

# EL CIELO ES EL LÍMITE



## TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

### EN ESTA EDICIÓN:

- » El cielo es el límite - Evolución en la construcción de edificios de gran altura
- » Clima frío - Estrategias de colocación de Concreto
- » La Sostenibilidad y la Rentabilidad en la edificación Verde
- » Procedimientos de Aplicación para Reparaciones de Concreto (RAP) - Boletines 4 y 5
- » Concreto de alto desempeño utilizando nanosílice
- » Materiales Cementicios Suplementarios (SCM)

# CONCRETO AL DÍA

## REVISTA DIGITAL DEL ACI PERÚ

Revista Digital Concreto al Día N° 04-15  
Año 02 N° 04-15 (Julio 2015)

### **JUNTA DIRECTIVA ACI PERÚ 2015-2016**

Presidente:	Luis Flores
1er. Vice-Presidente:	Luciano López
2do. Vice-Presidente:	Luis Villena
Tesorero:	Julio Rivera
Secretaria:	María Inés Castillo
Directores:	José Alvarez
	Aleksey Beresovsky
	Christian Chacón
	Julio Higashi
	Raúl Quezada
	Cristian Sotomayor
	William Baca

### **COMITÉ EDITORIAL**

Luis Flores  
Luciano López  
Cristian Sotomayor  
Christian Chacón  
Raúl Quezada  
José Lastarria

### **COLABORADORES EN ESTE NÚMERO:**

Luis Flores  
Raúl Quezada  
Luciano López  
Cristian Sotomayor  
Capítulo de Estudiantes ACI UNI  
Capítulo de Estudiantes ACI PUCP

### **CONCRETO AL DÍA**

Una publicación digital del Capítulo Peruano del Instituto Americano del Concreto

ACI-PERÚ

[www.aci-peru.org](http://www.aci-peru.org) - [info@aci-peru.org](mailto:info@aci-peru.org)

Teléfonos: (511) 275-3330 / (511) 256-0891 Anexo 210



Editorial	04
-----------	----

## SECCIÓN TÉCNICA

El cielo es el límite Evolución en la construcción de edificios de gran altura	06
---	----

Clima frío Estrategias de colocación de Concreto	12
---	----

La Sostenibilidad y la Rentabilidad en la edificación Verde	19
--	----

RAP-4S: Reparación de Superficies de Concreto mediante Técnicas de Encofrado y Vaciado	24
---	----

RAP-5S: Reparación de Superficies de Concreto mediante Técnicas de Encofrado y Bombeo	31
--	----

## CAPÍTULOS DE ESTUDIANTES

Concreto de alto desempeño utilizando nanosílice	40
--	----

Materiales Cementicios Suplementarios (SCM)	47
---	----

## ACI PERÚ NEWS

## SOCIOS PATROCINADORES

BASF	60
------	----

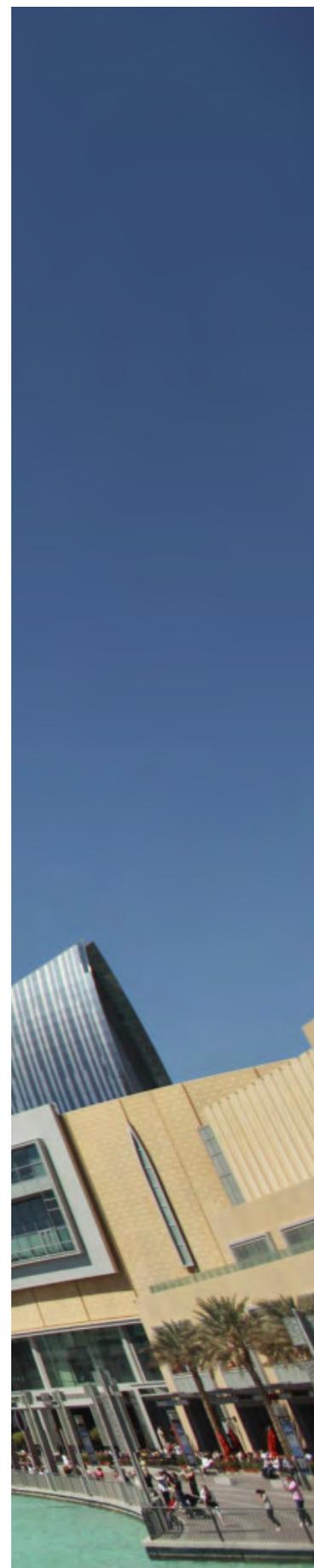
QSI	64
-----	----

SIKA	67
------	----

CHEMA	70
-------	----

ELASTO PLASTIC	72
----------------	----

ACEROS AREQUIPA	74
-----------------	----



# EDITORIAL



Hace algunas semanas se llevó a cabo la Juramentación de la Junta Directiva del Capítulo Peruano del ACI Perú para el periodo 2015-2016, cumpliendo así los Estatutos establecidos por nuestra organización. Durante la ceremonia pudimos compartir con nuestros Socios Patrocinadores e invitados especiales los planes y metas para los siguientes 2 años. Repasando nuestra vida institucional, podemos afirmar que luego de 3 décadas de accionar como una organización netamente técnica y educativa en el Perú, seguimos avanzando.

En el mes de mayo tuvimos el evento de Lanzamiento de la nueva versión del Código base de diseño ACI 318S-14, la mayor reorganización y actualización efectuada en dicho Comité en más de 40 años en un evento de asistencia masiva. Hoy venimos organizando este mismo lanzamiento en otras ciudades importantes. Ya hemos vendido más de 400 libros de esta importante norma, lo que demuestra el interés de nuestros socios y el público por las publicaciones de nuestra organización. Por nuestra parte estamos trabajando en editar e imprimir más documentos técnicos relacionados al uso eficiente del concreto.

Ahora estamos trabajando en un segundo seminario complementario con el anterior, referido a avances en la Tecnología de Concretos Especiales. Queremos revisar lo dispuesto por el nuevo Código para el concreto como material, y cubrir aspectos relacionado al uso del concreto, diseño de mezclas, durabilidad, etc. Por ello este número de "Concreto al Día" lo dedicamos a la Tecnología del Concreto y presentamos una recopilación de artículos muy interesantes.

Uno de ellos escrito por Pierre Claude Aitcin "El Cielo es el Límite", nos habla del avance de la tecnología del concreto y su uso eficiente en estructuras de gran altura. Todos seguramente nos quedamos admirados por estas grandes estructuras pero pocas veces nos ponemos a pensar en los retos que su construcción implica, como el bombeo del concreto a los niveles superiores, la resistencia del concreto en los niveles inferiores, etc.

También publicamos otro artículo relacionado a las "Estrategias de Colocación en Climas Fríos". En el Perú, nuestra variada geografía nos obliga a atender disposiciones especiales para climas extremos, por ello conviene siempre tener presente lo dispuesto por el Comité 306R y otros del ACI para climas extremos. Asimismo, compartimos con Ustedes un artículo sobre la sostenibilidad y la rentabilidad en las edificaciones llamadas "verdes" que buscan operar con un sistema de eficiencia energética, reduciendo los costos de operación y el impacto ambiental. Para finalizar, presentamos los últimos Procedimientos y Aplicaciones de Reparaciones (RAP, por sus siglas en inglés) que nos ayudarán en nuestras labores diarias. ¡Hasta un nuevo número!

¡ACI Perú, Siempre Avanzando!

# SECCIÓN TÉCNICA

# EL CIELO ES EL LÍMITE

## Evolución en la construcción de edificios de gran altura

Autores: Pierre Claude Aitcin y William Wilson.

Traducido al español por Ing. Cristian Sotomayor para ACI Perú, con el permiso de Concrete International

Durante los últimos 50 años, la tecnología del concreto ha realizado grandes progresos, principalmente debido al control de la reología del concreto a través del empleo de aditivos reductores de agua de alto rango (HRWRAs por su sigla en inglés) y aditivos modificadores de viscosidad (VMAs por su sigla en inglés). Por lo tanto, la reología del concreto ya no depende únicamente del agua, sino más bien de un equilibrio razonable entre el agua y las dosis de reductor de alto rango y modificador de viscosidad.

Reducir la relación agua cemento (a/c) o agua material cementante (a/mc) significa obtener partículas de cemento más cerca el uno al otro en la pasta de cemento hidratada de manera que la resistencia en compresión puede aumentar hasta más de 100 MPa, a pesar del hecho de que tales concretos no contienen suficiente agua para hidratar completamente todas las partículas de cemento. La resistencia en compresión sigue aumentando a medida que la relación a/c o a/ml disminuye debido a que la resistencia en compresión del concreto se relaciona más con la cercanía de las partículas de cemento en la pasta de cemento en lugar de la cantidad de cemento hidratado. La ley de Feret para pasta de cemento y la ley de Abrams para concreto siguen siendo válidas aun cuando no todas las partículas de cemento se hidratan.

Antes de la década de 1970, era imposible producir concretos con relación a/c menor que 0.40 y un asentamiento de 100 mm (4") a la vez. Los aditivos reductores de agua basados en lignosulfonatos (WRA por su sigla en inglés) que eran los únicos aditivos dispersantes disponibles entonces en el mercado no eran capaces de suficiente dispersión para proporcionar tal desempeño. Pero tan pronto como las propiedades de dispersión muy eficientes de polimelamina sulfonatos y polinaftaleno sulfonatos fueron descubiertos en Alemania<sup>1</sup> y Japón<sup>2</sup>, respectivamente, se hizo posible producir mezclas que tengan los dos parámetros de a/c menor que 0.40 y una caída de hasta 200 mm.

Estas dos innovaciones resultaron en una ventaja significativa en el concreto sobre el acero para la construcción de edificios de gran altura. Ya no es necesario usar grúas para transportar y colocar el concreto. Con la ayuda de los VMAs, el concreto puede ser bombeado desde el primer hasta el piso más alto. Por lo tanto, el concreto se bombea hasta 586 m utilizando una sola bomba durante la construcción de Burj Khalifa en Dubai. En un futuro cercano, se espera al bombeo de concreto llegar hasta 1000 m, pero las vigas y columnas de acero todavía tendrán que ser levantadas con grúas.

Este artículo presenta cómo la construcción de edificios de gran altura ha evolucionado desde las estructuras de acero totalmente estructurales a casi las estructuras de concreto armado exclusivamente, al discutir la construcción de algunas estructuras históricas construidas a partir de 1968 hasta la actualidad.

El artículo consta de dos partes. La primera parte analiza los edificios de gran altura: La Water Tower Place (1968) y la Torre CN en Toronto (1973) construidos con aditivos reductores de agua a base de lignosulfonato para ilustrar el estado del arte sobre la tecnología disponible antes de 1975 (antes de la llegada de los aditivos reductores de agua de alto rango en el mercado). La segunda parte analiza brevemente la construcción de edificios de gran altura con aditivos reductores de agua de alto rango: Scotia Plaza (1983), Two Union Square (1989), las Torres Petronas (1998), Burj Khalifa (2010), el Proyecto de Worli (actualmente en construcción), y la anunciada Kingdom Tower.

## La Era de los WRA Lignosulfonatos

### Water Tower Place

En la década de 1960, la resistencia a la compresión más elevada disponible en el Mercado de Chicago, Illinois, fue de 30 MPa para un concreto conteniendo un asentamiento de 100 mm. Este fue el concreto utilizado para construir columnas en edificios de gran altura hasta que Juan Albinger encontró que, seleccionando cuidadosamente el cemento, cenizas volante, y WRA, él fue capaz de duplicar esa resistencia en compresión.<sup>3</sup>

Para presentar su concreto de alta resistencia al mercado, Albinger utilizó la siguiente estrategia: Durante la construcción de un edificio de gran altura, solicitó permiso al ingeniero y al arquitecto para construir una columna de concreto de 41 MPa, sin costo adicional. Su propuesta fue aceptada. Al día siguiente, nadie se dio cuenta de cualquier diferencia entre este concreto de 41 MPa y el concreto de 28 MPa que se utilizó para la construcción de las otras columnas en el proyecto.

El arquitecto estuvo muy contento de ver que era posible reducir el tamaño de las columnas, por lo que pidió al ingeniero diseñar el siguiente edificio de gran altura con un concreto de 41 MPa. El ingeniero también estaba feliz de disminuir la carga muerta del edificio. Durante la construcción del edificio de gran altura 41 MPa, John Albinger repitió sus tácticas y pidió permiso para fabricar una columna de concreto de 52 MPa, una vez más, sin costo adicional.

El mismo enfoque fue empleado con el concreto de 62 MPa, el cual abrió la puerta a los arquitectos y a los ingenieros para diseñar el próximo edificio Water Tower Place (figura 1 (a).) - Con ayuda del concreto de 62 MPa para las columnas de los pisos inferiores. A continuación, la resistencia en compresión se disminuyó progresivamente hasta 28 MPa para las columnas de los pisos superiores. Mediante el ajuste de la cantidad de acero de refuerzo, el ingeniero fue capaz de mantener la misma área de sección transversal para todas las columnas del edificio de manera que el mismo conjunto de encofrados de acero prefabricado podría ser utilizado desde la primera a la última planta. Además, como todas las plantas tenían exactamente el mismo patrón geométrico, el acabado interior se convirtió en una operación repetitiva resultando en importantes economías.

### La Torre CN

Hasta la construcción reciente de Burj Kalifa, la Torre CN en Toronto, Ontario, Canadá, fue la estructura de concreto independiente más alta en el mundo a 482 m, como se muestra en la figura 1 (b). La torre fue construida usando encofrado deslizante y un concreto con aire incorporado con una resistencia a la compresión promedio de 55 MPa<sup>4</sup>. El concreto tuvo que ser con aire incorporado para ser resistente a la congelación y deshielo. La torre fue construida en forma continua desde principios de mayo hasta finales de noviembre, con temperaturas ambiente tan elevadas como 35 °C y tan bajas como -10 ° C. Debido a que las paredes eran de 2,1 m de espesor en la base de la torre, un cemento con un bajo calor de hidratación tuvo que ser utilizado para limitar los gradientes térmicos. El cemento Portland normal fue entonces sustituido progresivamente por el cemento de bajo calor de hidratación inicial ya que el clima se estaba poniendo más y más frío, conforme la estructura iba en aumento. Ensayos acelerados también fueron realizados para controlar la resistencia a la compresión del concreto durante la construcción.

## La Era de los HRWRAs

### Scotia Plaza

El Scotia Plaza en Toronto, Ontario, Canadá, es un atractivo edificio de oficinas de 68 pisos (275 m) de altura, enchapado con granito rojo. Su estructura de concreto se construyó utilizando encofrado en escalada (Fig. 2 (a)) y un concreto sin aire incorporado con una máxima resistencia a la compresión de diseño de 70 MPa, la máxima resistencia permitida por el Código de Construcción de Canadá en ese tiempo<sup>5</sup>. Una mezcla ternaria de cemento Portland, cemento de escoria, y humo de sílice fue utilizada para obtener dicha resistencia a la compresión. El concreto tuvo una relación agua/ material cementante de 0.30 y un asentamiento de 175 mm, y fue bombeado desde el primer hasta el último piso.

Para cumplir con el requisito de temperatura máxima de 18°C para el concreto fresco del proyecto, el concreto tuvo que ser enfriado con nitrógeno líquido durante los días cálidos de julio. Ensayos

acelerados y ensayos de extracción de muestras (Pull out) fueron usados para controlar la resistencia a la compresión del concreto mientras la construcción avanzaba.



Fig. 1: Edificios de gran altura construidos antes de 1975: (a) Water Tower Place (crédito de foto: © Jeremy Atherton); y (b) La CN Tower (Cortesía de foto de Benson Kua)

### Two Union Square

Seattle, en Washington, es una ciudad con mucho viento. Para reducir al mínimo las desviaciones laterales, los diseñadores de edificio decidieron construir una estructura compuesta rígida con tubos de acero para confinamiento del concreto conteniendo un módulo de elasticidad de 50 GPa (ver la Fig. 2 (b)).<sup>6</sup> Para hacer tal concreto, el productor de concreto fue obligado a importar agregados de las cercanías de Canadá: una gravilla granítica glacial con un tamaño máximo de 10 mm. Esta grava glacial tenía varias ventajas: era dura y había sido aplastada por la acción lenta del glaciar y no brutalmente por las trituradoras, estaba compuesta de partículas redondeadas particularmente útiles desde el punto de vista reológico, y las partículas tenían una superficie rugosa que demostraban muy buenas propiedades de adherencia con la pasta de cemento (en contraste con las gravas de río pulidas por sedimentos muy finos). Para cumplir con el requisito de módulo de elasticidad de 50GPa, la relación agua / cementante tuvo que ser limitada a 0.22. La resistencia en compresión resultante fue de 131 MPa, a pesar del hecho de que la resistencia de diseño utilizado por el ingeniero fue sólo 90 MPa.<sup>7</sup>

El suministro de un concreto con relación  $a/mc$  0.22 no era (y todavía no es) una tarea fácil porque el tiempo es crítico. Por lo tanto, se decidió transportar el concreto en las noches de los fines de semana para minimizar los problemas de tráfico. Para mitigar la mala voluntad en la comunidad que rodea a la planta de concreto, el contratista y el productor de concreto ofrecieron construir, de forma gratuita, una zona de juegos para los niños de esa comunidad, una zona de juegos que la ciudad de Seattle se le había sido negada a construir desde hace varios años. También, tapones para los oídos fueron proporcionados libremente para aquellos quienes los necesitaban para tener un sueño tranquilo durante las noches de fin de semana cuando el concreto tuvo que ser entregado. La comunidad estuvo feliz de llevar a cabo tal acuerdo.

### Las Torres Petronas

Justo antes del 2000, Estados Unidos perdió su supremacía en materia de la construcción de los edificios de gran altura cuando la Corporación Petronas de Malasia decidió construir 451,9 m de altura, 1,5 veces la altura de la torre Eiffel, de las torres gemelas en Kuala Lumpur, Malasia. Las torres muestran en la Fig. 2 (c) que son esencialmente de concreto con diferentes resistencias, el más fuerte teniendo una resistencia a la compresión de 80 MPa (11600 psi) para las columnas de los pisos menores<sup>8</sup>.

Durante la construcción de este edificio, los ingenieros de Samsung encontraron que no era práctico levantar cubos de concreto hasta los pisos superiores, debido al número limitado de grúas disponibles. Por lo tanto, ellos iniciaron un programa de investigación y desarrollo importante en el bombeo de concreto de alto rendimiento. Esta investigación está todavía en curso.<sup>9,10</sup>

### Burj Khalifa

Burj Khalifa en Dubai, los Emiratos Árabes Unidos (Fig. 3 (a)), a 828 m de altura, es actualmente el edificio más alto del mundo. Se trata de una estructura de concreto armado de hasta 586 m. El concreto fue transportado por una bomba única hasta esta altura.<sup>11</sup> Durante la construcción de la estructura de acero en la parte superior de la estructura de concreto, los ingenieros de Samsung encontraron que erigir los últimos 242 m era muy doloroso, que consume tiempo, y muy costoso porque tenían sólo dos grúas para hacerlo. Estas dos grúas operaron día y noche para levantar piezas de acero, y era imposible para completar la instalación de acabados en este periodo. Por lo tanto, como el acero no se puede bombear, se les solicitó a los ingenieros de Samsung para diseñar todos los futuros edificios de gran altura en su totalidad con concreto.

### Worli Project

En Mumbai, India, la corporación Samsung está ahora supervisando la construcción de una estructura de concreto de 83 pisos donde todo el concreto se bombea desde el primer piso hasta la parte superior. La bomba de concreto se alimenta directamente por el camión de concreto. Las columnas de los pisos más bajos se están construyendo con un concreto de 80 MPa con un asentamiento de 200 mm, y todas las losas de piso con un 30 MPa concreto autonivelante tener un bajón flow.<sup>12</sup>

Este es el actual estado del arte para la construcción de edificios de gran altura (ver la Fig. 3 (b)). Estamos muy lejos del concreto de 60 MPa con un asentamiento de 100 mm y colocado usando baldes, como se hizo para la construcción del edificio Water Tower Place en 1968.

### Kingdom Tower

El grupo Binladin Arabian Saudí ha estado considerando la construcción de una torre elevada de 1,6 km (aproximadamente 1 milla) la Torre Unido en Jeddah, Arabia Saudita (Fig. 3 (c)). Su equipo técnico ha determinado, sin embargo, que la transición desde el Burj Khalifa de 800 metros a 1,6 kilómetros es demasiado ambiciosa. No obstante, un edificio de 1000 m es factible. Dos escenarios de bombeo están actualmente en estudio. El primero de ellos es el uso de una bomba de concreto capaz de transportar concreto hasta 1000 m. Si este escenario no funciona, la alternativa sería el uso de dos bombas en serie, con cada uno capaz de transportar el concreto a 500 m. Se utilizará concreto autocosolidante para la mayoría de los elementos, y se espera resistencias a la compresión de hasta 100 MPa para las columnas. La firma de Servicios de Tecnología Avanzada de la Construcción Servicios ha sido contratada para proporcionar el control de calidad con un laboratorio en el sitio.<sup>13</sup>



**Fig. 2: Edificios de gran altura construidos con HRWRAs: (a) Construcción del Scotia Plaza (Cortesía de foto de John Bickley); (b) construcción de dos Union Square (Cortesía de foto de Weston Hester); y (c) Las Torres Petronas (Cortesía de foto de Morio y Wikimedia Commons)**



Fig. 3: Edificios rascacielos más altos: (a) Burj Khalifa; (b) Construcción del proyecto Worli (Cortesía de foto de Pierre-Claude Aitcin)

### ¿Por qué tan alta?

¿Por qué construir estructuras súper altas? Una de las razones es el prestigio de decir: “Hemos construido la estructura más alta del mundo” Pero este prestigio es efímero. Con el tiempo, los edificios más altos, incluso se construirán en otras partes. Una de las razones de mayor duración para desafiar los límites de altura de las estructuras debería ser contribuir a la evolución de las prácticas de construcción estándar. Gracias a constructores pioneros, proveedores, arquitectos, ingenieros y científicos de los materiales, que actualmente dominamos la tecnología del concreto en un nivel que era impensable hace 50 años. Y el concreto está empezando a sustituir en gran medida al acero como el material más adecuado para la construcción de estructuras de gran altura. Con la tecnología actual de concreto, es posible aumentar la resistencia de los concretos en el mismo nivel que las rocas más fuertes encontradas en la naturaleza, bombear estos concretos hasta 600 m, y muy pronto hasta 1000 m, y mejorar la trabajabilidad de estos concretos para que la vibración ya no sea necesaria durante la colocación.

Además, cuando uno tiene éxito en el bombeo de un concreto de alta resistencia hasta 600 m, las estructuras de edificios de 200 y 300 m de altura, con 50 a 80 pisos se convierte en un ejercicio relativamente trivial. Según Clark,<sup>14</sup> el gran mercado para la construcción de los edificios de gran altura en los próximos años son estas torres altas de 200 a 300 m. Cuando se construye tales estructuras, las fuerzas laterales que actúan sobre el edificio se pueden tomar en cuenta de forma relativamente fácil durante el proceso de diseño. Más allá de esta altura, la etapa de diseño se vuelve más complicado y costoso.

### Conclusiones

Debido al desarrollo de los HRWRAs potentes y VMAs, ahora es posible construir de manera muy eficiente y económicamente estructuras de concreto de gran altura. Gracias a los empresarios e inventores que desafiaron los límites de empleo del concreto, la industria ha aprendido progresivamente a bombear concretos de alta resistencia más y más alto. Tal vez el cielo es el único límite.

### Bibliografía

1. Meyer, A., “Experiences in the Use of Superplasticizers in Germany,” Superplasticizers in Germany, SP-62, V.M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1979, pp. 21-36.
2. Hattori, K., “Experiences with Mighty Superplasticizer in Japan,” Superplasticizers in Germany, SP-62, V.M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1979, pp. 37-66.
3. “Water Tower Place—High Strength Concrete,” Concrete Construction, V. 21, No. 3, Mar. 1976, pp. 100-104.

4. Bickley, J.A., "The CN Tower—A 1970's Adventure in Concrete Technology," ACI Spring Convention 2012, address at the student lunch meeting, Toronto, ON, Canada, 2012, p. 20.
5. Ryell, J., and Bickley, J.A., "Scotia Plaza: High Strength Concrete for Tall Buildings," Symposium on Utilization of High Strength Concrete, Stavanger, Norway, 1987, pp. 641-653.
6. Ralston, M., and Korman, R., "Put That in Your Pipe and Cure It," Engineering News Record, V. 22, No. 7, Feb. 1989, pp. 44-53.
7. Howard, N.L., and Leatham, D.M., "The Production and Delivery of High-Strength Concrete," Concrete International, V. 11, No. 4, Apr. 1989, pp. 26-30.
8. Thornton, C.H.; Hungspruke, U.; and Joseph, L.M., "Design of the World's Tallest Buildings—Petronas Twin Towers at Kuala Lumpur City Centre," The Structural Design of Tall Buildings, V. 6, No. 4, Dec. 1997, pp. 245-262.
9. Kwon, S.H.; Park, C.K.; Jeong, J.H.; Jo, S.D.; and Lee, S.H., "Prediction of Concrete Pumping: Part I—Development of New Tribometer for Analysis of Lubricating Layer," ACI Materials Journal, V. 110, No. 6, Nov.-Dec. 2013, pp. 647-655.
10. Kwon, S.H.; Park, C.K.; Jeong, J.H.; Jo, S.D.; and Lee, S.H., "Prediction of Concrete Pumping: Part II—Analytical Prediction and Experimental Verification," ACI Materials Journal, V. 110, No. 6, Nov. 2013, pp. 657-667.
11. Aldred, J., "Burj Khalifa—A New High for High-Performance Concrete," Proceedings of the ICE - Civil Engineering, V. 163, No. 2, May 2010, pp. 66-73.
12. Nehdi, M.L., "Only Tall Things Cast Shadows: Opportunities, Challenges and Research Needs of Self-Consolidating Concrete in Super-Tall Buildings," Construction and Building Materials, V. 48, Nov. 2013, pp. 80-90.
13. "Concrete Quality-Control Lab to be Onsite at Kingdom Tower," Concrete SmartBrief, Feb. 18, 2014.
14. Clark G., "Challenges for Concrete in Tall Buildings," Structural Concrete, accepted and published online, Nov. 2014. (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/suco.201400011/full>)

Seleccionado para el interés del lector por los editores.



Miembro Honorario del ACI. Pierre-Claude Aitcin es profesor emérito de la Universidad de Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canadá. Fue el Director Científico de Concreto en Canadá, la Red de Centros de Excelencia sobre Concreto de Alto Desempeño durante 8 años. También ocupó una Presidencia Industrial sobre la Tecnología de Concreto durante 9 años en colaboración con 13 socios de la industria.



Miembro del ACI. William Wilson viene realizando estudios de postgrado avanzado en la Universidad de Sherbrooke. Sus intereses de investigación incluyen caracterización de la microestructura y las propiedades de ingeniería del concreto de alto durabilidad incorporando materiales cementicios suplementarios alternativos. Recibió su grado de Bachiller en la Universidad de Sherbrooke y su grado de Magister en Ciencia en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, Cambridge, Massachusetts.

# CLIMA FRÍO ESTRATEGIAS DE COLOCACIÓN DE CONCRETO

Eligiendo sistemas de protección sostenible en climas fríos.

Autores: Ronald L. Kozikowski, Calvin W. McCall y Bruce A. Suprenant.  
Traducido al español por Ing. Luciano López Vinatea para ACI Perú.

Se ha estimado que el costo asociado con la construcción de concreto en clima frío (por ejemplo, proporcionando microclimas con calefacción) puede exceder el costo del concreto premezclado.<sup>1</sup> Este artículo proporciona una revisión de prácticas de colocación de concreto en clima frío y sus efectos en los costos de construcción y de calidad, y propone estrategias para la protección ante climas fríos basadas en principios del concreto y experiencias de contratistas.

## REQUISITOS Y RECOMENDACIONES ACI

La colocación del concreto que realizan los contratistas en superficies frías frecuentemente son orientados a tres documentos del ACI: "Especificaciones de Concreto Estructural (ACI 301-10),"<sup>2</sup> "Especificación Estándar del concreto en clima frío (ACI 306,1-90),"<sup>3</sup> y "Guía del concreto en clima frío (ACI 306R-10)".<sup>4</sup> Pero las estrategias de colocación de concreto en clima frío previstas en estos documentos tienen diferencias significativas.

ACI 301 y ACI 306.1 son escritos en lenguaje imperativo y por lo tanto proporcionan requisitos cuando son citadas en las especificaciones del proyecto. Sección 5.3.2.1b de la edición 2010 de ACI 301<sup>2</sup> establece: "A menos que sea permitida, no coloque el hormigón en contacto con superficies de menos de 35°F [1,7°C]. "Este requisito no estaba en la edición del 2005 de ACI 301, y no hay ningún requisito similar en la de 1990 edición del ACI 306.1.<sup>3</sup>

ACI 306R-10<sup>4</sup>, la Sección 6.1, establece que: "Las mejores prácticas indican que todas

las superficies deben estar por encima del punto de temperatura de congelación del agua. Sin embargo, tenga cuidado de limitar la superficie a temperaturas de no mayor de 10°F (5°C) o menor de 15°F (8°C) que la temperatura del concreto para evitar ajustes incompatibles, la pérdida rápida de humedad, y el agrietamiento por contracción plástica." Estas dos frases tienen dos recomendaciones significativamente diferentes para las superficies que entran en contacto con el concreto fresco. Mientras que el primero indica que las superficies deben estar por encima de 32°F (0°C) -ligeramente inferior que ACI sobre 32°F (0°C) significativamente menor que ACI 301-10<sup>2</sup> requisito de 35°F (1.7°C) la segunda impone una envolvente de temperatura basada en la temperatura del concreto (esto puede ser significativamente mayor que el requisito de ACI 301).

La Tabla 5.1 del ACI 306R-10<sup>4</sup> proporciona las temperaturas recomendadas mínimas del concreto. Para las secciones de concreto menores de 12 pulgadas (305 mm) de espesor, por ejemplo, la temperatura del concreto recomendada es 55°F (13°C). Por lo tanto, la envolvente de temperatura de la superficie sería de entre 40° a 65°F (5 a 18°C). Aunque ACI 306R es una Guía de ACI y no supone referencias en las especificaciones del proyecto, a menudo se toma como tal el resultado, algunos inspectores/supervisores tratan de hacer cumplir las recomendaciones, con efectos potencialmente costosos. Por ejemplo, es posible que un inspector pudiera requerir a un contratista que aumente la

temperatura de la superficie mínima de 40° a 45°F (4 a 7°C) si la temperatura del hormigón fuera a aumentar de 55 a 60°F (13 a 16°C).

Independientemente de las diferentes disposiciones de clima frío contenidos en los documentos del comité ACI actual, es importante determinar qué superficie y temperaturas embebidas pueden ser perjudiciales para el concreto. Esta información puede ser utilizada para desarrollar estrategias de colocación de concreto que proporcionen una protección eficaz, rentable y ambientalmente responsable del concreto fresco.

### ESTRATEGIAS DE COLOCACIÓN DE CONCRETO EN CLIMA FRÍO

Basado en los requisitos y/o recomendaciones que figuran en los documentos del comité ACI analizados, las estrategias de colocación del concreto en clima frío para evitar tanto el congelamiento temprano como promover la caída del desarrollo de la resistencia caen dentro de dos categorías: colocación de concreto contra un encofrado y acero de refuerzo fríos, y la colocación de concreto con inserciones metálicas masivas en climas fríos.

Cuando se coloca concreto contra las superficies de encofrados y acero de refuerzos fríos, se proporcionan tres estrategias (Fig. 1):

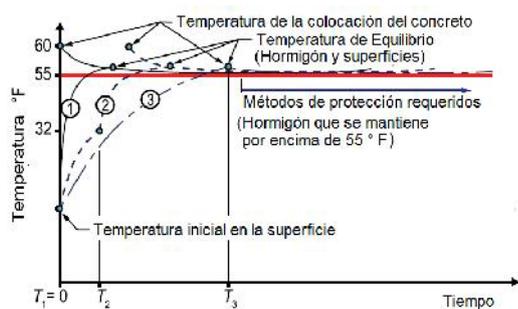


Figura. 1: Los documentos producidos por el Comité ACI 306 ofrecen tres opciones a la hora de colocar el concreto en el encofrado y el acero de refuerzo fríos: La opción 1 es para permitir que el calor del concreto fresco caliente las superficies frías, la opción 2 es para calentar la superficie a 32°F (0°C) antes de la colocación por la aplicación de calor en el tiempo  $t_1$  a  $t_2$ , y la Opción 3 es calentar las superficies a una temperatura comprendida entre 15 °F (8 °C) a menos de 10°F (5°C) más que el temperatura del hormigón mediante la aplicación de calor en el tiempo  $T_1$  a  $T_3$ . La energía incorporada de la estructura se incrementará en consecuencia. (Nota: ° F = 1,8 ° C + 32)

1. Utilice la temperatura del concreto para calentar los encofrados y el acero de refuerzo y así mantener la temperatura requerida del concreto por los métodos de protección a través del período de protección prescrita (permitido por ACI 306.1-90<sup>3</sup>);

2. Calentar el encofrado y el acero de refuerzo a un mínimo de (0°C) 32°F, colocar el concreto, y luego mantener la temperatura requerida del concreto por los métodos de protección a través del período de protección prescrita (requerido por la ACI 301-10<sup>2</sup> y recomendado en ACI 306R-10<sup>4</sup>);

3. Calentar el encofrado y acero de refuerzo dentro de 15°F (8°C) y menos de 10°F (5°C) más que la temperatura del concreto ya colocado, colocar el concreto, y luego mantener la temperatura requerida del concreto por métodos de protección a través del período de protección prescrita (recomendación secundaria en ACI 306R-10<sup>4</sup>).

Al colocar inserciones masivas de concreto en climas fríos, se proporcionan dos estrategias (Fig. 2):

- Calentar los insertos metálicos masivos (según lo señalado por el especificador) a un mínimo de (0°C) 32°F, coloque el concreto, y luego mantenga la temperatura requerida del concreto por los métodos de protección a través del período de protección prescrita (requerido por la ACI 306.1-90<sup>3</sup> y ACI 301-10<sup>2</sup>; recomendado por ACI 306R-10<sup>4</sup>); o
- Calentar los insertos metálicos masivos del frío masivo (según lo señalado por el especificador) a la temperatura del concreto, colocar el concreto, y luego mantener la temperatura requerida del concreto por los métodos de protección a través del período de protección prescrita (recomendación secundaria en ACI 306R-10<sup>4</sup>).

Las cinco estrategias para ambas categorías pueden ser satisfechas mediante una de las siguientes opciones:

- Requiere el calentamiento de las superficies frías y embebidas a un mínimo de 32°F (0°C);
- Requiere el calentamiento de las superficies frías y embebidas a una temperatura que es casi la misma que la temperatura del concreto ya puesto o;

- Permita que el concreto ya colocado caliente las superficies frías y embebidas.

Hay diferencias considerables en la cantidad de energía necesaria para cada uno y por lo tanto la energía intrínseca asociadas al proyecto. Mientras que la selección no solo debe basarse en el cumplimiento de los objetivos paralelos de la prevención de concreto de la congelación temprana y promover el aumento de la resistencia del concreto a través del periodo de protección, sino también debe basarse en el impacto medioambiental y los costes económicos.

### OBJETIVOS DE ACI 306R

#### Prevención del congelamiento

ACI 306R-10<sup>4</sup> enumera los objetivos de las prácticas de colocación de concreto en clima frío. El objetivo principal es evitar daños en el concreto debido al congelamiento a edad temprana. En el tiempo en que el concreto alcanza una resistencia a la compresión de 500 psi (3.5 MPa), se espera ha sido suficiente para que el agua de mezcla se haya combinado con el cemento durante la hidratación, disminuyendo de ese modo el grado de saturación del concreto por debajo del nivel crítico (nivel en el que un solo ciclo de congelamiento hace daño)

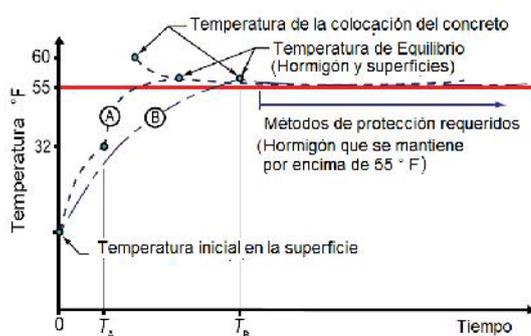


Figura. 2: Los documentos producidos por el Comité ACI 306 ofrecen dos opciones a la hora de colocar el concreto con insertos masivos en frío.

La mayoría de las mezclas de concreto bien proporcionadas alcanzan esta resistencia a 50°F (10°C) en 48 horas. Si el concreto se congela antes de alcanzar una resistencia a la compresión de 500 psi (3.5 MPa), uno de los objetivos del ACI 306R-10<sup>4</sup> no sería posible alcanzar como es el aumento de la resistencia y la durabilidad a largo plazo.

Cuando se trata de concreto recién colocado, sólo existen dos posibles mecanismos para el congelamiento a edad temprana: congelación

por contacto o congelación por inmersión. Para que el agua se congele por contacto con una superficie, la misma debería estar súper fría (por debajo de 32°F [0°C]).<sup>5</sup> Sin embargo, dadas las recomendaciones indicadas en ACI 306R-10,<sup>4</sup> ACI 306.1-90,<sup>3</sup> y ACI 301-10,<sup>2</sup> la temperatura mínima de colocación de concreto debe ser al menos 40°F (5°C). Por consiguiente, el agua de mezcla estará muy por encima del punto de congelación y el congelamiento por contacto no será posible, independientemente de la temperatura de la superficie de contacto. Esto se puede demostrar mediante el vertido de agua a 50°F (10°C) sobre cualquier superficie debajo de 32°F (0°C), el agua no se congelará al entrar en contacto con la superficie. Sin embargo todavía se puede enfriar por dejado de 32°F (0°C) y congelar en el tiempo. Este mecanismo la congelación por inmersión, puede ocurrir en el concreto.

Cuando se coloca concreto cálido sobre superficies frías, el calor del concreto se transferirá a los materiales fríos y al aire frío circundante. Como resultado, el agua de la mezcla de concreto puede enfriarse hasta alcanzar el punto de congelación. Sin la aplicación de calor suplementario, la hidratación de concreto puede disminuir y extenderse el tiempo necesario para alcanzar una resistencia de 500 psi (3.5 MPa). Al mismo tiempo, esto reduce la cantidad de calor que se genera en el concreto internamente y reduce el tiempo necesario para que las superficies frías y el aire circundante frío puedan mantener el calor en la mezcla y no causar congelamiento. Aditivos acelerantes de fragua son usados con frecuencia para disminuir el tiempo que tarda el concreto para alcanzar una resistencia mínima de 500 psi (3.5 MPa) y mejorar las posibilidades de que el concreto empiece a ganar la resistencia necesaria antes que se congele el agua de la mezcla. Recientemente hemos demostrado<sup>6</sup> que el agua de la mezcla en concreto colocado en alrededor de 58°F (14°C) no se congela cuando es puesto en contacto con una barra N°18 a -5°F (-21°C) (Fig.3). Trabajo analítico previo de Suprenant y Basham<sup>7</sup>, citado en ACI 306R-88,<sup>8</sup> incluyó el supuesto de que el concreto se congela a 22°F (-6°C), mientras que el trabajo por Swift et al.<sup>9</sup> asume que el agua de la mezcla se congeló donde la interface del concreto- acero de refuerzo estuvo por debajo de 32°F (0°C).

Nuestros resultados experimentales no mostraron ningún punto de congelación para cualesquiera de las muestras de concreto colocados contra acero de refuerzo frío. Basado

en este trabajo, podemos concluir que la congelación del agua de la mezcla de concreto no es posible bajo las condiciones de temperatura utilizadas en el estudio (el concreto a aproximadamente 60°F (16°C) y el acero de refuerzo a aproximadamente -5°F (-21°C)).

Cabe señalar también que incluso una barra N° 18, que comprende el 5% del volumen total de la muestra causó la caída de temperatura en el concreto de sólo alrededor del 2°F (1,1°C) antes de alcanzar el equilibrio con el acero. El reciente trabajo experimental también mostró que el concreto calienta el acero de refuerzo a 32°F (0°C) con bastante rapidez, para las barras de refuerzo que no son consideradas inserciones masivas por ACI 306 (barra N°9 o menor), las barras ensayadas fueron calentadas a 32°F (0°C) solo 1 minuto después de colocado el concreto. Para las barras que se consideran masivas (barras N°s 11, 14 y 18), el concreto calienta las barras a 32°F (0°C) a 5 minutos después de la colocación del concreto.

La Ley cero de la termodinámica se puede ampliar para predecir la temperatura del concreto colado contra las superficies de encofrado y el acero de refuerzo fríos. Por ejemplo, si se moldea concreto a 58°F (15°C) contra las superficies de encofrado y acero a -5°F (-21°C) (encofrado de madera contrachapada de ¾ pulg. [19 mm] y una barra N°18 a una relación de concentración del 5%), la temperatura de equilibrio será de aproximadamente 53°F (12°C). Está claro que no habrá congelamiento por inmersión.

### AUMENTO DE RESISTENCIA

Documentos del ACI recomiendan, es más; exigen que el concreto debe protegerse de las temperaturas mínimas que van desde 40° a 55°F (5 a 13°C). Puesto que el concreto no se puede congelar por contacto y sería muy difícil su congelamiento por inmersión (sólo puede ser posible con inserciones masivas), este requisito asegura que el concreto se mantendrá por encima del nivel de congelación para promover el aumento necesario de la resistencia. Si el concreto se utiliza para calentar las superficies frías, es probable que pierda sólo 5°F (3°C). Por lo tanto, el momento adecuado para utilizar métodos de protección será aproximadamente el mismo que sería si las superficies se precalientan antes de la colocación del concreto.

También hay un giro interesante con respecto a lo que se indica en ACI 306R-104 que recomienda temperaturas mínimas de concreto y ACI 301-102 y ACI 306.1-903 que requiere una temperatura mínima en el concreto. Mientras que los tres documentos usan la misma temperatura mínima de concreto colocada y mantenida, ACI 306.1-90 proporciona instrucciones de contingencia:

“Protección deficiente - Si no se cumplen los requisitos de temperatura durante el periodo de protección especificado en el que el concreto impide la congelación, dicha protección debe continuar hasta el doble de la deficiencia de la protección compuesta en grado-hora.”

Por lo tanto, las “mínimas” temperaturas en ACI 306.1 se pueden allanar con un plan de protección de la deficiencia en el lugar. Somos conscientes de los casos en los que se ha utilizado el plan de la deficiencia de protección. Por lo general, dejando mantas aislantes en el lugar por uno o dos días extras, ha sido suficiente para compensar la deficiencia de la protección en grados-hora.

### MINIMIZANDO PROBLEMAS DE VACIADO

ACI 306R-10<sup>4</sup> recomienda calentar las superficies frías para evitar inconsistencia en el fraguado, pérdida rápida de humedad, y el agrietamiento por contracción plástica. Las recomendaciones son que las superficies frías deben calentarse a no más de entre 10°F (5°C) y 15°F (8°C), menos que la del concreto. Estos límites de temperatura son similares a lo que prevén los contratistas cuando colocan el concreto en un local cerrado. Pero rara vez se coloca el concreto en un local cerrado, y los contratistas son muy conscientes de cómo las temperaturas frías pueden afectar las propiedades del concreto fresco y el acabado.

Además, los encofrados de los muros y columnas protegerán al concreto de la pérdida de humedad rápida y agrietamiento por contracción plástica, parece que la recomendación de temperatura se aplica a losas de concreto expuesta. Nuestras pruebas mostraron que una superficie de una barra fría tuvo un pequeño efecto sobre el concreto fresco a una distancia superior a un diámetro de una barra (Fig. 3). Además, los análisis numéricos realizados por Swift et al.<sup>9</sup> mostraron que las variaciones en la temperatura ambiente del aire y las temperaturas del encofrado tenían efectos

insignificantes en la temperatura de la interface concreto-acero.

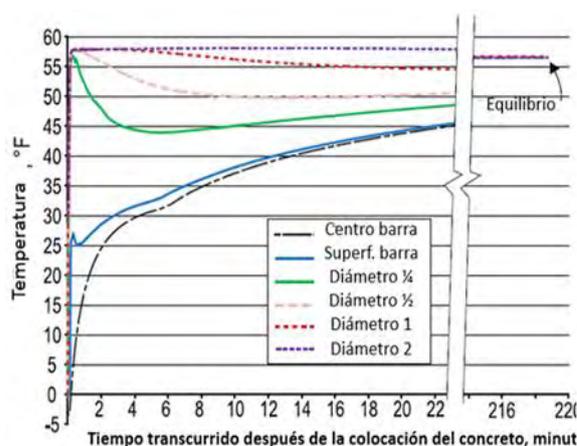


Figura. 3: Las lecturas de temperatura para una barra N° 18 con una relación de concentración de acero de 1%. Las lecturas en la superficie de la barra presentan una caída ligera a una temperatura de 26 a 25°F (-3,3 a -3,9°C) en aproximadamente unos 30 segundos. Mientras que un muy pequeño pico es evidente y podría indicar la formación inicial de hielo, dicha elevación persiste durante sólo unos 20 segundos. La cantidad de hielo sería muy pequeña y se derretiría cuando el concreto calienta la superficie de la barra por encima de (0°C) 32°F. Las curvas de temperatura convergen en alrededor de 220 minutos a una temperatura de equilibrio de (13.7°C) 56.6°F. Sobre la base de la temperatura de la barra inicial de -4,1°F (-20°C) y la temperatura del concreto inicial de 58,1°F (14,5°C), tenemos que la temperatura de equilibrio calculado fue de 57,0°F (13,9°C) <sup>6</sup>

Tomados en conjunto, es evidente que las superficies frías situados lejos de la superficie expuesta del concreto no tendrán efectos significativos en la temperatura de la superficie del mismo. Por lo tanto, no está claro por qué las recomendaciones de calefacción para reducir al mínimo los problemas de vaciado de concreto se incluyen en ACI 306R-10.

### RECOMENDACIONES Y ESTRATEGIAS EN CLIMAS FRÍOS

Las estrategias de utilización de concreto en clima frío indican que se debe proteger el concreto de la congelación y promover el aumento de la resistencia. Sin embargo, la estrategia para el uso de concreto en clima frío, también debe reducir al mínimo la energía involucrada en el proyecto de construcción.

Nuestras pruebas y discusiones publicadas en este artículo, pueden servir como los tres principios básicos para el desarrollo de estrategias en el uso de concreto en clima frío:

- No es posible la congelación del agua de la mezcla de concreto ni por contacto, ni por inmersión;
- El encofrado de acero y superficies frías, provocan disminuciones insignificantes en la temperatura del concreto colocado; y
- Aquellas secciones de acero macizo con áreas de sección transversal mayores que una barra N°18 (4pulg.2 [2500 mm<sup>2</sup>]) (Fig. 4), a temperaturas de al menos 10°F (-12°C) no congelan el agua de la mezcla del concreto colocado a una temperatura de (13°C) o más (55°F).



Figura. 4: Las inserciones masivas se clasifican actualmente como secciones de acero de más de una barra No. 9. Sobre la base de los hallazgos recientes, 6 es recomendable que la clasificación masiva de empotramiento se aumente a secciones de acero de más de un barra N°18 (4 pulg2 [2500 mm<sup>2</sup>] área de sección transversal)

Observamos además, que las experiencias de los contratistas con concreto en frío confirman:

- Calefacción de superficies frías es un proceso que consume tiempo y costos. Dependiendo de las condiciones ambientales y el tamaño del proyecto, se puede tomar de 24 a 72 horas para calentar encofrado y acero de refuerzo a más de 32°F (0°C);
- Aunque un contratista debe anticipar cuando el concreto está listo para ser colocado y por lo tanto también cuándo debe iniciarse el calentamiento de las superficies frías, es común continuar el calentamiento de las superficies incluso si la colocación tiene que ser retrasada. Esto aumenta el costo-tiempo de la utilización de concreto en clima frío,

sin embargo, no proporciona beneficio para el concreto;

- Debido a que las bajas temperaturas pueden afectar la productividad de la mano de obra y equipos, así como el comportamiento del concreto fresco, hay límites prácticos para las operaciones con concreto. Estas pueden variar según la ubicación, pero considerando un límite de temperatura práctica de  $-4^{\circ}\text{F}$  ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) como se ha reportado en la literatura.<sup>10</sup>

Considerando principios básicos y las experiencias de los contratistas, se proponen las siguientes estrategias para el concreto en climas fríos contra superficies frías, inserciones masivas, evitando el congelamiento y promoviendo el incremento de la resistencia:

- Superficies frías - La investigación reciente verifica que el concreto fresco se puede colocar en contacto con las barras tan frías como  $-5^{\circ}\text{F}$  ( $-21^{\circ}\text{C}$ ) y sin efectos perjudiciales. Una norma conservadora de la práctica sería la de evitar la colocación de concreto fresco en las superficies más frías que ( $-12^{\circ}\text{C}$ )  $10^{\circ}\text{F}$ . Esto generalmente elimina la necesidad de calentar el acero de refuerzo y encofrado antes de la colocación, lo que resulta en una solución más sostenible para la utilización de concreto en clima frío;
- Inserciones masivas en frío - El arquitecto/ingeniero debe identificar el pliego de esas inserciones que se consideran masivas y por lo tanto requieren de calentamiento. Basado en el trabajo por Kozikowski et al.<sup>6</sup> un miembro de acero con un área de sección transversal mayor de  $4\text{ cm}^2$  ( $2,500\text{ mm}^2$ ) se puede considerar una inserción masiva. Cuando se han identificado inserciones masivas, éstas deben calentarse a  $32^{\circ}\text{F}$  ( $0^{\circ}\text{C}$ ) antes de la colocación del concreto; y
- Protección ante congelamiento e incremento de resistencia - Un eficiente incremento de resistencia es promovido en frío cuando el concreto recién colocado cumple los requisitos mínimos de colocación y mantenimiento del ACI (Tabla 5.1 de la ACI 306R-10<sup>4</sup>) durante el período de protección especificado. Sin embargo, si no se cumplen las recomendaciones de temperatura durante el periodo de

protección, el concreto impide la congelación; sin embargo el período de protección debe extenderse hasta obtener una resistencia equivalente a la que se habría alcanzado en un clima protegido con un menor tiempo de duración.

Tenga en cuenta que estas recomendaciones no se aplican a la colocación del concreto sobre el suelo. Otros trabajos se encuentran actualmente en curso por los miembros del comité ACI 306, para medir el efecto de las sub-bases frías en el concreto recién colocado.

## REFERENCIAS

1. Korhonen, C.J., "Off-the-Shelf Antifreeze Admixtures," U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, ERDC/CRREL TR-02-7, Apr. 2002.
2. ACI Committee 301, "Specifications for Structural Concrete (ACI 301-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 77 pp.
3. ACI Committee 306, "Standard Specification for Cold Weather Concreting (306.1-90) (Reapproved 2002)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 5 pp.
4. ACI Committee 306, "Guide to Cold Weather Concreting (ACI 306R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 26 pp.
5. Ladino Moreno, L.A.; Stetzer, O.; and Lohmann, U., "Contact Freezing: A Review of Experimental Studies," Atmospheric Chemistry and Physics, V. 13, No. 19, 2013, pp. 9745-9769.
6. Kozikowski, R.; McCall, W.C.; and Suprenant, B.A., "How Does Cold Reinforcing Steel Affect Fresh Concrete?" Concrete International, V. 36, No. 4, Apr. 2014, pp. 49-56.
7. Suprenant, B.A., and Basham, K.D., "Effects of Cold Embedments on the Temperature of Fresh Concrete," Proceedings, Third RILEM International Symposium on Winter Concreting, Technical Research Center of Finland, (VTT), Espoo, Finland, 1985.
8. ACI Committee 306, "Cold Weather Concreting (ACI 306R-88)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1988, 23 pp.
9. Swift, D.P.; Puckett, J.A.; and Edgar, T.V., "Finite Element Analysis of Cold Embedments in Fresh Concrete," Journal of Cold Regions Engineering, ASCE, V. 6, No. 2, June 1992, pp. 41-57.
10. Havers, J.A., and Morgan, R.M., "Literature Survey of Cold Weather Construction Practices," SR 172, U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, NH, 1972, 181 pp.

Recibido y examinado bajo las políticas de publicación del Instituto.



Miembro de ACI Ronald L. Kozikowski es un director con North Starr Concrete Consulting, PC, Dover, NH, especialista en la solución de problemas generados en las construcciones con concreto. Tiene más de 15 años de experiencia como ingeniero de construcción y materiales, y es miembro de los Comités de ACI 207, de concreto en masa; 213, agregado ligero y concreto; 306 de concreto en clima frío; 308, el curado de concreto; y Joint ACI-CRSI Committee C680, Adhesivo Anchor instalador. Recibió su licenciatura y maestría en ingeniería civil de la Universidad de New Hampshire.



Calvin W. McCall, FACI, es Presidente de Concrete Engineering Consultants, Inc., Charlotte, NC. Es miembro de varios comités técnicos del ACI, incluyendo ACI 301, Especificaciones para concreto; 306 de concreto en clima frío; y 308, el curado de concreto; y él es el anterior presidente del Comité ACI 301, ganador de la ACI 2013 Medalla Wason, para papel más meritorio por su artículo " How to Develop Better Project Specifications," Concrete Internacional, junio 2011.; el Premio Kennedy 2009 ACI Henry L.; y la ACI Delmar L. Bloem, Premio al Servicio Distinguido 2006.



Bruce A. Suprenant, FACI, es Director Técnico de la Sociedad Americana de Contratistas de Concreto (ASCC), St. Louis, MO. Es miembro del Comité de Enlace de construcción ACI, y los Comités del ACI 117, tolerancias y 302, de la construcción de pisos de concreto. Él es el ganador del Premio 2013 de ACI de Certificación, la ACI 2010 Roger H. Corbetta Premio Constructor de Concreto, y el Premio de Construcción ACI 2010 por el artículo "Effect of Post-tensioning on Tolerances", en el Concrete International, Enero de 2009.

# LA SOSTENIBILIDAD Y LA RENTABILIDAD EN LA EDIFICACIÓN VERDE

## La Eficiencia energética como herramienta de ahorro en costes.

Artículo reproducido de la Revista ASOCEM - Noticias del Concreto (Mayo 2015).

Autores: Gustavo De las Heras Izquierdo y Santiago Rodríguez Barajas - Revitaliza Consultores España

La eficiencia energética en edificios es una serie de medidas implementadas para optimizar el uso de la energía dentro de los edificios. Una vez que se implementa un programa integral de eficiencia energética se logra aumentar el rendimiento del edificio y se bajan los costes de operación del mismo.

### Antecedentes

Existen dos razones principales por las cuales surgió la eficiencia energética en los edificios. La primera razón fue económica y buscaba la forma de reducir el consumo excesivo de energía para mantener niveles confortables de temperatura en el interior (sobre todo en climas fríos). A raíz de esta necesidad y con la intención de reducir el consumo de energía, surgieron el aislamiento térmico y los materiales eficientes para la envolvente del edificio. La segunda razón para implementar eficiencia energética responde a una preocupación ambiental, ya que al reducir el consumo energético necesariamente se reduce el uso de combustibles fósiles, los cuales contribuyen al cambio climático.

En la actualidad existen tecnologías con las cuales se puede reducir prácticamente a cero el consumo energético de un edificio e, incluso, disponer de edificios de energía positiva, donde no solo el consumo resulte mínimo, sino que se produzca más energía de la que se requiere y, por tanto, obtener un excedente adicional.

En términos económicos, la eficiencia energética es una solución muy viable para reducir los excesivos costes energéticos de un edificio. Dependiendo del tipo de medida de eficiencia energética, el costo inicial de inversión puede variar e influir en la cantidad de ahorro en costes energéticos anuales. Por ejemplo, una medida muy común en un edificio con gran superficie de acristalamiento es el sistema de aprovechamiento de luz natural para ahorrar en iluminación interior artificial ("day light harvest") En este caso, se instala una fotocelda que está acoplada al sistema de iluminación y, mediante un balastro, la potencia de las lámparas se ajusta automáticamente en base los niveles disponibles de iluminación natural. Los ahorros que puede representar esta medida varían desde un treinta hasta un ochenta por ciento en el consumo anual de iluminación, por lo que, normalmente, los tiempos de retorno de inversión resultan menores a tres años.



*Foto 1. Celdas fotovoltaicas, Centro de Innovación e Investigación en Energías Renovables, LEED NC v3 Nivel Platino, puntaje más alto de Latinoamérica. Los paneles fotovoltaicos cubren un 43% del consumo eléctrico del edificio.*

En resumen, la rentabilidad en un edificio diseñado en base a una serie de medidas de eficiencia energética es normalmente alta. El éxito de su rendimiento depende del porcentaje de ahorro energético que se pueda conseguir, considerando que se trata de un ahorro recuperado durante el período de un año en el que se evalúa la operación del edificio en su conjunto, mientras que la inversión solo se realiza una única vez. En la mayoría de los proyectos en los que hemos logrado un ahorro energético significativo, los retornos de inversión siempre fueron durante un lapso menor a cinco años.

### **¿Por qué resulta importante implementar la eficiencia energética en la edificación sostenible?**

Dado que el consumo de energía y sus costes asociados han crecido de forma continuada durante los últimos 25 años (45% desde el año 1980), las proyecciones a futuro indican que el consumo energético a nivel global se duplicará en los próximos cuarenta años. En oposición a estas proyecciones, existen múltiples razones por las cuales el consumo de energía no puede continuar las tendencias actuales: en primer lugar, no van a existir materias primas suficientes para afrontar el incremento en la demanda y, en segundo lugar, las autoridades a nivel nacional e internacional actuales son conscientes de los daños que producen en la economía las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, la lluvia ácida en China cuesta un estimado de más de doce mil cuatrocientos millones de euros al año de acuerdo a un estudio realizado por el Instituto Chino de Ciencias Ambientales y la Universidad de Qinghua. Adicionalmente a lo antes mencionado, los combustibles fósiles tienen el potencial de alterar los patrones de clima actuales, provocando sequías donde antes no existían y generando inundaciones en áreas nuevas con consecuencias catastróficas.

Los gobiernos a nivel nacional reconocen que debido a las pérdidas en la generación y transmisión de la energía eléctrica, ahorrar un kilovatio-hora de demanda en realidad produce un ahorro de tres kilovatios-hora de generación de energía. Por este motivo, es más efectivo invertir en ahorros por parte del usuario final que en la eficiencia de una

planta de generación eléctrica. Por esta razón, se están tomando medidas al respecto y se está legislando en favor de reducir la demanda y penalizar los consumos pico, así como en revisar las tarifas que cobran al usuario el pico de demanda más alto de los últimos doce meses incluyendo aquellas que tienen en cuenta el factor de potencia del usuario.

Este dilema supone una dicotomía: resulta simple, pero muy complejo de resolver. El mundo necesita hacer más con menos.

La eficiencia energética es la salida a este conflicto. Permite alcanzar los niveles requeridos de productividad y confort a menor costo y, sobre todo, permite lograrlo con menor impacto sobre las infraestructuras y recursos.

Otra de las medidas que están tomando los gobiernos son los paquetes de estímulo. Actualmente existe una movilización para potenciar la economía a nivel mundial (casi un 3% del PIB a nivel global). Es importante destacar que una media de un 20% de estos estímulos se está dedicando a generación de energía limpia, infraestructuras y eficiencia energética. En China este porcentaje alcanza el 38% y en Europa el 60%, con su medida estrella de conseguir que los edificios sean autosuficientes en materia energética para el año 2020.

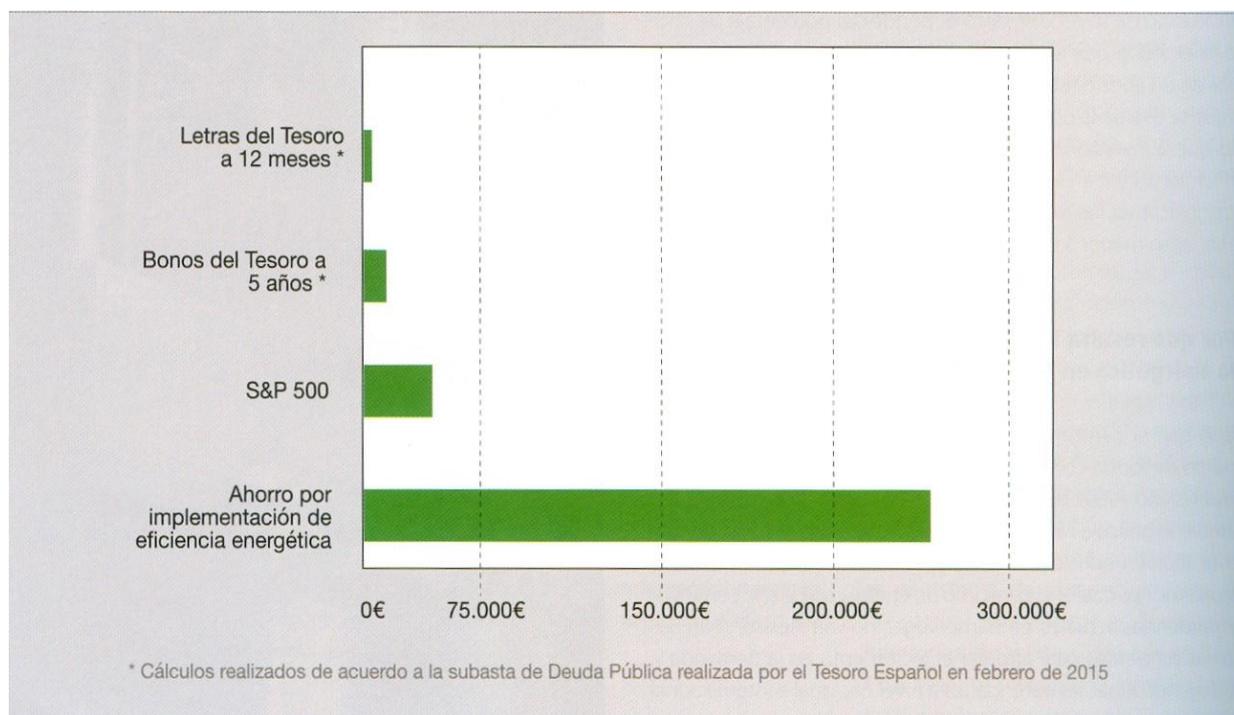


Figura 1. Escenarios de inversión.

Pero no todo son malas noticias. Si bien es cierto que los costes de la energía no han hecho más que aumentar desde hace 25 años y que estos pueden hacer peligrar la rentabilidad de las industrias, sí se pueden reducir los riesgos económicos de cada negocio y controlar estos costes a través de la eficiencia energética misma.

La eficiencia energética comprende proyectos con un perfil de riesgo bajo, ya que las soluciones que un especialista en el campo puede proporcionar están probadas en proyectos anteriores y, adicionalmente, se pueden demostrar con cálculos de amortización de la inversión. De hecho, muchas de las medidas que aconsejan los

auditores energéticos tienen un coste de implantación muy bajo y a veces nulo, con unos retornos en la inversión que generalmente no sobrepasan los cinco años.

Todavía hay alguna que otra mala noticia para los que no decidan invertir en eficiencia energética: cuanto más espere, más caro le saldrá y más energía desperdiciará. Mientras que los costes de energía no van a parar de subir, la operación de sus edificios estará desaprovechando una magnífica oportunidad de ahorrar más dinero a largo plazo; y no sólo eso, sino que los ahorros generados podrían haberse reinvertido en actualizar el equipamiento y otras mejoras de sus instalaciones. Definitivamente, actuar ahora es mucho más barato que esperar uno o cinco años o no tomar la iniciativa en esa dirección (véase gráfica adjunta).



*Foto 2. Toma aérea Centro de Innovación e Investigación en Energías Renovables, LEED NC v3 Nivel Platino, puntaje más alto de Latinoamérica.*

Las actualizaciones en los equipamientos por otros más eficientes se encuentra entre las mejores decisiones que usted puede tomar porque está demostrado que los proyectos de eficiencia energética tienen una amortización más rápida y un nivel de riesgo más bajo que muchas inversiones en los mercados financieros.

Para resumir, considerando que los costes de energía se incrementan día a día, los retornos en la inversión serán cada vez más acelerados.

Para implementar la eficiencia energética en sus proyectos usted primero deberá contar con la ayuda de un auditor energético, quien analizará los consumos de su edificio o industria, así como los patrones de uso y las demandas. Este análisis deberá incluir desde la energía eléctrica hasta el gas, diesel y agua (entre otros). Una vez obtenido el análisis se realiza una comparación de estos consumos con los de otras industrias similares y, con la experiencia del auditor, se detectarán e implementarán de forma inmediata las medidas que actuarán en favor del bajo costo. Se priorizarán medidas con un retorno en la inversión de entre uno y cinco años y se programarán dentro de los presupuestos anuales para su consideración. Después de la implementación de las medidas antes descritas, se elaborará un plan de seguimiento y control para verificar que los ahorros previstos se consigan, sobre todo para que a largo plazo no se pierdan los altos niveles de eficiencia conseguidos durante la implementación del proyecto.

### Nota adicional/Caso de estudio

Para evidenciar la relación ahorro-eficiencia, en Revitaliza Consultores contamos con un caso de éxito emblemático: la certificación LEED® EBOM de Torre Mayor, una torre de oficinas de 55 plantas, uno de los edificios más altos de México y Latinoamérica.

Durante el proceso de comisionamiento de Torre Mayor se identificaron una serie de medidas que, en conjunto, redujeron un 30% del consumo de energía eléctrica del edificio, lo cual se traduce en un ahorro de cerca de trescientos mil euros al año desde que se certificó en el año 2013. Algunas de las medidas implementadas para lograr el ahorro antes mencionado, fueron: sustituir las griferías por otras más eficientes y, con ello, reducir el consumo de las bombas que tenían que elevar el agua hasta las plantas superiores. Otra de las medidas fue cambiar la secuencia de operaciones de los ascensores para que algunos de ellos permanecieran apagados durante las horas de menor ocupación. Estas fueron tan solo algunas de las medidas

---

*En: Cemento Hormigón, marzo-abril 2015.*



American Concrete Institute®  
Advancing concrete knowledge

Boletín 4 de RAP del ACI

GUÍA PRÁCTICA DE  
PROCEDIMIENTOS  
DE APLICACIÓN PARA  
REPARACIONES  
DE CONCRETO

# Reparación de Superficies de Concreto Mediante Técnicas de Encofrado y Vaciado

por Peter Emmons



**Boletín 4 de RAP del ACI****Guía Práctica de Procedimientos de Aplicación para  
Reparaciones de Concreto****Reparación de Superficies de Concreto Mediante  
Técnicas de Encofrado y Vaciado**

Informe del Comité E706 de ACI

Brian F. Keane  
PresidenteJ. Christopher Ball  
Floyd E. Dimmick, Sr.  
Peter H. Emmons\*  
Timothy R. W. GillespieH. Peter Golter  
Bob Joyce  
Kenneth M. Lozen  
John S. LundRichard Montani  
Jay H. Paul  
George I. Taylor  
Patrick M. Watson

David W. Whitmore

\*Autor principal.

Es responsabilidad del usuario de este documento establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas a las circunstancias específicas implicadas con su uso. ACI no representa a ninguna entidad respecto a los aspectos de seguridad e higiene industrial y al uso de este documento. El usuario deberá determinar la aplicabilidad de todas las limitaciones de regulación y cumplir con todas las leyes y reglamentos que apliquen incluyendo sin sentido limitativo, los estándares de seguridad e higiene de la Occupational Safety and Health Association (OSHA) de los EE.UU.

**Exención estructural**

Este documento pretende ser una guía práctica que ofrecemos al propietario, profesional de diseño y contratista de reparación de estructuras de concreto. No pretende liberar al usuario de esta guía, de la responsabilidad que tiene de realizar una valoración adecuada de las condiciones y una evaluación estructural actual, y de la especificación de los métodos, materiales o prácticas para la reparación de concreto por el ingeniero/diseñador experimentado.

Procedimiento de aplicación para reparaciones de concreto 4 del ACI.  
Copyright © 2012, Instituto Americano del Concreto (ACI).

Todos los derechos reservados incluyendo los derechos de reproducción y uso en cualquier forma o medio, incluyendo el copiado por cualquier proceso de fotografía o dispositivo electrónico o mecánico, impreso, escrito u oral, o la grabación de sonido o reproducción visual o para usarse en cualquier sistema o dispositivo de recuperación de información, a menos que se obtenga el permiso, por escrito, de los propietarios del derecho de autor. Impreso en los Estados Unidos de Norteamérica.

El Instituto no es responsable de las declaraciones u opiniones de esta publicación. Las publicaciones del Instituto no pueden ni pretenden sustituir la capacitación individual, la responsabilidad o juicio del usuario, o del proveedor de la información proporcionada.

## Introducción

La técnica de encofrado y vaciado es un proceso de varios pasos de preparación, construcción del encofrado y colocación de los materiales de reparación. Los materiales de reparación se colocan en la cavidad entre el encofrado y el sustrato preparado mediante cubetas, bombas, conductos de descarga o carretillas. Esta técnica permite el uso de muchos diferentes materiales de reparación que se pueden moldear. Lo primero a considerar en la selección del material es su facilidad de colocación. Dependiendo de la consistencia del material de reparación, la consolidación se completa con vibración, varillado o cuando el material tiene un asentamiento auto-compactación) extremadamente alto, es posible que no se requieran pasos adicionales.

### ¿Cuál es el propósito de esta reparación?

El propósito principal de este tipo de reparación es restaurar la integridad estructural, o los requisitos de recubrimiento del concreto, o ambos, para el elemento dañado.

### ¿Cuándo utilizo esta técnica?

Esta técnica normalmente se utiliza en superficies verticales como muros, columnas y otras combinaciones tales como los costados y fondos de viguetas. Cuando se utiliza para reparar la parte inferior de la losa, el material de reparación se coloca usualmente a través de orificios o aberturas hechos a través de la losa. Con esta técnica, normalmente no se utilizan agentes adhesivos o grouts. Se recomienda hacer una instalación de prueba para cada proyecto con el fin de verificar la preparación, el material y la técnica de colocación usando los procedimientos de control de calidad descritos al final de este documento.

La técnica de encofrado y vaciado ofrece muchas ventajas:

- Se pueden usar muchos diferentes tipos de materiales de reparación;
- El material de reparación puede colocarse alrededor del acero de refuerzo; y
- El encofrado protege contra el secado a edad temprana que promueve el agrietamiento de la superficie.

La limitante principal de la técnica de encofrado y vaciado es que la instalación del encofrado es más laboriosa que los métodos alternos de colocación, como el concreto lanzado o las aplicaciones manuales (vea Fig. 1).

### ¿Cómo debo preparar la superficie?

Independientemente del método de reparación, la preparación de la superficie es esencialmente la misma. Se remueve el concreto hasta localizar el concreto sano. Las barras expuestas se descubren por completo y las superficies se limpian con agua a alta presión o con abrasivos proyectados.

Al usar las técnicas de encofrado y vaciado, es importante entender cómo las superficies existentes permitirán la penetración y el flujo del material de reparación. Para las reparaciones en superficies verticales parcialmente profundas, los extremos superiores de la superficie deben ser recortados para eliminar las posibles bolsas de aire atrapado y promover el llenado completo desde donde se encuentra el conducto de descarga. Consulte la página 3 que indica paso a paso los procedimientos de preparación.

*Superficies de concreto preparadas con el encofrado listo para colocarse.*



Fig. 1(a).

*Vista de la sección en reparación que muestra el encofrado y los conductos de descarga en la parte superior para la colocación del material de reparación.*

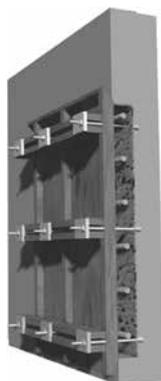


Fig. 1(b).

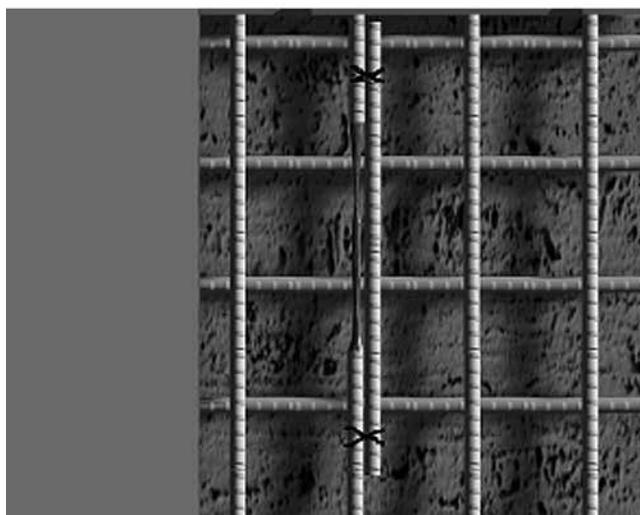
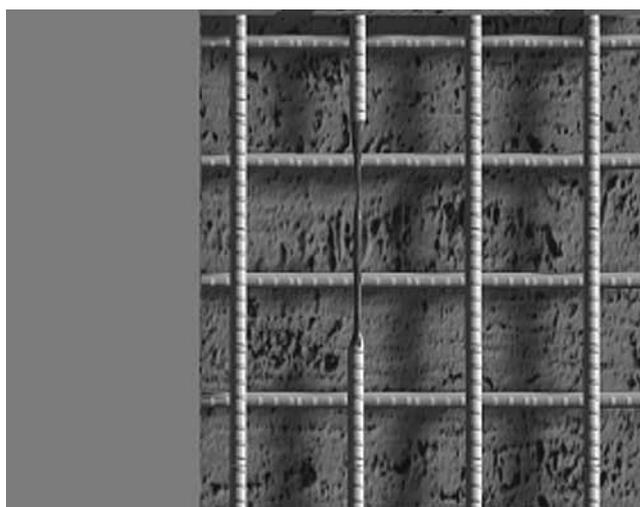


Fig. 2—Traslape del refuerzo suplementario.

*Paso 1* – Sondee (mediante impactos con martillo u otro método) el concreto para localizar las áreas de delaminación.

*Paso 2* – Marque el perímetro del área de reparación. El trazo debe ser sencillo, de forma cuadrada o rectangular.

*Paso 3* – Corte con una sierra el perímetro de la reparación. Nota: El corte con la sierra no debe ser más profundo que el recubrimiento sobre el refuerzo.

*Paso 4* – Retire el concreto dañado con un martillo cincelador de 7 kg (15 lb). Los martillos de más de 7 kg (15 lb), pueden dañar el sustrato y el refuerzo.

*Paso 5* – Si es necesario repare las barras de refuerzo. Cuando el acero de refuerzo se encuentra muy corroído y su

diámetro se ha reducido, consulte a un ingeniero estructural sobre los procedimientos de la reparación. Para muchas aplicaciones, el refuerzo suplementario se puede traslapar a las barras adyacentes dañadas, como se muestra en la Fig. 2.

*Paso 6* – Limpie el acero de refuerzo y el concreto con abrasivos proyectados.

### ¿Cómo selecciono el material adecuado de reparación?

Los requisitos de construcción para los materiales de reparación que se usan en la técnica de encofrado y vaciado se limitan únicamente a su capacidad para poder transportarse

#### PASO 1



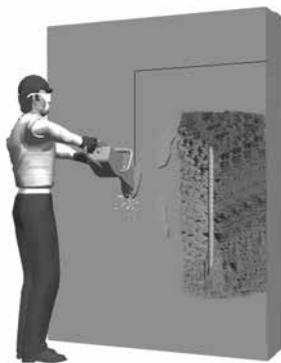
*Sondeo (mediante impactos con martillo u otro método) del concreto para localizar las áreas de delaminación.*

#### PASO 2



*Marque el perímetro del área por reparar. El trazado debe ser utilizando formas geométricas sencillas.*

#### PASO 3



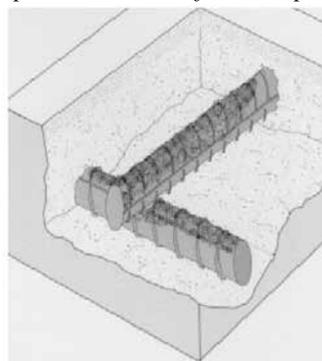
*Corte con una sierra el perímetro de reparación. Nota: El corte con la sierra no debe ser más profundo que el recubrimiento sobre el refuerzo. Retire el concreto sano dentro del área del corte.*

#### PASO 4



*Retiro del concreto dañado con un martillo cincelador de 7 kg (15 lb). Los martillos de más de 7 kg (15 lb), pueden dañar el sustrato y el refuerzo.*

**PASO 5:** *Reparación del acero de refuerzo. Cuando el acero de refuerzo se encuentra muy corroído y su diámetro se ha reducido, consulte a un ingeniero estructural sobre los procedimientos de la reparación. Para muchas aplicaciones, el refuerzo suplementario se puede traslapar a las barras adyacentes dañadas, como se muestra.*



**Nota Importante:** *Si encuentra barras de refuerzo corroídas durante el proceso de preparación, entonces deberá remover el concreto que rodea las barras para exponer por completo toda la circunferencia. El espacio libre por debajo de la barra*

*no debe ser menos de 19 mm (3/4 pulg.), o 6 mm (1/4 pulg.) mayor que el tamaño máximo de agregado de la mezcla de reparación, el que sea mayor.*

#### PASO 6



*Limpieza del acero de refuerzo y concreto con abrasivos proyectados.*

a la cavidad del encofrado. El tamaño máximo del agregado no debe exceder 25% del espacio entre el encofrado y el sustrato, o 50% de la distancia entre el acero de refuerzo y el sustrato, lo que sea menor. En general, deberá usarse el agregado que tenga el mayor tamaño práctico posible, para minimizar la retracción por secado y reducir el potencial agrietamiento de la reparación. Las mezclas con una alta fluidez (con asentamiento alto) facilitarán la colocación, sin embargo, no sacrifique una relación agua-cemento baja (< 0.40) por un asentamiento alto. Utilice aditivos reductores de agua de alto rango cuando sea necesario. Los materiales de reparación preenvasados, que están diseñados para una colocación de alto flujo, incluyen aditivos compensadores de la retracción y son adecuados para muchas aplicaciones. Todas las proporciones de la mezcla deben optimizarse para minimizar la retracción del concreto por secado. Realizar la prueba de la retracción según el método ASTM C157 medida por un período de 120 días es recomendable.

### ¿Qué tipo de equipo necesito?

El equipo de colocación puede incluir vagonetas para concreto, cubetas o bombas para concreto. El tamaño de las bombas corresponderá al tipo de material de reparación que se vaciará. Si tiene que mezclar el material de reparación en la obra, se requiere una mezcladora portátil. Verifique esto con el fabricante del producto para determinar qué tipo de mezcladora es recomendable.

### ¿Qué aspectos de seguridad hay que considerar?

Las prácticas de seguridad en la obra incluyen, sin sentido limitativo, lo siguiente, cuando apliquen:

- Material Safety Data Sheets (MSDS) (información sobre seguridad en el manejo del producto) disponibles;
- Uso de ropa protectora para los trabajadores que manejan o están expuestos a materiales peligrosos;
- Uso de lentes protectores durante el bombeo y colocación del material de reparación;
- Disponibilidad de instalaciones para el lavado de ojos; y
- Uso de respiradores y de protectores para los oídos durante la demolición.

Es responsabilidad del usuario de este documento establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas a las circunstancias específicas implicadas con su uso. ACI no representa a ninguna entidad respecto a los aspectos de seguridad e higiene industrial y al uso de este documento. El usuario deberá determinar la aplicabilidad de todas las limitaciones reglamentarias antes de utilizarlos contenidos del documento y cumplir con todas las leyes y reglamentos que apliquen, incluyendo sin sentido limitativo, los estándares de seguridad e higiene de la Occupational Safety and Health Association (OSHA) de los EE.UU.

### Reunión previa a la construcción

Antes de proceder con la reparación, se recomienda realizar una reunión previa. Deberán asistir a la reunión representantes de todas las partes participantes (propietario, ingeniero, contratista, fabricante de materiales, etc.) y tratar específicamente los parámetros, medios, métodos y materiales necesarios para lograr los objetivos de la reparación.

### Procedimiento de reparación

*Construcción del encofrado* – El encofrado debe acomodar y soportar la masa y la presión del material de reparación. El diseño de los encofrados debe seguir las prácticas estándar para la construcción con concreto colocado en sitio. El encofrado se fija mejor directamente a la superficie de concreto con anclas de expansión o anclas para roca, diseñadas para barras roscadas. En los casos de reparación de plafones (cara inferior) de losas, se pueden usar armazones de andamio o puntales que soporten el encofrado contra las superficies de concreto. Cuando se utilizan anclajes de expansión/roca, asegúrese que estén colocadas firmemente en su lugar para evitar el deslizamiento debajo de la carga. La precarga de los anclajes de roca con la barra roscada puede lograrse con un gato con un orificio al centro, aplicando cargas a la barra roscada con un pie o soporte. Los encofrados deben construirse bien ceñidos a las superficies existentes de concreto. Los empaques preformados o la espuma colocada en sitio funcionan bien en superficies difíciles de sellar. Se requieren aberturas o conductos de descarga para colocar el material de reparación detrás de los encofrados verticales. Los conductos de descarga deben construirse de tal forma que permitan el desarrollo de una cabeza hidráulica sobre los extremos superiores preparados de la superficie de concreto. Esto permitirá que el material de reparación alcance estas zonas superiores horizontales después de que el concreto se ha consolidado. Para superficies verticales grandes, mayores a 3 m (10 pies) de altura, deberán considerarse colados múltiples para reducir la segregación en caída libre y las presiones excesivas en los encofrados. Los encofrados para superficies elevadas no requieren de aberturas para colocar los materiales de reparación. La colocación generalmente se realiza a través de aberturas en la losa, desde arriba (vea Fig. 3).

*Colocación del material* – Antes de colocar el material de reparación, la superficie preparada deberá humedecerse para lograr una superficie saturada superficialmente seca. Es importante no humedecer en exceso la superficie. Las superficies saturadas impedirán una adherencia adecuada, ya que los poros de la superficie están obstruidos con agua incapacitándolos para absorber el material de reparación. El material de reparación mezclado se transporta al área encofrada mediante cualquier técnica apropiada para la situación (vea Fig. 4). Esto se puede realizar con cubetas, línea de bombeo, carretillas o vagonetas. Para superficies verticales, el material se coloca en el conducto de descarga o abertura. La vibración externa o interna es indispensable para casi todas las consistencias de mezclas. Algunos materiales de reparación auto-nivelantes, también conocidos como auto-consolidantes, pueden colocarse sin vibración. Cuando se llena la cavidad, debe asegurarse que en donde se hace el vaciado, la mayoría de las superficies adyacentes a la descarga o abertura estén llenas. El varillado o apisonamiento asegura un llenado adecuado. El encofrado debe dejarse en su lugar por el tiempo de curado que se indique. Después del desencofrado, cualquier espacio que no se haya llenado debe desbastarse, limpiarse y rellenarse en seco. Inmediatamente después de quitar el encofrado, se recomienda usar una membrana de curado.

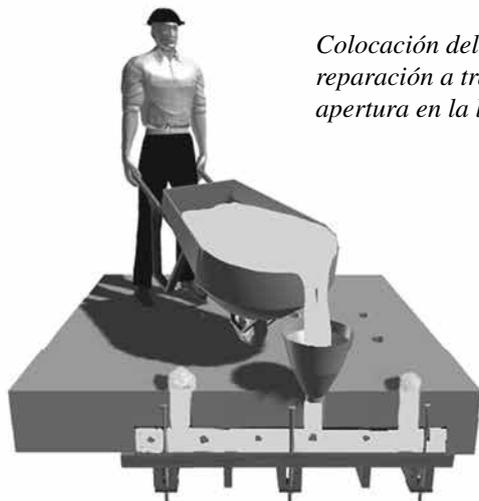
### ¿Cómo debo verificar la reparación?

Después de remover los encofrados, se pueden realizar varias pruebas para confirmar que el material de reparación se ha consolidado totalmente y que se ha logrado una adherencia adecuada con el sustrato. Se puede realizar

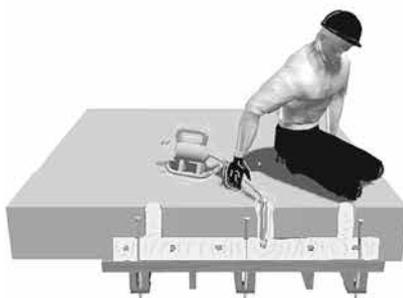
una prueba de adherencia uniaxial perforando el sustrato a través de la reparación. Un plato adherido al núcleo se tira hasta que la ruptura ocurra. Debe inspeccionarse la ubicación de la falla. Los valores de la resistencia a la adherencia típicamente exceden los 0.7 MPa (100 lb./



*Sección a través de una reparación “sobre-cabeza” que muestra la abertura en la losa superior, para la colocación del material de reparación.*

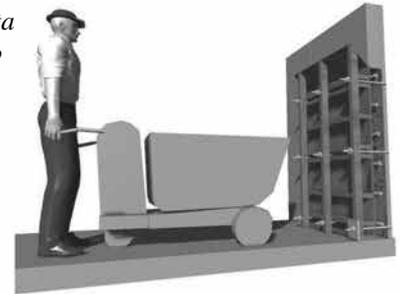


*Colocación del material de reparación a través de la apertura en la losa.*



*Se utiliza un vibrador de lápiz para compactar el material de reparación en la cavidad.*

*Se lleva el material de reparación al lugar donde se aplicará utilizando una vagoneta u otro medio adecuado de transporte. Las cubetas de 5 galones de capacidad pueden serle útiles para depositar el material de reparación dentro del encofrado.*



*Una vez que el material de reparación se ha colocado en la cavidad, los vibradores se insertan en su lugar y se consolida el material. Se recomienda que la consolidación se haga en capas de no más de 0.7 a 1 m (2 a 3 pies).*



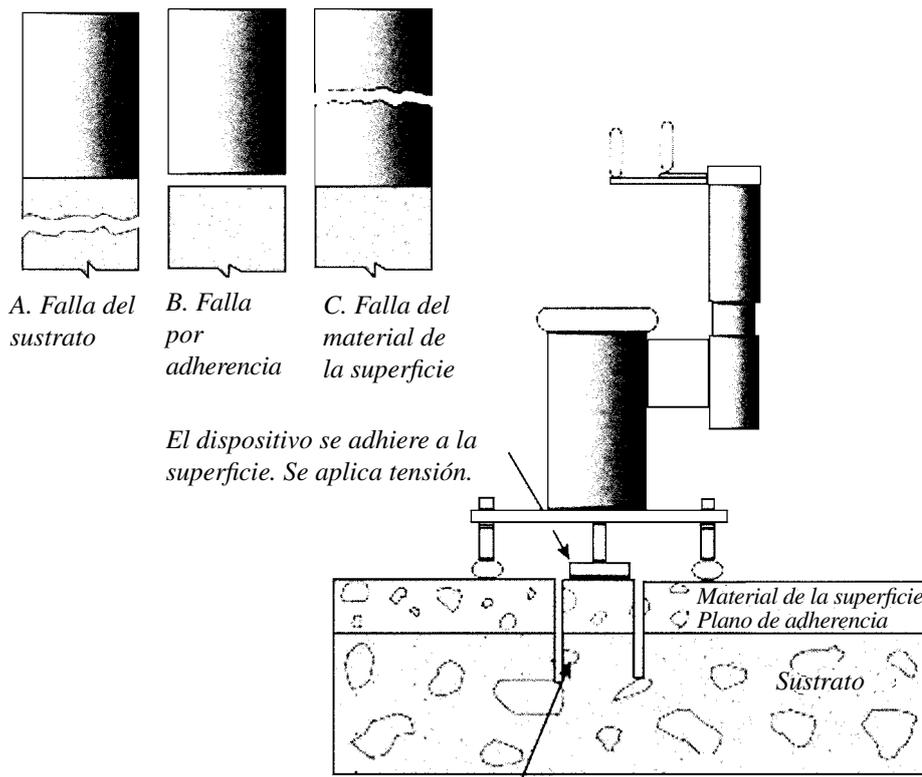
*El compuesto de curado se coloca inmediatamente con rodillo o aspersor sobre las superficies reparadas después de remover el encofrado. Un curado apropiado ayudará a asegurar que el material de reparación no se seque ni se agriete prematuramente y que desarrolle toda su resistencia.*



Fig. 3—Colocación del material: Aplicación en superficies horizontales.

Fig. 4—Colocación del material: Aplicación en una superficie vertical.

### Tipos de rupturas por tensión



Agujero, moldeado con broca, a través del material de la superficie y extendiéndose hasta el sustrato.

Fig. 5—Procedimiento de prueba.

pulg.<sup>2</sup>) y en la mayoría de los casos exceden de 1 MPa (150 lb./pulg.<sup>2</sup>). Estas pruebas se realizan de conformidad con el Apéndice del ACI 503R (vea Fig. 5).

Toda el área de reparación debe también sondearse con un martillo para localizar vacíos y delaminaciones a 150 mm (6 pulg.) de la superficie. Cualquier sonido hueco puede indicar una adherencia deficiente o presencia de vacíos.

#### Fuentes de consulta para información adicional

1. "Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion," No. 03730, International Concrete Repair Institute, 1995, 5 pp.

2. "Guide for Selecting and Specifying Concrete Repair Materials," No. 03733, International Concrete Repair Institute, 1996, 34 pp.

3. ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete (ACI 347-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2001, 32 pp.

4. ACI Committee 546, "Concrete Repair Guide (ACI 546R-96 (Reapproved 2001)), " American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1996, 41 pp.

5. ACI Committee 503, "Use of Epoxy Compounds with Concrete (503R-93 (Reapproved 1998)), " American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1998, 28 pp.

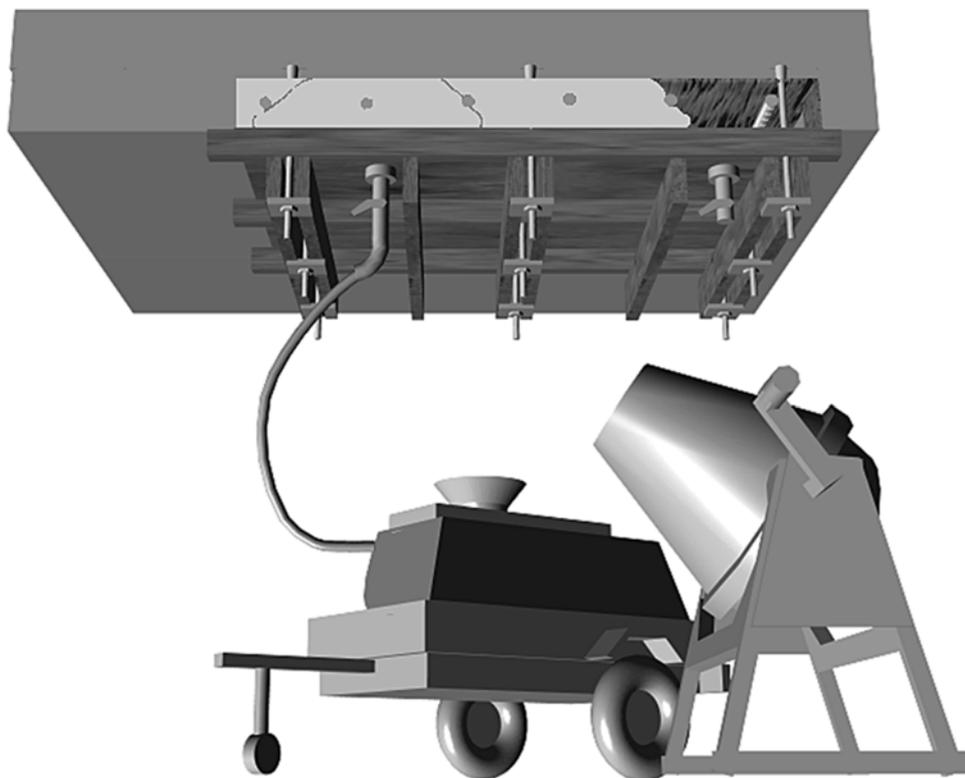


American Concrete Institute®  
Advancing concrete knowledge

*Boletín 5 de RAP del ACI*

GUÍA PRÁCTICA DE  
PROCEDIMIENTOS  
DE APLICACIÓN PARA  
REPARACIONES  
DE CONCRETO

# Reparación de Superficies de Concreto Mediante Técnicas de Encofrado y Bombeo



**Boletín 5 de RAP del ACI****GUÍA PRÁCTICA DE PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN  
PAR REPARACIONES DE CONCRETO****Reparación de Superficies de Concreto Mediante  
Técnicas de Encofrado y Bombeo**

Informe del Comité E706 de ACI

Brian F. Keane\*  
PresidenteJ. Christopher Ball  
Floyd E. Dimmick, Sr.  
Peter H. Emmons§  
Timothy R. W. GillespieH. Peter Golter  
Bob Joyce  
Kenneth M. LozenJohn S. Lund  
Richard Montani†  
Jay H. PaulGeorge I. Taylor  
Patrick M. Watson‡  
David W. Whitmore

\* Autor principal del boletín 1 de los Procedimientos de Aplicación para Reparaciones de Concreto (RAP).

† Autor principal del boletín 2 de RAP.

‡ Autor principal del boletín 3 de RAP.

§ Autor principal de los boletines 4 y 5 de RAP.

*El comité agradece a Brandon Emmons por las ilustraciones de estos boletines.*

Es responsabilidad del usuario de este documento establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas a las circunstancias específicas implicadas con su uso. ACI no representa a ninguna entidad respecto a los aspectos de seguridad e higiene industrial y al uso de este documento. El usuario deberá determinar la aplicabilidad de todas las limitaciones de regulación antes de aplicar los contenidos del documento y cumplir con todas las leyes y reglamentos que apliquen incluyendo sin sentido limitativo, los estándares de seguridad e higiene de la Administración de Seguridad e Higiene Industrial (OSHA) de los EE.UU.

**Renuncia de las condiciones estructurales**

Este documento pretende ser una guía práctica que ofrecemos al propietario, profesional de diseño y contratista de reparación de estructuras de concreto. No pretende liberar al usuario de esta guía, de la responsabilidad que tiene de realizar una valoración adecuada de las condiciones y una evaluación estructural actual, y de la especificación de los métodos, materiales o prácticas para la reparación de concreto por el ingeniero/diseñador experimentado.

Procedimiento de aplicación para reparaciones de concreto 5 del ACI.  
Copyright © 2003, Instituto Americano del Concreto (ACI)

Todos los derechos reservados incluyendo los derechos de reproducción y uso en cualquier forma o medio, incluyendo el copiado por cualquier proceso de fotografía o dispositivo electrónico o mecánico, impreso, escrito u oral, o la grabación de sonido o reproducción visual o para usarse en cualquier sistema o dispositivo de recuperación de información, a menos que se obtenga el permiso, por escrito, de los propietarios del derecho de autor. Impreso en los Estados Unidos de Norteamérica.

El Instituto no es responsable de las declaraciones u opiniones de esta publicación. Las publicaciones del Instituto no pueden ni pretenden sustituir la capacitación individual, la responsabilidad o juicio del usuario, o del proveedor de la información proporcionada.

## Introducción

La técnica de reparación de encofrado y bombeo es un proceso de varios pasos de preparación y construcción del encofrado, y bombeo del material de reparación dentro de la cavidad confinada por el encofrado y el concreto existente. Esta técnica permite el uso de muchos diferentes materiales de reparación. El requisito necesario para la selección del material es su bombeabilidad. Se utilizan varias bombas, dependiendo del diseño de la mezcla, enfocándose en el tamaño del agregado. Antes de construir el encofrado, deberá desbastarse cualquier superficie que pueda ocluir el aire durante el proceso de bombeo, o instalar tubos de ventilación.

Los materiales de reparación se mezclan y bombean dentro de la cavidad confinada. La secuencia de bombeo se hace de los puntos más bajos a los más altos, y cuando se realiza en superficies elevadas, se bombea de un extremo al otro. Las áreas grandes pueden requerir divisiones transversales para separar la colocación en áreas manejables. Cuando la cavidad está llena, se ejerce la presión del bombeo en el encofrado, causando que el material de reparación se consolide y entre en contacto íntimo con un efecto de adhesión con las superficies de concreto existentes. La técnica de encofrado y bombeo ofrece muchas ventajas con respecto a técnicas alternas, como es el concreto lanzado, la colocación manual y el agregado precolocado.

Entre las ventajas se incluyen:

- La colocación no está limitada al espesor de la reparación ni al tamaño o densidad del refuerzo expuesto.
- Los materiales de reparación se premezclan y colocan para proporcionar una sección transversal uniforme sin segregación o líneas de unión intermedias;
- El escurrimiento o las pérdidas de materiales recién colocados no representan problema; todos los materiales están soportados por encofrados durante la colocación y el proceso de curado;
- El proceso de presurización consolida el material de reparación, facilitando una encapsulación total del acero de refuerzo expuesto;
- El encofrado protege el material de reparación durante el proceso de curado;
- El proceso está menos sujeto al error individual del operador; y
- El aseguramiento de la calidad de la reparación en obra es más fácil de realizar.

### ¿Cuál es el propósito de esta reparación?

El propósito principal de este tipo de reparación es restaurar la integridad estructural, los requisitos de la superficie de concreto, o ambos, para los elementos dañados.

### ¿Cuándo puedo usar este método?

Esta técnica normalmente se utiliza en superficies verticales como paredes, columnas y otras combinaciones tales como los costados y fondos de viguetas. Normalmente no se utilizan agentes de adhesión separados como grouts o material epóxico con esta técnica. Se recomienda mucho hacer una instalación de prueba para cada proyecto, con el fin de verificar la preparación, el material y la técnica de colocación usando los procedimientos de control de calidad descritos al final de este documento.

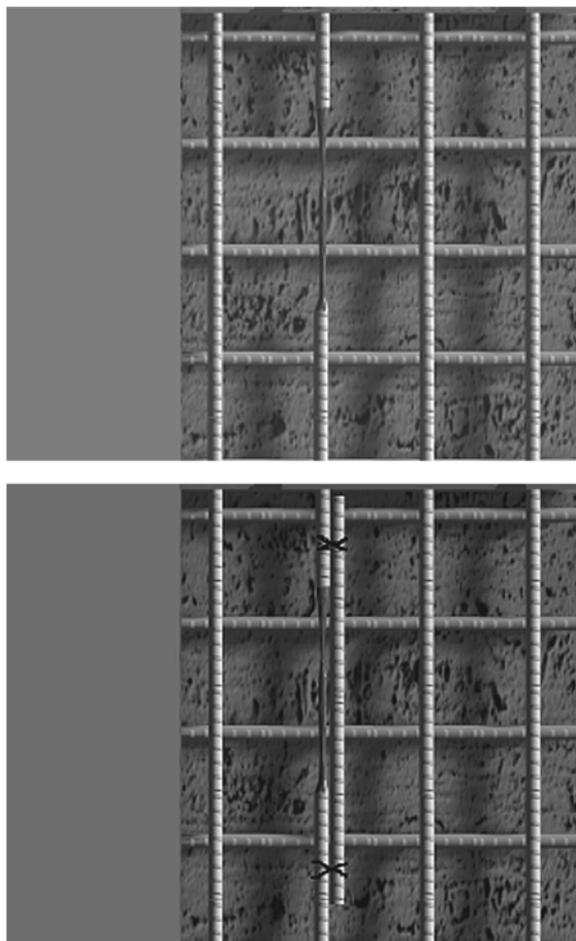


Fig. 1—Traslape del refuerzo suplementario.

### ¿Cómo debo preparar la superficie?

A pesar del método de reparación, la preparación de la superficie es esencialmente la misma. Se retira el concreto hasta localizar concreto de buena calidad. Las barras expuestas se socavan y las superficies se limpian con agua a presión o por desbastado a chorro. Al usar las técnicas de encofrado y bombeo, es importante entender cómo permitirán, las superficies existentes, la penetración y flujo del material de reparación. Las superficies que pueden ocluir aire necesitan rebajarse o se pueden colocar tubos de ventilación en el encofrado. La rugosidad de la sección obtenida por cincelado manual o hidrodemolición generalmente no es un problema por aire ocluido. El flujo del material de reparación (al fluir dentro de la cavidad del encofrado) muy probablemente sacará el aire de la sección.

### Entre los pasos a seguir en la preparación de la superficie se incluyen:

*Paso 1*—Sondeo o cualquier otra prueba no destructiva adecuada para localizar las áreas de delaminación.

*Paso 2*—Marque el perímetro del área de reparación. El trazo debe ser un simple cuadrado o en forma rectangular. No debe haber ángulos agudos entre las líneas de los límites que definen el área de reparación.

**Paso 3**—Retire el concreto dañado con un martillo cincelador de 15 lb. Los martillos de más de 15 lb, pueden dañar el sustrato y el refuerzo.

**Paso 4**—Corte con sierra el perímetro de la reparación. Nota: El corte con la sierra no debe llegar más allá de la capa encima del refuerzo.

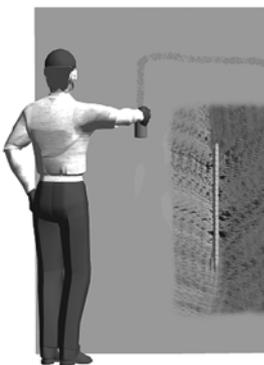
**Paso 5**—Reparación del refuerzo. Cuando el acero de refuerzo se encuentra muy corroído y su diámetro se ha reducido, consulte a un ingeniero estructural sobre los procedimientos de la reparación. Para muchas aplicaciones, el refuerzo suplementario se puede traslapar a las barras dañadas adyacentes, como se muestra en la Fig. 1.

**Paso 6**—Limpieza del acero de refuerzo y concreto desbastando a chorro.

### ¿Cómo selecciono el material adecuado de reparación?

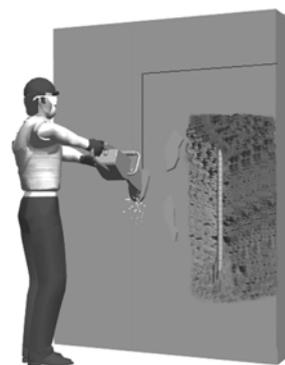
Los requisitos de constructibilidad para los materiales de reparación que se usan en la técnica de encofrado y bombeo se limitan únicamente a su capacidad para poder bombearse y sus características de flujo. Más importante que su constructibilidad, son las propiedades de los materiales en la obra, como baja retracción por secado, resistencia compatible, propiedades térmicas y elásticas y requisitos de durabilidad. Mientras que la propiedad de constructibilidad de los materiales de reparación requiere de una buena bombeabilidad y fluidez, estas características no deben sacrificar el requerimiento de baja retracción por secado. La retracción por secado puede ocasionar agrietamiento, delaminación, incapacidad para llevar cargas y menor durabilidad. Se pueden suministrar características de bombeabilidad y fluidez al material con la forma del agregado y aditivos químicos que conservan una relación baja agua-cemento, de hecho proporcionando una mezcla bombeable. Los materiales de reparación preenvasados, que están diseñados para bombearse y que incorporan aditivos compensadores de la retracción, son adecuados para muchas aplicaciones. Los

### PASO 3



Marque el perímetro del área por reparar. El trazado debe ser con simples formas geométricas.

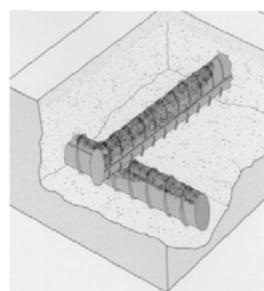
### PASO 4



Corte con sierra del perímetro de reparación. Nota: El corte con la sierra no debe llegar más allá de la capa que cubre el refuerzo.

### PASO 5

Reparación del acero de refuerzo. Cuando el acero de refuerzo se encuentra muy corroído y su diámetro se ha reducido, consulte a un ingeniero estructural sobre los procedimientos de la reparación. Para muchas aplicaciones, el refuerzo suplementario se puede traslapar a las barras dañadas adyacentes, como se muestra.



**Nota importante:** Si encuentra barras de refuerzo corroídas durante el proceso de preparación, luego el concreto que se encuentra alrededor de las barras debe quitarse para exponer por completo toda la circunferencia. El espacio libre por debajo de las barras no debe ser menor de 19 mm (3/4 in.), o 6 mm (1/4 in.) mayor al tamaño máximo de agregado de la mezcla de reparación, el que sea mayor.

libre por debajo de las barras no debe ser menor de 19 mm (3/4 in.), o 6 mm (1/4 in.) mayor al tamaño máximo de agregado de la mezcla de reparación, el que sea mayor.

### PASO 1



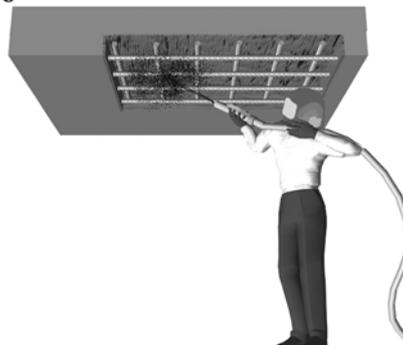
Sondeo del concreto para localizar las áreas de delaminación.

### PASO 2



Concreto dañado retirado con un martillo cincelador de 15 lb. Los martillos de más de 15 lb pueden dañar el sustrato y el refuerzo.

### PASO 6



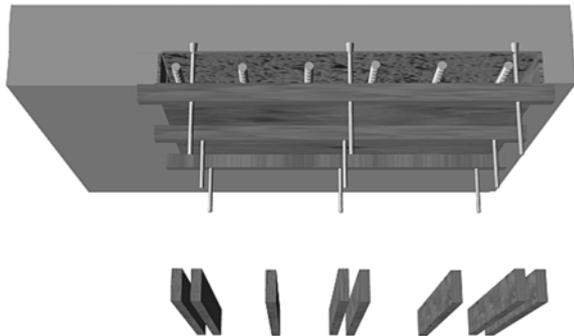
Limpieza del acero de refuerzo y concreto desbastando a chorro.

materiales deben revisarse para determinar si ocasionan retracción al secado y buscar aquellos con baja retracción.

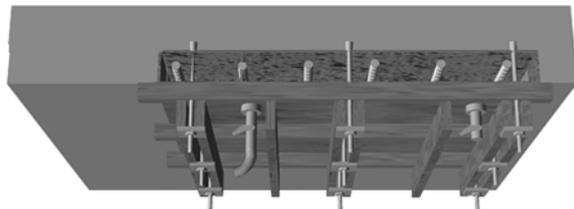
Las pruebas de retracción de conformidad con el método de la ASTM C 157 (modificado según el método ASTM C928 y medido por un período de 120 días) proporcionarán propiedades significativas y comparables de retracción.

**¿Qué tipo de equipo necesito?**

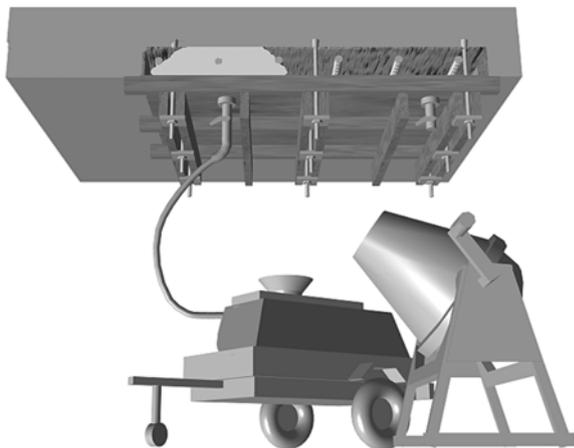
*Equipo de bombeo*—El equipo de bombeo generalmente corresponde al tipo de material de reparación y al tamaño del proyecto de reparación. El material de reparación especificado requiere bombearse a través de una línea de bombeo hasta la cavidad encofrada. Los materiales cementicios de reparación



*Instalación del encofrado con las anclas embebidas soportando el encofrado.*

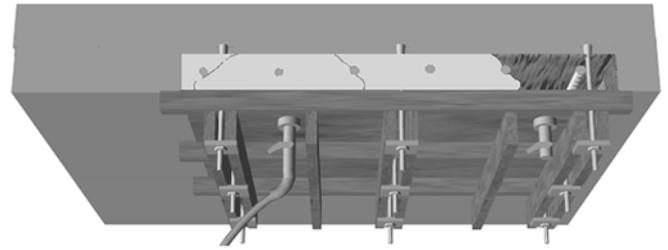


*Encofrado completamente listo para conectarse a la línea de bombeo.*

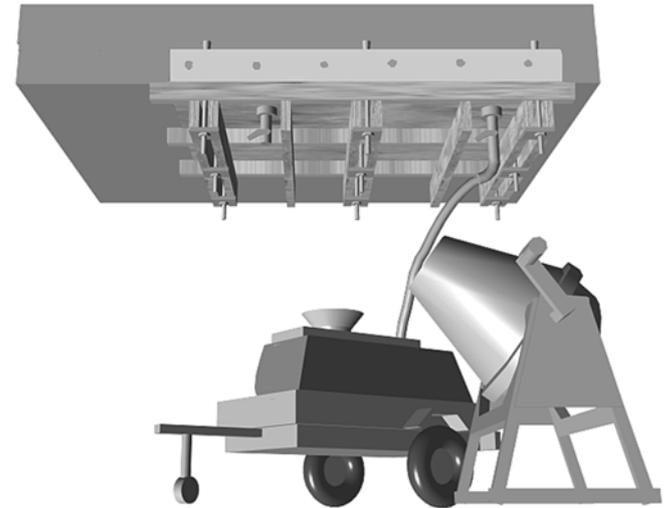


*Línea de bombeo conectada al encofrado e inicio de bombeo del material de reparación.*

Fig. 2.

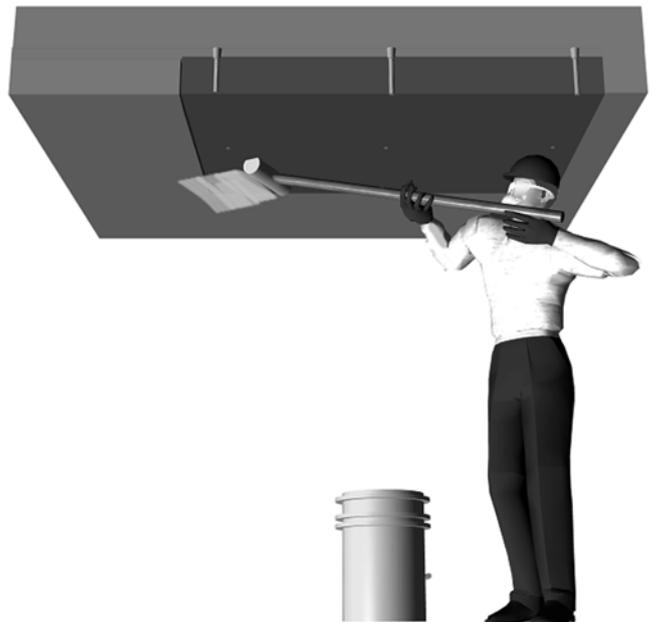


*Bombeo en proceso. Observe el camino del flujo radiante del puerto de la línea de bombeo.*



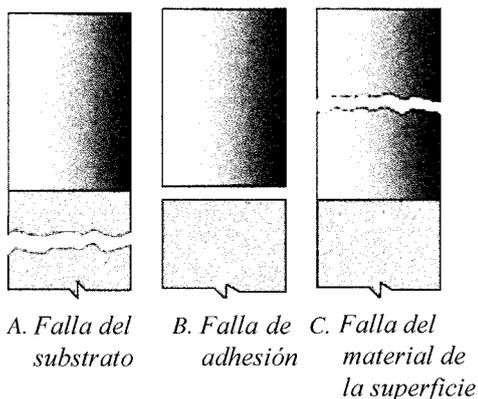
*Se llena y presuriza la cavidad. Se apaga la línea de bombeo.*

Fig. 3.



*Fig. 4—Inmediatamente después de quitar el encofrado, el compuesto de curado se aplica con rodillo o por aspersión.*

### Tipos de rupturas por tensión



El dispositivo se pega a la superficie.  
Se aplica tensión.

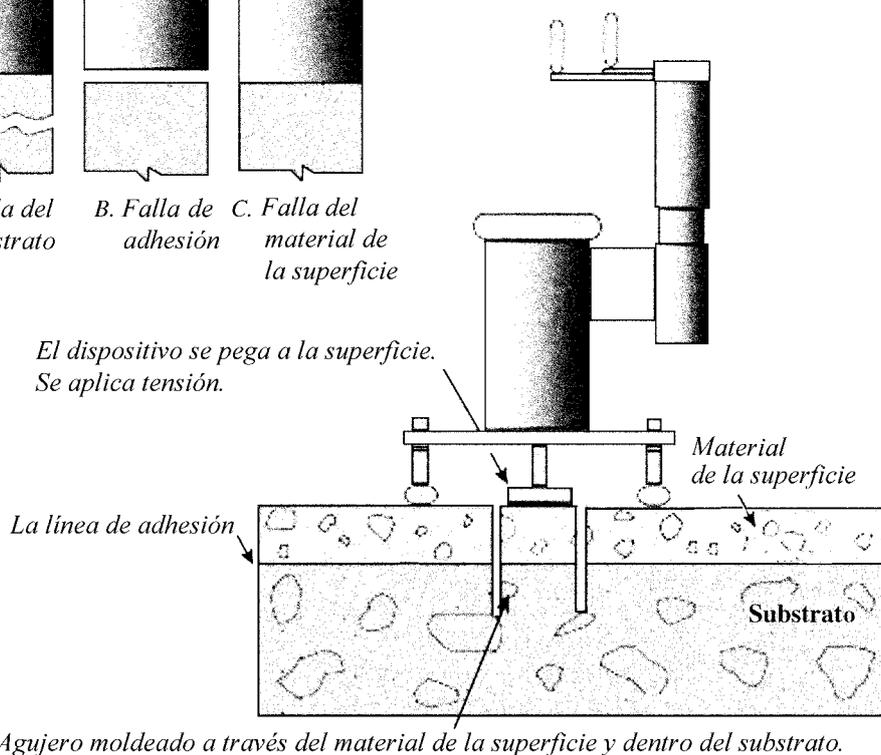


Fig. 5—Procedimientos de prueba.

tienen diversos contenidos de agregados y diferentes tamaños de agregados. Las mezclas de reparación de grano fino con agregado muy fino y poco o ningún agregado grueso pueden bombearse con bombas del tipo mono o bombas con válvula de globo/pistón.

Los materiales de reparación con agregados de mayor tamaño (mayores a 10 mm [3/8 in.]) se bombean mejor con bombas con válvula hidráulica / giratoria. Todo el equipo de bombeo debe tener controles adecuados para regular la velocidad de flujo y las presiones.

#### ¿Qué aspectos de seguridad hay que considerar?

Las prácticas de seguridad en la obra incluyen, sin sentido limitativo, lo siguiente cuando apliquen:

- Disponibilidad de las Hojas de Seguridad de Materiales (MSDS);
- Uso de ropa protectora para los trabajadores que manejan o están expuestos a materiales peligrosos;
- Uso de lentes protectores durante el bombeo y preparación del material;
- Disponibilidad de instalaciones para el lavado de ojos; y
- Uso de respiradores durante la preparación.

Es responsabilidad del usuario de este documento establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas a las circunstancias específicas implicadas con su uso. El ACI no representa a ninguna entidad con respecto a los aspectos de seguridad e higiene y el uso de este documento. El usuario debe determinar la

aplicabilidad de las limitaciones de regulación antes de aplicar la guía y debe cumplir con todas las leyes y regulaciones que apliquen, incluyendo, pero sin sentido limitativo, los estándares de seguridad e higiene de la Administración de Seguridad e Higiene Industrial (OSHA) de los EE.UU.

#### Reunión previa a la construcción y reparación de prueba

Antes de proceder con la reparación, se recomienda realizar una reunión previa. Deberán asistir a la reunión representantes de todas las partes participantes (propietario, ingeniero, contratista, fabricante de materiales, etc.) y tratar específicamente los parámetros, medios, métodos y materiales necesarios para lograr los objetivos de la reparación. Se recomienda mucho hacer reparaciones de prueba usando el procedimiento y los materiales propuestos.

#### Procedimiento para la reparación

**Construcción del encofrado**—el encofrado debe acomodar la masa y la presión del material de reparación. El diseño de los encofrados debe seguir las prácticas estándar para el concreto vaciado in situ, excepto para el cálculo de la presión del encofrado. El encofrado debe diseñarse para soportar una presión mínima de 100 kPa (14 psi). La presión máxima ejercida sobre el encofrado ocurre después de que la cavidad del mismo está llena y presurizada. El encofrado se fija mejor directamente a la superficie de concreto usando anclas de expansión o tirantes estándar para encofrados. Todas las



*Efectos por no llenar la cavidad.*

anclas deben precargarse para prevenir el deslizamiento durante la colocación. En algunas aplicaciones, se puede usar apuntalamiento o andamiaje para soportar el encofrado. Los encofrados deben construirse de un tamaño para que entren justamente en las superficies existentes de concreto. Los empaques de espuma preformados o la espuma vaciada en la obra funcionan bien para manejar superficies difíciles de igualar. La conexión de la manguera de la bomba al encofrado se logra con varias técnicas incluyendo el uso de aditamentos de plomería con bridas y válvulas de globo o el uso de una unión a la línea de bombeo con una inserción de ajuste de fricción manual seguida de tapones de madera.

**Procedimiento de bombeo**—La secuencia de colocación de material dentro de la cavidad del encofrado depende de las geometrías involucradas. Las superficies verticales se comienzan a bombear en el punto más bajo, llenando la cavidad de tal forma de evitar la oclusión de aire. El arreglo de los puertos para las uniones de la línea de bombeo normalmente es horizontal con un espaciamiento de 900 a 1200 mm (3 a 4 ft) en forma de rejilla. El bombeo continúa aún después del flujo de material de los puertos adyacentes para sacar aire. Cuando el flujo ocurre sin intrusión de aire, la bomba se apaga temporalmente, el puerto se cierra y la línea de bombeo se conecta al puerto adyacente que se ha visto con flujo. La secuencia continua hasta que la cavidad está llena por completo. En algunas condiciones, el producto puede bombearse a la cavidad de un solo puerto. En esta situación, cada puerto adyacente se tapa conforme hay flujo. Es necesario monitorear la presión de la línea de bombeo para evitar una contrapresión excesiva al bombear desde grandes distancias. Una vez que la cavidad está llena, la presión de toda la línea está disponible para presurizar la cavidad del encofrado.

Debe tenerse cuidado en la presurización final ya que una presión excesiva en la línea de bombeo (las bombas hidráulicas pueden ejercer un exceso de presión de 5 MPa [800 psi]) pueden causar que el encofrado no funcione. En la mayoría de las aplicaciones, los manómetros deben fijarse a la línea de bombeo, cerca del puerto de salida para monitorear la presión de la cavidad. Si el encofrado no funciona debido a una sobrepresurización, la falla generalmente ocurrirá como un ligero movimiento en la unión del panel del encofrado o

sello del perímetro. La falla no es explosiva ya que no hay mucha energía almacenada. Las colocaciones en superficies elevadas se logran empezando en el extremo de la superficie y prosiguiendo en forma similar a las colocaciones en superficies verticales. El material fluirá radialmente del puerto de inyección a los puertos adyacentes. Las reparaciones que involucran plafones y caras verticales de los miembros, pueden combinarse en una sola colocación. En este caso, la colocación comienza en la elevación más baja y sigue el procedimiento detallado arriba para cada orientación. Las áreas grandes de reparación deben seccionarse utilizando divisiones transversales. Las divisiones pueden construirse con material de reparación y dejarse en el lugar. El utilizar divisiones transversales y volúmenes de colocación manejables, limita el riesgo de problemas asociados con colocaciones grandes y permite que la presurización ocurra con una duración menor del mezclado del material.

### ¿Cómo debo verificar la reparación?

Después de quitar los encofrados se pueden realizar varias pruebas para confirmar que el material de reparación se ha compactado perfectamente y que se ha logrado un contacto adecuado con el sustrato para lograr la adhesión. Se puede realizar una prueba de adhesión uniaxial perforando a través de la reparación el sustrato. Se jala un plato pegado y unido a la muestra hasta que ocurre la ruptura. Los valores de la resistencia a adhesión deben exceder 0.7 MPa (100 psi) y en la mayoría de los casos exceden de 1 MPa (150 psi). Estas pruebas se realizan de conformidad con el método ACI 503 R, Apéndice (vea la Fig. 5)

Toda el área de reparación debe sondearse también con un martillo o evaluarse por otros métodos no destructivos para determinar la integridad total de la superficie. Cualquier sonido a hueco puede indicar una adhesión deficiente o presencia de vacíos.

### Fuentes de consulta para información adicional

1. "Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforced Steel Corrosion," No. 03730, International Concrete Repair Institute.
2. "Guide for Selecting and Specifying Concrete Repair Materials," No. 03733, International Concrete Repair Institute.
3. ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete (ACI 347-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 32 pp.
4. ACI Committee 546, "Concrete Repair Guide (ACI 546R-96)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 41 pp.
5. ACI Committee 503, "Use of Epoxy Compounds with Concrete (ACI 503R-93) (Reapproved 1998)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1998, 28 pp.

# NUEVO ACI 318S-14

VERSION OFICIAL EN ESPAÑOL  
CORREGIDA Y AUTORIZADA POR  
ACI INTERNACIONAL PARA EL PERU.  
FECHA DE IMPRESION: MARZO 2015

Una norma y un informe del ACI

Requisitos de Reglamento  
para Concreto Estructural  
(ACI 318S-14)

Versión en español y en sistema métrico SI)

Comentario a  
Requisitos de Reglamento  
para Concreto Estructural  
(ACI 318RS-14)

Preparado por el Comité ACI 318

ACI 318S-14



COMPLETAMENTE  
**REORGANIZADO**  
PARA MAYOR  
**FACILIDAD DE USO**

- Precio de Venta ..... S/. 130.00
- Precio Socio ACI PERU ..... S/. 100.00
- Precio venta corporativa ..... S/. 100.00  
(3 unidades o más)

El nuevo ACI 318S-14 "Requisitos de Reglamento de Construcción para Concreto Estructural y su Comentario" ha sido completamente reorganizado. Ahora está organizado desde la perspectiva del diseñador, la edición 2014 incluye más tablas y gráficos, una estructura consistente para cada capítulo miembro, menos referencias cruzadas, un capítulo dedicado a los requisitos de construcción y nuevos capítulos sobre los sistemas estructurales y diafragmas, así usted sabrá con certeza cuando su diseño satisface todas las disposiciones del código pertinente.

Edición impresa YA disponible únicamente en ACI PERU.  
Obtenga su ejemplar totalmente en ESPAÑOL (588 páginas)

Incluye, para descargar, el manual digital "Claves de Transición ACI 318-11 al 318-14", PDF de 80 páginas, autorizado por el American Concrete Institute – ACI.

Consultas, compras y pedidos en ACI PERU.

Teléfonos: 275-3330 / 256-0891 Anexo 210

contacto@aci-peru.org

Cuenta Corriente BCP SOLES: 193-0025693-0-24

Se hacen envíos a provincias. Agregar S/. 20.00 para gastos.

www.aci-peru.org



ASOCIACIÓN CAPÍTULO PERUANO DEL  
INSTITUTO AMERICANO DEL CONCRETO

# CAPITULOS DE ESTUDIANTES ACI PERÚ

# CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO UTILIZANDO NANOSÍLICE

Autores: Genaro Beas Bernuy, Anthony Pajuelo Amez, Alvaro Pomez Montiel y Erick Calderon Trinidad  
Miembros del Capítulo de Estudiantes ACI UNI

**Sinopsis:** El presente trabajo consiste en comparar un concreto convencional con un concreto de alto desempeño utilizando nanosílice. La nanosílice posee propiedades puzolánicas, es decir que en presencia de agua reacciona con los productos de la hidratación del cemento para seguir formando *partículas de C-S-H (gel)*, que es el “pegamento” del concreto, el cual mantiene cohesionado a todas sus partículas, por tanto el concreto es capaz de resistir más y a la vez ser más compacto. Dentro de los resultados que se pudo obtener se puede afirmar un incremento notable en aspectos como: La resistencia a la compresión, a la flexión, al módulo de elasticidad, el tiempo de fraguado; por otro lado aspectos donde no se observan cambios significativos como el de la tracción indirecta.

**Palabras Claves:** Alto desempeño, Nanosílice, gel.

## 1. Introducción

En la actualidad existe una demanda cada vez más creciente de infraestructura moderna capaz de garantizar seguridad, comodidad, economía y además ser amigable con el medio ambiente, es por eso que el uso de una nueva tecnología en el concreto capaz de resolver los problemas mencionados se hace cada vez más necesario. El concreto al ser el material más usado en la construcción necesita adaptarse a los nuevos requerimientos cada vez más específicos, y de este hecho es que nosotros podemos hablar de un concreto de alto desempeño, un concreto que justamente sea elaborado para solucionar dichos problemas específicos, problemas en el concreto tanto en un estado fresco como endurecido. En este trabajo se verá una síntesis teórica de los componentes del concreto, del proceso químico, mecánico, y de un análisis experimental comparando un concreto convencional con un concreto de alta resistencia (usando nanosílice y un aditivo superplastificante). En la parte experimental se harán ensayos tanto en estado fresco como endurecido a un concreto convencional y a uno de alto desempeño como se mencionó anteriormente.

## 2. Objetivos

- Dotar de una base teórica acerca de un concreto de alto desempeño utilizando nanosílice.
- Comparar las propiedades del estado fresco y endurecido de un concreto convencional y uno de alto desempeño con nanosílice.

## 3. Generalidades

### 3.1 Concreto de Alto Desempeño (CAD)

Según el American concrete Institute (ACI), un concreto de alto desempeño es el que reúne una combinación especial de requerimientos de desempeño y uniformidad

que no siempre pueden ser logrados usando materiales tradicionales, mezclado normal, criterios de colocación normales y prácticos de curado ordinarios.

### 3.2 Proceso de Hidratación del cemento:

La hidratación del cemento Portland es una secuencia de reacciones químicas entre los componentes minerales del clínker, el sulfato cálcico y el agua. Estas reacciones se producen de manera simultánea, a diferentes velocidades e influenciándose unas sobre otras. Este proceso conduce finalmente al fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento (Jawed, J. et al. 1983). Dentro de las hidrataciones más importantes tenemos:

**Hidratación del silicato tricálcico:** Se obtiene como producto resultante portlandita ( $\text{Ca(OH)}_2$  o CH) y un silicato cálcico hidratado semicristalino denominado gel ( $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_4$  o C-S-H).

**Hidratación del Silicato bicálcico:** Los productos resultantes son los mismos que el caso anterior diferenciándose en la velocidad de reacción que es veinte veces menor.

**Hidratación del Aluminato Tricálcico:** Es de alta reactividad con el agua, dando lugar a un endurecimiento casi instantáneo de la pasta. En presencia de yeso forma etringita (AFt).

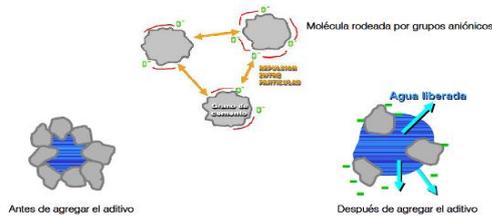
**Hidratación del ferrito-aluminato tetracálcico:** Es muy similar al caso anterior pero a una velocidad de reacción menor.

### 3.3 Aditivos Superplastificantes

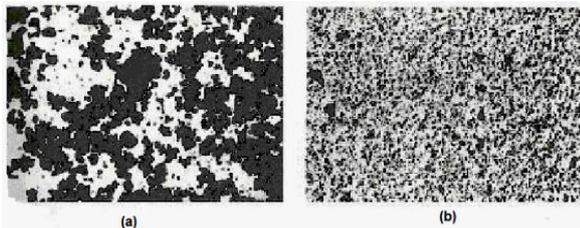
Los aditivos superplastificantes o reductores de alto rango son surfactantes aniónicos de naturaleza orgánica, que una vez disueltos en agua, dispersan las partículas de cemento y mejoran la cohesión y reología del sistema cementante (Edmeades, R.M. et al. 1998).

Estos aditivos superplastificantes (basados en policarboxilatos) se adsorben sobre los granos de cemento a través de sus grupos aniónicos (grupos sulfónicos),

debido a la carga positiva superficial de las partículas de cemento. Además, una parte de estos grupos con carga negativa quedan en contacto con la disolución confiriendo a los granos de cemento una carga neta negativa responsable de una repulsión de tipo electrostático entre ellos. Esta repulsión provoca la dispersión entre los granos de cemento, liberando el agua contenida en los flóculos (Figura 1 y figura 2).



**Figura 1:** Como actúa el aditivo sobre las partículas de cemento.



**Figura 2:** Microfotografía de partículas de cemento en una solución de agua/cemento sin aditivo superplastificante (a) y con aditivo superplastificante (b) (Mehta y Monteiro, 1994).

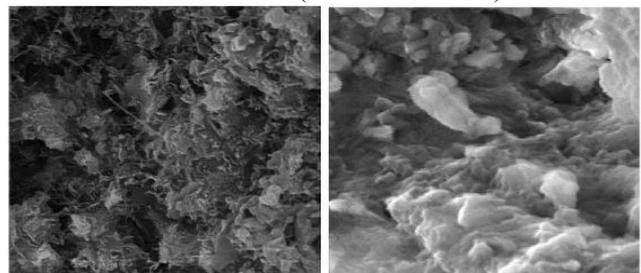
**3.4 Nanosílice**

La nanosílice está constituida por partículas de tamaño nanométricos (decenas de nanómetros) compuestas mayoritariamente por SiO<sub>2</sub>. Cuando la sílice se mezcla con iones de calcio, sodio o potasio, como los productos provenientes de la reacción de hidratación del cemento, produce partículas de C-S-H (gel), que es el “pegamento” del concreto, lo que mantiene cohesionado a todas sus partículas.

La nanosílice en el concreto es importante también por lo siguiente:

- Estas actúan como núcleos durante el proceso de hidratación gracias a su alta energía superficial y a la actividad de los átomos en su superficie que le permiten generar muchos más sitios de nucleación para la formación de los productos de hidratación. Lo cual se traduce en una mejora de la adherencia del cemento hidratado y aumento de la cinética de hidratación del cemento, lo cual es favorable para la resistencia (Qing et al, 2006; Li et al, 2004; Li, Xiao & Ou, 2004; Björnström et al, 2004).

- A través de la reacción de las partículas de nanosílice con el Ca(OH)<sub>2</sub> (portlandita o CH) y del aceleramiento del proceso de hidratación, este C-S-H (gel) llena los espacios vacíos para mejorar la densidad, la cohesión y la impermeabilidad. Por otro lado, la nanosílice al seguir formando C-H-S (gel) rellena los vacíos haciendo a la matriz más densa, mejorando la integración y estabilidad de los productos de hidratación. (Ji, 2005; Li, Xiao & Ou, 2004). En la Figura 3 se puede apreciar una foto entre un concreto convencional (foto de la izquierda) y un concreto usando nanosílice (foto de la derecha).



**Figura 3:** Foto de un concreto convencional y otro usando nanosílice (Mostafa.K, 2010).

**4. Detalles experimentales**

Para el proyecto se elaboró un diseño patrón (Concreto convencional), y luego tres diseños manteniendo la cantidad de cemento igual a la del concreto patrón. En estas tres mezclas se adicionó nanosílice en cantidades de 1%, 3% y 5% respectivamente.

**4.1 Materiales**

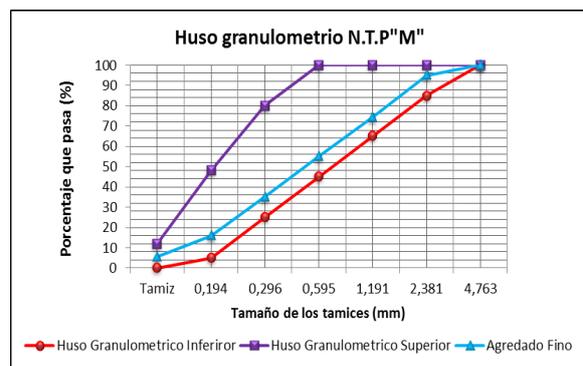
Los materiales que se usaron en la investigación son los siguientes:

**Cemento:** El cemento usado es el cemento Portland Tipo I sol.

**Agregados:**

- Granulometría: Se utilizó la N.T.P. 400.012

Para el agregado Fino (Figura 4):



**Figura 4:** Granulometría del agregado fino.

Para el agregado Grueso (Figura 5):

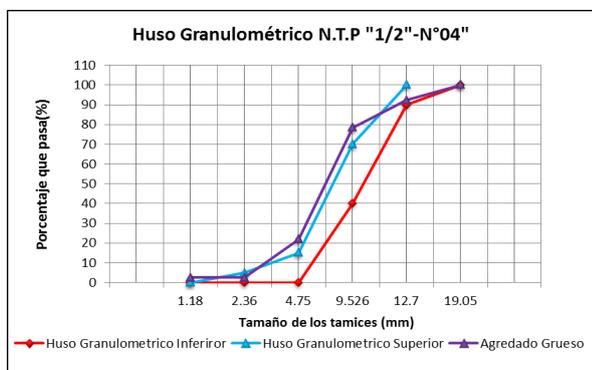


Figura 5: Granulometría del agregado grueso.

El agregado grueso utilizado fue de tipo confitillo HUSO 7, con un tamaño máximo nominal de 1/2".

- **Propiedades Físicas:** Se utilizó las normas según NTP (Norma Técnica Peruana). y se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades físicas de los agregados.

Agregados	Fino	Grueso
Cantera	Jicamarca	Jicamarca
Perfil	--	Anguloso
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1363	1398
Peso unitario compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1674	1501
Peso específico seco (Kg/m <sup>3</sup> )	2610	2650
Módulo de fineza	3.19	6.06
TMN	--	1/2"
Porcentaje de absorción (%)	1.01	1.45
Contenido de humedad (%)	6.16	0.4

**Agua:** De la red pública de agua potable de Lima.

**Adiciones:** Se utilizó el producto AQUA, que es un nanosílice de la línea de productos de ULMEN. Sus propiedades se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Propiedades físicas del aditivo empleado.

Propiedades Físicas	
Apariencia:	Líquido ligeramente viscoso
Color:	Café claro
Densidad:	1.056 ± 0.02 g/ml
PH:	6 ± 1
Viscosidad:	21 ± 2 (s) (C. Ford No 4)

Fuente: Ficha técnica de ULMEN (www.ulmen.cl)

## 4.2 Diseño de Mezclas

Para el diseño del concreto patrón (concreto convencional) se utilizó el método del agregado global. Para el diseño de los concretos no convencionales (con la adición de nanosílice) se aplicó la siguiente secuencia; primero se mantuvo la misma cantidad de cemento que el concreto patrón; la cantidad de agua se fue reduciendo de modo que el diseño con 5% de aditivo mantuviera el mismo slump en comparación con el concreto patrón; otro aspecto es que se mantuvo la proporción de agregados que se utilizó en el concreto patrón; finalmente se diseñó para 1m<sup>3</sup> de concreto.

En la Tabla 3 se muestra el resumen de los diseños de mezcla.

Tabla 3: Tabla resumen de diseño de mezcla.

	Concreto Patrón	Concreto con 1% de Aditivo	Concreto con 3% de Aditivo	Concreto con 5% de Aditivo
Cemento (Kg)	432	432	432	432
Arena (Kg)	791	998	987	975
Piedra (Kg)	823	921	910	900
Agua (Lt.)	208	102	102	102
Aditivo (Lt)	0	4	13	22
Aire (%)	2,5	1,15	1,15	1,15

## 5. Análisis de Resultados

### 5.1 Ensayo de Revenimiento o Slump

Realizado según norma ASTM C143. El equipo usado fue el cono de Abrams. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4: Valores de Asentamiento (slump).

Tipo de Concreto	Asentamiento (pulgadas)
C. Patrón	7
C. con 1% de Aditivo	1
C. con 3% de Aditivo	5,5
C. con 5% de Aditivo	7,5

Notamos en la Figura 5 que el valor del slump se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo usado, esto se puede explicar debido a que el aditivo libera el agua atrapada en los floculos del cemento y por lo tanto genera una mezcla mas fluida. Por otra parte se debe mencionar que el slump del concreto patrón es de 7 in (17.8 cm) debido a que en este diseño se utilizó mayor cantidad de agua.

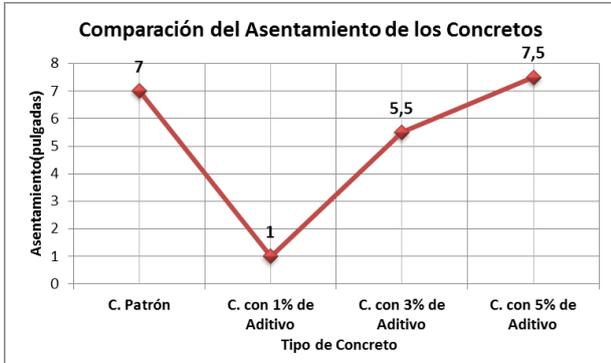


Figura 5: Curva de Asentamiento.

5.2 Contenido de Aire

Realizado según norma ASTM C 231. Se usó el equipo Washington. En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5: Contenido de Aire.

Tipo de Concreto	Contenido de Aire (%)
C. Patrón	1,5
C. con 1% de Aditivo	1,62
C. con 3% de Aditivo	1,8
C. con 5% de Aditivo	1

En la Figura 6 se aprecia que a mayor contenido de aditivo la mezcla se hace más fluida y se puede apreciar que la cantidad de aire disminuye.

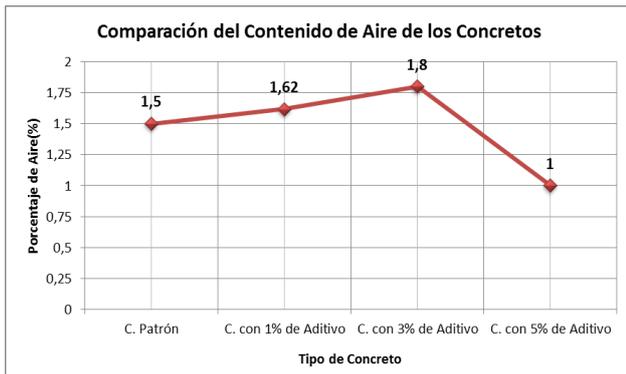


Figura 6: Curva de Contenido de Aire.

5.3 Peso Unitario

Realizado según norma ASTM C 029. En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 6: Peso Unitario.

Tipo de Concreto	P.U (kg/m <sup>3</sup> )
C. Patrón	2234
C. con 1% de Aditivo	2387
C. con 3% de Aditivo	2382
C. con 5% de Aditivo	2357

Se aprecia en la Figura 7 que los concretos con aditivo poseen un mayor peso unitario, ya que en los diseños a los cuales se incorporaron el aditivo se redujeron la cantidad de agua; para mantener el volumen total de la mezcla (1m<sup>3</sup>) dicha cantidad de agua fue reemplazada por agregados que tienen un mayor peso unitario que el agua.

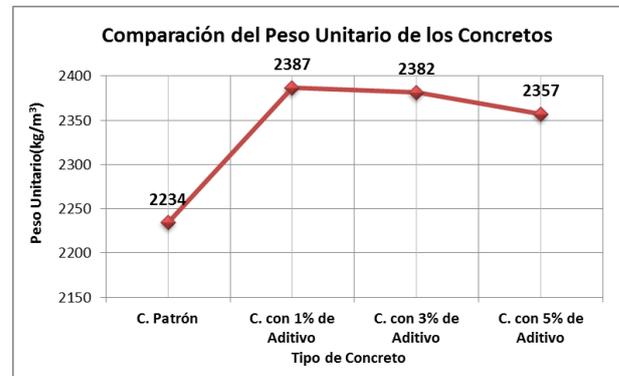


Figura 7: Curva de Peso Unitario.

5.4 Tiempo de Fragua

Realizado según norma ASTM C 403. En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos.

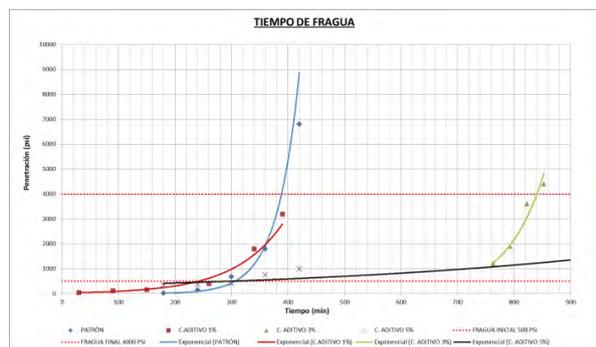


Imagen 1: Ensayo de Tiempo de Fragua.

En la Imagen 1 se puede apreciar el equipo usado para el ensayo de tiempo de fragua una es realizada la primera penetración.

**Tabla 7: Tiempo de Fragua.**

Tipo de Concreto	Fraguado Inicial(h)	Fraguado Final(h)
C. patrón	4.8	6.5
C. con 1% Aditivo	5.6	9.4
C. con 3% Aditivo	11.8	14.0
C. con 5% Aditivo	14.0	18.0



**Figura 8: Curva de Tiempo de Fragua.**

En la Figura 8 se observa que el concreto que demora más tiempo en fraguar es el concreto con 5% de aditivo con aproximadamente 19h. En general se puede decir que a mayor cantidad de aditivo los tiempos de fraguado inicial y final también aumentan.

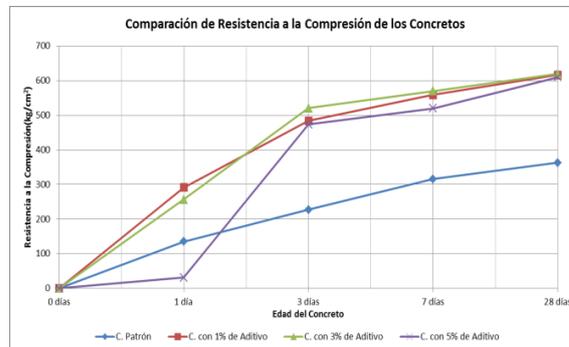
**5.5 Resistencia a la Compresión**

Realizado según norma ASTM C 039. En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 8: Resistencia a la Compresión.**

Edad del Concreto	Resistencia a la Compresión(kg/cm <sup>2</sup> )			
	C. Patrón	C. con 1% de Aditivo	C. con 3% de Aditivo	C. con 5% de Aditivo
1 día	135	291	257	31
3 días	227	483	521	473
7 días	316	559	570	520
28 días	363	616	619	610

Se observa en la Figura 9 que los valores de compresión de los concretos con aditivo son superiores al concreto patrón. También se observa que los resultados a la edad de 28 días son similares con la notoriedad que el mayor valor se encuentra en el concreto con 3% de aditivo. Un aspecto importante es analizar los tres primeros días, en la gráfica se observa que añadir 5% de aditivo genera retrasos en la ganancia de resistencia del concreto lo cual es muy notorio al ser ensayado a 1 día ya que a esta edad el concreto recién termina de fraguar completamente.



**Figura 9: Curva de Resistencia a la Compresión.**

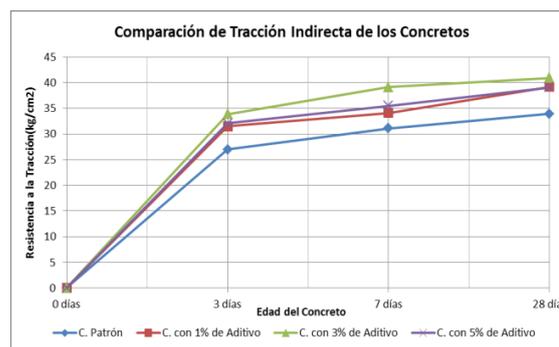
**5.6 Tracción Indirecta**

Realizado según norma ASTM C 496. En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 9: Tracción Indirecta.**

Edad del Concreto	Resistencia a la Tracción (kg/cm <sup>2</sup> )			
	C. Patrón	C. con 1% de Aditivo	C. con 3% de Aditivo	C. con 5% de Aditivo
3 días	27	31	34	32
7 días	31	34	39	36
28 días	34	39	41	39

Se puede apreciar en la Figura 10 que los valores de tracción son muy similares para los concretos con aditivo, además el que da un mayor resultado es el concreto con 3% de aditivo.



**Figura 10: Curva de Tracción Indirecta.**

**5.7 Flexión**

Realizado según norma ASTM C 078. En la Imagen 2 se aprecia la rotura de la viga, y en la Tabla 10 los resultados obtenidos.

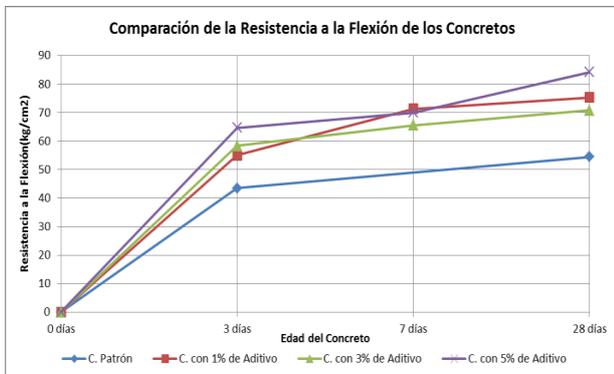
**Tabla 10: Flexión.**

Edad del Concreto	Resistencia a la Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )			
	C. Patrón	C. con 1% de Aditivo	C. con 3% de Aditivo	C. con 5% de Aditivo
3 días	44	55	58	65
7 días	-	71	66	70
28 días	54	75	71	84



**Imagen 2: Rotura de la Viga.**

Notamos que los valores de flexión de los concretos con aditivo están por encima que los del concreto patrón, además el concreto que da mejores resultados es el concreto con 5% de aditivo.



**Figura 11: Curva de Flexión.**

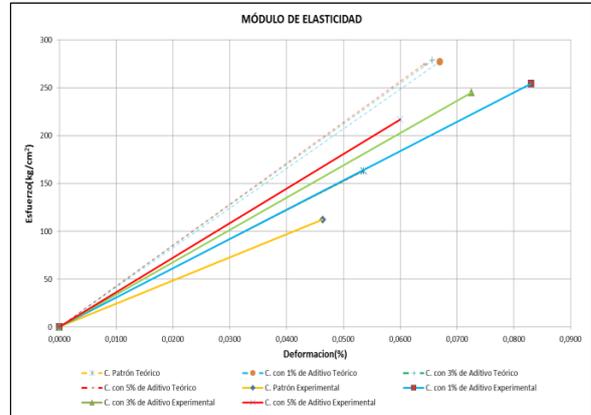
**5.8 Módulo de Elasticidad**

Realizado según norma ASTM C 469.

En la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos

**Tabla 11: Módulo de Elasticidad.**

Tipo de Concreto	C. Patrón	C. con 1% de Aditivo	C. con 3% de Aditivo	C. con 5% de Aditivo
Módulo de Elasticidad Experimental (kg/cm <sup>2</sup> )	266786	308226	341373	358421
Módulo de Elasticidad Teórico (kg/cm <sup>2</sup> )	304802	414108	424091	428212



**Figura 12: Curva de Módulos de Elasticidad.**

En la Figura 12 se observa que en todos los casos el módulo de elasticidad obtenido de forma teórica es mayor que el módulo de elasticidad obtenido de forma experimental, esto debido a que las expresiones para su cálculo sobreestiman este valor. También se nota que a mayor cantidad de aditivo usado, mayor es el módulo de elasticidad.

Cabe mencionar que el ACI presenta una fórmula para calcular el módulo de elasticidad teórico en función del peso específico y la resistencia del concreto, esta fórmula es aplicable a concretos convencionales y no específicamente para el caso nuestro que es más un concreto de alta resistencia. A pesar de esto en el presente trabajo se aplicó dicha fórmula para posteriormente analizar sus resultados.



**Imagen 3: Equipo para ensayo de Módulo de Elasticidad.**

## 6. Conclusiones

1. Los mejores resultados a los 28 días se obtuvieron al añadir el aditivo en cantidades menores al 3%, siendo el resultado más óptimo la adición de 1%. Añadir más del 5% sería perjudicial tanto en términos económicos y técnicos.

2. El slump con 5% de aditivo fue de 7.5 in, con 3%, 5.5 in, y con 1%, 1 in; se puede concluir la eficacia del aditivo y la susceptibilidad del producto frente al agua.

3. Diversas tablas de diseño sugieren que a menor tamaño máximo nominal (TMN) del agregado mayor es el contenido de aire en la mezcla, en nuestro caso se sugiere 2.5% de contenido de aire para nuestro TMN (1/2 in) y nosotros encontramos 1.64% (excepcionalmente a la muestra con 5% que tiene 1% de contenido de aire); con lo que se evidencia que para concretos con agregados no convencionales (en nuestro caso de tipo confitillo HUSO 7) las tablas en este aspecto no son del todo eficaces.

4. Las muestras con aditivo alcanzan rápidas resistencias iniciales, a los 3 días 492.33 Kg/cm<sup>2</sup> en promedio confirmando la gran reactividad de la nanosílice. a los 7 días alcanzan 549.66 Kg/cm<sup>2</sup> en promedio y a los 28 días 615 Kg/cm<sup>2</sup> en promedio; esto quiere decir que a los 3 días se obtiene aproximadamente el 80% de la resistencia a los 28 días y a los 7 días el 89% de la resistencia a los 28 días. Además cabe inferir que como la nanosílice reacciona básicamente con los productos de la hidratación del cemento, después de los 28 días se seguirá obteniendo mayores resistencias como se evidencian en otras investigaciones.

5. El tiempo de fraguado inicial y final aumenta en los concretos a medida que se aumenta la cantidad de aditivo, en el caso de 1%, el fraguado inicial es 48 minutos más que en el caso del concreto patrón; y en el caso de 5%, es un poco más de 9 horas para producirse el fraguado inicial.

6. El análisis de tracción indirecta muestra que añadir el aditivo no aporta cambios significativos en cuanto a mejorar la resistencia frente al concreto convencional, registrándose un 16.6% de mayor resistencia en promedio a los 28 días.

7. Al aumentar la resistencia a la compresión también aumenta la resistencia a la flexión pero en menor proporción, mientras que en el caso de la compresión se puede apreciar un aumento del 69.45% en promedio, en el

caso de la flexión aumenta en 41.97% en promedio, todo esto medido a los 28 días.

8. El módulo de elasticidad experimental en los concretos con el aditivo tiende a disminuir con la menor cantidad de aditivo adicionado en la mezcla, lo que hace notar que a menor contenido del aditivo en estudio, los concretos son menos dúctiles.

9. Analizando los datos de la Tabla 11 podemos observar que el módulo de elasticidad teórico del concreto convencional (con la fórmula del ACI) frente al módulo de elasticidad experimental es un 14.25% mayor; en el caso de 1%, el teórico es 34% mayor; para 3% el teórico es 24.23% mayor; y para 5% el teórico es 19.47% mayor. Esto nos hace concluir que la fórmula del ACI para concretos de alta resistencia (como nuestro caso) no es del todo eficaz por la diferencia porcentual mostrada.

## 7. Bibliografía

1. María del Mar Alonso López; "Comportamiento y Compatibilidad de Cementos y Aditivos Superplastificantes Basados en Policarboxilatos. Efecto de la Naturaleza de los Cementos y Estructura de los Aditivos"; Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja", CSIC; Madrid, 2011.
2. Luciano Senff, João A. Labrincha, Victor M. Ferreira, Dachamir Hotza, Wellington L. Repette; "Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars"; Construction and Building Materials 2009.
3. Byung-Wan Jo, Chang-Hyun Kim, Ghi-ho Tae, Jong-Bin Park; Characteristics of cement mortar with nano-SiO<sub>2</sub> particles; Construction and Building Materials 2007.
4. "GAIA Nanosilice, Nano aditivo Superplastificante"; Ulmen S.A.; Ficha Técnica, 2008.
5. Néstor Eduardo León Brito; "Influencia de la Adición de Nano Sílice en el Hormigón Autocompactante"; Universidad Politécnica de Madrid; Madrid, 20012.
6. F. Puertas y T. Vázquez; "Hidratación Inicial del Cemento. Efecto de Aditivos Superplastificantes"; Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (Csic); España, 2001.

Lima, Abril 2013

# MATERIALES CEMENTICIOS SUPLEMENTARIOS (SCM)

Boletín Educativo proporcionado por el Capítulo de Estudiantes ACI PUCP

## ¿QUÉ SON LOS MATERIALES CEMENTICIOS SUPLEMENTARIOS?

Tal como define el ACI 116R a este tipo de materiales, consisten básicamente de materiales silíceos y aluminosos que por sí mismos tienen poco o ningún valor cementante, pero que molidos finamente y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio (CH) liberado por la hidratación del cemento Portland, para formar compuestos C-S-H (silicato de calcio hidratado) que tienen propiedades cementantes.

Los materiales cementicios suplementarios, denominados SCMs por sus siglas en inglés, son finas partículas silíceas que, usados conjuntamente con cemento Portland, contribuyen a mejorar las propiedades del concreto fresco y endurecido. Estos materiales, denominados también adiciones minerales, son añadidos al concreto, reemplazando parte del cemento a usar, en rangos que pueden variar entre 20 y 70 % del peso del material cementante total.

## ¿POR QUÉ UTILIZAR MATERIALES CEMENTICIOS SUPLEMENTARIOS?

Existen 3 razones fundamentales para utilizar adiciones minerales: Mejora de la durabilidad del concreto frente a ciertos agentes externos, mejora en la resistencia y cuidado al medio ambiente.

### BENEFICIOS EN LA DURABILIDAD

#### Resistencia al ataque de sulfatos

El uso adecuado de adiciones minerales es altamente recomendable cuando el concreto estará expuesto al ataque de sulfatos, por ejemplo en un ambiente marino o en un concreto que estará en contacto con un suelo con alto contenido de sulfatos. Dichos sulfatos ingresarán en solución al concreto y reaccionarán con los aluminatos ( $C_3A$ ) de la pasta de cemento endurecida.

Dado que la reacción sulfato – aluminato es expansiva, se generará agrietamiento en el concreto. Esto se puede evitar usando cemento con bajo contenido de aluminatos, o disminuyendo la permeabilidad del concreto con el uso de adiciones minerales.

#### Bajo calor de hidratación

Las adiciones minerales generan menos calor de hidratación que el cemento Portland. Esta propiedad hace su uso especialmente ventajoso en vaciados en climas cálidos, pues permiten tener más tiempo para colocar y finalizar el concreto, o en concreto masivo, en el que la pérdida de calor se dificulta al tener grandes volúmenes de concreto con poca área expuesta.

### Prevención de reacciones álcalis - sílice

La sílice presente en los agregados puede llegar a reaccionar con los álcalis del cemento, siendo ésta reacción expansiva, lo que produce agrietamiento en el concreto. Las adiciones minerales pueden ser usadas para reducir el alcálisis activo al reemplazar parte del cemento, además de disminuir la porosidad y por lo tanto la permeabilidad del concreto, mejorando la resistencia del concreto a las reacciones álcalis-sílice.

### Protección del acero ante la corrosión

El concreto, debido a su alto contenido de  $Ca(OH)_2$ , es altamente alcalino, y es debido a esta alta alcalinidad (con un pH de entre 12 y 13) que el concreto puede proteger eficazmente al acero de la corrosión, generando una "capa pasiva" de óxido férrico gama alrededor de la superficie del acero. Cuando el concreto reacciona con el dióxido de carbono, produciendo carbonato de calcio, el proceso de carbonatación hace que el pH del concreto se reduzca a aproximadamente 8.5, destruyendo la "capa pasiva". Podemos usar las adiciones minerales para disminuir la permeabilidad a gases del concreto, y de esta forma prevenir la carbonatación.

Por otro lado, el ingreso de cloruros puede desactivar la capa de pasivación, incluso cuando el pH se mantiene alto. Una vez más, el uso de adiciones minerales es útil, ya que retarda el tiempo en el que los cloruros pueden llegar a formarse en concentraciones críticas.

## BENEFICIOS ECOLÓGICOS

Las adiciones minerales generalmente se obtienen como subproductos de diversos procesos industriales, tales como la quema de carbón en las centrales termoeléctricas, o en la producción de hierro. La utilización de los subproductos residuales de estos procesos para la elaboración de material cementicio suplementario, es un gran aporte ecológico para la humanidad.

Por otro lado, la producción de cemento Portland genera ingentes cantidades de CO<sub>2</sub>, que es el principal responsable del calentamiento global. Al reemplazar parte de este cemento por adiciones minerales, estamos disminuyendo el consumo de cemento Portland y por ende disminuyendo la emisión de CO<sub>2</sub> a nivel mundial.

## **EXPERIENCIA DE LABORATORIO**

---

Como parte del programa del curso de Tecnología de Concreto de la PUCP, desarrollado durante el semestre académico 2013-1, los alumnos del curso realizaron una práctica de laboratorio con la asesoría de los ingenieros: Laura Navarro y Yunus Ballim. Esta práctica consistió en la realización de mezclas de concreto, con el objetivo de estudiar las propiedades que brindan los materiales cementicios suplementarios al concreto.

Las mezclas de concreto se realizaron en el Laboratorio de Estructuras, y fueron elaboradas con 3 tipos de adiciones minerales: La primera fue la mezcla patrón, elaborada íntegramente con cemento Portland tipo 1, y las restantes con adiciones minerales, que reemplazaron a una fracción del cemento. Los materiales cementicios utilizados fueron: Escoria, Fly Ash y puzolanas. Esto se hizo con el objetivo de comparar la influencia de las adiciones minerales en: Las propiedades del concreto fresco (etapa plástica) y las propiedades mecánicas del concreto endurecido, evidenciadas a través de su resistencia a la compresión. Además, para cada tipo de material cementicio se utilizaron tres distintas relaciones agua-cemento, con el objetivo de comparar su influencia en las distintas mezclas. Las adiciones minerales utilizadas se describen a continuación.

## **ESCORIA**

La escoria (slag) es un subproducto que se obtiene en estado fundido de los altos hornos de hierro, constituido esencialmente por silicatos calcio y alúmina, además de óxido de hierro. Este SCM mejora ligeramente la trabajabilidad y puede retrasar el tiempo de fragua. Sin embargo, al igual que en la mayoría de las otras adiciones minerales, este retraso produce resistencias iniciales menores, las cuales aumentan a través del tiempo. Además, la escoria mejora la resistencia a la penetración de iones cloruros, aumentando la protección del acero de refuerzo contra la corrosión.

### Beneficios:

- Mejora considerablemente la resistencia a la penetración de iones de cloruro a través del concreto, evitando la corrosión del acero de refuerzo, además de mejorar su resistencia a los sulfatos.
- Al ser un material cementante, por sí mismo posee hidraulicidad latente (capacidad de fraguar aún debajo del agua) por lo que puede ingresar en el concreto hasta en un 70% del material cementicio.
- La resistencia a la compresión a edades tempranas son menores, sin embargo, en el transcurso del tiempo (28 días), son similares e incluso más altas, conservando potencial de crecimiento a largo plazo (60 días).
- Modifica la naturaleza y características de la estructura interna del concreto, reduciendo el tamaño y el número de poros, por lo que disminuye la permeabilidad y aumenta la durabilidad frente a la exposición a agentes agresivos. También otorga mayor resistencia a los ciclos de hielo-deshielo del concreto.

## **PUZOLANA NATURAL**

En este caso se usó cemento puzolánico, por lo que la puzolana viene incluida en el cemento utilizado. La puzolana contiene un alto porcentaje de sílice activa, la cual en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio (uno de los productos de la hidratación del cemento portland), generando mayor cantidad de C-S-H, que es el componente hidráulico más importante en el desarrollo de la resistencia del concreto. Los orígenes de las puzolanas pueden ser categorizados en dos tipos: volcánica y calcinada.

- Cenizas volcánicas: Consiste básicamente de sílice amorfa formada por enfriamiento brusco. La materia prima es una roca porosa, no muy densa, la cual se puede encontrar en depósitos cercanos a un volcán, y que se adiciona al cemento al ser molida a una finura similar a la de éste.
- Sílice proveniente de la quema de arcilla: A través de la calcinación de diferentes materiales que contienen arcilla (como ladrillos, esquistos y pizarras), se rompen los fuertes enlaces de las moléculas de óxido de sílice en arreglo cristalino de modo que se pueda extraer un gran porcentaje de sílice activa amorfa.

#### Beneficios:

- Puede aumentar la trabajabilidad debido a la forma de sus partículas.
- Menor calor de hidratación, aunque con menores resistencias iniciales debido a la lenta reactividad puzolánica
- Mejor resistencia a la compresión en comparación con una mezcla sin adición a 90 días, debido que la reacción entre la sílice activa y el hidróxido de calcio genera más C-S-H.
- Reducción de la permeabilidad
- Aumento de la densidad en el tiempo.

#### **FLY ASH**

Las cenizas volantes (fly-ash) son un subproducto de la combustión del carbón en las centrales termoeléctricas. El fly-ash está compuesto principalmente por partículas esféricas (aprox. 20  $\mu\text{m}$ ) de vidrio de sílice, el cual contiene silicatos, alúmina, hierro y calcio. La forma de las partículas mejora la trabajabilidad, y el bajo contenido de aluminatos disminuye el calor de hidratación y mejora la resistencia a los sulfatos. Este SMC generalmente retrasa ligeramente el tiempo de fragua y desarrolla resistencia de manera más lenta. El fly-ash también disminuye las reacciones álcalis-sílice y reduce la permeabilidad, incrementando la resistencia contra iones cloruro y la corrosión del acero de refuerzo.

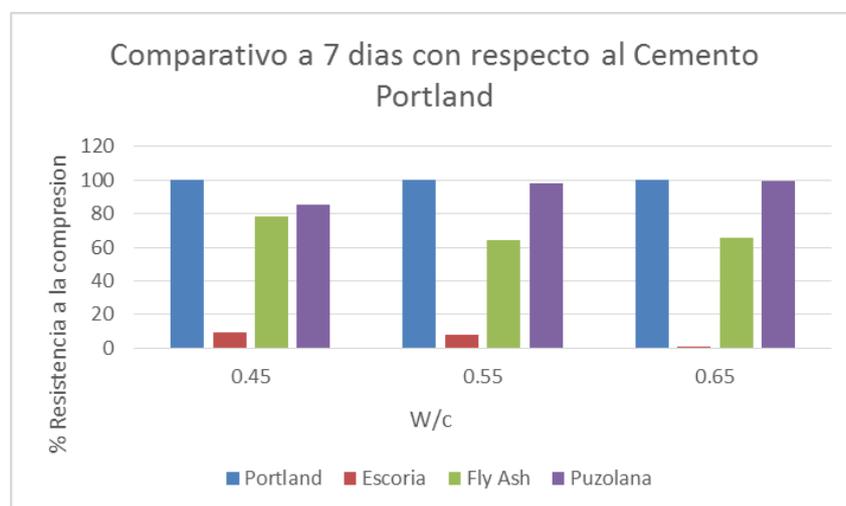
#### Propiedades beneficiosas:

- Mejora la trabajabilidad.
- Reduce el calor de hidratación. Esto a su vez hace que las resistencias iniciales sean menores (ya que su ganancia de resistencia es lenta) pero posteriormente aumentan.
- Resistencia a la reacción álcalis – sílice.
- Resistencia al ataque de sulfatos.
- Resistencia a la penetración de iones cloruro, dado que mejora la impermeabilidad

## RESULTADOS

Como se mencionó previamente, se utilizaron 4 tipos de materiales cementantes: cemento Portland tipo I, cemento Portland tipo I con 30 % (en peso) de Fly Ash de porcentaje de reemplazo, cemento Portland tipo I con 30 % (en peso) de escoria de reemplazo, y cemento Portland tipo PM. Para cada uno de estos materiales cementantes se utilizaron 3 distintas relaciones agua-cemento: 0.45, 0.55 y 0.65. Cabe resaltar que se usó la misma cantidad de agua en todas las mezclas.

Para las mezclas elaboradas, el siguiente gráfico muestra los resultados de la resistencia a la compresión a 7 días de curado para probetas de 6" x 12". Se muestran los resultados para las distintas relaciones w/c y para los distintos tipos de material cementante. Los resultados se muestran como un porcentaje de la resistencia a la compresión mostrada para el caso de la mezcla patrón (cemento portland tipo I).

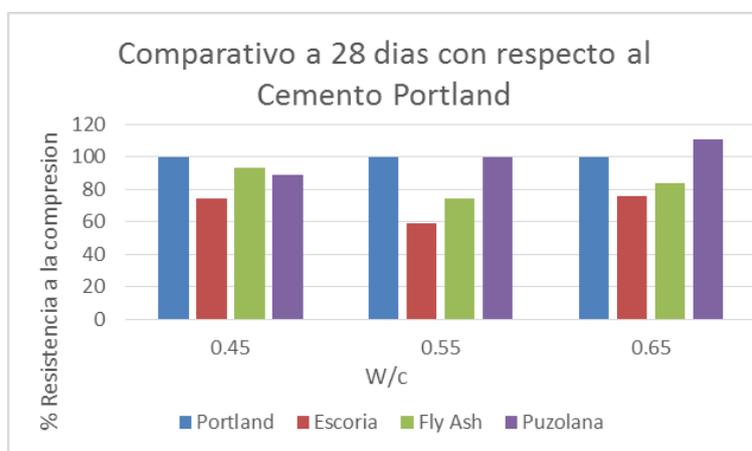


De este gráfico podemos observar la influencia de las adiciones minerales en la resistencia inicial. En primer lugar, el Fly Ash tuvo un comportamiento esperado, con una resistencia inicial menor a la obtenida con cemento tipo I. La resistencia del concreto con cemento PM obtuvo resistencias que, si bien están por debajo de las obtenidas con cemento tipo I, se van acercando a éstas a medida que se aumenta la relación w/c, llegando a tener una resistencia casi igual a la del tipo I para la relación w/c de 0.65.

Es probable que esto se deba a la característica de la puzolana de aumentar la retención de agua, debido a una necesidad de agua por una mayor superficie específica, dependiente de su finura: Para mezclas de baja relación w/c el menor contenido de agua es retenido por la puzolana, impidiendo que todo el cemento logre hidratarse y consecuentemente evitando el ganar resistencia temprana. A medida que la relación w/c aumenta, se tiene mayor cantidad de agua libre por lo que a pesar de que la puzolana retenga agua, el cemento logra hidratarse.

En cuanto al resultado obtenido con la escoria, este mostró resistencias demasiado bajas y casi despreciables. De ninguna manera este resultado indica que la escoria sea un material cementicio inadecuado, sino que la escoria proporcionada al laboratorio constituía un residuo de acería pero no era una escoria caracterizada y tratada para su uso en el cemento.

A continuación, se muestra un gráfico similar al anterior, para los resultados de resistencia a compresión a los 28 días de curado.



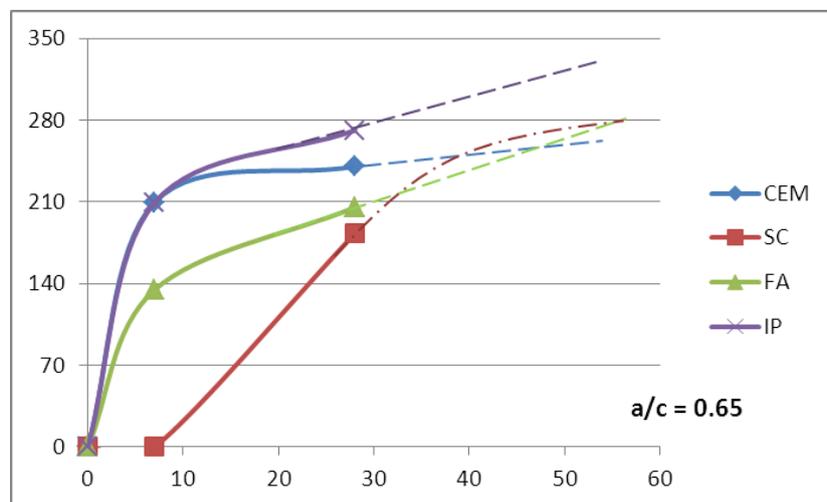
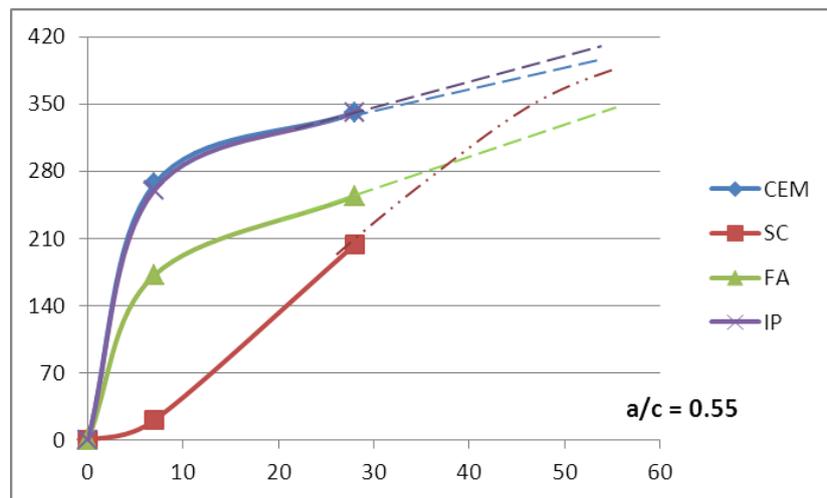
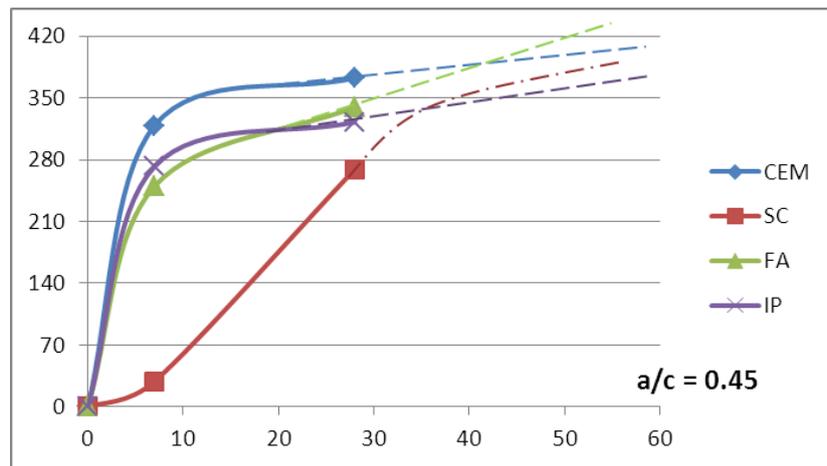
Se puede observar que el Fly Ash aún tiene una resistencia inferior a la del cemento Portland debido a que su ganancia de resistencia es más lenta, aunque se espera que con el pasar del tiempo el concreto con Fly Ash llegue a superar al concreto patrón.

En cuanto a la escoria, ésta tuvo una vez más un comportamiento bastante inesperado. Si bien en los ensayos a 7 días tuvo una resistencia a la compresión casi nula, a los 28 días aumentó apreciablemente su resistencia, llegando a valores de 300 kg/cm<sup>2</sup> para la relación w/c de 0.45 y aproximadamente 200 kg/cm<sup>2</sup> para la relación w/c de 0.65, lo cual evidencia sus propiedades cementantes.

Por último, en lo que respecta a la puzolana observamos que su resistencia se aproxima mucho a la del concreto patrón a la edad de 28 días. Para la menor relación w/c de 0.45 tenemos una resistencia inferior a la del cemento Portland; con w/c de 0.55 obtuvimos aproximadamente la misma resistencia; y para la mayor relación w/c de 0.65 la resistencia del cemento IPM superó a la obtenida por el concreto con cemento I.

## TENDENCIAS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en gráficas de  $f_c$  vs edad del concreto en días para diferentes relaciones w/c. Las líneas punteadas indican las tendencias a futuro de las resistencias de los distintos tipos de materiales cementicios utilizados.



Analizando las gráficas mostradas, se puede observar, en primer lugar, que evidentemente a menor relación agua/cemento se muestran mayores resistencias de los concretos, tal y como se esperaba.

Además, se ha extrapolado las curvas para hallar la tendencia de las resistencias para un tiempo mayor. Se muestra la clara tendencia de las mezclas con adiciones a crecer en resistencia hasta incluso superar a las de cemento Portland Tipo I.

Por último, el concreto con 30% de escoria evidencia una tendencia diferente a las demás mezclas, con resistencias a los 7 días casi nulas. La extrapolación de la curva de este concreto, de la forma como se hizo para las demás es muy cuestionable, pues los resultados de resistencia a los 7 días muestran gran incertidumbre. Por esta razón, se ha extrapolado la curva de forma de graficar una tendencia esperada, la cual muestra que este concreto puede llegar a superar en resistencia a algunas otras mezclas. Sin embargo, cabe aclarar que esta tendencia es aproximada y simplemente se basa en datos teóricos y no experimentales. Para esta mezcla además se comprobó su efecto en el tiempo de fragua, puesto que se tuvo que desencofrar a más de 24 horas.

## OTROS COMENTARIOS

---

- La trabajabilidad debería aumentar con el uso de SMCs. Esto se evidencia en el caso de la escoria. Sin embargo, en el caso del fly-ash y la puzolana esta mejora solo se evidenció en dos de las mezclas ( $a/c=0.55$  y  $a/c=0.65$ ), este efecto puede explicarse si se realizara un ensayo de finura de los materiales cementicios adicionados.
- El desarrollo de la resistencia inicial es más rápido en la mezcla con cemento Portland Tipo I. Sin embargo, se observa una tendencia de las mezclas con SMCs a superar la resistencia de la mezcla con cemento Tipo I a largo plazo. Esta tendencia se muestra fácilmente al comparar la curva  $f'c$  vs. Edad del cemento Tipo I, con la mezcla con fly-ash. Además, el cemento Tipo IPM muestra un desarrollo de resistencia que incluso iguala o supera a la de la mezcla con cemento Tipo I.
- En todas las mezclas se muestra una relación inversa de la resistencia respecto a la relación  $a/c$ , mientras menor sea la relación  $a/c$ , mayor será la resistencia. Los gráficos  $f'c$  vs.  $a/c$  muestran esta relación de manera notoria.
- La trabajabilidad de las mezclas de concreto es una propiedad importante para asegurar la calidad del concreto. En el caso de las mezclas  $a/c=0.45$  con cemento Tipo I y con cemento IPM, es posible que la baja trabajabilidad del concreto haya dificultado la preparación de las probetas, lo cual influye en la resistencia de las mismas. Otra posibilidad para las bajas resistencias es la hidratación parcial del cemento, lo cual teóricamente debería darse con una relación  $a/c=0.32$ .
- Dado el comportamiento errático de la escoria proporcionada, comparado con el buen comportamiento del cemento tipo IPM, podemos resaltar la importancia de la caracterización y homogeneidad de las adiciones minerales usadas en el concreto. Las puzolanas utilizadas en el cemento IPM han pasado por un control de calidad adecuado, mientras que la escoria proporcionada no estaba normada para ser usada en concreto y no tenía ningún control de calidad, lo cual se comprueba al comparar los valores obtenidos de la ficha técnica de la escoria con la norma ASTM C 595. Vemos que el contenido de trióxido de azufre es de 1% y el máximo

exigido por la norma es 3%, sin embargo la pérdida por ignición que figura en el reporte técnico es de 9.9% mientras que el máximo permitido por la norma es 3%, por lo tanto la adición no puede clasificar con IS.

## **INVESTIGACIONES ACTUALES**

---

Existe en curso un proyecto de investigación financiado por el FINCYT (Fondo para la innovación, ciencia y tecnología) para utilizar las cenizas de la hoja de caña de azúcar como adición mineral para el cemento

Este proyecto analiza la producción de energía a partir de las hojas de caña de azúcar unido a la obtención de una puzolana para el cemento. En el Perú la industria azucarera y de producción de etanol genera anualmente 2 millones de toneladas métricas de hoja de caña de azúcar cuyo empleo es reducido. Esta investigación permitirá a las empresas cañeras disponer de una alternativa que dé una solución a la eliminación de sus desechos de cosecha, que involucra generar energía y al mismo tiempo producir cenizas puzolánicas que sirvan como reemplazo del cemento. Esta propuesta representa para las empresas cementeras beneficios técnicos y ecológicos al mejorar las propiedades del cemento y al mismo tiempo reducir el consumo de combustibles fósiles y disminuir la emisión de CO<sub>2</sub>.

## **AGRADECIMIENTOS**

---

Se agradece a los alumnos: Tania Urteaga, Eduardo Ramírez, Manuel Acevedo, y John Ramírez, por los resultados de los ensayos realizados, y a los Ingenieros Laura Navarro y Yunus Ballin por el apoyo brindado en la elaboración de este boletín.

# NEWS ACI PERÚ

## Juramentación Junta Directiva ACI PERÚ 2015 - 2016

En una amena cena de confraternidad juramentó, el pasado 3 de Junio, la nueva Junta Directiva de ACI PERU para el período 2015 - 2016, integrada por:

Ing. Luis Enrique Flores Tantaleán - Presidente  
 Ing. Luciano López Vinatea - Vicepresidente  
 Ing. Luis Alberto Villena Sotomayor - Vicepresidente  
 Ing. María Inés Castillo Aravena - Secretaria  
 Ing. Julio Rafael Rivera Feijóo - Tesorero  
 Ing. José Álvarez Cangahuala - Director  
 Ing. Julio Antonio Higashi Luy - Director  
 Ing. Aleksey Beresovsky De Las Casas - Director  
 Ing. Raúl Eduardo Quezada Saavedra - Director  
 Ing. Christian Alonso Chacón Fernández - Director  
 Ing. William Baca Escobar - Director  
 Ing. Cristian Daniel Sotomayor Cruz - Director



De igual forma se hizo un reconocimiento especial a las empresas que el 2015 participan como Socios Patrocinadores del ACI PERU, un agradecimiento especial a todas ellas:

UNACEM  
 UNICON  
 BASF PERU  
 SIKA PERU  
 QUIMICA SUIZA INDUSTRIAL - QSI  
 ITICSA - CHEMA  
 MIXERCON

CONTROL MIX EXPRESS  
 TOP CONSULT  
 ACEROS AREQUIPA  
 ELASTO PLASTIC  
 CDV INGENIERIA ANTISISMICA  
 ADITIVOS ESPECIALES  
 GRUPO CONSTRUCTIVO



# NEWS ACI PERÚ

## Exitoso lanzamiento de la norma ACI 318S-14 por ACI PERU

El miércoles 29 Mayo 2015, en el auditorio principal de la Sociedad Nacional de Industrias, ACI PERU organizó el Seminario de Lanzamiento de la Norma ACI 318S-14. Contamos con la participación de 200 asistentes quienes llenaron el auditorio completamente y recibieron entre otras cosas, la versión impresa de la norma ACI 318S-14.

El seminario tuvo como expositores a los Ingenieros: Antonio Blanco, Víctor Cueva, Julio Higashi y William Baca, quienes presentaron los Nuevos requerimientos de diseño para Estructuras de Concreto.

Agradecemos a nuestros Socios Patrocinadores, quienes estuvieron presentes en el evento y a los alumnos de los diferentes Capítulos de Estudiantes de ACI PERU, cuyo aporte en la difusión y desarrollo del Seminario fue importante.





 **aci** Fall 2015 | Denver

# The Concrete Convention and Exposition

# Convention Preview

November 8-12, 2015 | Sheraton Denver Downtown Hotel

# SOCIOS PATROCINADORES

2015



Aditivos y Productos para la Construcción





# Sistemas de Aditivos de Master Builders Solutions





# Hormigón Prefabricado



En el sector del hormigón prefabricado, hay un conjunto de restricciones específicas tales como tiempo de fabricación, asuntos ambientales, temas de seguridad laboral, control de calidad y de costos de energía, que impactan en esta industria enfocada a los procesos.

Por lo tanto, para promover la competitividad, existe una necesidad constante de mejorar los procesos, aumentando la calidad y productividad dentro de plazos de producción ajustados, y a la vez reduciendo costos.

Dentro del equipo de Sistemas de Aditivos de Master Builders Solutions, nuestro objetivo es contribuir de la mejor manera al proceso global mediante la innovación tecnológica.

Para este fin, hemos desarrollado productos claves como MasterRheobuild® y MasterGlenium® ACE, que no sólo ayudan en el proceso de producción, sino también mejoran la estética y durabilidad de los elementos de hormigón. Un gran avance para la industria del prefabricado, es nuestro Zero Energy System™ que puede reducir significativamente la energía requerida para prefabricación de elementos de hormigón, acelerando el proceso de hidratación sin la necesidad de calor externo.

Nuestro Zero Energy System emplea el rendimiento excepcional de la molécula MasterGlenium® ACE y Master X-Seed®, así como también nuestra tecnología de modificadores de viscosidad para hormigón

autocompactante MasterMatrix®, para eliminar las necesidades de vibración y curado al vapor.

Los resultados del Zero Energy System™ se observan en:

- aumento de la productividad y calidad
- reducción de costos operativos
- reducción al impacto ambiental
- mejora de las condiciones de trabajo

Además, hay disponibilidad de productos complementarios para ayudar en el proceso de desmolde, así como para mejorar la terminación superficial de los elementos de hormigón.

La gama MasterFinish® de agentes desmoldantes permite la ejecución de una tarea limpia, reduciendo imperfecciones superficiales, sin manchar la superficie del hormigón.

Nosotros entendemos su necesidad de lograr de forma consistente, un hormigón de alta calidad para producir elementos de construcción duraderos.

Con nuestros productos, usted puede lograr consistentemente hormigón de alta calidad y producir elementos de construcción duraderos que cumplan con las condiciones de especificación.

Desde la concepción del proyecto a hasta su finalización, Master Builders Solutions ofrece soluciones realistas, confiables y profesionales, que establecen nuevos estándares en la industria de hormigón prefabricado.



## Construcción subterránea

El negocio de construcción subterránea, que cubre tanto los mercados de minería y tunelería, ha sido testigo de rápidos cambios en la tecnología del hormigón proyectado. La introducción del sistema de proyección por vía húmeda ha cambiado las técnicas de aplicación y equipamiento.

Aun más, las propiedades mecánicas del hormigón han cambiado con la adición de fibras de acero y polipropileno.

Como líder mundial en el abastecimiento de soluciones únicas para la construcción subterránea, BASF acompaña a sus clientes durante toda la duración de sus proyectos con productos y conocimientos técnicos. Nuestra gama de productos para este sector, MasterRoc®, está desarrollado para funcionar en cualquier condición subterránea tanto en roca blanda o dura, ya sea usando métodos tipo drill&blast, o bien perforación de túneles vía el uso de máquinas tuneladoras (TBM).





# Aditivos para cemento

Los cambios y el tremendo crecimiento de la industria cementera durante esta última década, han dado lugar a una creciente demanda de un cemento de calidad, económica y ecológicamente sostenible.

Nuestro última gama de aditivos para cemento, MasterCem®, está especialmente formulada y diseñada para los más exigentes requisitos de

fabricación de diversos tipos de cemento, con una estructura de costos más económica y manteniendo sus características específicas de rendimiento.

Existen diferentes tipo de aditivos para cemento, como son ayudantes de molienda, mejoradores de desempeño, inhibidores del efecto pack set, incorporadores de aire entre otros.



## Nuestros productos en una mirada

### MasterGlenium® SKY / ACE

MasterGlenium® es una nueva generación de superplastificantes para hormigón. Están especialmente formulados para hormigón premezclado y prefabricado, donde la retención de cono, altas resistencias iniciales y durabilidad son necesarias en climas cálidos / fríos y en condición de transporte en largas distancias. MasterGlenium® ofrece una tecnología sin rival, con versatilidad en áreas de alto rendimiento como hormigón autocompactante, hormigón de alta resistencia, hormigón de baja permeabilidad / baja absorción de agua y hormigón de baja retracción.

### MasterPolyheed®

MasterPolyheed® es un aditivo reductor de agua de rango medio y sin cloruros, formulado para asegurar una trabajabilidad y acabado superior. Mejora el rendimiento del hormigón fabricado con una amplia gama de cementos, cenizas volantes, escorias granuladas y tipos de agregados (incluyendo arenas gruesas e industriales).

### MasterRheobuild®

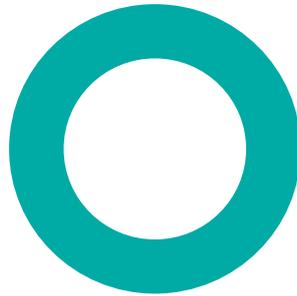
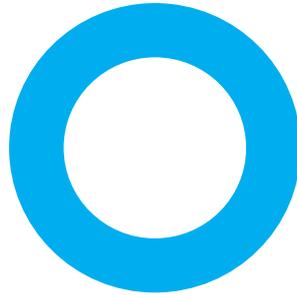
MasterRheobuild® está especialmente diseñado para entregar características reoplásticas al hormigón y para mejorar la bombeabilidad del hormigón fresco. Un hormigón reoplástico es un hormigón fluido con un valor de asentamiento de por lo menos 200 mm o más, que fluye fácilmente pero al mismo tiempo está libre de segregación y tiene la misma relación agua/cemento que la de un hormigón sin cono y sin aditivo superplastificante.

### MasterPozzolith®

MasterPozzolith® es un aditivo líquido listo para usar, que puede plastificar, acelerar o retardar el hormigón, mejorar su rendimiento, haciéndolo más uniforme y predecible. El aditivo es usado en hormigón bombeado y convencional, hormigones con o sin refuerzo; para satisfacer las demandas de hormigones normales de bajo o mediano grado.



una empresa  QUICORP



**SOLUCIONES INTEGRALES PARA  
CONCRETO LANZADO**

# SOLUCIONES INTEGRALES PARA CONCRETO LANZADO

**Química Suiza Industrial (QS)** ofrece soluciones para cualquier aplicación de concreto lanzado incluyendo rehabilitaciones industriales, rehabilitaciones estructurales, construcción de piscinas, estabilización de taludes, minería de superficie y subterránea y proyec-

tos de túneles. La línea de productos para concreto lanzado es utilizada exitosamente en aplicaciones manuales y con robot, ofreciendo ventajas económicas y de desempeño.



## ADITIVOS ACELERANTES

El desempeño confiable en aplicaciones de shotcrete húmedo y seco empieza con la línea de Aditivos Euco – QSI. Los aditivos y adiciones están formulados para generar menos polvo y producir menor rebote al compararlo con productos afines. Nuestros productos:

**GUNITOC 901:** Acelerante líquido libre de álcalis y cloruros. Reacciona de forma inmediata al contacto con el concreto o mortero, acelerando el fraguado final del concreto lanzado por vía húmeda o vía seca.

**GUNITOC L-33 PLUS:** Aditivo líquido alcalino, libre de cloruros. Acelera el desarrollo de resistencias iniciales de los concretos o morteros lanzados por vía húmeda o vía seca.

**EUCO SURESHOT AF:** Acelerante líquido, libre de álcalis y cloruros que reduce los tiempos de fraguado y acelera el desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales de los concretos o morteros lanzados vía húmeda o vía seca.



## ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA Y PLASTIFICANTES

Los aditivos reductores de agua reducen los contenidos de agua de la mezcla de concreto sin afectar el slump solicitado, permitiendo reducir contenidos de cemento y optimizar costos en el proyecto. Pueden ser utilizados también para incrementar el slump sin afectar la resistencia. Nuestros productos:

**EUCO 37:** Aditivo reductor de agua de alto rango y superplastificante. Permite reducir contenidos de agua hasta un 25%.

**LINEA NEOPLAST:** Son aditivos reductores de agua de alto rango, compatibles con adiciones cementicias. Permiten reducciones de agua entre 20% a 35% sin segregación de la mezcla.

- NEOPLAST 1900 SP
- NEOPLAST 9000 HP
- NEOPLAST 2000 HP
- NEOPLAST 6000 HP

**LINEA PLASTOL:** Son aditivos reductores de agua de alto rango y superplastificantes, compatibles con adiciones cementicias. Permiten reducciones de agua entre 20% a 40% sin segregación de la mezcla.

- PLASTOL 3000 PC
- PLASTOL 200 EXT



## ADITIVO ESTABILIZADOR DE HIDRATACIÓN

**EUCO WASH OUT:** Es un aditivo líquido estabilizador de la hidratación del concreto que facilita las operaciones de colocación y acabado permitiendo mantener la fluidez del concreto por más tiempo. Puede utilizarse en combinación con aditivos reductores de agua y acelerantes de la línea EUCO. No contiene cloruros ni agentes corrosivos.

BUILDING TRUST



## Sika, MÁS DE 100 AÑOS CONSTRUYENDO CONFIANZA

Sika es hace más de 100 años suministrador líder de productos químicos especializados a nivel mundial. Desarrolla, fabrica y comercializa sistemas y soluciones específicas para la construcción - en edificación y obra civil - y en industria, en los sectores de transporte, automotriz, marina y electrodomésticos y equipos.

La gama de productos incluye aditivos para concreto de alta calidad, morteros especiales, sellantes y adhesivos, materiales hidrófugos, sistemas de refuerzo estructural, pavimentos industriales y membranas impermeabilizantes.



Sika® Carbodur

Sika Perú S.A. / Ing. Néstor Alegría Díaz

# REFUERZO ESTRUCTURAL CON FIBRA DE CARBONO

## Sika® Carbodur

### ALTA RESISTENCIA Y EFECTIVIDAD

Las Fibras de Carbono están formadas por fibras de 50-10 micras de diámetro, compuestas principalmente de átomos de carbono.

Sus propiedades: alta resistencia, bajo peso, tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica, las hacen muy populares en la industria aeroespacial, ingeniería civil y aplicaciones militares.

En el rubro de construcción las fibras de carbono son combinadas con unos polímeros que en conjunto trabajan para el Reforzamiento Estructural, reemplazando en muchos casos, la adición del acero refuerzo. Lo que se busca es incrementar la resistencia a la flexión, compresión, torsión y entre

pero estos materiales no trabajan bajo esfuerzo a compresión.

### TIPOS DE FIBRAS DE CARBONO SIKA

Sika trabaja con dos tipos de fibras de carbono, platinas y tejidos. Casi siempre las platinas de fibra de carbono se pueden aplicar en reforzamientos para concreto armado, estructuras metálicas o de madera. En cambio, los tejidos de fibra de carbono necesitan un tratamiento de la superficie para colocarlas.

Platinas de Carbono  
**Sika® Carbodur**

Tejidos de Carbono  
**SikaWrap®**

### FIBRAS DE CARBONO UTILIZADO EN LA INGENIERÍA CIVIL

En ciertos casos, para elementos estructurales, por ejemplo columnas, sí ayudaría al elemento estructural, pero no al concreto a incrementar la resistencia a la compresión.

Las columnas trabajan a compresión, se aplastan; y si se aplastan el concreto experimenta una expansión transversal bajo compresión, dicha expansión conduce al colapso al elemento estructural, debido a la mínima capacidad del concreto ante una elongación.

Entonces, si se confina con fibras de carbono tipo tejido estos elementos estructurales, incrementa los esfuerzos de soporte, es decir, para evitar la expansión lateral del elemento estructural, es necesario aportar un confinamiento alrededor de la columna usando para ello un material de alta rigidez y resistencia (**SikaWrap®- 600C**).



Sika® CarboDur / SikaWrap®

## MÁS PRÁCTICO QUE EL SISTEMA CONVENCIONAL EN UN REFORZAMIENTO GLOBAL

Si se compara un reforzamiento de un puente con dos sistemas, el convencional y de fibra de carbono, saldrá más económico este último, por ejemplo, analizando un puente, con déficit en acero de refuerzo por incremento de carga, el ingeniero estructural normalmente incrementaría las dimensiones de las secciones, en vigas o columnas, dependiendo el caso; y esa ampliación conlleva a colocar más acero, picar el concreto existente para adicionar acero de refuerzo, anclando esos nuevos aceros, hacer un encofrado para vaciar concreto, etc. El concreto necesita por lo menos 28 días para el fraguado convencional y para que el concreto frague adecuadamente no debería haber tránsito en el puente, y eso te demandaría más costo en dinero y tiempo. En cambio, la fibra de carbono, se pega en el concreto después de retirar el tarrajeo (si hubiera), previa preparación de superficie. Un reforzamiento con fibra de carbono te demoraría por los menos 5 o 7 días aproximadamente.



SikaWrap®

Por lo cual donde se gasta más es en la mano de obra. Entonces la comparación de reforzamiento global sale más rentable con fibra de carbono.

## MITOS

La información que se dice que es costoso y que tiene poco tiempo en el país no es correcta, debido a que este sistema de reforzamiento se encuentra en el Perú desde el año 1996 con la aplicación del Sika® CarboDur S512. Uno de los principales centros comerciales de Lima fue reforzado con estos productos en dicho año, para incrementar las resistencias de elementos estructurales. El reforzamiento que se realizó en este centro comercial, fue porque solo se contempló una

resistencia en las losas para soportar vehículos ligeros, pero finalmente se requería soportar las cargas de vehículos semi-pesados, es por ese motivo que se reforzaron esas estructuras.

## OBRAS DE REFERENCIA

Desde el año 1996, Sika viene trabajando reforzamiento de centros comerciales, estadios, aeropuertos, puentes, viviendas multifamiliares, casas de playa, edificios modernos, teatros, hoteles, colegios, hospitales, infraestructura minera, plantas de tratamiento, etc.

Para mayor información por favor consulte a nuestro Departamento Técnico o Consulte las Hojas Técnicas correspondientes en nuestro sitio web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe) ó al correo: [consultas@pe.sika.com](mailto:consultas@pe.sika.com)

**ESTO YA ES COSA DEL PASADO...**



# Chema Crack

## DEMOLICIÓN SIN EXPLOSIÓN

**MORTERO DEMOLEDOR DE ROCA Y CONCRETO  
"NO EXPLOSIVO" PARA DEMOLICIONES  
SIN DETONACIÓN.**

Garantiza una rotura segura, precisa, sin ruido ni vibración, sin gases, chispas ni elementos contaminantes. Es más rápido y económico que las efectuadas con maquinaria pesada, y grandes martillos hidráulicos.



**Chema®**

**Calidad que Construye**

[www.chema.com.pe](http://www.chema.com.pe)

Síguenos en:   /ChemaPeru

# Chema Crack

## DEMOLICIÓN SIN EXPLOSIÓN

Para el beneficio de los ingenieros civiles que se enfrentan en su día a día a suelos con perfiles rocosos y desnivelados y que requieren un avance de obra parejo, seguro, sin detonación y minimizando costos en horas hombre y de impacto ambiental, Chema les trae **CHEMA CRACK**. **CHEMA CRACK** es una respuesta innovadora a la demolición segura y efectiva de rocas y concreto sin explosión, que se presenta como alternativa rápida y económica frente al uso de grandes martillos hidráulicos. Cuenta con el respaldo de y garantía de Chema con más de 42 años de experiencia en aditivos y productos para la construcción y un equipo técnico que podrá asesorarlo.

### CONVENCIÓN TRADICIONAL VS. CHEMA CRACK, en el uso doméstico o industrial tenemos dos opciones:

**OPCIÓN 1: Usar roto martillos neumáticos** que se vuelven costosos por necesitar una compresora de aire además de hacer ruido intenso y aplicarse en tiempos prolongados; sin tomar en cuenta las restricciones de horarios en las zonas residenciales.



**OPCIÓN 2: Usar dinamita:** Necesita tener permisos en la Superintendencia Nacional de Control de Servicios de Seguridad, Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil (Sucamec). Este proceso dura varias semanas y obliga a que un especialista haga el diseño de la voladura y que la dinamita sea almacenada en una dependencia policial o militar.



Bajo este panorama, el equipo de expertos Chema te asegura que con **CHEMA CRACK** podrás ejecutar demoliciones puntuales sin producir ruido, vibraciones o desprendimientos de manera rápida, sencilla, segura y económica frente a los medios tradicionales.

**CHEMA CRACK** no genera las vibraciones generadas por las explosiones y rotomartillos, no produce ruidos durante la explosión o martilleo, no lanza residuos de rocas por el aire a causa de las explosiones evitando daños físicos o materiales, no genera gases ni chispas ni restringe la accesibilidad. Así mismo, no necesita permisos en las instituciones del estado para poder ser usada y almacenada.

#### APLICACIÓN:

1. Realice la perforación en el lugar deseado según esquema de operaciones (ver cuadro).
2. Vierta el **CHEMA CRACK** en un recipiente limpio y añada entre 0.87 y 1.125 litros de agua limpia y fría para el amasado por cada 5 kg de producto.
3. Mezcle intensamente con ayuda de una batidora eléctrica de bajas revoluciones hasta obtener un producto homogéneo y sin grumos. Aunque al principio parezca necesario, no añada más agua de la indicada.
4. Una vez realizada la mezcla se dispone de unos 5 minutos para verterla en la perforación.

#### TABLA DE TEMPERATURA DE AGUA

Temperatura de la roca o concreto	Temperatura del agua	Diámetro de las perforaciones en milímetros (mm)	Diámetro de las perforaciones en pulgadas (")
-3 a 4 °C	40 °C máximo	38 mm	1 1/2"
5 a 13 °C	29.5 °C máximo	38mm a 34mm	1 1/2" a 1 3/8"
14 a 22 °C	18 °C máximo	31.8mm a 34mm	1 1/4" a 1 3/8" ó 1 1/2"
23 a 27 °C	4 °C máximo (c/hielo)	31.8mm a 34mm	1 1/4" a 1 3/8" ó 1 1/2"
28 a 35 °C	0.5 °C máximo (c/hielo)	31.8 mm	1 1/4"

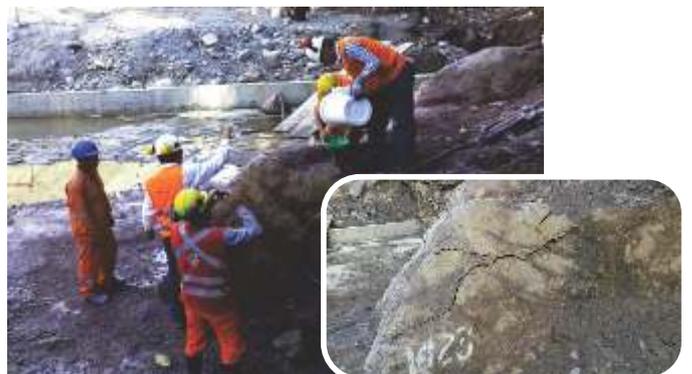
Cuando la temperatura ambiente sea superior a 22 °C, la temperatura del agua de amasado no debe ser superior a 10 °C.  
Cuando la temperatura ambiente sea inferior a 22 °C, la temperatura del agua de amasado puede estar entre 10 y 20 °C.

#### SE RECOMIENDA SU USO EN:

- Demolición de estructuras
- Demolición de rocas
- Extracción de grandes bloques en canteras.
- Minería
- Túneles.
- Obras portuarias
- Trabajos de cimentación.
- Demolición de edificaciones, pozos, canales, etc.



2014. OBRA TUNES PURUCHO. Obra que atraviesa con 2 túneles el Cerro Puruchuco (Ate) para unir la Av. Prolongación Javier Prado con la Carretera Central.



2015. OBRA 2: Central Hidroeléctrica la Virgen. Ejecutada por GCZ ingenieros SAC.

## BarChip<sup>MQ</sup>

### Descripción

La fibra sintética estructural BarChip MQ58 es una del rango de fibras sintéticas estructurales que ofrece Elasto Plastic Concrete como resultado de su Programa de investigación y desarrollo "Fibra Futura". El objetivo de este programa es desarrollar una variedad de fibras que logren los mejores niveles de rendimiento en distintas aplicaciones. Se han incorporado los últimos avances en la tecnología de polímeros, ingeniería de diseño y procesos de fabricación en la fibra BarChip MQ58 para entregar una fibra inigualable en términos de usabilidad, durabilidad y rendimiento. BarChip MQ58 ha sido optimizada para estructuras de hormigón con una resistencia de 20 MPa, o mayor.

Vista de cerca de la fibra



### Propiedades

Características	Propiedades
Resina	Olefina modificada
Largo	58 mm
Resistencia a la tracción	700 MPa
Superficie	Relieve continuo
Nº. fibras por kg	53,800
Densidad Relativa	0,90 – 0,92
Módulo de Elasticidad	6.8 GPa
Punto de fusión	120°C – 170°C
Punto de Ignición	Mayor a 450°C

### Beneficios

- Reducción de costos hasta un 50% comparado con malla convencional.
- Pallets con embalaje impermeable
- Durabilidad a largo plazo sin oxidación
- Entregado en la obra como hormigón pre-reforzado (HPR).
- Sin la necesidad de cortar e instalar malla, por ende aumenta la eficiencia y productividad.
- Más liviana y segura para maniobrar comparado con acero.

### Dosis

La dosis de Barchip MQ58 puede variar desde 3 kg/m<sup>3</sup> hasta 6 kg/m<sup>3</sup>. Se calcula la dosis en base de la exigencia de la aplicación o las especificaciones técnicas. La dosis típica para aplicaciones generales de concreto es de 3 kg/m<sup>3</sup> hasta 6 kg/m<sup>3</sup>. Para asistencia técnica en cálculos de dosis, favor contactarse con los ingenieros de EPC.

### Mezclado

Para lograr una distribución óptima de la fibra, se recomienda incorporar la fibra requerida (en sacos) al mezclador con el agua inicial, aditivos, arena y agregados seguidos por el cemento y agua faltante. Una vez completado este paso, el mezclador deberá hacerse funcionar a alta velocidad durante aproximadamente 5 a 10 minutos. Los sacos se deshacen y las fibras se auto-distribuyen de manera homogénea dentro del hormigón, después de 5 minutos de mezclado. Al incorporar 6 kg/m<sup>3</sup> de fibra BarChip MQ58 a la mezcla, el cono podría bajar entre 10 y 50 mm, dependiendo del diseño de la mezcla.

### Bombeo

La fibra Barchip MQ58 puede ser bombeada a través de mangueras sin dificultad. Es necesario prestar atención a la separación de las barras de la parrilla en el buzón del equipo de bombeo, para asegurar que las fibras pasen libremente.

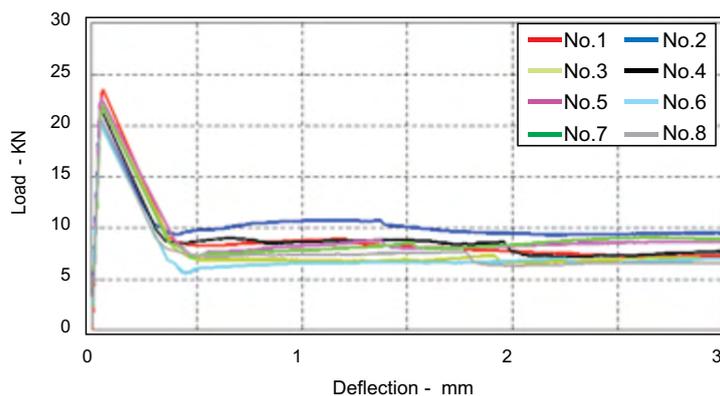
### Manejo y Almacenaje

- Sacos degradables de 5 kg cada uno y 360 kg/pallet
- Olefina resistente a luz solar UV
- Pallet de plástico durable
- Lona de protección en cada pallet
- Big bags disponibles para dosificadora automática o proyectos especiales

Se suministra la fibra cubierta con una lona, sobre un pallet de plástico durable que permite almacenarla a la intemperie sin ninguna deterioración del producto y su embalaje. El almacenaje de sacos individuales requiere protección.

## Ensayos de Vigas

El ensayo es el de una viga simplemente apoyada con un tercer punto de carga y que es utilizado ampliamente. Este ensayo evalúa el rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra. Los valores obtenidos en este ensayo muestran la carga de la primera fisura del concreto y la carga máxima de este, como también la resistencia residual a una deflexión determinada. Esta ensayo está dirigido específicamente para establecer el rendimiento de la fibra post fisuramiento de un concreto reforzado con fibra, para ser utilizado en el diseño de radieres, pavimentos y elementos prefabricados.



BarChip MQ58	Concrete Strength	Dosage	Age	Modulus of Rupture (MPa)	Residual Strength (MPa)		R <sub>e,3</sub>
					0.5 - L/900	3.0 - L/150	
Mean	26 (MPa)	4.5 kg / m <sup>3</sup>	28 days	2.88	1.02	1.04	40 %

## BarChip MQ se recomienda para:

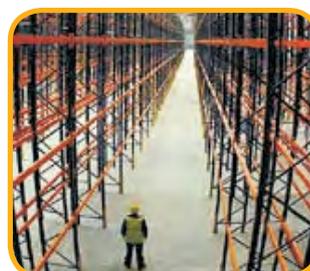
- Carreteras
- Caminos comunes
- Elementos prefabricados
- Pisos industriales
- Sobre losas en placas colaborantes
- Radieres para viviendas y edificios



Calzada



Losa de la vivienda



Piso Industrial



Infraestructura

# Fierro Corrugado

ASTM A706-GRADO 60

NTP 339.186-GRADO 60



**ACEROS  
AREQUIPA**

Elige Seguridad

# Fierro Corrugado

## ASTM A706-GRADO 60 / NTP 339.186-GRADO 60

### DENOMINACIÓN:

Fierro Corrugado ASTM A706-Grado 60.

### DESCRIPCIÓN:

Barras de acero microaleado de alta ductilidad, rectas de sección circular, con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto.

### USOS:

El acero A706 se usa como refuerzo para concreto armado, en estructuras sismorresistentes - según lo especificado en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (Norma E.060) y el Reglamento del American Concrete Institute (ACI 318, sección 21) - y donde se requiera el soldado de las estructuras.

### NORMAS TÉCNICAS:

Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias Dimensionales:

ASTM A706 Grado 60 y Norma Técnica Peruana NTP 339.186 Grado 60.

### PRESENTACIÓN:

Se produce en barras de 9 m y 12 m de longitud en los siguientes diámetros: 6mm, 8mm, 3/8", 12mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 1/4" y 1 3/8". Previo acuerdo, se puede producir en otros diámetros y longitudes requeridos por los clientes. Se suministra en paquetes de 2 toneladas, en varillas y como Acero Dimensionado.

### DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

DIÁMETRO DE BARRA		SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (mm)	PESO NOMINAL (kg/m)
Pulg.	mm			
-	6.0	28.0	18.8	0.220
-	8.0	50.0	25.1	0.395
3/8"	9.52	71.0	29.9	0.560
-	12.0	113.0	37.7	0.888
1/2"	12.7	129.0	39.9	0.994
5/8"	15.9	199.0	49.9	1.552
3/4"	19.1	284.0	59.8	2.235
1"	25.4	510	79.8	3.973
1 1/4"	32.6	819	101.3	6.404
1 3/8"	35.8	1006	112.5	7.907

### COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):

Por su bajo contenido de carbono, es un material con mayor soldabilidad que las barras de construcción ASTM A615 Grado 60.

C = 0.30 máx. Mn = 1.50 máx. Si = 0.50 máx.

P = 0.035 máx. S = 0.045 máx.

Carbono Equivalente (CE) = 0.55 máx., para garantizar buena soldabilidad. Es calculado con la siguiente fórmula:

$$CE = \%C + \%Mn/6 + \%Cu/40 + \%Ni/20 + \%Cr/10 - \%Mo/50 - \%V/10$$

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia (fy) = 4,280 - 5,510 kg/cm<sup>2</sup> mínimo

Resistencia a la Tracción (R) = 5,610 kg/cm<sup>2</sup> mínimo

Relación R/fy ≥ 1.25

Alargamiento en 200 mm:

Diámetros:

3/8", 1/2", 5/8" y 3/4" ..... = 14% mínimo

1", 1 1/4" y 1 3/8" ..... = 12% mínimo

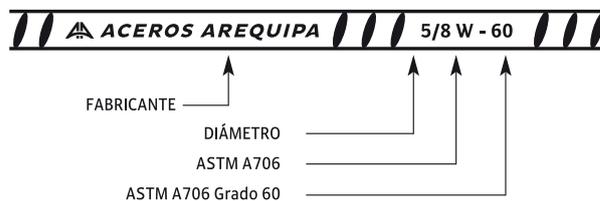
Doblado a 180° ..... = Bueno en todos los diámetros.

Los diámetros de doblado especificados por las Normas Técnicas para la prueba de doblado son:

DIÁMETRO BACO (d)	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 1/4"	1 3/8"
DIÁMETRO DOBLADO	3d	3d	3d	4d	4d	6d	6d
mm	28.6	38.1	47.6	76.2	101.6	193.6	209.5

### IDENTIFICACIÓN:

Los fierros son identificados por marcas de laminación en alto relieve que indican el fabricante, el diámetro, la norma y el grado del acero. Se le reconoce por la letra "W".



PFDM002DM / 05 / MAY14



ISO 9001:2008  
Certificado N° 33215

ISO 14001:2004  
Certificados  
N° 46565, 42949, 49390

OHSAS 18001:2007  
Certificados  
N° 46566, 44328, 49391

LIMA: Av. Enrique Meiggs 297, Parque Internacional de la Industria y Comercio Lima y Callao - Callao 3-Perú. Tlf. (51) (1) 517-1800 / Fax Central (51) (1) 452-0059.

AREQUIPA: Calle Jacinto Ibáñez 111, Parque Industrial. Arequipa - Perú. Tlf. (51) (54) 23-2430 / Fax. (51)(54) 21-9796.

PISCO: Panamericana Sur Km.240. Ica - Perú. Tlf. (51) (56) 53 - 2967, (51)(56) 53-2969 / Fax. (51)(56) 53-2971.

www.acerosarequipa.com

Encuétranos en:





[www.aci-peru.org](http://www.aci-peru.org)