

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

VOLUMEN III | NÚMERO 1 | ENERO 2022



CONCRETO LATINOAMÉRICA

Volumen III - Número
Enero de 2022

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

Durabilidad de concreto con cemento calizo de portland

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: Puerto Rico

13

Fundamentos de la innovación

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: México Noroeste

17

Losas sin vigas de concreto de alta resistencia

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: Argentina

25

Un enfoque simplificado para determinar la reactividad puzolánica de materiales cementantes suplementarios comerciales

Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo: Costa Rica

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

Editor Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

Traducción:

Anabel Merejildo

Comité de Noticias y Eventos Concreto Latinoamérica

Ing. Jesús Fernando García Arvisu
Ing. Jesús Arturo Angel Mellado

Comité de Artículos Originales

Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Thyssen Won Chang

Revisión Editorial:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Administración y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

Dirección Creativa:

MDG. Rosa Otilia Armendariz Solís
LDI. Luis Yerel Romo Valdez

Diseño Gráfico:

LDI. Monserrat Treviño Garza
Alejandro Martínez Sánchez

"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

Cualquier asunto relacionado con la publicación

contactarse a :

Correo: concretolatam@gmail.com

Tel: +52 81 2146 4907

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 Enero del 2022. 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
México Noroeste
México Centro y Sur
México Sureste
Panamá
Perú
Puerto Rico

Dr. Raúl Bertero
Dra. Nancy Torres Castellanos
Dr. Fabían Lamus Báez
Ing. Minor Murillo Chacón
Ing. MSc. Santiago Vélez Guayasamín
Ing. Luis Alvarez Valencia
Ing. Xiomara Sapón Roldán
Ing. Alejandro M. Narro Aguirre
Ing. Jesús Fernando García Arvizu
Arq. Arturo Rodríguez Jalili
Mtro. Joseph Eli Mandujano Zavala
Ing. Jorge L. Quiróz
Ing. Luciano López Vinatea
Ing. Anabel N. Merejildo



Fachada del edificio residencial Leopoldo 1201 en Sao Paulo, Brasil. Obra ganadora del primer lugar en la categoría de edificaciones de gran altura durante los reconocimientos 2021 a la excelencia en construcción con concreto ACI realizado en octubre de 2021 durante la Convención de Otoño del instituto. La obra tiene una superficie construida total de 10,974 m2 con un total de 23 niveles sobre el terreno y 4 sótanos. La fachada de concreto arquitectónico enfatiza un diseño biofílico en las terrazas las cuales tienen diversos diseños que cambian claro y color. Fue un gran desafío al diseño estructural, así como para el desarrollo de las mezclas de concreto a utilizar. (Para más información ver Concreto Latinoamérica Volumen II Número 11 noviembre 2021)



¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo
local ACI

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



American Concrete Institute
Always advancing

Durabilidad de concreto con cemento calizo de portland

Probando mezclas para un proyecto de infraestructura

por Neal S. Berke, Ali N. Inceefe, Allan Kramer, y Oscar R. Antommattei

La industria del cemento en Norte América se está comprometiendo con reducir el impacto ambiental del cemento a través de las siguientes maneras: Incremento en el uso de combustibles alternativos, materiales cementantes suplementarios (MCS), la adición de piedra caliza para la producción de cemento combinado la iniciación de tecnologías de captura de carbono, y la contabilización de recarbonación del concreto endurecido. Estas prácticas y tecnologías sustentables, reducirán la huella de emisión de carbono del concreto. Reducir la huella de carbono a largo plazo se puede obtener incrementando la durabilidad de las estructuras de concreto, de tal modo que no requieran reparaciones o reemplazos con tanta frecuencia. El Cemento Portland Calizo (CPC) se está convirtiendo rápidamente en el cemento mayormente usado en América del Norte. El CPC está incluido en el estándar ASTM C595/C595M¹ como Tipo IL, el cual permite reemplazar de un 5% a 15% del Clinker con una mezcla de roca caliza y Clinker. Esto resulta en una reducción de la huella de carbono del cemento, sin afectar el desempeño del concreto que usa este CPC.

Estudios recientes muestran que el concreto hecho con CPC tiene buena resistencia a los sulfatos y a la reactividad álcali-agregado.² En este artículo, mostraremos información adicional de un proyecto de infraestructura en el uso de concreto CPC y sus propiedades de durabilidad, tales como la resistencia al congelamiento y descongelamiento, y la penetración de iones de cloruro, para una vida útil más extensa.

Para un proyecto de infraestructura ferroviaria ligera en la región noroeste de los Estados Unidos, se propuso cambiar el concreto con cemento portland ordinario (CPO) a CPC. Este proyecto tenía como meta de diseño una duración de vida útil del concreto de 100 años. Por esta razón, se hizo de suma importancia documentar el alcance de vida útil del concreto bajo los requisitos de las especificaciones de CPC, y que él mismo fuera exitoso.

El trabajo descrito más adelante muestra que la buena durabilidad de un concreto con 100 años de vida útil es alcanzable utilizando CPC con Ceniza Volante Clase F como MCS. Buenos resultados (no incluidos) de durabilidad fueron obtenidos en algunos experimentos con CPC y cemento escoria granulada de alto horno. Por otro lado, como el cemento de escoria no estaba disponible para ser utilizado en el proyecto, el estudio se concentró en el uso de Ceniza Volante Clase F como MCS.

Trabajo Experimental

Materiales

De acuerdo con el ASTM C595/C595M, el CPC utilizado en este estudio cumple con los requisitos para un cemento combinado Tip IL. La Ceniza Volante utilizada en este estudio cumple con los requerimientos de una ceniza volante Clase F según el ASTM C618.³

El CPO utilizado en este estudio cumple con el ASTM C150/C150M⁴ para un cemento Tipo I/II. Los agregados y aditivos utilizados en este estudio cumplen con los requisitos del ASTM C33/C33M⁵ y el ASTM C494/C494M⁶, respectivamente. El concreto utilizado para las pruebas fue producido por una gran mezcladora de laboratorio en Corliss Resources, Inc., el cual está localizado en Sumner, WA, USA. Los especímenes cilíndricos de concreto para las pruebas de durabilidad fueron enviados húmedos en cajas térmicamente aisladas al laboratorio de Tourney Consulting Group en Kalamazoo, MI, USA.

Las proporciones de la mezcla de concreto, sus propiedades plásticas y resistencias a la compresión se muestran en las tablas CPC y en la Tabla 2 las mezclas con cemento Tipo I/II.

Pruebas de durabilidad

El CPC se utilizaría en varios elementos del proyecto del tren ligero. El diseño de las mezclas se basó en la exposición a cloruros, el recubrimiento del concreto sobre el acero de refuerzo y condiciones de congelación y descongelación para los elementos específicos. Los agregados utilizados no fueron susceptibles a la reacción alcalina-sílice (ASR), y la exposición a sulfato fue baja, por lo que las pruebas de resistencia a este tipo de degradación no fueron realizadas. En pruebas realizadas por el productor de cemento, el CPC utilizado tuvo buena resistencia a sulfatos en acorde con el ASTM C1012/C1012M.⁷

La principal preocupación fue el ingreso de cloruros al concreto que pudiera causar corrosión del acero de refuerzo que pudiese causar grietas y rupturas o descascaramiento del concreto. Se realizaron pruebas de difusión en acorde al ASTM C1556⁸ para determinar la susceptibilidad del ingreso de cloruros. Para propósitos de calidad, en acorde al ASTM C1202⁹, se realizó una prueba rápida de permeabilidad de cloruro (PRPC), dada la corta duración de la prueba.

Tabla 1a:
Primer grupo de mezclas de concreto con CPC y Ceniza Volante Clase F

Propiedades o Materiales	Mezclas						
	1A con 30% CV	1B con 25% CV	1C con 25% CV	4A con 30% CV	4D con 30% CV	4E con 30% CV	4F con 25% CV
<i>a/mc</i>	0.38	0.40	0.40	0.38	0.38	0.40	0.40
Cemento Tipo IL, * lb/yd ³	420	469	469	559	507	551	551
Ceniza Volante Clase F, lb/yd ³	180	156	156	240	218	184	184
Cementicio total, lb/yd ³	600	625	625	799	725	735	735
Agregado Grueso 3/4 in., lb/yd ³	1399	1368	1368	1337	1349	1352	1352
Agregado Grueso 3/8 in., lb/yd ³	463	453	453	352	370	391	391
Agregado Fino, lb/yd ³	1216	1189	1216	1014	1123	1047	1047
Agua Total, lb/yd ³	230	250	250	302	275	295	295
Aditivo para Aire Incorporado	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aditivo Reductor de la Contracción	-	-	-	-	-	-	✓
Contenido de Aire Incorporado, %	6.2	6.0	7.0	5.0	7.5	5.4	6.2
Asentamiento, in.	6.25	5.00	5.25	6.25	6.00	7.00	6.00
Peso Unitario, lb/ft ³	144.64	144.48	142.64	145.28	140.80	144.64	143.60
Resistencia a la Compresión a 28 días, psi	7228	7189	6439	7552	7361	7205	6574
Resistencia a la Compresión a 56 días, psi	8294	7747	7206	8508	8075	7985	7473

*Lehigh NW Cement Company
Nota: 1 lb/yd³ = 0.6 kg/m³; 1 in. = 25mm, 1 lb/ft³ = 16kg/m³; 1 psi=0.007 MPa

Tabla 1b:
Segundo grupo de mezclas de concreto con CPC y Ceniza Volante Clase F

Propiedades o Materiales	Mezclas					
	9A con 30%CV	9B con 25%CV	9C con 25% CV	10A con 30% CV	10B con 30% CV	10C con 30% CV
<i>a/mc</i>	0.38	0.40	0.40	0.38	0.40	0.40
Cemento Tipo IL,* lb/yd ³	455	529	529	420	469	469
Ceniza Volante Clase F, lb/yd ³	195	176	176	180	156	156
Cementicio total, lb/yd ³	650	705	705	600	625	625
Agregado Grueso 3/4 in., lb/yd ³	1359	1327	1327	0	0	0
Agregado Grueso 3/8 in., lb/yd ³	450	401	401	1670	1660	1660
Agregado Fino, lb/yd ³	1181	1129	1129	1401	1338	1338
Agua Total, lb/yd ³	246	280	280	228	250	250
Aditivo para Aire Incorporado	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aditivo Reductor de la Contracción	-	-	-	-	-	✓
Contenido de Aire Incorporado, %	6.0	5.5	6.0	7.5	7.4	5.8
Asentamiento, in.	6.00	6.75	6.50	4.00	3.50	3.50
Peso Unitario, lb/ft ³	144.88	143.52	143.36	142.00	142.08	144.80
Resistencia a la Compresión a 28 días, psi	7238	6992	6529	6993	7995	8091
Resistencia a la Compresión a 56 días, psi	7668	7686	7236	8005	8836	8995

*Lehigh NW Cement Company
Nota: 1 lb/yd³ = 0.6 kg/m³; 1 in. = 25mm, 1 lb/ft³ = 16kg/m³; 1 psi=0.007 MPa

Tabla 2:
Mezclas de concreto con cemento Tipo I/II y Ceniza Volante Clase F

Propiedades o Materiales	Mezclas	
	4G con 30% CV	4I con 25% CV
<i>a/mc</i>	0.38	0.40
Cemento Tipo IL,* lb/yd ³	507	551
Ceniza Volante Clase F, lb/yd ³	218	184
Cementicio total, lb/yd ³	725	735
Agregado Grueso 3/4 in., lb/yd ³	1349	1352
Agregado Grueso 3/8 in., lb/yd ³	370	391
Agregado Fino, lb/yd ³	1123	1047
Agua Total, lb/yd ³	275	295
Aditivo para Aire Incorporado	✓	✓
Aditivo de Reductor de Agua de Alto Rango	✓	✓
Aditivo Reductor de la Contracción	-	✓
Contenido de Aire Incorporado, %	6.6	5.6
Asentamiento, in.	6.00	6.50
Peso Unitario, lb/ft ³	142.32	142.88
Resistencia a la Compresión a 28 días, psi	7087	6548
Resistencia a la Compresión a 56 días, psi	7872	7515

*Lehigh NW Cement Company
Nota: 1 lb/yd³ = 0.6 kg/m³; 1 in. = 25mm, 1 lb/ft³ = 16kg/m³; 1 psi=0.007 MPa

Las pruebas del coeficiente de difusión fueron realizadas en muestras de concreto con 28 días de curado húmedo. En estas pruebas, la edad de las muestras de concreto al comienzo de la exposición variaba entre sí por varios días; por lo tanto, el valor de coeficiente de difusión aparente (D_a) tuvo que ser convertido a un valor de coeficientes de difusión con tiempos de referencia para fines de comparación. Utilizando la conocida Segunda Ley de Fick y superponiendo el ASTM C1556 para calcular el D_a resulta en el promedio del coeficiente de difusión variable durante un periodo de tiempo. Para hacer esta conversión, se necesita determinar a que tiempo ocurre D_a , el cual se puede obtener utilizando la ecuación (1)¹⁰. Luego, la ecuación (2) es utilizada para calcular el coeficiente de difusión en el tiempo de referencia. Para este estudio, se utilizó como referencia un tiempo de 28 días, tal como se utiliza comúnmente en los modelos de predicción de vida útil.

$$t_{eff} = \left[\frac{(1-m)(t_2 - t_1)}{t_2^{1-m} - t_1^{1-m}} \right]^{1/m} \quad m \neq 0.1 \quad (1)$$

$$D_{28} = \frac{D_a}{\left(\frac{28}{t_{eff}} \right)^m} \quad (2)$$

Donde t_{eff} es el tiempo efectivo en días en donde ocurre D_a ; m es el factor de [tiempo transcurrido] [envejecimiento][edad]; t_1 es la edad del concreto al momento de comenzar la exposición; t_2 es la edad del concreto al momento final de exposición; y D_{28} es el coeficiente de difusión a los 28 días.

Los factores de envejecimiento fueron determinados graficando resultados de conductividad a edades variables, obtenidos del ASTM C1760¹¹ con una gráfica logarítmica y superpuesta con una función de exponencial. La figura 1 muestra los resultados de las pruebas para las diferentes mezclas de concreto; donde las pendientes negativas representan los factores de envejecimiento. Las siguientes secciones proveen los valores calculados de conductividad y los valores m para las pruebas realizadas en las mezclas de concreto.

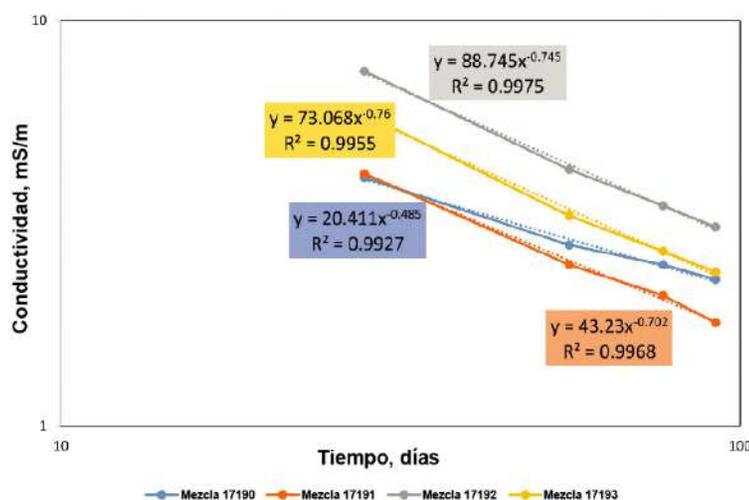


Figura 1: Ejemplo de valores de conductividad versus tiempo, graficada de manera logarítmica. Los factores de tiempo (envejecimiento) están definidos por las pendientes (términos de potencia) de las funciones.

Para determinar la resistencia a congelamiento y descongelamiento se realizó un análisis de vacíos de aire en el concreto endurecido de acuerdo con el ASTM C457/C457M.¹² Si los factores de espacios resultaban mayores a 0.008 in. (0.2 mm), entonces se realizaba el análisis del Proceso A¹³, del ASTM C666/C666M.

Resultados de Permeabilidad y Difusión del Concreto

Mezclas con CPC y Ceniza Volante Clase F

Los resultados de PRPC se muestran en la figura 2. Estos resultados son para mezclas de concretos que contienen MCS, en curados a temperatura normal y curados acelerados (7 días de curado normal y los siguientes 21 días, curado húmedo a 100°F [38°C]).

Los resultados del PRPC para el curado acelerado del concreto CPC estaban por debajo o cerca de los 1500 coulombs en la mayoría de los casos. Los resultados con mayor rendimiento fueron aquellos con una relación agua - material cementante (a/mc) de 0.38 y con un reemplazo del 30% de Ceniza Volante Clase F.

Los resultados de conductividad son presentados en la figura 3. Las pruebas realizadas son no-destructivas, por lo que se pueden utilizar los cilindros de concreto varias veces, reduciendo la variabilidad. En todos los casos, se mostró una reducción significativa de conductividad entre los 28 y 56 días. Los valores de conductividad a los 28 días muestran menor variación que los que se muestran en la prueba de rápida de permeabilidad de cloruro, ya que en la prueba de ASTM C1760 no se calienta las muestras de concreto y por consecuente en el RCPT¹⁴ la corriente incrementa con el tiempo.

Los datos mostrados en la figura 3 fueron utilizados para calcular el valor m , el cual relaciona la reducción de permeabilidad del concreto con el tiempo. Tal como se mencionó anteriormente, estos valores fueron utilizados para convertir el valor promedio de coeficiente de difusión del ASTM C1556 a uno específico a 28 días. Los valores D_{28} y m fueron utilizados para predecir el ingreso de cloruros en el concreto en conjunción con las condiciones de exposición. La figura 4 muestra los valores D_{28} y m para los concretos probados con CPC y Ceniza Volante.

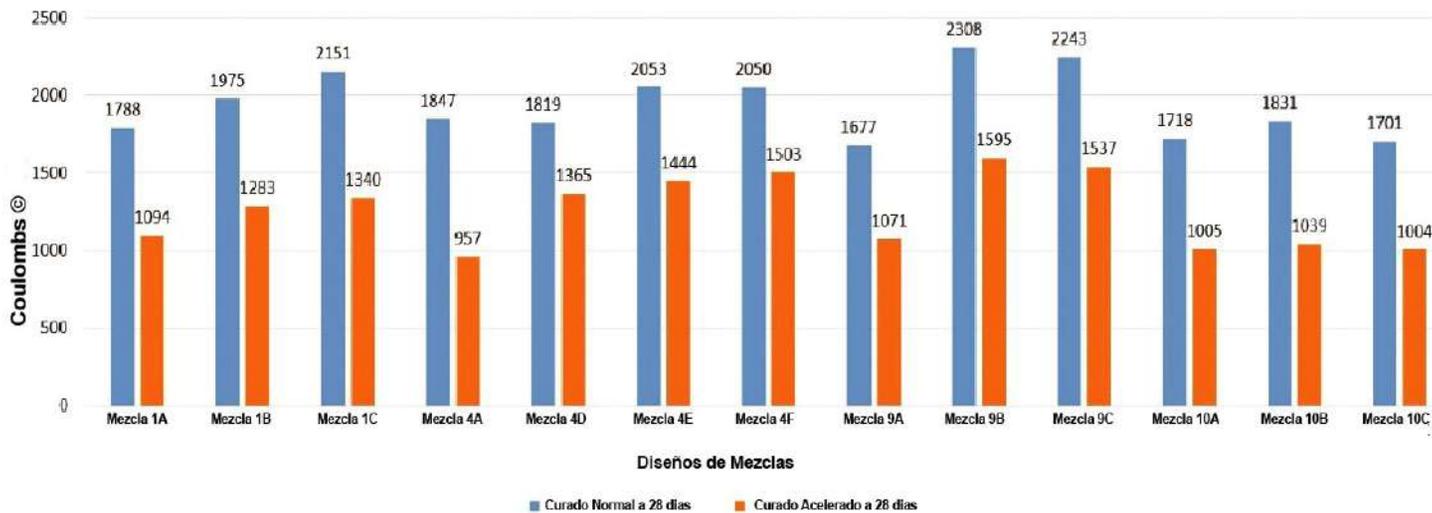


Figura 2: Resultados de RCPT de acuerdo al ASTM C1202 para concretos CPC que contienen Ceniza Volante Clase F

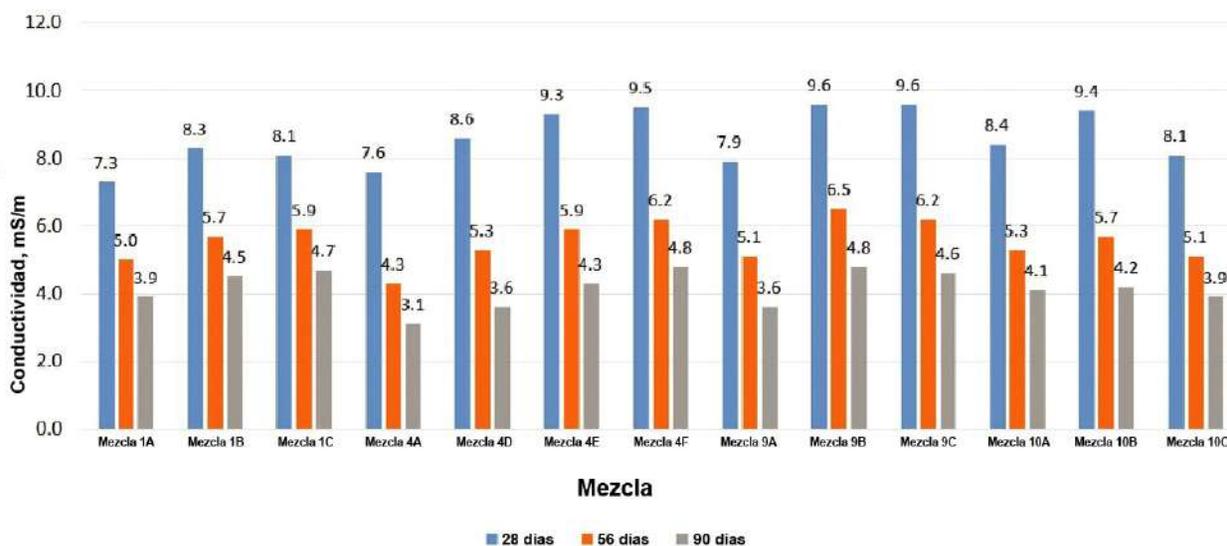


Figura 3: De acuerdo al ASTM C1760 los resultados a largo plazo de conductividad para mezclas de concreto con CPC y Ceniza Volante Clase F

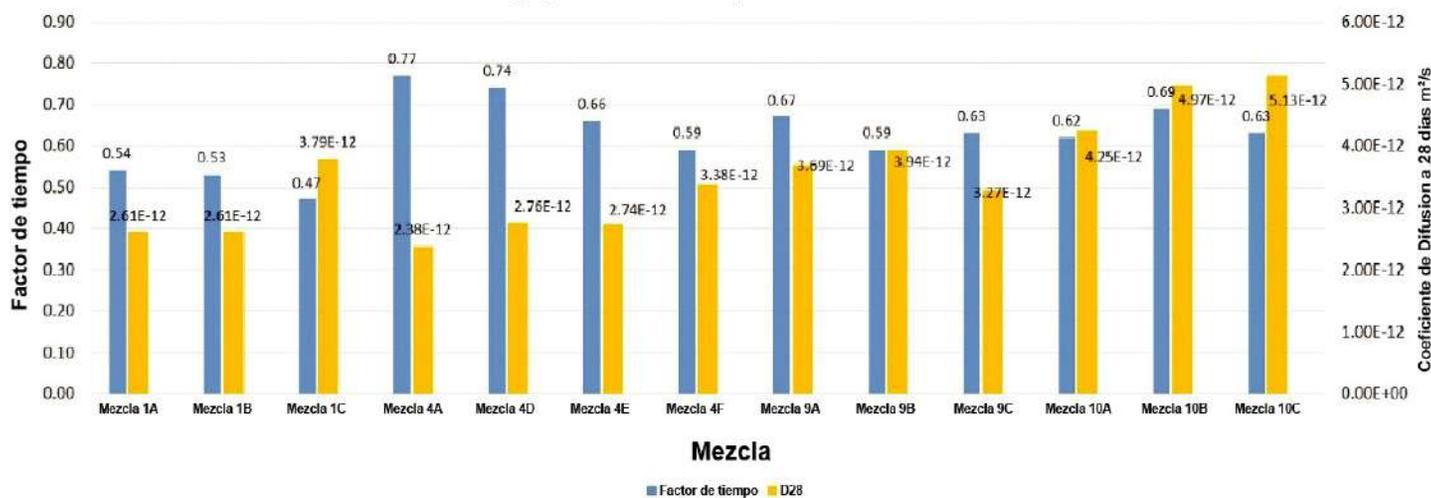


Figura 4: Factores de tiempo (envejecimiento) y coeficientes de difusión a 28 días para mezclas de concreto que contienen CPC y Ceniza Volante Clase F

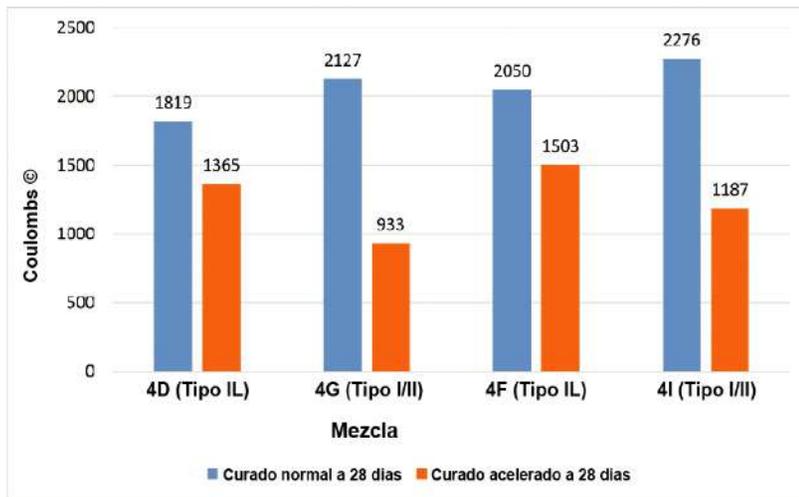


Figura 5: Comparación de resultados PRPC para concretos que contienen CPC (Tipo IL) y Tipo I/II con Ceniza Volante Clase F

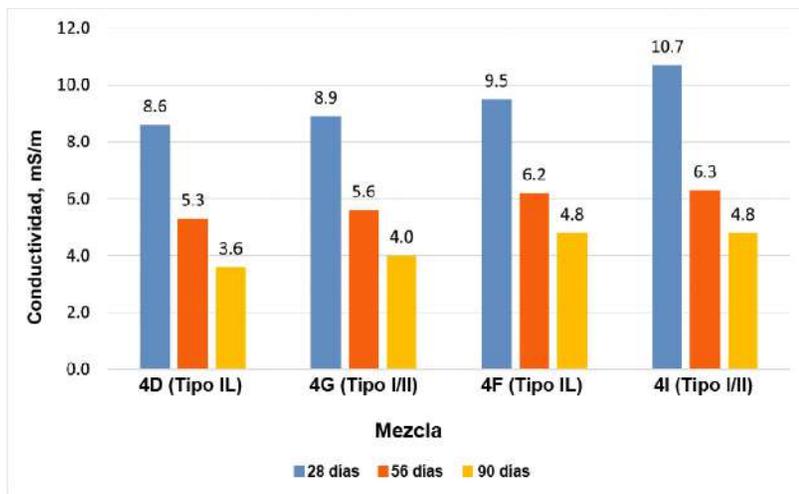


Figura 6: Comparación de resultados de conductividad para concretos con CPC (Tipo IL) y Tipo I/II que contiene Ceniza Volante Clase F

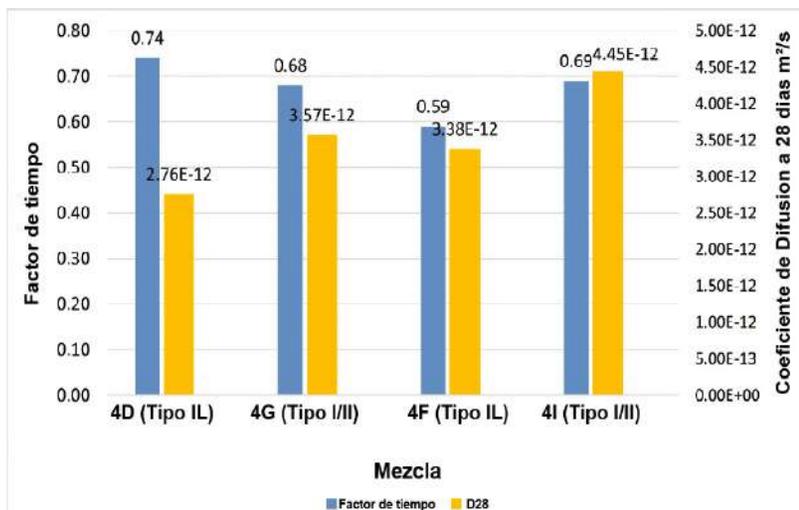


Figura 7: Comparación de factores de tiempo (envejecimiento) y valores de coeficientes de difusión a 28 días para concretos con CCP (Tipo IL) y Tipo I/II con Ceniza Volante Clase F

Los valores del coeficiente de difusión de las mezclas de concreto con CPC y Ceniza Volante a los 28 días fueron menores a aquellos de la predicción del Life-365tm para concretos con cemento portland y Ceniza Volante¹⁵.

Comparación de mezclas de cemento CPC y Tipo I/II

Dos de las mezclas con CPC y Ceniza Volante Clase F fueron comparados con mezclas con cemento portland Tipo I/II y Ceniza Volante Clase F. La figura 5 muestra el PCPR para las mezclas; la figura 6 muestra la conductividad; la figura 7 muestra los coeficientes de difusión y los factores de tiempo (envejecimiento).

Los valores del PRPC (curado normal), conductividad, y coeficiente de difusión para las muestras de concreto CPC fueron menores a aquellos de Tipo I/II, indicando que el CPC incrementa la resistencia a la penetración de cloruros.

Los valores de PRPC (curado acelerado) parecieron ser más efectivos con el Tipo I/II ya que estos tienen valores menores de PRPC.

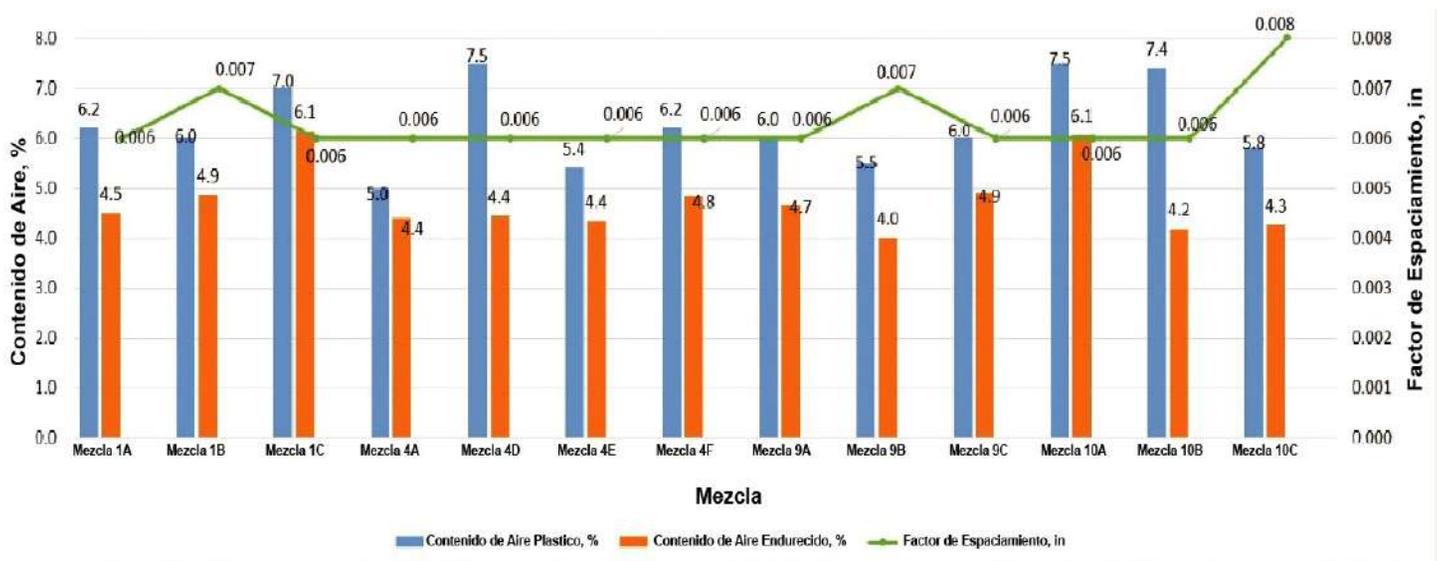


Figura 8: parámetros de contenido de aire para concretos con CPC y Ceniza Volante Clase F

Resultados de Aire Incorporado y Congelamiento y Descongelamiento

Mezclas CPC y Ceniza Volante

La figura 8 muestra el aire plástico, aire endurecido, y los factores de espaciamiento para las muestras de CPC que contienen Ceniza Volante Clase F. Todos los concretos tuvieron buenos sistemas de aire, tal como lo muestra la figura 8. Las muestras de la Mezcla 10C fueron probadas bajo el Procedimiento A del ASTM C666/C666M, debido a que el factor de espaciamiento estaba al límite superior especificado. El factor del modulo de elasticidad dinámico relativo (MEDR) a 300 ciclos fue de 96.5% indicando buena durabilidad del concreto contra el congelamiento y descongelamiento.

Comparación de concretos con CPC y Tipo I/II con Ceniza Volante

Las comparaciones de datos de vacíos de aire entre concretos CPC con Ceniza Volante Clase F y concretos con cemento portland Tipo I/II con Ceniza Volante Clase F son mostrados en la figura 9. Los factores de espacio fueron idénticos y el contenido de aire fue similar.

Conclusión

Mezclas de concreto con CPC Tipo IL y Ceniza Volante Clase F, ambos en acuerdo al ASTM respectivo, fueron propuestos para un proyecto de infraestructura en el Pacífico Noroeste. Los programas de pruebas descritos en este artículo

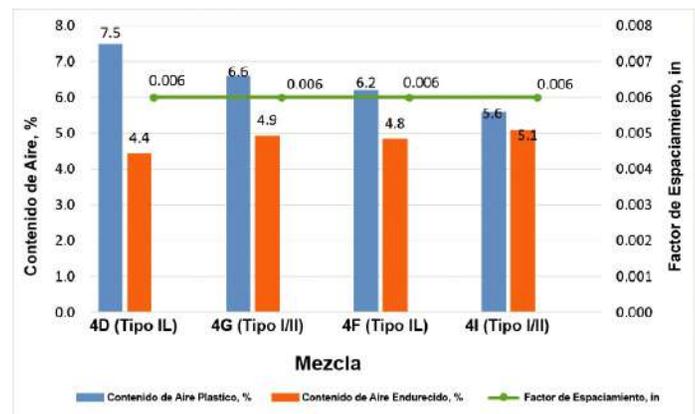


Figura 9: Comparación de los sistemas de vacíos de aire para concretos con CCP (Tipo IL) y Tipo I/II con Ceniza Volante Clase F

mostraron que la mezcla de concreto con CPC alcanzaron a cumplir con los parámetros específicos de durabilidad para 100 años de vida útil.

Pruebas limitadas (no presentadas en este artículo) para concretos con CPC y cemento de escoria indicaron que la mezcla cumpliría con los parámetros de durabilidad de 100 años de vida útil del proyecto.

Pruebas adicionales mostraron que los concreto CPC tuvieron menos permeabilidad de cloruro a diferencia a aquellos producidos con Tipo I/II CPO y que el contenido de aire fue comparable entre los dos.

Basado en las pruebas realizadas al concreto, las mezclas con CPC y Ceniza Volante Clase F pueden proveer mayor rendimiento en prevenir el ingreso de cloruros comparado con aquellos concretos de Tipo I/II CPO y Ceniza Volante Clase F.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Lehigh NW Cement Company, Kiewit Construction, y Corliss Resources, Inc., por hacer posible este estudio.

Referencias

1. ASTM C595/C595M-20, "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 10 pp.
2. Thomas, M.D.A.; Delagrave, A.; Blair, B.; and Barcelo, L., "Equivalent Durability Performance of Portland Limestone Cement," Concrete International, V. 35, No. 12, 2013, pp. 39-45.
3. ASTM C618-19, "Standard Specification for Coal Ceniza Volante and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 5 pp.
4. ASTM C150/C150M-21, "Standard Specification for Portland Cement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 9 pp.
5. ASTM C33/C33M-18, "Standard Specification for Concrete Aggregates," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, 8 pp.
6. ASTM C494/C494M-19, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 15 pp.
7. ASTM C1012/C1012M-18B, "Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, 9 pp.
8. ASTM C1556-11A, "Standard Test Method for Determining the Apparent Chloride Diffusion Coefficient of Cementitious Mixtures by Bulk Diffusion," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, 7 pp.
9. ASTM C1202-19, "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 8 pp.

10. Stanish, K., and Thomas, M., "The Use of Bulk Diffusion Tests to Establish Time-Dependent Chloride Diffusion Coefficients," Cement and Concrete Research, V. 33, No. 1, 2003, pp. 55-62.

11. ASTM C1760-12, "Standard Test Method for Bulk Electrical Conductivity of Hardened Concrete (Withdrawn 2021)," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, 5 pp.

12. ASTM C457/C457M-16, "Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, 18 pp.

13. ASTM C666/C666M-15, "Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, 7 pp.

14. Hope, B.B.; Ip, A.K.; and Manning, D.G., "Corrosion and Electrical Impedance in Concrete," Cement and Concrete Research, V. 15, No. 3, 1985, pp. 523-534.

15. Ehlen, M.A., and Kojundic, A.N., "Life-365™ v2.2," Concrete International, V. 36, No. 5, May 2014, pp. 41-44.



Neal S. Berke, FCI es el vicepresidente de Investigación en Tournay Consulting Group, LLC, in Kalamazoo, MI, USA. Tiene amplia experiencia en el Desarrollo y aplicación de aditivos y materiales de concreto, así como la corrosión y durabilidad del concreto. Es miembro de los Comité 212 del ACI, Aditivos Químicos; 222, Corrosión de Metales en Concreto; 224, Agrietamiento; y 365, Predicción de Vida Útil. Recibió el premio ACI Jean-Claude Roumain Innovation in Concrete en 2012. Recibió su doctorado de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, Urbana, IL, USA.



Ali N. Inceefe, miembro del ACI, es un ingeniero civil con Tournay Consulting Group. Es miembro del Comité 365 del ACI, Predicción de Vida Útil. Recibió su maestría en ingeniería estructural de la Universidad de Western Michigan, Kalamazoo, MI, USA



Allan Kramer, es el Gerente del Servicio Técnico de Lehigh NW Cement Company en Seattle, WA, USA. Tiene más de 40 años de amplia experiencia en concreto y en la industria del cemento. Su experiencia incluye la investigación forense, análisis y resolución de problemas de concreto endurecido, y el desarrollo de mezclas de concreto de alto rendimiento y alta resistencia para la región de Seattle y Puget Sound del estado de Washington. Recibió su bachillerato en ingeniería industrial de Fairleigh Dickinson University, Teaneck, NJ, USA, y es un tecnólogo certificado en concreto de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NRMCA) – Nivel 4.



Oscar R. Antommattei, FCI, es ingeniero jefe de concreto y gerente de ingeniería de Kiewit Engineering Group Inc., Lone Tree, CO, EE. UU. Tiene 20 años de experiencia en la industria de materiales de concreto con enfoques que van desde el soporte técnico hasta el diseño de infraestructura y proyectos de construcción civil pesada. Sus intereses técnicos son el concreto basado en el rendimiento, la durabilidad a largo plazo, la capacidad de construcción y el concreto en masa. Es presidente del Comité de Enlace de Construcción del ACI y miembro de los Comités 134 del ACI, Constructibilidad de Concreto; 201, durabilidad del concreto; 207, Hormigón controlado térmicamente y en masa; 305, hormigonado en climas cálidos; 308, curado del concreto; y 321, Código de Durabilidad del Concreto; y miembro del Subcomité 301-H de ACI, Concreto en masa — Sección 8.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Puerto Rico

Título: Durabilidad de concreto con cemento calizo de portland



*Traductor y Revisor Técnico:
José M. Mejía Borrero*

Fundamentos para la Innovación

La Fundación ACI reestructura uno de sus consejos claves en beneficio de la industria.

Por Ann M. Masek y Rex C. Donahey

La Fundación ACI es una subsidiaria sin fines de lucro de ACI cuya misión complementa el trabajo de ACI y respalda su visión. El impacto de la Fundación ACI se construye a través de tres pilares de actividades para ayudar a atraer estudiantes y profesionales a la membresía de ACI, apoyar la investigación del concreto y garantizar que ACI incorpore nuevas tecnologías en sus actividades técnicas, de certificación y educativas. Junto con cada actividad hay tres consejos, cuyos miembros dirigen y administran los resultados del programa, recomiendan financiamiento y otro tipo de apoyo, y contribuyen al progreso de la industria. Los consejos incluyen:

- El Consejo de becas (Scholarship Council - SC) apoya a futuros innovadores y líderes concretos mediante la administración de becas para ayudar a cerrar la brecha financiera para los estudiantes;
- El Consejo de Investigación del Concreto (Concrete Research Council - CRC) promueve el conocimiento y los aspectos sostenibles de los materiales, la construcción y las estructuras de concreto al solicitar, seleccionar, financiar y publicar investigaciones; y
- El Consejo de Innovación del Concreto (Concrete Innovation Council - CIC) identifica tecnologías e innovación que están alineadas con la misión de ACI y las necesidades de la industria, aconseja su adopción dentro de las actividades del Instituto y ayuda a comunicar sus beneficios dentro de los dominios de diseño y construcción. Este consejo es un producto

reciente de un esfuerzo de planificación estratégica de los Fideicomisarios de la Fundación ACI, y es el enfoque principal de este artículo.

Para fortalecer y simplificar el enfoque de la Fundación ACI hacia la tecnología y la innovación, y para brindar un mayor apoyo y alineación con el enfoque cada vez mayor de ACI en la tecnología, los Fideicomisarios de la Fundación ACI reestructuraron su Consejo de Desarrollo Estratégico (Strategic Development Council - SDC) en un nuevo consejo, el Consejo de Innovación del Concreto (CIC). Para aquellos previamente involucrados en la SDC, su trabajo sobre innovaciones continuará a través de la CIC o será reubicado dentro de ACI u otros grupos de la industria. El resto de su trabajo industrial se trasladará a los grupos apropiados de la industria. El objetivo del CIC es identificar tecnologías e innovación que estén alineadas con las estrategias de ACI y la industria y ayudar a implementar su uso cuando sea apropiado. Su membresía refleja la diversidad de la industria del concreto, con representación de proveedores, diseño, contratistas, académicos y preocupaciones regulatorias. La Fundación ACI, a través del CIC, organiza foros y talleres de tecnología, revisa tecnologías y ayuda a obtener fondos y apoyo para tecnologías innovadoras, nuevas iniciativas e implementación en la industria.

Tendencia de las metas

Una innovación es una combinación entre una necesidad y una solución¹, y una innovación exitosa crea valor según lo definido por las personas u organizaciones patrocinadoras. Si bien las corporaciones generalmente buscarán mayores ganancias, las asociaciones sin fines de lucro buscarán soluciones que las ayuden a cumplir mejor con sus misiones, incluida una mayor productividad, seguridad, salud pública o sostenibilidad para sus miembros o la sociedad en general. Dentro de la industria del concreto, la Fundación ACI es un patrocinador clave para las innovaciones, ya que explora continuamente oportunidades para la creación de valor para la industria del concreto.

Independientemente del beneficio esperado, todos los patrocinadores deben buscar activamente oportunidades, las semillas de las innovaciones, para crear valor. El primer paso es identificar una necesidad. La Fundación ACI facilita esto fomentando la comunicación (retroalimentación) entre diseñadores, contratistas, proveedores, productores, fabricantes, ejecutivos y propietarios. El CIC de la Fundación ACI sigue adelante apoyando la innovación y las nuevas tecnologías inspiradas en estas interacciones.

Buscando Oportunidades

La Fundación ACI ha creado múltiples caminos para explorar oportunidades de innovación. Además del desarrollo de eventos diseñados para estimular la retroalimentación, la Fundación fomenta las discusiones directas con innovadores dentro y fuera de la industria del concreto. Si bien se buscan oportunidades en beneficio de la industria del concreto en general, también se pueden buscar oportunidades en beneficio de los comités de ACI, investigadores universitarios y miembros específicos de la industria.

Foros

Los foros de tecnología reúnen a ponentes y público interesado en las últimas novedades, tanto positivas como negativas, que afectan a la industria del concreto. Los temas evolucionan con la industria. Hace más de una década, por ejemplo, los temas de presentación y discusión en el Foro de Tecnología de la Fundación incluían concreto autocompactable, especificaciones de desempeño para concreto, información de modelos de construcción, cemento Portland mezclados con caliza y barras de refuerzo compuestas de fibra de basalto. Si bien algunas de estas tecnologías ahora se consideran convencionales, otras continúan siendo novedosas en algunos sectores industriales. El camino de la comunicación del foro permanece abierto hoy, y el próximo Foro Tecnológico, que se llevará a cabo en Santa Fe, NM, EE. UU., Del 15 al 17 de febrero de 2022, incluirá discusiones sobre concreto impreso tridimensional (3-D), materiales cementantes suplementarios y concreto de alto desempeño (UHPC).

Conferencias Telefónicas

Esta serie de comunicaciones comprende conferencias telefónicas leves diseñadas para hacer foros interdisciplinarios entre miembros de la industria. Estas interacciones permiten a los productores describir sus necesidades directamente con ingenieros y contratistas, lo que les permite a todos visualizar oportunidades para mejorar la construcción de concreto. Reconociendo que el concreto es un material local, cada grupo de discusión está compuesto por productores y contratistas de concreto ubicados dentro de una región geográfica específica. Los miembros de la Junta Directiva de la Fundación ACI también participan. Actualmente, los temas preseleccionados han incluido:

- Especificar / ejecutar opciones sostenibles en la producción de concreto tales como tecnologías o métodos de reducción de carbono, Declaraciones Ambientales de Producto (Environmental Product Declarations - EPDs) o agregado reciclado;
- Especificaciones basadas por el desempeño;
- Tecnologías emergentes, y
- Planificación de contingencias

Interacciones con el personal, los comités y capítulos.

ACI creó recientemente el puesto de Director de Tecnología Innovadora del Concreto. Este miembro del personal es responsable de brindar alcance por parte del Instituto a organizaciones comerciales, empresas e individuos para atraer tecnologías emergentes para el desarrollo dentro del Instituto. El Director de Tecnología Innovadora del Concreto también es miembro del CIC y, por lo tanto, proporciona un vínculo directo esencial entre el consejo y el personal y los comités de ACI. Además, el Director de Tecnología Innovadora del Concreto está encargado de informar a la Junta Directiva de ACI sobre las tecnologías que requieren la atención de un comité existente o la formación de un nuevo comité que pueda responder a las necesidades de desarrollo del patrocinador inmediato de la tecnología.

Seguimiento

Después de cultivar la comunicación y recopilar prospectos, el CIC revisará, analizará y filtrará las oportunidades para asegurarse de que estén alineadas con la industria y las estrategias de ACI. Aquellas innovaciones y tecnologías que pueden tener el impacto más efectivo pueden obtener apoyo en el desarrollo y la implementación, ya que la CIC puede recomendar financiamiento y apoyo en algo más que el financiamiento de la investigación técnica tradicional. El desarrollo de casos de negocio, análisis de riesgos, autoría de guías técnicas, estudios de mercado y estudios de validación son medios adicionales de apoyo.

El CIC está definiendo actualmente una ruta de aceptación genérica para la innovación en la industria del concreto para ayudar a los proponen tecnologías innovadoras.

Para obtener más información sobre el CIC, comuníquese con la coordinadora de personal Tricia G. Ladely, tricia.ladely@acifoundation.org, o con uno de los autores.

Consejo de innovación del concreto (Concrete Innovation Council - CIC)

La membresía de CIC incluye investigadores, profesionales de la construcción, diseñadores y académicos. Los miembros sirven a pedido de los Fideicomisarios de la Fundación ACI. Incluyen:

- Brian Green, presidente del Centro de Investigación y Desarrollo de Ingenieros del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU.
- Tricia Ladely, enlace con el personal, Fundación ACI;
- Oscar Antommattei, Kiewit Engineering Group Inc .;
- Claude Bedard, Euclid Admixture Canada Inc .;
- Rex Donahey, Innovative Concrete Technology, ACI;
- Mahmut Ekenel, ICC Evaluation Service, LLC;
- Patrick Frawley, Central Concrete Supply Co .;
- G. Terry Harris, GCP Applied Technologies;
- Lesley Suz Chung Ko, Master Builders Solutions US, LLC;
- Carl Larosche, Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc .;
- Brad Malmsten, Thornton Tomasetti Inc.;
- Ann Masek, Fundación ACI;
- John Myers, C&T de Missouri;
- Eric Peterson, Constructores de Webcor; y
- Jerzy Zemajtis, NEx: un centro de excelencia de ACI para Materiales de construcción no metálicos.

Referencias

1. Terwiesch, C., and Ulrich, K.T., Innovation Tournaments: Creating and Selecting Exceptional Opportunities, Harvard Business Press, Boston, MA, 2009, 242 pp.



Ann M. Masek, miembro de ACI, es la directora ejecutiva de la Fundación ACI. Ella es una Ejecutiva de Asociación Certificada. Antes de unirse a ACI en 2013, su experiencia abarcó varios años en el campo de la petrografía del concreto en CTLGroup. Recibió su título en estudios geológicos de la Northeastern Illinois University, Chicago, IL, EE. UU.



Rex C. Donahey, miembro de ACI, es el Director de Tecnología Innovadora del Concreto del American Concrete Institute. Anteriormente fue editor en jefe de Concrete International y ahora se desempeña como editor. Donahey recibió su doctorado en ingeniería estructural de la Universidad de Kansas, Lawrence, KS, EE. UU. Es un ingeniero profesional con licencia.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noroeste

Título: Fundamentos de la innovación



Traductor:
Ing. Jesús Fernando Garcia Arvizu



Revisor Técnico:
Ing. Genaro Salinas

Losas sin vigas de concreto de alta resistencia

por Mike Mota, Michael W. Hopper, Michael A. Russillo y Ramon Gilsanz

Las losas sin vigas de concreto constituyen entresijos económicos para luces relativamente pequeñas asociadas comúnmente a la construcción residencial de edificios de mediana y gran altura. Estos sistemas típicamente se construyen con losas de 8 in. (200 mm) de espesor y luces de hasta 22 ft (6.7 m) de concreto reforzado o hasta 30 ft (9.1 m) cuando se usan losas postensadas (PT).

El propósito de este artículo es resaltar las tecnologías que permiten que los entresijos sin vigas alcancen en forma económica un rango de luces mayores, entre los 45 a 50 ft (13.7 a 15.2 m), utilizado habitualmente en la construcción de edificios de oficina clase A. Estas tecnologías incluyen la aplicación de:

- Acero de refuerzo ASTM A615/A615M Grado 80¹ (550 MPa);
- Mezclas de concreto con resistencias de diseño de 8000 psi (55 MPa) o superior;
- Losas alivianadas con esferas o discos plásticos; y
- Sistemas de Postensado con los tendones ubicados sobre las franjas de columnas en ambas direcciones.

La utilización de estas tecnologías permite reducir el impacto ambiental de la construcción. Por ejemplo, las esferas o discos de alivianamiento, típicamente producidas utilizando 100% de plástico reciclado, reduce el

volumen de concreto requerido en la losa y las emisiones de CO₂ asociadas un 20% en relación con una losa maciza. Estos alivianamientos permiten también que las losas sean construidas con cielorrasos planos, minimizando por lo tanto los costos de material y mano de obra asociados con el encofrado de la losa.

Por otra parte, los edificios resultantes tienen una menor altura de entresijos, minimizando el volumen de la edificación, el área de fachada y la altura de elementos tales como escaleras, cerramientos, cañerías y ascensores. Además del menor volumen de la edificación y área de fachada, el cambio en la masa térmica de las losas de concreto alivianadas permite disminuir la demanda instantánea de los sistemas de enfriamiento y calefacción², llevando a una reducción en la capacidad y el costo de los equipos de aclimatación, así como en el uso de energía y en las emisiones de CO₂ en la vida útil de la instalación. Adicionalmente, el edificio terminado es apto para que propietarios y desarrolladores dispongan de soluciones estructurales flexibles y económicas para modificaciones por el tipo de destino, tales como la construcción de escaleras de interconexión entre pisos continuos y el reemplazo de sistemas mecánicos existentes, sin necesidad de reajustes estructurales mayores.

Barras de refuerzo de Grado 80

Si bien las barras de refuerzo, de acuerdo con ASTM A615/A615M Grado 80 (550 MPa), han estado disponibles desde finales de los 1980s, los recientes avances en la metalurgia de los materiales han permitido que su uso se haya extendido en las construcciones de concreto en aplicaciones no-sísmicas. En efecto, el acero de Grado 80 se está convirtiendo en el “nuevo” acero 60, ya que el costo adicional asociado a la mayor resistencia es compensado por la reducción en el tamaño y cantidad de barras asociado al 33% de incremento de la resistencia de fluencia. Si bien las barras de Grado 80, requieren longitudes de empalme y de anclaje mayores, estos efectos pueden ser mitigados mediante la utilización de concreto de resistencias más elevadas.

Estudios previos han demostrado que resulta ventajoso reforzar las losas sin vigas con dos mallas de acero continuas: una en la parte superior y otra en la parte inferior de la losa³. Aunque las mallas continuas requieren empalmes más largos que el refuerzo superior e inferior convencional, se ha demostrado que la armadura superior continua permite reducir las deformaciones de largo plazo de la losa. También, se ha comprobado que la utilización de mallas dobles solo requiere de la colocación de barras adicionales en las columnas, simplificando la colocación e inspección de la armadura. La construcción es también facilitada por la continuidad de la malla superior, ya que permite a los colocadores de las barras y el volcado del concreto caminar en forma segura sobre esas barras de la malla superior. Resumiendo, el mayor costo de tener dos mallas continuas con empalmes más largos es compensado por la simplicidad de la instalación, resultando en menores errores e inspecciones más eficientes.

Concreto de alta resistencia

En 2001, el Comité 363 del ACI definió el concreto de alta resistencia (HSC) como el “concreto que tiene una resistencia de diseño especificada a la compresión de 8000 psi (55 MPa) o mayor”⁴. Mezclas con resistencias a la compresión de hasta 17,000 psi (117 MPa) son utilizadas actualmente para la construcción de

elementos estructurales verticales. Los ensayos han demostrado que el módulo de ruptura (MOR) se incrementa con la raíz cuadrada de la resistencia del concreto. El módulo de elasticidad (MOE) también tiende a aumentar con la resistencia del concreto, aunque este parámetro también está afectado por el tipo de agregado grueso utilizado en la mezcla. El ACI 363R-104 proporciona ecuaciones para la predicción del módulo de elasticidad para mezclas con resistencias especificadas de compresión por encima de los 8000 psi (55 MPa).

El incremento en el módulo de ruptura puede resultar en una reducción de la fisuración de la losa que, acoplada con un módulo de elasticidad más elevado, resulta en menores deflexiones para una carga dada. La utilización de concretos de alta resistencia puede permitir también reducir el espesor de la losa así como eliminar la necesidad de ábacos. De allí que el costo adicional del concreto de alta resistencia puede ser balanceado por los ahorros en el volumen de concreto y por la reducción de las cargas de peso propio sobre los encofrados, las columnas y las fundaciones. La utilización del concreto de alta resistencia combinado con barras de 80 ksi (550 MPa) resulta en economías adicionales.³ Por otra parte, la utilización de concreto de alta resistencia y de barras de Grado 80 permite que las columnas de concreto reforzado resulten de tamaño similar a las columnas de acero con su revestimiento contra fuego.

Sistemas de losas alivianadas

Los sistemas de losas alivianadas son losas en dos direcciones con vacíos internos ubicados en zonas donde la demanda de esfuerzos de corte es baja. Los sistemas de losas sin vigas alivianadas usando concreto de peso normal y liviano han sido utilizados por muchos años en Europa.⁵ Actualmente, muchos diseñadores en distintos países del mundo están percibiendo las ventajas inherentes de estos sistemas incluyendo la reducción del peso, la posibilidad de cubrir mayores luces, la altura reducida de los entresijos, la reducción de las fuerzas sísmicas y la obtención de fundaciones y columnas más pequeñas.

Los elementos utilizados para la creación de los vacíos en las losas son habitualmente esferas o elipsoides huecos formados de polímeros reciclados moldeados por inyección. Múltiples elementos son posicionados dentro de mallas prefabricadas de alambre para crear grillas modulares (jaulas modulares) que son fijadas entre las capas de armadura superior e inferior en la losa de concreto (Fig. 1). La colocación del concreto puede ser ejecutada en uno o dos fases. En el procedimiento de una sola fase, los vacíos son anclados al encofrado para evitar que floten y la losa es construida usando una única colada de concreto. En el proceso de dos fases, la grilla de alambre inferior es fijada por una capa inicial de concreto. Unas 3 horas después de esta colocación y luego del fraguado del concreto inicial, la losa es completada mediante una segunda colada del concreto. En ninguna de las dos opciones se requiere la utilización de concreto auto-consolidante.

Una losa alivianada mediante este procedimiento es aproximadamente un 35 % menos pesada que una losa maciza del mismo espesor y, esta reducción en el peso, hace posible cubrir mayores luces. Ensayos de sistemas de losas alivianadas tan delgadas como 8 in (20 cm) han resultado en resistencia al fuego de 2 hr contando con un recubrimiento de $\frac{3}{4}$ in (19 mm) sobre las barras de la armadura inferiores. Estos ensayos se realizaron utilizando las especificaciones de la ASTM E119-16a⁶ y en los laboratorios del NGC Testing Services, Buffalo, NY, USA en el año 2017⁷.

Las aberturas en las losas son materializadas omitiendo los elementos de alivianamiento y colocando barras de refuerzo adicionales en el perímetro de las aberturas. Los elementos de alivianamiento tampoco son colocados en la cercanía de los apoyos para lograr una capacidad al punzonado completa. Los vacíos en el resto de la losa resultan en un peso propio reducido, permitiendo al mismo tiempo la eliminación de los ábacos y/o el refuerzo de corte en la losa. Para tener en cuenta los vacíos en el cálculo de los desplazamientos se debe considerar una sección reducida. Típicamente, la disminución de

rigidez de la losa alivianada es de un 10 a un 15% respecto a la de una losa maciza del mismo espesor. También, en el diseño de losas en dos direcciones con bajos porcentajes de armadura y sin tendones de post-tensionado, puede ser necesario considerar un módulo de ruptura de $4\sqrt{f'_c}$ en psi ($0.33\sqrt{f'_c}$ en MPa) para tener en cuenta la fisuración asociada con la contracción restringida.^{8,9}



Figura 1: Sistemas de losas de concreto alivianadas (figura cortesía de CobiaxUSA, Inc.)

Tendones en franjas duales

Las losas postensadas son diseñadas habitualmente con un lay-out de tendones distribuidos uniformes en una dirección y tendones en franjas (tendones concentrados en las líneas de columnas) en la dirección ortogonal. Un layout con tendones en franjas duales, con los tendones concentrados sobre las líneas de columnas en ambas direcciones, es una alternativa atractiva para la construcción de oficinas de Clase A. Aunque esta alternativa es menos eficiente estructuralmente debido a que aproximadamente $\frac{1}{2}$ in (12 mm) de la flecha del tendón es perdida en el punto más alto sobre las columnas, ofrece mayor flexibilidad en el uso de la planta ya que resulta en losas sin tendones en el centro de cada vano. Esto permite la construcción de aberturas en la losa en la intersección de las franjas centrales sin afectar el comportamiento estructural. Aberturas en estos lugares son utilizadas habitualmente en edificios de oficinas para facilitar el acceso eficiente entre pisos contiguos sin requerir el uso de los ascensores generales del edificio.

Generalmente, si bien está precomprimida, se diseña el área central de las losas como armadas en forma convencional, sin efectos de pretensado. Varias estructuras han sido construidas en los Estados Unidos usando este método. El Instituto de Postensionado (PTI) también está ensayando actualmente losas con layouts de tendones en franjas duales y la información preliminar es que los resultados obtenidos hasta ahora son positivos.

Vacios en losas postensadas

La tecnología de losas alivianadas con postensado en franjas duales ofrece significativas ventajas en el diseño de losas sin vigas, pero también, la presencia de vacíos genera beneficios adicionales en relación con la economía y el medio ambiente. Esto quedó demostrado con su utilización en el nuevo edificio de la Columbia University Irving Medical Center (CUIMC), New York, NY, USA, donde postensado con adherencia en franjas duales fueron usados en combinación con elementos para la formación de vacíos (Fig. 2 a 4).



Figura 2: El Centro Educativo CUIMC Roy y Diana Vagelos (foto cortesía de Pavel Bendov/@archexplorer)



Figura 3: Construcción de una losa alivianada con tendones con adherencia en franjas duales (foto cortesía de LERA Consulting Structural Engineers)

Los vacíos reducen el peso propio de la losa, el área de la sección transversal y el módulo resistente. La reducción del peso propio permite una reducción proporcional en las cantidades de material postensado necesarias. Adicionalmente, la reducción en el área de la sección transversal de la losa resulta en tensiones de precompresión incrementadas (asumiendo el mismo layout de tendones y tensiones), y la reducción en el módulo resistente resulta en un perfil de tensiones con tensiones de flexión incrementadas. El incremento de las tensiones de compresión generalmente más que compensa el incremento de las tensiones de flexión, de tal modo que el resultado neto consiste en menores tensiones de tracción en la losa alivianada que en la losa maciza. Evidentemente, si las máximas tensiones ocurren en la zona de la losa donde no hay vacíos este beneficio secundario no puede ser obtenido.

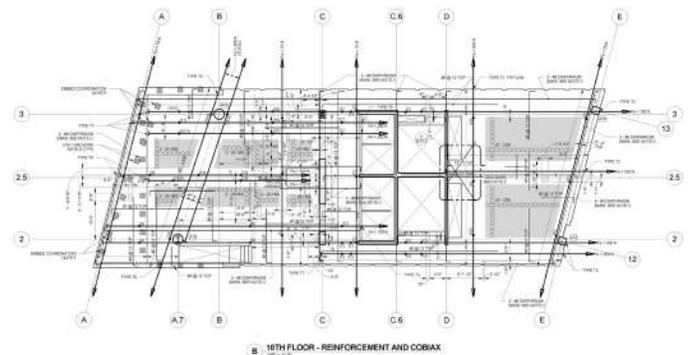


Figura 4: Layout de los vacíos y tendones en franjas duales para el Centro Educativo CUIMC Roy y Diana Vagelos (figura cortesía de LERA Consulting Structural Engineers)

Para demostrar la escala potencial de estos beneficios, consideremos como caso de estudio una losa maciza de 8 in (20 cm) de espesor simplemente apoyada de una sola dirección con una luz de 25 ft (7.6 m). Si la losa debe sostener una carga de 100 lb/ft² (aproximadamente 4.8 kPa) de carga de servicio total (adicional a su peso propio), aproximadamente 31 kip/ft (450 kN/m) de fuerza de postensado efectiva es requerida para satisfacer los criterios de Clase U del ACI (ver caso A en Fig. 5).¹⁰ Si la misma losa es alivianada con una reducción del peso propio de 26 lb/ft² (1.25 kPa) y solo esta disminución es considerada en el diseño estructural, se requieren 24 kip/ft (350 kN/m) de fuerza de postensado efectiva para satisfacer el mismo criterio del ACI (ver Caso B en Fig. 5). Finalmente, con la misma

losa alivianada, si además de la reducción del peso propio también son tenidos en cuenta en el cálculo tensional la reducción del área de la sección transversal y del módulo resistente, se requiere una fuerza de postensionado efectiva de 22 kip/ft (320 kN/m) (ver Caso C en Fig. 5).

Metodología de diseño

Para diseñar losas alivianadas postensadas, se debe comparar las tensiones iniciales y las tensiones de servicio con los límites del ACI 318.¹⁰ Esto requiere tener en cuenta el área y el módulo resistente reducidos como consecuencia de la inserción de vacíos. En las secciones críticas, habitualmente los puntos más bajos y más elevados del perfil de los tendones, se pueden realizar cálculos manuales para considerar ambos efectos utilizando la ecuación siguiente:

$$\sigma = -\frac{P}{A_{mod}} \pm \frac{Py}{S_{mod}} \pm \frac{M}{S_{mod}}$$

donde σ es la tensión de tracción o compresión en la fibra extrema; P es la fuerza de pretensado, inicial o en servicio; y es la flecha del tendón (distancia del baricentro del acero de pretensado al baricentro del concreto); A_{mod} es el área de la sección transversal modificada, igual al área de la sección transversal bruta menos el área de los vacíos; S_{mod} es el módulo resistente modificado, igual al módulo de la sección de concreto teniendo en cuenta la zona vacía; y M es el momento flector, inicial o en servicio, incluyendo los efectos de la disminución del peso propio de los elementos de aliviamiento. Se debe verificar también que las tensiones en la losa en los puntos intermedios del perfil de los tendones no exceden las tensiones admisibles límites dados por el Reglamento. Si bien los programas actualmente disponibles comercialmente pueden considerar los cambios en la rigidez y el peso propio de las losas alivianadas, no conocemos la existencia de ningún software comercial que pueda considerar en forma directa los vacíos en el cálculo de las tensiones. El cálculo manual de tensiones entre las secciones críticas puede ser tedioso. Para simplificar el proceso, el siguiente método puede ser utilizado para el diseño de losas postensadas alivianadas.

Los programas comercialmente disponibles pueden ser utilizados eficientemente de la siguiente forma. Primero se modifica la entrada de datos para ajustar el peso propio de la losa y la rigidez de las secciones para tener en cuenta los vacíos. Después, las tensiones en las secciones con vacíos se pueden comparar con las tensiones límites de tracción o compresión del Reglamento disminuidas por factores que tengan en cuenta la reducción del área y del módulo resistente utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma_{t \text{ or } c} \times (S_{factor} \text{ or } A_{factor}) \geq -\frac{P}{A} \pm \frac{Py}{S} \pm \frac{M}{S}$$

donde $\sigma_{t/c}$ es límite de la tensión de tracción o compresión en la fibra extrema dado por el Reglamento; S_{factor} es un factor de reducción del módulo resistente de la losa alivianada utilizado para comparar las tensiones límites de tracción; A_{factor} es un factor de reducción del área de la sección de la losa alivianada utilizado para comparar las tensiones límites de compresión; A es el área de la sección transversal de la losa maciza; S es el módulo resistente de la losa maciza; y M es el momento flector, inicial o en servicio, incluyendo la disminución del peso propio por efecto de los elementos de aliviamiento. Los ajustes al peso, la rigidez y los límites sobre las tensiones no son requeridos en las secciones donde los vacíos no existen (por ejemplo, cerca de las conexiones con las columnas).

Se recomienda utilizar $S_{factor} = 0.9$ y $A_{factor} = 0.5$ para losas en dos direcciones alivianadas. Por lo tanto, para tener en cuenta los vacíos utilizando los resultados de las tensiones obtenidos con los programas de diseño, las tensiones de tracción calculadas en base a las propiedades de la sección maciza son comparadas con las tensiones de tracción límites del Reglamento multiplicadas por 0.9. Este procedimiento es conservador ya que desprecia los beneficios de la precompresión incrementada en la zona de vacíos. Del mismo modo, las tensiones de compresión calculadas para la losa maciza son comparadas con los límites de las tensiones de compresión dados por el Reglamento multiplicadas por 0.5. Esto compara las tensiones de compresión usando el factor de reducción del área de la sección transversal para la precompresión ($-P/A$) y la tensión de flexión $\pm(P y)/S \pm M/S$, lo cual resulta

conservador para las tensiones de flexión, ya que las tensiones de compresión se incrementan por un factor de solamente 1/0.9 y no por el factor de 1/0.5 que recomendamos en la discusión previa. Es posible utilizar este procedimiento simplificado en forma eficiente para confirmar que las tensiones entre secciones críticas (los puntos más altos y bajos del tendón) no exceden las tensiones admisibles límite del Reglamento.

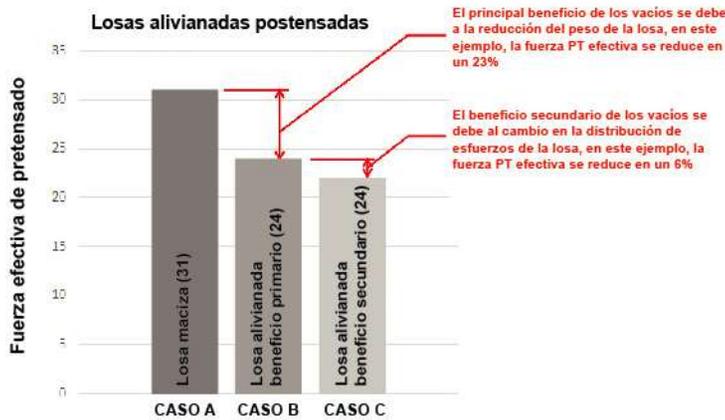


Figura 5: Fuerza de postensionado efectiva requerida por una losa en una dirección de 8 in de espesor con una luz de 25 ft (7.6 m). El Caso A es una losa maciza diseñada para satisfacer los criterios para losas pretensadas Clase U del ACI; Caso B es una losa alivianada diseñada considerando la disminución del peso propio proporcionada por los vacíos; y el Caso C es una losa alivianada, donde además de considerar la disminución del peso por los vacíos se considera la reducción en el área de la sección transversal y el módulo resistente asociada a los vacíos (Nota: 1 kip/ft=14.6 kN/m)

Diseño para las cargas de viento y sísmicas

En la mayoría de los casos de utilización de losas alivianadas, las losas no son incluidas en el sistema resistente a las fuerzas laterales; sin embargo, son diseñadas para actuar como diafragmas para la distribución de las fuerzas de viento y sísmicas. Cuando se diseña el refuerzo requerido de la losa como diafragma, se recomienda que se ignore la zona vacía y que la armadura requerida sea colocada por arriba y/o por debajo de los elementos de alivianamiento. Los planos deberían mostrar con toda claridad donde se debe colocar el refuerzo como diafragma, y se debería indicar también cual fue el espesor de losa considerado en el diseño del diafragma.

Además de diseñar las losas alivianadas para los esfuerzos originados por la distribución de las cargas laterales, se debe considerar también el efecto que los desplazamientos laterales podrían tener sobre los nudos losa-columna. Los desplazamientos laterales de la estructura resultan en rotaciones de los nudos losa-columna, lo cual puede ocasionar un incremento de los momentos desbalanceados que debería considerarse

en el diseño al punzonado de las losas alivianadas. De la misma manera que en el caso de las losas sin vigas con ábacos, se debe verificar la longitud necesaria de zona maciza de la losa en los apoyos para determinar dónde colocar la primera fila de los elementos de alivianamiento.

La Sección 18.14.5 del ACI 318 requiere además que la estructura en su sección crítica sea capaz de soportar la carga gravitatoria durante los desplazamientos laterales resultantes de un terremoto para evitar la falla por punzonado de la losa. Cuando las losas alivianadas son utilizadas como parte del sistema resistente a las fuerzas laterales y/o existen momentos desbalanceados, los vacíos deben ser ubicados como mínimo a una distancia de dos veces el espesor de la losa más allá del perímetro crítico para asegurar que esta sección no se vea comprometida.

Conclusiones

Los beneficios combinados de las barras de Grado 80 (550 MPa), losas alivianadas y postensionado en franjas duales permite que las losas sin vigas sean empleadas como una solución económica y ambientalmente amigable para la construcción de edificios de oficina de Clase A. Los ahorros obtenidos por la aplicación de estas tecnologías van más allá que la disminución de los costos de las losas, sin embargo, ya que el sistema proporciona también al propietario la oportunidad de modificar en forma segura la planta luego de su construcción.

Referencias

1. ASTM A615/A615M-20, "Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 8 pp.
2. Childs, K.W.; Courville, G.E.; and Bales, E.L., Thermal Mass Assessment, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, Sept. 1983, 86 pp.
3. Huang, C.I.-C.; Hoy, D.E.; Lan, Y.J.; de Romémont, C.; and Gilsanz, R.E., "Deflection of Flat-Plate Slabs," Concrete International, V. 42, No. 8, Aug. 2020, pp. 36-41.
4. ACI Committee 363, "Report on High-Strength Concrete (ACI 363R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 69 pp.
5. Mota, M., "Voided Slabs," Concrete International, V. 32, No. 10, Oct. 2010, pp. 41-45.
6. ASTM E119-16a, "Standard Test Method for Fire Tests of Building Construction and Materials," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, 36 pp.
7. Fanella, D.A.; Mota, M.; and Trygestad, A., "Fire Resistance of Flat Plate Voided Concrete Floor Systems," Structure Magazine, Jan. 2018, pp. 12-14.
8. Fanella, D.A.; Mahamid, M; and Mota, M, "Design of Flat Plate Voided Concrete Slab Systems," Recent Developments in Two-Way Slabs: Design, Analysis, Construction, and Evaluation, SP-321, M. Mahamid and M.(J.) Shin, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, Sept. 2017, pp. 12.1-12.17.
9. ACI Committee 435, "Control of Deflection in Concrete Structures (ACI 435R-95), (Reapproved 2000), Appendix B added 2003)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1995, 77 pp.
10. 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.
11. Beres, A.B., and Mota, M., Design Guide for Voided Concrete Slabs, first edition, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL, 2014, 56 pp. Sorensen, T.J.; Thomas, R.J.; Dorafshan, S.; and Maguire, M., "Thermal Bridging in Concrete Sandwich Walls," Concrete International, V. 40, No. 10, Oct. 2018, pp. 45-49.



Mike Mota, F.A.C.I., es Director de Ingeniería y Socio de CobiaxUSA, Inc. Dedham, MA, USA. Como Vicepresidente de Ingeniería del CRSI e Ingeniero Regional del la PCA ha desarrollado más de 20 años de experiencia en las mejores prácticas de la utilización de sistemas de losas de concreto alivianadas. Mota es Fellow del ASCE y del SEI. Recibió su BS, MS y CE del Instituto de Tecnología de New Jersey, Newark, NJ, USA y su PhD en Ingeniería Civil de la Universidad Drexel, Philadelphia, PA, USA. Es ingeniero con licencia profesional en cinco estados.



Michael W. Hopper, A.C.I., es Socio de LERA Consulting Structural Engineers. Desde su participación en la firma en 2010, se ha especializado en el diseño de estructuras de concreto y es experto en el uso de postensionado. Es miembro del PTI, donde actúa en el Comité Técnico DC-20, Diseño de Edificios. Es ingeniero con licencia profesional y profesor de Diseño de Concreto Reforzado y Pretensado en la Universidad de Princeton. Recibió su BS y MS en Ingeniería Arquitectónica en la Pennsylvania State University, University Park, PA, USA.



Ramon Gilsanz, es socio de Gilsanz Murray Steficek LLP. Su experiencia abarca desde edificios nuevos, adaptaciones por cambio de uso y estructuras especiales tales como el edificio más alto de España, la Torre de la Caja de Madrid y la suspensión de autos en el atrio del Museo Guggenheim para la exhibición de Cai Guo-Qiang. Es un activo colaborador de la comunidad de ingeniería estructural y actualmente participa en el desarrollo de nuevos reglamentos de edificación. Es Fellow de la ASCE y del SEI y miembro honorario del American Institute of Architects del Chapter de New York.



Michel A. Russillo, ACI, es Presidente de CobiaxUSA, Inc. Previamente a la formación de CobiaxUSA fue socio fundador y Presidente de Baker Post-Tensioning LLC. Su larga experiencia incluye haber trabajado con una variedad de arquitectos, ingenieros, contratistas, propietarios y desarrolladores durante la planificación y la construcción de múltiples proyectos. Es ingeniero con licencia profesional y recibió su BSCE de la Northeastern University, Boston, MA, USA y su MBA del Boston College, Chestnut Hill, MA, USA.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Argentina

Título: Losas sin vigas de concreto de alta resistencia



Traductor y Revisor Técnico:
Dr. Ing. Raul Bertero

RESERVA^a FECHA

MARZO 27-31, 2022

Hotel Caribe Royale Orlando. Orlando, Florida. USA.
Convención de primavera del ACI

aci CONCRETE
CONVENTION



Un enfoque simplificado para determinar la reactividad puzolánica de materiales cementantes suplementarios comerciales

¿Qué es la reactividad de los MCS y por qué cuantificarla?

por Keshav Bharadwaj, O. Burkan Isgor y W. Jason Weiss

Una gran parte del concreto producido en los Estados Unidos contiene cierta cantidad de materiales cementantes suplementarios (MCS).¹ Los MCS pueden reducir la huella de carbono del concreto al sustituir una parte del cemento. Además, los MCS pueden mejorar la durabilidad al reducir la permeabilidad.^{2,3} o mitigar reacciones deletéreas como las reacciones álcali-sílice. Los MCS tienen una amplia gama de composiciones químicas y fases reactivas (la fracción de los MCS que puede reaccionar químicamente), que afectan el desempeño del concreto. La reactividad de los MCS influye en la porosidad, resistencia y propiedades de transporte del concreto fabricado con MCS⁴⁻⁶ y diferencia los MCS de los rellenos inertes típicos (no reactivos) utilizados en el concreto. Mientras que la composición química de los MCS convencionales que se pueden utilizar en concreto está relativamente bien definida en las especificaciones estándar,⁷⁻¹¹ falta un enfoque sólido para cuantificar la fracción de MCS que puede reaccionar.

Prueba de reactividad puzolánica y ASTM C1897

Recientemente se han desarrollado métodos de prueba para evaluar el desempeño de los MCS. Dos de las pruebas más comunes que han surgido con el uso creciente incluyen: ASTM C1897¹² (Prueba R3) y la prueba de reactividad puzolánica (PRP)¹³. Aunque son similares en concepto, ASTM C1897 evalúa la reactividad puzolánica del MCS, así como reacciones de adiciones de caliza y de sulfato, en tanto que la PRP se centra sólo en las

reacciones puzolánicas (las reacciones de sulfato y caliza no son consideradas). Además, a diferencia de la prueba R3, la PRP proporciona un valor numérico para la reactividad puzolánica. Estudios anteriores han descrito las similitudes y diferencias en los productos de reacción que pueden formarse entre estas pruebas. Este artículo describe cómo se puede simplificar la PRP para habilitar el grado máximo de reactividad (GDR*) a determinar utilizando sólo calorimetría isotérmica (CI). Este enfoque ahorrará tiempo a los productores y permitirá un uso más generalizado. La PRP mide el GDR* que se puede esperar para un MCS.^{4,5,13-22} La PRP consiste en mezclar un MCS con hidróxido de calcio (HC) (relación HC a MCS de 3: 1 en masa) en una solución alcalina (0.5N KOH; líquido: HC + MCS = 0.90 en masa). La prueba se realiza a una temperatura de 50 °C durante 10 días para lograr un grado relativamente alto de reacción en un período corto. La PRP requiere que se mida tanto el calor liberado (Q) como el HC consumido. El Q se mide utilizando un calorímetro isotérmico en una muestra de 7 g. El HC consumido es medido usando análisis termogravimétrico (ATG) usando una muestra que es de aproximadamente 20 mg (tomado de la ampolla de CI que contiene la pasta de MCS + HC reaccionada después de medir Q). Más información sobre la medición del contenido de HC en pastas utilizando ATG se proporciona en la Referencia 23.

Estas pruebas requieren pequeños volúmenes de material. El procedimiento PRP utiliza 40 g de MCS que se mezcla con 120 g de HC y 144 g de solución de KOH 0,5M.¹⁸ Aproximadamente 7 g de la pasta se sellan en una ampolla de vidrio y se carga en el calorímetro isotérmico luego de mezclar. Después de 10 días de reacción, aproximadamente 20 mg de pasta que ha reaccionado se cargan en el crisol de platino de la máquina ATG y se calcula la fracción de masa de HC que queda en la pasta.

El enfoque propuesto en este artículo elimina la necesidad de Prueba ATG y permite determinar el GDR* utilizando solo el valor de Q. Esto reduce drásticamente el trabajo y aumenta el potencial para que este método se utilice en una gama más amplia de laboratorios comerciales de pruebas y producción dado que el análisis ATG ya no es necesario.

Calorimetría isotérmica

Los materiales cementicios experimentan una reacción exotérmica, lo que significa que liberan calor cuando reaccionan hidráulica o puzolánicamente. CI es una técnica para medir esta liberación de calor en función del tiempo. Al medir el flujo de calor, las etapas y el alcance de la reacción se puede rastrear. Por ejemplo, la Fig. A ilustra la tasa de liberación de calor dQ/dt indicando las etapas comunes de hidratación del cemento (nota, esta figura representa una pasta hecha con agua y cemento). La figura B ilustra resultados típicos del calor acumulado (integral de la tasa del calor en función del tiempo). En el método PRP, se determina la liberación total de calor o la velocidad total de reacción. Si bien esto puede considerarse como el calor un tiempo muy tardío (10 días a 50°C), generalmente se utilizan procedimientos para extrapolar este tiempo infinito como se muestra en la Fig. B. Los calorímetros isotérmicos se están volviendo cada vez más comunes en los laboratorios de los Estados Unidos. Las universidades y laboratorios de investigación, así como grandes productores de cemento y concreto^{12,21,22,24,25} están utilizando IC para cuantificar varios aspectos de la hidratación del cemento, reacciones de MCS e impactos de la dosificación de la mezcla. Este método también está siendo utilizado para el control de calidad.

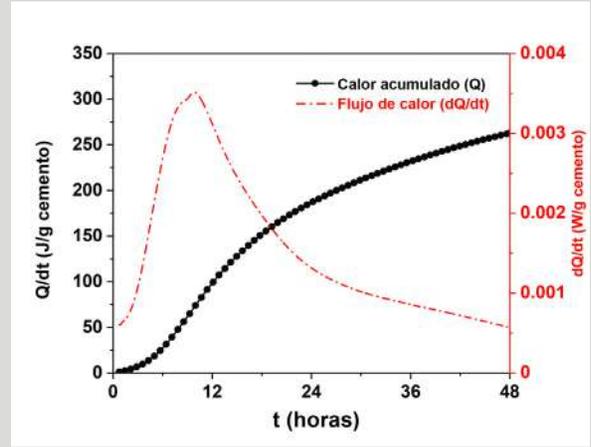


Figura A: Gráfico del calor acumulado liberado en función del tiempo para la hidratación del cemento Portland ordinario (CPO)

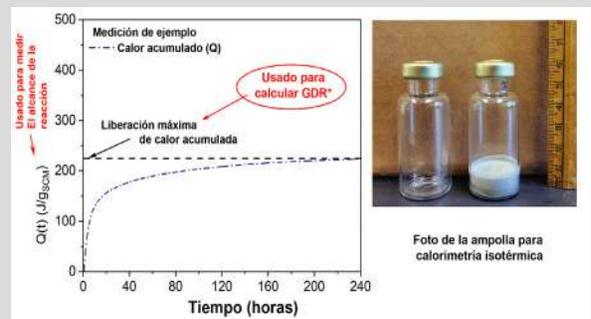


Figura B: Calor acumulado liberado (Q) en función del tiempo para la PRP con una reacción de un MCS y una imagen de las ampollas de CI con y sin muestras.

En tanto que la CI ha ido ganando adopción a través de normas como ASTM C1897 y ASTM C1679,²⁴ algunos lectores pueden no estar familiarizados con este método de prueba, por lo tanto, el uso de esta técnica en el PRP es explicado en el cuadro de texto. (inserto al final)

Los principales componentes reactivos de los MCS (SiO_2 , Al_2O_3 y CaO) participan en las reacciones químicas que se muestran en las ecuaciones (1) hasta (3). Los componentes menores de los MCS (Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O y otros) no se tratan en este artículo, pero se discuten en la referencia 13. La ecuación (1) describe la reacción de sílice, la (2) describe la reacción de la alúmina, y la ecuación (3) describe la reacción del calcio. En el PRP el SiO_2 y el Al_2O_3 reaccionan puzolánicamente para formar Silicato de Calcio-Hidratado (C-S-H por sus siglas en inglés) y aluminato-hidrato de calcio ($\text{C}_2\text{AH}_{7,5}$), respectivamente. La reacción de CaO es más compleja a medida que reacciona hidráulicamente para producir HC y/o proporciona calcio para reaccionar con el SiO_2 y Al_2O_3 en el MCS.

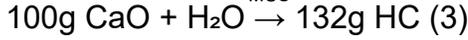
Las tres reacciones liberan calor (Q) y consumen, o, en el caso de la ecuación (3), produce HC.



$$Q = 76.9 \text{ kJ}/100\text{g}_{\text{MCS}}$$



$$Q = 74.8 \text{ kJ}/100\text{g}_{\text{MCS}}$$



$$Q = 114.9 \text{ kJ}/100\text{g}_{\text{MCS}}$$

Las reacciones de 100% SiO₂ y 100% Al₂O₃ (Ec. (1) y (2)) proporcionan los valores teóricos de Q y HC consumidos en diferentes valores de GDR* para cada uno de los compuestos puros. Por ejemplo, 100% GDR* para la reacción teórica de Al₂O₃ corresponde a 144 g de consumo de HC y 74,8 kJ de calor generado por cada 100 g de Al₂O₃ consumidos en la reacción puzolánica. Del mismo modo, 100% GDR* para la reacción de SiO₂ teórica corresponde a 198 g de consumo de HC y 76,9 kJ de calor generado por cada 100 g de SiO₂ consumidos en la reacción puzolánica. Los valores teóricos para los otros GDR* (80, 60, 40 y 20%) se calculan como porcentaje correspondiente del HC consumido y calor generado al 100% de reactividad. Las dos líneas de la Fig. 1 sirven como valores de referencia de Q y HC consumidos para la reacción puzolánica de SiO₂ y Al₂O₃. El GDR* del MCS se puede medir interpolando entre las dos líneas de referencia, como se muestra en la Fig. 2.

Simplificando el PRP para MCS comerciales

La figura 2 muestra las composiciones químicas de los MCS comerciales que se utilizan normalmente en la producción de concreto en los Estados Unidos^{12,21,22,24-30} Tres amplias clasificaciones de MCS basadas en su composición química están marcadas en este gráfico como regiones delimitadas por líneas: materiales silíceos (SiO₂ / (SiO₂ + Al₂O₃) > 70% y CaO < 50%; por ejemplo, humo de sílice y cenizas volantes), materiales calcáreos (CaO > 50%; por ejemplo, cemento de escoria), y materiales de silico-aluminosos (SiO₂ / (SiO₂ + Al₂O₃) < 70% y CaO < 50%; por ejemplo, arcilla calcinada y metacaolín).

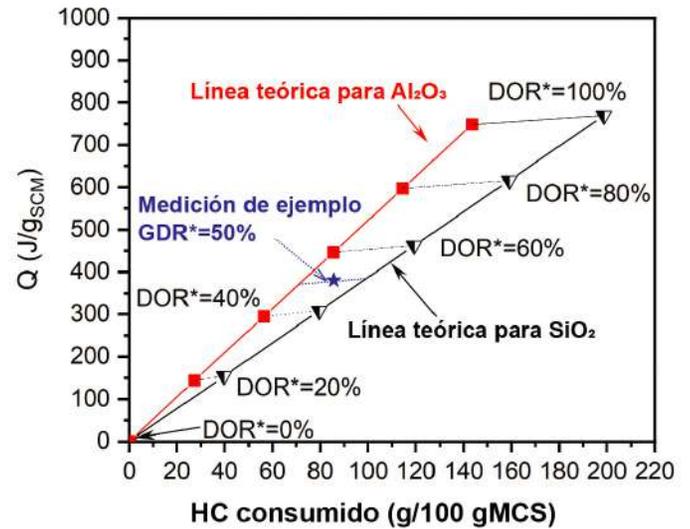


Figura 1: Determinación del GDR* de un MCS utilizando el PRP. La medición de ejemplo (estrella azul) demuestra la cuantificación de GDR* de mediciones experimentales. Para obtener más información sobre cómo se obtienen los valores teóricos de SiO₂ y Al₂O₃, consultar la referencia 13.

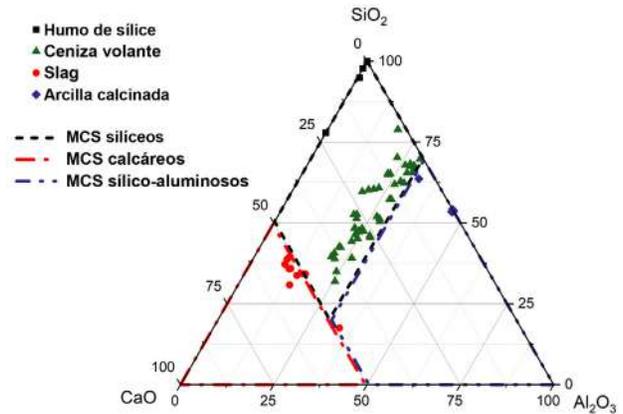


Figura 2: Gráfico de la composición química medido de varios MCS comerciales

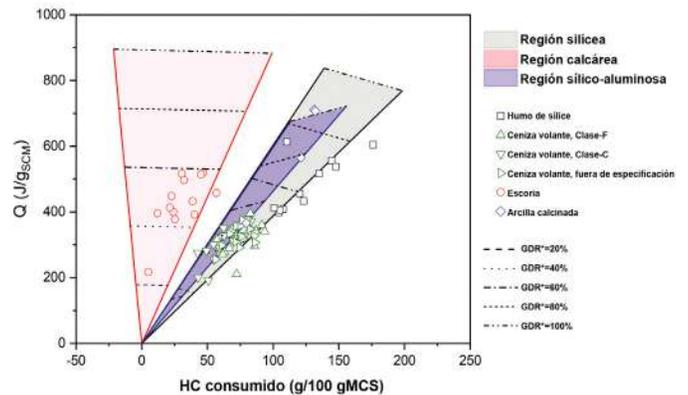


Figura 3: Calor liberado versus CH consumido para SCM comerciales típicos

Existe una relación Q-HC bien definida para un tipo dado de MCS. La Figura 3 ilustra las relaciones Q-HC obtenidas a través del modelado termodinámico (áreas sombreadas) y análisis experimental (símbolos) para el humo de sílice comercial típico, cenizas volantes, cemento de escoria y arcilla calcinada que cumplen con las especificaciones estándar correspondientes. ⁷⁻¹¹

Todas las posibles composiciones de SiO₂, Al₂O₃ y CaO para cada tipo de MCS son consideradas en los cálculos. Como tal, cualquier combinación de SiO₂ + Al₂O₃ + CaO que pertenece a un tipo MCS caería dentro de la región sombreada que proporciona límites (dos líneas sólidas) para el Q y HC consumidos. Las regiones también contienen líneas cruzadas que indican el GDR* del MCS desde 0 hasta 100% a intervalos del 20% (similar a lo que se puede ver en la Fig. 1).

El GDR* del MCS se puede leer con mayor precisión desde el gráfico (con interpolación), cuando el Q medido experimentalmente y el HC consumido se añaden al mismo. Puede observarse que cada uno de los MCS ocupa relativamente regiones estrechas en el espacio Q-HC dependiendo de su composición química:

- Los MCS silíceos (humo de sílice y cenizas volantes) ocupan la región sombreada en gris en el espacio Q-HC;

- Los MCS calcáreos (cemento de escoria) ocupan la zona sombreada en rojo que está más cerca del eje y en el espacio Q-HC. Esto se debe a la formación de HC a partir de reacciones hidráulicas en sistemas calcáreos (ecuación (3));

y

- Los MCS silico-aluminosos (arcilla calcinada) ocupan la región sombreada de azul dentro de la región silícea sombreada de gris, pero su rango es más estrecho, y el Q y HC consumido para un GDR* dado, son menores que para MCS silíceos.

La Figura 3 se puede utilizar para calcular el GDR* de un MCS en la práctica ya que se conoce la composición química del MCS y se puede considerar en los cálculos.

El rango de valores de Q y HC consumidos para diferentes tipos de MCS se compara con los resultados de la Figura 3 para valores de GDR* de 25, 50, 75 y 100%. El rango de valores de liberación de calor para un tipo dado de MCS es bastante estrecho; el Q promedio está dentro del 4% del valor más alto/más bajo.

Estimación de la reactividad de los MCS comerciales

Basado en la observación de que diferentes clases de MCS ocupan una región estrecha en el espacio Q-HC, se puede hacer una simplificación práctica al PRP. Se puede suponer que cada una de las áreas sombreadas se puede representar con una sola línea en el centro de dicha área sombreada (el Q promedio de la Tabla 1).

Tabla 1:
Q y HC consumido por un MCS comercial típico en la PRP*

Propiedades Medidas	GDR*, %	Tipo de MCS		
		Silíceos	Calcáreos	Silico-aluminosos
Q, J/gMCS (promedio ± ½ del rango)	25	201 ± 9	223 ± 2	175 ± 6
	50	402 ± 17	445 ± 3	350 ± 12
	75	603 ± 26	667 ± 5	525 ± 18
	100	804 ± 35	889 ± 6	669 ± 23
HC, consumido, g/100gMCS (promedio ± ½ del rango)	25	43 ± 8	10 ± 15	34 ± 6
	50	85 ± 15	20 ± 31	68 ± 11
	75	127 ± 23	29 ± 45	121 ± 36
	100	169 ± 30	39 ± 60	135 ± 22

* Los valores mostrados son la media de Q y HC consumidos y el rango de Q / HC consumido de la media para el tipo MCS

La relación de Q a HC consumido es constante (la pendiente de esta línea). Por tanto, una vez que se conoce el calor, se puede determinar el GDR* de cualquier MCS dentro de esa clase. Hablando desde una perspectiva práctica, el PRP ahora solo requiere la medición de Q para determinar el GDR*, si se conoce la clase de MCS (Ya no se necesita ATG).

El GDR* se puede calcular usando la Ec. (4) o usando un enfoque gráfico que se muestra en la Fig.4, donde el Q promedio para un MCS es una función del GDR*. El Q del PRP puede ser medido y se puede dibujar una línea horizontal que se cruza la línea específica de MCS para obtener el GDR* (ver la Fig. 4).

$$GDR^* = Q / Q_{100} \quad (4)$$

donde Q_{100} es el calor promedio liberado por un MCS del tipo dado al 100% GDR* (el valor medio enumerado en la Tabla 1). Hay algunas consideraciones prácticas que deben tenerse en cuenta al medir el GDR* usando el PRP. Primero, la liberación de calor para el mismo nivel de reacción (GDR*) difiere para las varias clases de MCS. Esto es de esperarse ya que cada tipo de MCS tiene una composición química diferente (diferentes proporciones de SiO_2 , Al_2O_3 y CaO), y la reacción de cada componente (SiO_2 , Al_2O_3 y CaO) da lugar a diferentes reacciones productos y diferentes valores de Q (consulte las ecuaciones (1) a (3)).

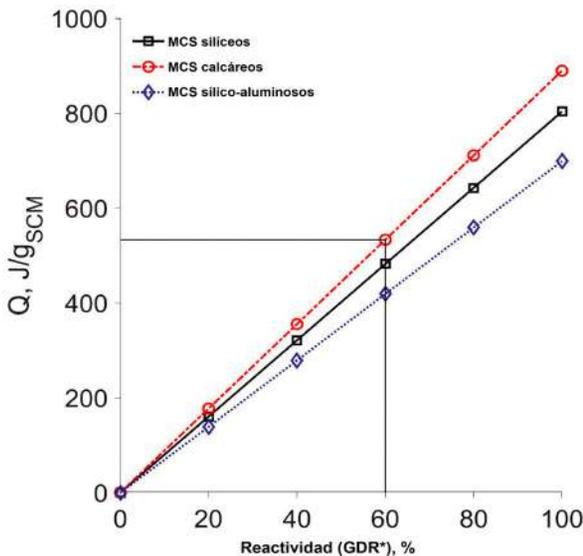


Figura 4: Calor liberado versus GDR* para MCS comerciales típicos.

Los diferentes tipos de MCS que producen el mismo Q tienen diferentes valores GDR*. Por ejemplo, un Q de $300 J/g_{MCS}$ para cemento de escoria (calcáreo) corresponde a un GDR* del 34%, pero un calor liberación de $300 J/g_{MCS}$ para arcilla calcinada (silico-aluminoso) corresponde a un GDR* del 43%. El Q medido no es directamente el indicador de rendimiento, más bien el GDR* es el indicador de cuánto de MCS ha reaccionado.

Basado en los datos experimentales de la literatura, se puede obtener información sobre los valores típicos de GDR* determinado a partir de las pruebas. La figura 5 proporciona un gráfico de frecuencia acumulada del GDR* medido de humo de sílice, cenizas volantes, y cemento de escoria utilizando resultados experimentales de investigación.^{13,18,21,22,26-28} El GDR* podría usarse para comparar los MCS dentro de un determinado tipo de materiales. Por ejemplo, una ceniza volante con un GDR* del 65% es una ceniza volante altamente reactiva, mientras que un humo de sílice con un GDR* del 65% sería humo de sílice con menor reactividad. Los resultados graficados en la Fig.5 pueden ser útiles para desarrollar especificaciones para los MCS que se requieren para cumplir con un criterio de rendimiento específico cuando se utiliza en concreto.¹⁵ Cuando más datos experimentales estén disponibles, se espera que la curva se vuelva más refinada.

Los humos de sílice y arcillas calcinadas disponibles comercialmente en general se considera que tiene el GDR* más alto, seguidos por los cementos de escoria típicos disponibles comercialmente, seguidos por las cenizas volantes disponibles comercialmente que fueron probadas. Es importante recordar que, si bien el GDR* es un buen indicador de rendimiento, también podría utilizarse junto con otras herramientas de predicción de rendimiento para desarrollar proporciones para las mezclas.^{4,5,14,15,26,31}

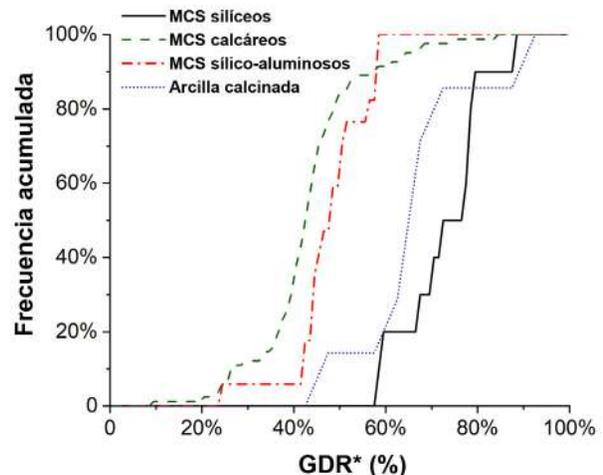


Figura 5: Gráfico de frecuencia acumulada de reactividades para MCS comerciales.

Resumen

El PRP se puede utilizar para calcular el GDR* de un MCS utilizando mediciones del Q y HC acumulados consumidos cuando un MCS se combina con HC en un ambiente alcalino. Si se desconoce la composición química del MCS, tanto el Q y el HC consumido por el MCS en el PRP son necesarios para determinar el GDR*. Esta investigación señala que para MCS comerciales la composición química del material obtenido de especificaciones estándar tienen un Q / HC relativamente constante (la diferencia en el valor de Q para cualquier composición de MCS en una clase dada está dentro del 4%). Esta observación permite GDR* para fines comerciales. Los MCS se determinarán utilizando solo calorimetría (AGT no es necesaria la medición de HC consumido) haciendo esto más fácil de realizar en laboratorios de control de calidad y producción. El GDR* calculado es una medida de desempeño que se utiliza para comparar dos MCS diferentes de la misma clase. Los MCS de diferentes composiciones tienen diferentes Q medidos en el PRP para el mismo GDR*. El PRP puede servir como una alternativa a factores como el índice de actividad resistente porque proporciona un valor numérico de GDR*. Esto puede ser utilizado para cuantificar el rendimiento de un MCS, así como una entrada para modelos termodinámicos para predecir el rendimiento de concreto.^{4,5,14-16,24,26,32.}

Referencias

1. Juenger, M.C.G.; Snellings, R.; and Bernal, S.A., "Supplementary Cementitious Materials: New Sources, HCCharacterization, and Performance Insights," *Cement and Concrete ResearHC*, V. 122, Aug. 2019, pp. 257-273.
2. Thomas, M., *Supplementary Cementing Materials in Concrete*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2013, 210 pp.
3. LothenbaHC, B.; Scrivener, K.; and Hooton, R.D., "Supplementary Cementitious Materials," *Cement and Concrete ResearHC*, V.41, No. 12, Dec. 2011, pp. 1244-1256.
4. Bharadwaj, K.; Ghantous, R.M.; Sahan,F.; Isgor, O.B.; and Weiss, W.J., "Predicting Pore Volume, Compressive Strength, Pore Connectivity, and Formation Factor in Cementitious Pastes Containing Fly Ash," *Cement and Concrete Composites*, V. 122, Sept. 2021, Article 104113.
5. Bharadwaj, K.; Isgor, O.B.; and Weiss,W.J., "Supplementary Cementitious Materials and Portland Limestone

Cements," *ACI Materials Journal*, DOI: 10.14359/51734356 (pending publication in 2022).

6. Bharadwaj, K.; HCopperla, K.S.T.; HCoudhary, A.; Glosser, D.; Ghantous, R.M.; Vasedevan, G.; Ideker, J.H.; Isgor, O.B.; Trejo, D.; and Weiss, W.J., "CALTRANS: Impact of the Use of Portland-Limestone Cement on Concrete Performance as Plain or Reinforced Material," Oregon State University, Corvallis, OR, 2021, 296 pp.
7. AASHTO M 307, "Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures," American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2013, 13 pp.
8. AASHTO M 295, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2019, 6 pp.
9. ASTM C989/C989M-18a, "Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, 7 pp.
10. ASTM C618-19, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 5 pp.}
11. ASTM C1240-20, "Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 7 pp.
12. ASTM C1897-20, "Standard Test Methods for Measuring the Reactivity of Supplementary Cementitious Materials by Isothermal Calorimetry and Bound Water Measurements," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 5 pp.
13. HCoudhary, A.; Bharadwaj, K.; Ghantous, R.M.; Isgor, O.B.; and Weiss, W.J., "Pozzolanic Reactivity Test for Supplementary Cementitious Materials," *ACI Materials Journal*, DOI: 10.14359/51734349 (pending publication in 2022).
14. Bharadwaj, K.; Glosser, D.; Moradllo, M.K.; Isgor, O.B.; and Weiss, W.J., "Toward the Prediction of Pore Volumes and Freeze-Thaw Performance of Concrete Using Thermodynamic Modelling," *Cement and Concrete ResearHC*, V. 124, Oct. 2019, Article 105820.
15. Bharadwaj, K.; Isgor, O.B.; Weiss, W.J.; HCopperla, K.S.T.; HCoudhary, A.; Vasudevan, G.D.; Glosser, D.; Ideker, J.H.; and Trejo, D., "A New Mixture Proportioning Method for Performance-Based Concrete," *ACI Materials Journal*, DOI: 10.14359/51734301 (pending publication in 2022).
16. Glosser, D.; Azad, V.J.; Suraneni, P.; Isgor, O.B.; and Weiss, W.J., "Extension of Powers-Brownyard Model to Pastes Containing Supplementary Cementitious Materials," *ACI Materials Journal*, V. 116, No. 5, Sept. 2019, pp. 205-216.
17. Glosser, D.; HCoudhary, A.; Ideker, J.H.; Trejo, D.; Weiss, W.J.; and Isgor, O.B., "Thermodynamic Investigation of Cementitious Mixtures Incorporating Off-Spec Fly Ashes," 2019, 18 pp., [https:// www.semanticsHColar.org/paper/Thermodynamic-](https://www.semanticsHColar.org/paper/Thermodynamic)

Investigation-of-Cementitious-Fly-GlosserHCoudhary/73e43fda894e77b340c9d48b8faf7465eef9f56f.

18. Glosser, D.; HCoudhary, A.; Isgor, O.B.; and Weiss, W.J., "Investigation of Reactivity of Fly Ash and Its Effect on Mixture Properties," *ACI Materials Journal*, V. 116, No. 4, July 2019, pp. 193-200.

19. Glosser, D.; Suraneni, P.; Isgor, O.B.; and Weiss, W.J., "Estimating Reaction Kinetics of Cementitious Pastes Containing Fly Ash," *Cement and Concrete Composites*, V. 112, Sept. 2020, Article 103655.

20. Glosser, D.B., "Equilibrium and Non-equilibrium Thermodynamic Modeling of Cement Pastes Containing Supplementary Cementitious Materials," PhD Dissertation, Oregon State University, Corvallis, OR, 2020, 206 pp.

21. Suraneni, P.; Hajibabae, A.; Ramanathan, S.; Wang, Y.; and Weiss, W.J., "New Insights from Reactivity Testing of Supplementary Cementitious Materials," *Cement and Concrete Composites*, V. 103, Oct. 2019, pp. 331-338.

22. Azad, V.J.; Suraneni, P.; Trejo, D.; Weiss, W.J.; and Isgor, O.B., "Thermodynamic Investigation of Allowable Admixed HCloride Limits in Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 115, No. 5, Sept. 2018, pp. 727-738.

23. Kim, T., and Olek, J., "Effects of Sample Preparation and Interpretation of Thermogravimetric Curves on Calcium Hydroxide in Hydrated Pastes and Mortars," *Transportation Research Record*, V. 2290, No. 1, Jan. 2012, pp. 10-18.

24. ASTM C1679-17, "Standard Practice for Measuring Hydration Kinetics of Hydraulic Cementitious Mixtures Using Isothermal Calorimetry," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 15 pp.

25. Avet, F.; Snellings, R.; Diaz, A.A.; Ben Haha, M.; and Scrivener, K., "Development of a New Rapid, Relevant and Reliable (R3) Test Method to Evaluate the Pozzolanic Reactivity of Calcined Kaolinitic Clays," *Cement and Concrete Research*, V. 85, July 2016, pp. 1-11.

26. Isgor, O.B.; Ideker, J.H.; Trejo, D.; Weiss, W.J.; Bharadwaj, K.; HCoudhary, A.; HCopperla, S.K.T.; Glosser, D.; and Vasudevan, G., "Performance-Based Mixture Proportioning of Concrete Incorporating Off-Spec Fly Ash: Mixture Proportioning Method Development and Validation," Technical Report 3002018795, Energy Power Research Institute (EPRI); Palo Alto, CA, Oct. 2020, 78 pp., <https://www.epri.com/research/programs/113123/results/3002018795>.

27. Ramanathan, S.; Croly, M.; and Suraneni, P., "Comparison of the Effects that Supplementary Cementitious Materials Replacement Levels Have on Cementitious Paste Properties," *Cement and Concrete Composites*, V. 112, Sept. 2020, Article 103678.

28. Ramanathan, S.; Kasaniya, M.; Tuen, M.; Thomas, M.D.A.; and Suraneni, P., "Linking Reactivity Test Outputs to Properties of Cementitious Pastes Made with Supplementary

Cementitious Materials," *Cement and Concrete Composites*, V. 114, Nov. 2020, Article 103742.29. Moradillo, M.K.; HCung, C.-W.; Keys, M.H.; HCoudhary, A.;

29. Reese, S.R.; and Weiss, W.J., "Use of Borosilicate Glass Powder in Cementitious Materials: Pozzolanic Reactivity and Neutron Shielding Properties," *Cement and Concrete Composites*, V. 112, Sept. 2020, Article 103640.

30. Ramanathan, S.; Moon, H.; Croly, M.; HCung, C.-W.; and Suraneni, P., "Predicting the Degree of Reaction of Supplementary Cementitious Materials in Cementitious Pastes Using a Pozzolanic Test," *Construction and Building Materials*, V. 204, Apr. 2019, pp. 621-630.

31. Burroughs, J.F., "Influence of HCemical and Physical Properties of Poorly Ordered Silica on Reactivity and Rheology of Cementitious Materials," PhD Dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN, 2019, 161 pp.

32. Isgor, O.B., and Weiss, W.J., "A Nearly Self-Sufficient Framework for Modelling Reactive-Transport Processes in Concrete," *Materials and Structures*, V. 52, No. 3, Feb. 2019, 17 pp.



O. Burkan Isgor, FACI, es profesor en la Escuela de Ingeniería Civil y de Construcción en la Universidad Estatal de Oregon. Sus intereses de investigación incluyen la corrosión del acero en el concreto, el modelado de la vida útil del concreto y el modelado termodinámico de sistemas cementicios. Él es presidente del Comité 222 de ACI, Corrosión de Metales en el Concreto, y miembro de los Comités ACI 236, Ciencia de los materiales de concreto y 365, predicción de la vida útil.



Keshav Bharadwaj, es un Estudiante de doctorado en la Universidad Estatal de Oregon en Corvallis, Oregon, Estados Unidos. Sus intereses en incluyen el modelado termodinámico, reactividad y transporte en sistemas cementicios. Es un miembro asociado del Comité ACI 236, Ciencia de Materiales del Concreto



W. Jason Weiss, FACI, es Profesor Distinguido Edwards de Ingeniería en la Escuela de Ingeniería Civil y de Construcción en la Universidad Estatal de Oregón. Es presidente del Comité 81 de ACI, Junta Editorial de la Revista de Materiales y editor en jefe de ACI Materials Journal. También es miembro de la Junta Directiva del ACI, ACI Board Committee Chairs, el Comité de Actividades Técnicas de ACI y otros numerosos comités técnicos de ACI, incluyendo el Comité ACI 231, Propiedades del concreto a edades tempranas.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Costa Rica

Título: Un enfoque simplificado para determinar la reactividad puzolánica de materiales cementantes suplementarios comerciales



*Traductor y Revisor Técnico:
Dagoberto González*

¡LOS CAPÍTULOS DEL ACI y TU hacen una PAREJA PERFECTA!

Al acercarte y formar parte de tu Capítulo local de ACI, obtendrás entre otros beneficios el acceso a mayor y mejor conocimiento técnico, formarás parte de una red técnica y de una gran comunidad relacionada con la industria del concreto, no solo en tu localidad, sino también con alcance internacional. El Instituto Americano del Concreto, (ACI por sus siglas en inglés) tiene más de 300 Capítulos de profesionales, así como de estudiantes, relacionados con el concreto y esparcidos en todo el mundo.



Para conocer la lista completa de los Capítulos del ACI a nivel mundial consulta: www.concrete.org/Chapters



CONCRETO
LATINOAMÉRICA