité 318 de ACI, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 págs.
3. Comité 332 de ACI, “Residential Code Requirements for Structural Concrete (ACI 332-14) and Commentary,” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 54 págs.
4. Comité 332 de ACI, “Residential Code Requirements for Structural Concrete (ACI 332-14) and Commentary,” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 54 págs.
5. Comité 322 de ACI, “Structural Plain Concrete,” ACI Journal Proceedings, V. 64, No. 4, abril de 1967, págs. 186-189.
6. Comité 322 de ACI, “Building Code Requirements for Structural Plain Concrete (ACI 322-72),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1972, 7 pp.
7. Comité 318 de ACI, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-71),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1971, 78 págs.
8. Comité 318 de ACI, “Building Code Requirements for Structural Plain Concrete (ACI 318.1-89) and Commentary (ACI 318.1R-89),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, 14 págs.
9. Comité 318 de ACI, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89) (Revised 1992) and Commentary (ACI 318R-89) (Revised 1992),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, 347 págs.
10. CAN/CSA-A23.3-04, “Design of Concrete Structures,” Canadian Standards Association, Mississauga, ON, Canada, 2004, 232 págs.
11. AS3600:2018, “Concrete Structures,” fifth edition, Standards Australia, Sydney, Australia, 2018, 256 págs.
12. EN1992-1-1:2004, “Eurocode 2: Design of Concrete Structures— Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings,” European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium, 2004, 225 págs.
13. Szerszen, M.M., and Nowak, A.S., “Calibration of Design Code for Buildings (ACI 318): Part 2—Reliability Analysis and Resistance Factors,” ACI Structural Journal, V. 100, No. 3, mayo - junio de 2003, págs. 383-391.
14. Comité 332 de ACI, “Code Requirements for Residential Concrete and Commentary (ACI 332-20),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 74 págs.
15. Légeron, F., and Paultre, P., “Prediction of Modulus of Rupture of Concrete,” ACI Materials Journal, V. 97, No. 2, marzo – abril de 2000, págs. 193-200.
16. Pinkerton, L., and Foster-Goodman, S., “Bringing Mars to Earth,” Tilt-Up Today, Tilt-Up Concrete Association, noviembre de 2018. www.tilt-up.org/tilt-up-today/2018/11/01/bringing-mars-to-earth.
17. “CEB-FIP Model Code 1990: Design Code,” fib (International Federation for Structural Concrete), Lausanne, Switzerland, 1990, 437 págs.
18. ASCE/SEI 7-10, “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures,” American Society for Civil Engineers, Reston, VA, 2011, 656 págs.
19. Nowak, A.S., and Collins, K.R., Reliability of Structures, segunda edición, prensa CRC, 2012, 407 págs.
20. Sarafian, J.; Culver, R.; and Lewis, T.S., “Robotic Formwork in the MARS Pavilion,” Acadia 2017: Disciplines and Disruption Conference Proceedings, Cambridge, MA, 2 al 4 de noviembre de 2017, págs. 522-533.

Nota: Puede encontrar información adicional sobre la norma ASTM discutida en este artículo en www.astm.org.

Seleccionado para el interés del lector por los editores.



Luke R. Pinkerton, miembro de ACI, es presidente, director de tecnología y fundador de Helix Steel, Ann Arbor, MI, EE. UU. Es secretario del Comité ACI 380, Concreto Simple Estructural, y del Subcomité ACI 332-D, Concreto

Residencial: zapatas y muros de cimentación. Es miembro de los Comités 332 de ACI, Trabajos de Concreto residencial; 360, Diseño de losas sobre suelo; 544, Concreto Reforzado con fibra; y 551, Construcción de Concreto Tilt-Up. También es miembro del Comité C09 de ASTM, Concreto y Agregados de concreto, y Presidente del Grupo de tareas de prueba de tensión directa de ese comité. Ha empleado enfoques de diseño alternativos basados en el rendimiento de la resistencia a la flexión en miles de estructuras desde 2002 y, debido a este trabajo, recibió el Premio a la Innovación Robert Aiken de la Asociación de Concreto Tilt-Up 2018. Recibió su licenciatura en ingeniería física de Hope College, Holland, MI; su maestría en Ingeniería Estructural de la Universidad de Michigan, Ann Arbor, MI; y su MBA del Instituto de Tecnología de Georgia, Atlanta, GA, EE. UU. Es un ingeniero profesional con licencia en Maine.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Noroeste de México

El Concreto Simple Estructural Adquiere un Aspecto Renovado



Traductor: Cristian Silva



Revisor Técnico: Ing. Genaro Salinas

Pisos Industriales de Concreto con Fibras

Necesidades de investigación identificadas

Por Johan L. Silfwerbrand

Por más de 40 años, el concreto reforzado con fibra, en especial el concreto reforzado con fibra de acero, ha sido utilizado en la industria de la construcción Sueca. Dos grandes ejemplos son el concreto lanzado para el fortalecimiento de taludes, y el concreto con fibra de acero para pisos de concreto industrial. Suecia es uno de los países pioneros en utilizar concreto lanzado reforzado con fibra de acero, en parte por los depósitos de rocas de alta calidad del país, y en parte debido a la investigación llevada a cabo principalmente en KTH *Royal Institute of Technology*, Estocolmo, Suecia. Para pisos industriales de concreto con fibras, el *Concrete Report No. 4¹* se consideró que estaba a la vanguardia internacional cuando fue publicado en la década de los 1990's por la Asociación Sueca del Concreto.

Los pisos industriales de concreto son construidos como losas sobre el suelo, o como losas apoyadas en pilotes. Debido a que no cargan de la misma manera directa que las losas y las vigas elevadas, no se consideran estructuras portantes. Como consecuencia, los diseñadores no tienen que seguir los códigos y regulaciones de diseños convencionales. En Suecia, esto resulta en una competencia entre conceptos de diseños con diferentes grados de seguridad.² Por ejemplo, el método de diseño tradicional Sueco para pisos industriales de concreto con fibras de acero, compite con un método menos conservador desarrollado en Bélgica, comúnmente llamado método continental.³

En muchos casos, los diseños basados en métodos más aventureros, resultan en estructuras más delgadas y de buen rendimiento. Sin embargo, también pueden resultar en losas con mayor cantidad de grietas. Es

probable que las historias exitosas estén conectadas a algunas circunstancias beneficiosas que no son consideradas en el método de diseño. Algunos posibles factores incluyen:

- Efecto de arco en las losas;
- Aumento de la resistencia del concreto con el paso del tiempo;
- La contribución del suelo en soportar la losa.
- Los efectos de borde (mayormente negativos) presentes en las vigas de prueba utilizadas en el desarrollo del método, no existen en la losa;
- Efecto membrana en la losa;
- Orientación de la fibra más beneficiosa en la losa que en las vigas de prueba;
- Esfuerzos multi-axiales en la losa;
- Reducción del riesgo de zonas débiles en la losa.

Los factores identificados con los efectos más beneficiosos en la resistencia de las losas son el efecto arco, efecto membrana, riesgo reducido de zonas débiles, y contribución del suelo o del terreno. Este artículo describe estos en más detalle, e identifica la investigación necesaria para llenar los espacios vacíos en la base de conocimientos.

Los factores principales:

Efecto arco

El efecto arco está ilustrado en la Figura 1: un esquema de una losa, apoyada en pilotes, cargada desde la superficie superior. Una parte de la carga es llevada directamente desde el punto de carga hasta los soportes, a través de un arco. El efecto arco aumenta con la disminución de la esbeltez $\lambda = L/h$, donde L es el espacio entre los pilotes o pilas, y h es el espesor

de la losa. Teóricamente, los movimientos horizontales deben ser prevenidos, o por lo menos parcialmente prevenidos, para que el efecto arco en acción se desarrolle. Sin embargo, fricción entre la losa y la capa subyacente podría ser suficiente para generar alguna acción del arco. Si la carga se encuentra cerca del pilote o de algún otro soporte, un efecto arco sin restricción horizontal se puede desarrollar, al igual que las cargas cercanas al soporte se consideran cuando se diseñan vigas de concreto para cortante.

En Suecia, el efecto arco en losas de concreto ha sido estudiado por Birke⁴ y Nilsson⁵. Birk estudió losas de concreto reforzado convencionalmente, y Nilsson estudió el concreto lanzado reforzado con fibras anclando en la roca. En casos con movimiento horizontal restringido, ambos encontraron contribuciones sustanciales del efecto arco a la capacidad de carga. Nilsson notó que el efecto arco disminuye con el aumento de deformación debido una reducción versine (brazo de palanca). Hasta donde yo sé, nadie ha estudiado el efecto arco en losas de concreto reforzadas con fibra soportadas sobre suelo o pilotes.

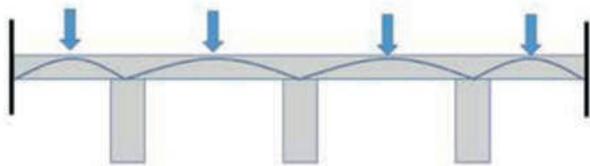


Fig. 1 Efecto arco en una losa apoyada

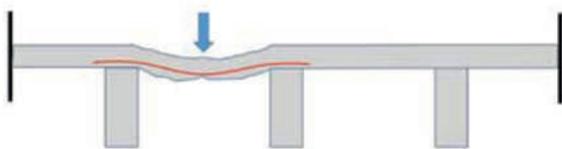


Fig. 2: Efecto membrana en una losa apoyada

El método europeo para ensayar la resistencia a la tracción por flexión del concreto reforzado con fibras, EN 14651⁶, trata sobre la flexión en tres puntos de una viga de 550 mm (22 in.) de largo y 150 mm (6 in.) de altura. La relación distancia entre corte y altura $a/h = 250/150 = 1.67$. En el Código Europeo 2,⁷ el límite para

tener en cuenta el efecto de arco positivo al diseñar para cortante es $a/d=2$, donde d es la profundidad efectiva. Si bien d es algo menor que h , es evidente que la acción del arco en los resultados de la prueba EN 14651 es una sobreestimación de la resistencia a la tracción. Otro método de prueba, EN 14488,⁹ se utiliza para medir la capacidad de absorción de energía de una mezcla de concreto. Una losa de concreto lanzado reforzado con fibra con dimensiones de 600 x 600 x 100 mm (24 x 24 x 4 in.) se apoya en un marco que proporciona un soporte cuadrado rígido con luces libres de 500 mm (20 in.) en cada dirección. Se aplica una carga concentrada de 100 x 100 mm en el centro, lo que da como resultado una $a/h = 200/100 = 2.0$ considerablemente pequeña. En combinación con la resistencia a los movimientos horizontales proporcionada por las condiciones de soporte especificadas, es probable que el método dé como resultado un efecto de arco no despreciable.

Efecto membrana

El efecto membrana tiene tanto similitudes como diferencias en comparación con el efecto arco (mostrado en la Fig. 1 y 2). En ambos casos, una parte de la carga es distribuida en la dirección horizontal. Sin embargo, en el último caso, la resistencia la proporciona la tensión en lugar de la compresión. El efecto membrana aumenta al aumentar la deformación. La losa debe tener una capacidad de tensión considerable que fácilmente sea proveída por refuerzo convencional. La capacidad de tensión de una losa de concreto con fibra es mucho más bajo, pero aumenta al aumentar el contenido de fibra, la resistencia de la fibra, y los dispositivos de anclaje de la fibra. Una combinación de fibras y refuerzo convencional algunas veces es utilizada en losas apoyadas en pilotes.

Para losas de concreto con fibra sin refuerzo convencional, el efecto membrana es considerablemente menor. Sin embargo, una cuantificación sería interesante y, por consecuencia, hay una necesidad de investigación.

Riesgo reducido de zonas débiles

El concreto con fibra es un material heterogéneo que consiste de partículas agregadas, pasta de cemento, y fibras. Las partículas agregadas, al igual que las fibras, tienen ubicaciones y orientaciones esencialmente aleatorias en la matriz de concreto. Si el proceso de fabricación no ha tenido éxito, podría haber alguna segregación que lleva a concentraciones más altas de agregados y fibra en la parte inferior de la losa de concreto. El proceso de fabricación puede definir hasta cierto grado la orientación de fibra. Sin embargo, la aleatoriedad es alta en concreto reforzado con fibra.

Mientras que la dispersión en fuerza es considerablemente alta para el concreto simple, la dispersión es aún mayor en el concreto reforzado con fibra debido a que el enfoque en este caso está en la resistencia a la tracción por flexión. Si fuéramos a utilizar conceptos tradicionales de seguridad y probabilidad al diseñar el concreto reforzado con fibra, terminaríamos con valores de resistencia de diseño muy bajos, y en consecuencia, estructuras de concreto reforzado con fibra sumamente gruesas y antieconómicas. En consecuencia, debemos pensar diferente.

En la guía de diseño de concreto reforzado con fibra sueca,¹⁰ el riesgo de zonas débiles en la estructura de concreto reforzado con fibra ha sido considerado. La base para el diseño es el valor de diseño de la resistencia a la tracción por flexión que se calcula a medida que el valor característico de la resistencia dividido por un factor de seguridad parcial $\gamma_f = 1.5$ para el estado límite. Por lo general, esto llevará a valores de resistencia muy bajos en estructuras determinadas estáticamente, como las vigas simplemente apoyadas (Fig. 3, arriba). Debido a que la mayoría de los materiales de concreto de fibra se ablandan por deformación, la viga simplemente apoyada no podrá soportar una carga mayor que la carga de agrietamiento. La grieta se desarrollará en la sección más débil a lo largo de la parte de la viga que está sujeta al mayor momento de flexión.

En una viga estáticamente indeterminada (por ejemplo, la viga de dos vanos en la Fig. 3, medio), la viga no colapsará antes de la aparición de la segunda grieta. El riesgo de dos zonas débiles es menor que el riesgo de una sola zona débil. Esta condición beneficiosa ha sido considerada en la guía de diseño sueca al multiplicar el valor de diseño de la resistencia por un factor η_{det} que para la viga estáticamente indeterminada se establece en $\eta_{det} = 1.4$. En el interior de una losa de concreto reforzada con fibra (mostrado en la Fig. 3, abajo), varias grietas aparecerán antes del colapso de la losa. Lo llamamos un patrón de línea de rendimiento. El riesgo de varias zonas débiles es mucho más bajo en este caso. De acuerdo a la guía de diseño sueca, el factor que considera el grado de determinación estática está establecido para $\eta_{det} = 2.0$. Los antecedentes de estos valores se proporcionan en un documento de conferencia.¹¹

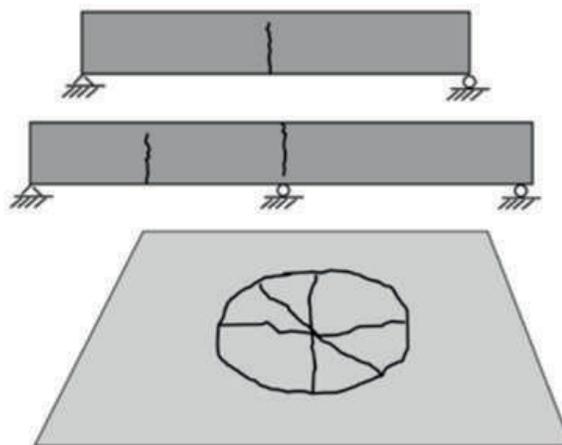


Fig. 3: El riesgo de colapso es mayor en vigas simplemente apoyadas (arriba), moderado en vigas estáticamente indeterminadas (medio) y menor en el interior de losas (abajo)

El concepto sueco ha sido criticado por ingenieros estructurales experimentados, porque difiere de cómo se diseñan las estructuras de concreto reforzado convencionalmente cuando se utiliza, por ejemplo, el Código Europeo 2.⁷ Creo que dicho concepto también puede ser utilizado para el diseño de concreto reforzado (RC) con estructuras en flexión.

Sin embargo, la capacidad de la dispersión de la flexión de un momento en un elemento RC es inferior

al 10%. Lo que conduciría a valores de η_{det} entre el 1.0 y el 1.1. Por lo tanto, la reducción del riesgo es casi insignificante.

El concepto sueco es una forma de ingeniería para resolver este problema. Se están desarrollando más investigaciones para obtener conceptos más detallados y precisos.

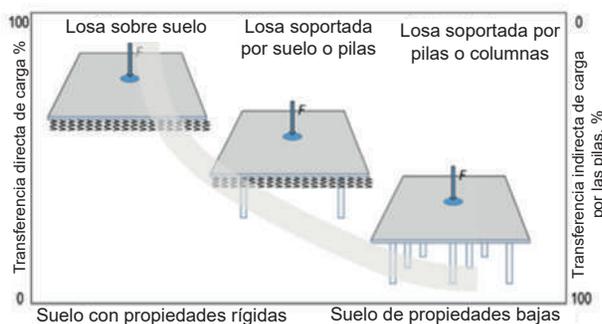


Fig. 4: Contribución desde el suelo (después de Falkner y Gossia¹²)

Contribución del suelo

La contribución del suelo es obvia para losas sobre suelo. La losa apoyada en pilotes constituye un caso intermedio entre la losa sobre suelo y la losa apoyada en columnas (mostrada en la Fig. 4) ya que la primera está apoyada por ambos pilotes y el suelo entre los remates. Inmediatamente después de fabricarse, la contribución del suelo es substancial; sin embargo, esta contribución disminuye con el tiempo debido al lento desarrollo del asentamiento del suelo. (Las pilas se consideran como si descansaran sobre roca o fijadas en la dirección vertical a través de otras medidas geotécnicas.)

La contribución del suelo usualmente se descuida en el diseño, y esto lleva a una subestimación de la capacidad de carga de magnitud desconocida pero decreciente. Sin embargo, sabemos por experiencia que las cargas de la etapa de construcción a menudo son las más altas durante la vida útil de un suelo de concreto industrial. En esta etapa temprana, la contribución del suelo probablemente es substancial. El suelo también puede contribuir en otro momento si la carga provoca grandes deformaciones. Suponiendo que un asentamiento del suelo de 10 mm (0.4 in.), por

ejemplo, el suelo llevará una parte de la carga cuando la deflexión de la losa exceda los 10 mm. Y 10 mm no es una deflexión grande si el espacio entre pilotes es, por ejemplo, 4 m (13 ft).

Necesidades de investigaciones

Un piso industrial de concreto no es considerado como una estructura de carga en el sentido de que dichas estructuras son definidas por los códigos de edificios. Ni siquiera el agrietamiento severo del suelo provocará el colapso de la nave industrial y, debido a que no hay pisos ocupados debajo, nadie puede resultar herido o muerto por caída de escombros. En consecuencia, el diseñador tiene gran libertad para seleccionar el método de diseño. A la larga, no es deseable que los métodos de diseños con diferentes grados de seguridad compitan (por lo menos sin reconocer claramente los grados de seguridad). En Suecia, el diseño de pisos industriales de concreto reforzado con fibra de acero es usualmente hecho por el productor de fibra de acero o un contratista que esté calificado en construcción de pisos industriales de concreto. Debido a que diferentes compañías están utilizando diferentes métodos de diseños, la competencia no será comparable. Por un lado, la solución simple sería recomendar fuertemente el método de diseño sueco más seguro. Pero por otra parte, no queremos poner las demandas de seguridad tan altas que genere el uso de recursos naturales innecesarios (cemento, concreto, y acero). Necesitamos saber por qué el método continental a menudo conduce a soluciones exitosas sin grietas y otros problemas, incluso con su nivel de seguridad más bajo. En mi opinión, la explicación se encuentra en los cuatro fenómenos discutidos en este artículo: efecto arco, efecto membrana, riesgo de zonas débiles reducido, y la contribución del suelo.

El efecto arco deberá ser estudiado a través de la combinación de pruebas de gran escala y análisis numéricos. La influencia de la delgadez $\lambda = L/h$ es importante para investigar, y varios tipos de restricciones deberán ser examinadas—incluyendo la fricción del suelo subyacente.

El efecto membrana es probable que sea más pequeño que el efecto arco en pisos de concreto reforzados con fibra de acero. Sin embargo, será mayor que cero, y durante una prueba a gran escala es probable que sea mejor que la acción del arco cuando las deformaciones superen ciertos valores. Además, se prevé que el efecto de membrana sea sustancialmente mayor en losas con una combinación de refuerzos y fibras convencionales. El riesgo reducido de puntos débiles y cómo considerar ese concepto en el proceso de diseño debe evaluarse mediante un importante estudio numérico que combine el método de los elementos finitos con la teoría de la probabilidad, quizás también aprovechando el método de Monte Carlo.

La contribución del suelo debe ser investigada a través de pruebas de campo. La extracción de testigos a través de la losa sería una forma de estimar el asentamiento, si lo hubiera, debajo de una losa soportada por pilotes existentes pero podría ser posible utilizar varios métodos de prueba no destructivos. Posteriormente, pruebas de carga deben realizarse en ambas losas con asentamientos detectados y losas de referencia sin ningún asentamiento.

Finalmente, sería interesante hacer investigaciones de campo en losas delgadas de concreto reforzado con fibra de acero diseñadas por el método continental.

Se deben examinar los pisos con y sin grietas severas. ¿Por qué se agrietaron y por qué no? ¿Las cargas han sido superiores o inferiores a las previstas? ¿Las condiciones para el efecto arco han sido especialmente beneficiosas en las losas sin agrietarse?

Observaciones finales

Los pisos industriales de concreto reforzados con fibra de acero considerados estáticamente como losas sobre el suelo y losas soportadas por pilotes no se consideran estructuras de carga, lo que significa que los diseñadores tienen libertad para seleccionar el método de diseño. En Suecia, compiten dos métodos de diseño con diferentes niveles de seguridad. Esto no es deseable. Se necesita investigación para comprender

por qué, con bastante frecuencia, el método de diseño continental menos conservador conduce a pisos exitosos. Para responder a esta pregunta, es necesario investigar cuatro posibles explicaciones: efecto arco, efecto membrana, riesgo reducido de zonas débiles y contribución de la pendiente o del suelo.

Referencias

1. "Stålfiberbetong—rekommendationer för konstruktion, utförande och provning (Steel Fibre Concrete—Recommendations for Design, Construction and Testing)," Concrete Report No. 4, second edition, Swedish Concrete Association, Stockholm, Sweden, 1997, 135 pp. (en Swedish)
2. Destrée, X., and Silfwerbrand, J., "Steel Fibre Reinforced Concrete in Free Suspended Slabs: Case Study of the Swedbank Arena in Stockholm," Proceedings of 11th fib Symposium on Concrete Structures for Sustainable Community, Stockholm, Sweden, June 11-14, 2012, pp. 97-100.
3. Silfwerbrand, J., "Safety Levels in Steel Fibre Concrete Floors," Publication No. 50, Proceedings of XXII Nordic Concrete Research Symposium, Reykjavík, Iceland, Aug. 13-15, 2014, pp. 75-78.
4. Birke, H., "Kupoleffekt vid betongplattor (Arch Action in Concrete Slabs)," Bulletin No. 108, Department of Structural Mechanics and Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1975. (en Swedish)
5. Nilsson, U., "Structural Behaviour of Fibre Reinforced Sprayed Concrete Anchored in Rock," Bulletin No. 71 (Doctoral Thesis), Department of Structural Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2003.
6. SS-EN 14651:2005+A1:2007, "Test Method for Metallic Fibre Concrete—Measuring the Flexural Tensile Strength (Limit of Proportionality [LOP], Residual)," Swedish Standards Institute, Stockholm, Sweden, 2007, 28 pp.
7. EN 1992-1-1:2004, "Eurocode 2: Design of Concrete Structures—Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings," European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2004, 225 pp.
8. Silfwerbrand, J., "Codes for SFRC Structures—A Swedish Proposal," Proceedings of 8th fib Symposium on Tailor Made Concrete Structures, Amsterdam, the Netherlands, May 19-21, 2008, 6 pp.
9. SS-EN 14488-5:2006, "Testing Sprayed Concrete—Part

5: Determination of Energy Absorption Capacity of Fibre Reinforced Slab Specimens,” Swedish Standards Institute, Stockholm, Sweden, 2006, 6 pp.

10. SS 812310:2014, “Fibre Concrete—Design of Fibre Concrete Structures,” Swedish Standards Institute, Stockholm, Sweden, 2014, 38 pp.

11. Silfwerbrand, J., “How to Deal with Scatter in Steel Fibre Concrete Structures—A Swedish Proposal,” Proceedings of 14th fib Symposium on Performance-Based Approaches for Concrete Structures, Cape Town, South Africa, Nov. 21-23, 2016.

12. Falkner, H., and Gossia, U., “Pile-Supported Reinforced or Prestressed SFRC Ground Slabs,” Proceedings of 3rd International RILEM Workshop on High-Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC3), H.W. Reinhardt and A.E. Naaman, eds, Mainz, Germany, May 16-19, 1999, pp. 595-602.



Johan L. Silfwerbrand, FCI, es un profesor en ingeniería estructural y puentes en KTH Real Instituto de Tecnología, Estocolmo, Suiza. Sus intereses de investigación incluyen pisos industriales, fibrocemento, reparación de concreto, caminos de concreto, concreto autocompactante y concreto y fuego. Es miembro de los Comités 123 de ACI, Investigación y Desarrollos Actuales; 342, Evaluación de puentes y elementos de puentes de concreto; 345, Construcción y conservación de puentes; y 546, Reparación de concreto. También participa activamente en la Asociación Sueca del Concret0 y en la Fédération Internationale du Béton (fib).

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Puerto Rico

Pisos Industriales de Concreto con Fibras



Traductor: Nicole Mejía Borrero



Revisor Técnico: Anabel N. Merejildo

2021 Simposio Internacional Especial sobre Pavimentos de Concreto: Un tributo a Juan Pablo Covarrubias

Desafiando el estatus quo del diseño de pavimentos de concreto

El 25 de marzo de 2021, Juan Pablo Covarrubias Sr., FACI, fue honrado con un simposio virtual en reconocimiento a sus contribuciones al diseño de pavimentos de concreto. Veinte ponentes resumieron la historia del diseño y la investigación de los pavimentos de concreto en Chile, Estados Unidos y otros países, destacando el rol que tuvo Covarrubias en inspirar a sus amigos y colegas a pensar de manera diferente. El simposio fue patrocinado por la Sociedad Internacional de Pavimentos de Concreto, el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, el ACI, el Centro Nacional de Tecnología de Pavimentos de Concreto, la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto y la Asociación Nacional de Concreto Premezclado. Jeffery Roesler, de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, y Lev Khazanovich, de la Universidad de Pittsburgh, fueron los copresidentes del simposio.

Más de 400 personas se inscribieron en el evento, en gran parte virtual.

Pavimentos delgados de concreto

Covarrubias fue galardonado por su creatividad y persistencia en el desarrollo de un nuevo concepto de diseño de pavimento de concreto liso articulado (JPCP). Los ponentes del simposio indicaron que los anteriores diseños chilenos de JPCP solían tener una distancia entre juntas de aproximadamente 4,5 m (unos 15 pies), sin espigas en las juntas, una base de cemento y arcenes de asfalto. Durante muchos años, Chile utilizó el procedimiento de diseño de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras

Estatales y Transportes (AASHTO) (antes de adoptar el método de diseño mecanicista-empírico [ME]), y se aceptó ampliamente que las losas del pavimento se agrietaban de forma ascendente.

Las primeras investigaciones de Covarrubias mostraron que todas las losas del pavimento en Chile se curvaban hacia arriba y que los carriles para camiones muy transitados sufrían grietas transversales, en las esquinas y, a menudo, longitudinales. Covarrubias descubrió que, a diferencia del concepto ampliamente aceptado de agrietamiento ascendente, las grietas por fatiga a menudo se propagan en sentido descendente. Además, demostró que la curvatura y el alabeo ascendente aceleran el deterioro de las juntas del pavimento.

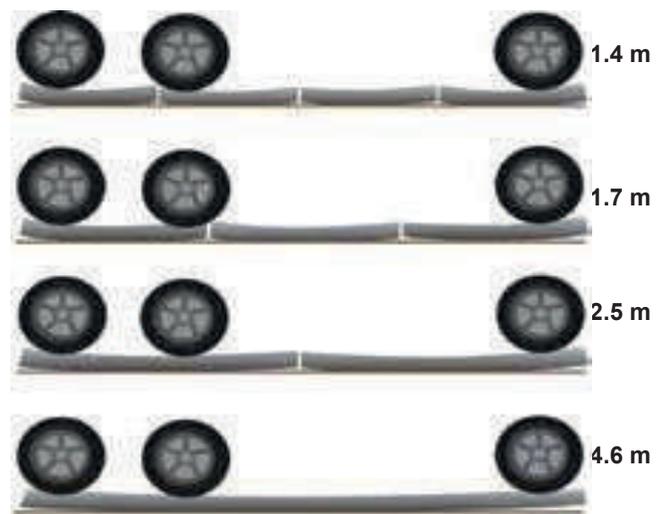


Fig. 1: Los pavimentos de concreto delgados (TCP) se logran asegurando que los paneles son cargados por un solo eje de ruedas a la vez.

Al ampliar su estudio sobre el comportamiento de las grietas, Covarrubias reconoció que los esfuerzos de tracción en la parte superior de las losas del pavimento podían reducirse cambiando la geometría de los paneles de las losas. Después de reducir el tamaño de los paneles del JPCP para garantizar que cada panel no fuera cargado por más de un eje de ruedas (Fig. 1), Covarrubias y su hijo Juan Pablo Covarrubias Jr. desarrollaron un procedimiento de diseño de espesores de concreto llamado OptiPave 2, adaptando los modelos de AASHTO Pavement ME, incluyendo el análisis de elementos finitos, fatiga, defectos y suavidad, y añadiendo nuevos modelos para la capacidad de la losa y las macrofibras. Como los paneles más pequeños presentaban una menor curvatura y levantamiento de la losa cerca de las juntas, podían diseñarse como pavimentos de concreto delgado (TCP).

Los datos obtenidos mediante tramos de prueba en Chile, en Guatemala y en la Universidad de Illinois verificaron que los TCP tienen un muy buen comportamiento ante la fatiga.

Muchos de los conceptos en los que se basan los TCP se describen en la patente estadounidense 7.571.581, “Losas de concreto para calles, carreteras o autopistas y metodología para el diseño de losas”, que se concedió a Covarrubias el 11 de agosto de 2009.



Fig. 2: Centro de distribución comercial en Santiago, Chile

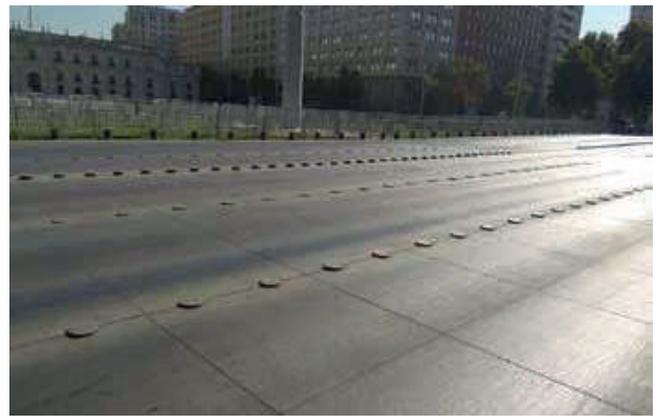


Fig. 3: Avenida Alameda, Santiago, Chile

Instantáneas de proyectos

Muchos proyectos TCP han demostrado una extraordinaria durabilidad; entre los ejemplos más significativos se encuentran:

Uno de los primeros proyectos construidos con losas cortas fue un centro de distribución comercial en Santiago de Chile (Fig. 2), construido en 2007 para acoger 250 camiones pesados al día o 5 millones de cargas equivalentes de un solo eje (ESAL). El espesor de la losa era de 140 mm (5,5 pulgadas) sobre una base granular con tamaños de panel de 1,75 x 1,75 m (5,7 x 5,7 pies), y no existe ningún agrietamiento significativo después de 14 años.

El TCP se utilizó para construir una superposición en la Avenida Alameda, Santiago de Chile, en 2014 (Fig. 3). Esta calle es uno de los tramos más transitados de la ciudad, con 120 millones de ESAL de diseño. El espesor de la losa de recubrimiento era de 200 mm, colocada sobre una capa intermedia de asfalto de 50 mm (2 pulgadas) como mínimo, y sobre varias estructuras de pavimento existentes en el corredor. El tamaño de los paneles era de 1,75 x 1,75 m con macrofibras y concreto coloreado en las ubicaciones. La calle está expuesta a autobuses muy pesados y, sin embargo, presenta muy pocas grietas y ningún defecto en las juntas.

La ruta 5 de la Carretera Panamericana, cerca de Talca, Chile, fue construida en 2009. Se trata de la

autopista más transitada de Chile, con un promedio de 10.000 camiones diarios en ambas direcciones. El carril exterior es una capa de concreto de 160 mm de espesor, construida sobre 60 mm de concreto de asfalto. Se cortó una junta longitudinal en el centro del carril de tránsito y se cortaron juntas transversales en centros de 2 m (6,6 pies). Las juntas se cortaron con una sierra de 2 mm y no se utilizó ningún sellador.



Fig. 4: Tramo de carretera de Cauquenes a Chanco en Chile

En diciembre de 2012 se abrió al tránsito un segmento de la autopista que va de Cauquenes a Chanco, en Chile (Fig. 4). La losa tiene un grosor de 170 mm (6,75 pulgadas) y fue colocada sobre una base de áridos no ligados de 150 mm (6 pulgadas) de grosor con finos limitados al 8% para favorecer el subdrenaje. La base se colocó sobre tejido geotextil. Se cortó una junta longitudinal a 1,75 m de la línea central y la losa exterior era de 1,95 m (6,4 pies) para mantener las cargas de las ruedas fuera del borde. El arcén integral es de 0,5 m (1,6 pies) de ancho. Los cortes transversales se hicieron a cada 2,2 m (7,2 pies). Los cortes de sierra se realizaron con hojas de 2 mm.

El futuro de los pavimentos delgados de concreto

Las investigaciones han demostrado que las losas de concreto más delgadas, como las TCP, tienen una capacidad de flexión mucho mayor que la indicada por el módulo de ruptura determinado en los ensayos de vigas. Asimismo, se ha demostrado que las macrofibras de polímero y las fibras de acero aumentan la resistencia a la flexión y la vida a la fatiga de las losas de

concreto. Al utilizar los datos generados por los análisis de elementos finitos, OptiPave 2 dispone ahora de un modelo de predicción de tensiones basado en redes neuronales para el diseño de pavimentos que considera los datos de diseño previstos, como la configuración y la magnitud de las cargas, la geometría de las losas y el clima local. Además de las carreteras, esta tecnología se utiliza ahora para construir pavimentos de concreto en obras comerciales e industriales en todo el mundo.

Seleccionados por los editores para el interés de los lectores.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Perú

2021 Simposio Internacional Especial sobre Pavimentos de Concreto: Un tributo a Juan Pablo Covarrubias



Traductor: Ing. Jackelyn Soledad Quispe Vasquez



Revisor Técnico: Ing. Luciano Lopez Vinatea



CONCRETO

LATINOAMÉRICA

