

VENTAJAS, PROPIEDADES
Y APLICACIONES

Relleno fluido, un **SUELO** líquido

[GUILLERMO CERVANTES]

El relleno fluido, un nombre que puede sonar bastante familiar para los profesionales de la construcción los cuales han empleado este material en cientos o miles de metros cúbicos en sus construcciones, forma parte de una tecnología que ofrece grandes ventajas en el tiempo de realización de una obra.



os años recientes se han caracterizado por el desarrollo tecnológico en distintas áreas, entre las que se destacan la electrónica y las comunicaciones, las

que han logrado una gran popularidad debido al uso frecuente de éstas a través de las computadoras, los teléfonos celulares y los reproductores portátiles de música.

Menos conocidos, pero no por ello menos importantes, son los avances en varias áreas de la ingeniería civil, como por ejemplo el desarrollo del *software*, cada vez más sofisticado, que permite hacer en menor tiempo las tareas de diseño, planeación y ejecución de las obras, y respecto a los procesos y sistemas constructivos, los concretos de alto comportamiento, los durables o incluso los sustitutos de suelo, como el relleno fluido, que forman parte del innovador conjunto de herramientas y materiales disponibles para la construcción contemporánea.

UN NOMBRE FAMILIAR

Al relleno fluido, un material nuevo, al que todavía no se le da un nombre único, también se le conoce como suelo líquido, suelo-cemento líquido, o material de baja resistencia controlada, éste último corres-



Relleno en zanjas para gas natural, Hermosillo, Sonora

ponde a la traducción de *Controlled Low-Strength Material* o *CLSM*, por sus siglas en inglés¹.

En México ha prevalecido la denominación de relleno fluido, pues con ésta abarca tanto su función más frecuente, que es la de rellenar, como su consistencia, que para la mayoría de sus aplicaciones suele ser bastante fluida. En cuanto a la definición, tampoco hay un consenso, pero para fines prácticos se le puede describir de la siguiente manera: “sustituto de suelo, que se coloca de forma líquida y que una vez endurecido presenta un mejor comportamiento y mejores propiedades que las de un relleno tradicional hecho con materiales granulares.”

El comité ACI 229 *Controlled Low-Strength Material*, referente a este tipo de materiales, lo define de la siguiente forma: “material cementante autocompactable de baja resistencia controlada, usado

principalmente como relleno en vez de un relleno compactado.”

VENTAJAS DE SU APLICACIÓN

A continuación se comentan las aplicaciones, propiedades y ventajas de este material y se mencionan algunos estándares desarrollados por American Society Testing and Materials (ASTM). Además, se citan algunos aspectos económicos y de especificación.

Hace ya casi 10 años se realizaron los primeros trabajos con relleno fluido en nuestro país, donde se le ha empleado, principalmente, para el relleno de zanjas de cualquier tipo de tubería y en la región norte como base de pavimento.

En el relleno de zanjas este novedoso material significa facilidad y velocidad en el proceso constructivo, pues puede ser directamente descargado de los camiones revoladores a las zanjas, evitando así el proceso tradicional de colocar el material de relleno en capas para lograr la compactación deseada. El relleno fluido al no requerir la colocación en capas, ni vibrarse, compactarse y curarse, simplifica el proceso constructivo, pues una vez descargado sólo se espera el fraguado final que sucede de cinco a ocho horas después de haberse colocado para seguir trabajando. Ocasionalmente, se han especificado rellenos fluidos de fraguado rápido y desarrollo de resistencia que permiten trabajar sobre el material hasta 15 minutos después de su colocación.

El relleno fluido se ha usado en todo tipo de zanjas, incluyendo las de gas natural. Entre las ventajas de su aplicación en zanjas se pueden mencionar el que permite reducir el ancho de la excavación, incluso la altura de las mismas, ofrece una mayor protección a las tuberías^{5,2}, y permite reducir los volúmenes de excavación y de relleno, haciendo de ésta una tecnología competitiva en costos. Es conveniente señalar que en el caso de las tuberías se debe tomar la precaución de lastrarlas para evitar su movimiento.

En otra de sus aplicaciones frecuentes, como base de pavimento, al sustituir la base granular se logran bases y pavimen-

tos de menor espesor, y se aprovechan sus características mecánicas, superiores a las de una base tradicional.

ALGUNAS OTRAS APLICACIONES SON:

- Plantillas
- Terraplenes
- Relleno de cavernas
- Nivelación de terrenos
- Relleno para dar pendientes en azoteas
- Firmes de viviendas en los que se coloque un recubrimiento³

APLICACIONES ESPECIALES

Las muy variadas e interesantes aplicaciones del relleno fluido, que se han realizado en nuestro país, y que van mucho más allá del relleno de zanjas y bases de pavi-



Base subestación eléctrica, Tijuana, BCN

mentos, han requerido de hacer pruebas especiales para validar su aplicación. En la tabla 1 se mencionan algunos casos.

Tabla 1

Aplicación: Relleno estructural
 Ubicación: Ciudad de México
 Descripción: Relleno estructural para soportar edificaciones de tres y cuatro niveles, el proceso tradicional estaba contemplado en capas de suelo cemento, y se redujo el tiempo de ejecución del relleno de 2.5 meses a 1.5 semanas



Aplicación: Estabilización de talud
 Ubicación: Taxco, Guerrero
 Descripción: Se construyeron terrazas para estabilizar un talud, se aprovecharon las propiedades mecánicas y constructivas del relleno fluido, y se manejó un relleno fluido ciclópeo.



Aplicación: Relleno de cavernas
 Ubicación: México, DF, Edificio CEMEX
 Descripción: Relleno de cavernas debido a la existencia de minas de arena, se aprovecharon las características de baja contracción, así como alta fluidez y resistencia mecánica del relleno fluido.



Aplicación: Bacheo de calles
 Ubicación: Celaya, Guanajuato
 Descripción: Uso de relleno fluido como base de soporte para el bacheo de calles en pavimentos de asfalto. Se aprovechó la característica de autocompactable y el hecho de que presenta asentamientos posteriores a su fraguado. La calidad de la reparación es muy buena.



Tabla 1 (continuación)

Aplicación: Reparación de losas de pista y plataforma, aeropuerto.
Ubicación: Acapulco, Guerrero
Descripción: Uso del relleno fluido de fraguado rápido y desarrollo de resistencia como base de pavimento para las losas reparadas. El relleno fluido combinado con un concreto especial permitieron la puesta en operación del pavimento en cuestión de horas.



Aplicación: Relleno para dar pendientes en viviendas.
Ubicación: Edo. de México, cd. de México y Tijuana
Descripción: Actualmente se emplea relleno fluido para dar pendientes en las losas de azotea, sobre el relleno fluido. Se coloca directamente el impermeabilizante. Se aprovechan las características de conductividad térmica y de peso del relleno fluido.



En otra de sus aplicaciones, que ya se ha comenzado a estudiar como “rellenos anticorrosivos”, los resultados indican que no sólo son menos corrosivos comparados con los rellenos tradicionales, sino que sus propiedades de resistividad, permeabilidad y uniformidad son relevantes. Estas propiedades dependen de su diseño de mezcla por lo que se debe evaluar, conocer y especificar para aprovechar estas ventajas⁴.

LAS PROPIEDADES Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

Las propiedades del relleno fluido dependen del diseño de la mezcla que se emplee. En México lo que se conoce como relleno fluido es una mezcla de cemento, agregado fino, algunas veces agregado grueso, agua y células de aire, generalmente incluidas entre 15 y 25% del volumen, en tanto en Estados Unidos, donde hay una mayor variedad de rellenos fluidos o *CLSM* como los conocen, el tipo de rellenos que se producen en México, son llamados *CLSM* de baja densidad.

En México no se producen rellenos fluidos con ceniza volante, en los que generalmente no se incluyen células de aire, lo que genera materiales con propiedades diferentes. Los rellenos fluidos que no

contienen aire presentan altas demandas de agua, mayor contracción, menor homogeneidad debido a una mayor tendencia a la segregación, y para ciertos niveles de resistencia muestran mayor dificultad para la excavación, aunque por otro lado en general tienen menor permeabilidad.

La tecnología empleada en nuestro país para el diseño y la fabricación de rellenos fluidos generalmente brinda las mejores propiedades para la mayoría de las aplicaciones. Las propiedades que a continuación se mencionan corresponden con el tipo de rellenos empleados en México⁶.

PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO

1. Consistencia: las propiedades relevantes en estado fresco tienen que ver con la facilidad de colocación y con la masa unitaria del material. En la república se ha usado la prueba de revenimiento para evaluar la consistencia del material y los revenimientos típicos son de 18 a 24 cm, aunque se llegan a especificar revenimientos menores cuando la aplicación lo requiere.

La norma ASTM D 6103 indica una forma de medir la consistencia del relleno fluido, en la que se emplea un cilindro de

tres pulgadas de diámetro y seis de altura, en donde se mide el diámetro que genera el relleno fluido una vez que se retira el cilindro. Para la mayoría de las aplicaciones una consistencia fluida facilita la colocación. Sin embargo, hay aplicaciones en las que se requiere de una menor consistencia, como el relleno de zanjas en calles muy inclinadas, o cuando se usa para dar pendientes en azoteas.

2. Masa unitaria: la típica varía entre 1,600 y 1,900 kg/m³ y ocasionalmente se especifican valores más ligeros. Esta propiedad es de interés para el diseño y control de calidad de la mezcla, y es relevante por las características de conductividad térmica y excavabilidad que presentará el relleno una vez endurecido.

PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO

Las mejores ventajas de este material se obtienen en estado endurecido y sus propiedades mecánicas son superiores a las normalmente obtenidas en suelos. Al relleno fluido se le ha catalogado como un "super suelo".

3. Módulo de elasticidad: en la figura 1 se muestran resultados de laboratorio de módulos de elasticidad de rellenos fluidos con pesos volumétricos que varían entre 1,750 y 1,950 kg/m³; se muestran los valores estimados a partir de la ecuación sugerida para concretos del reglamento ACI 318. Para fines de estimación puede usarse también para el relleno fluido.

La expresión del ACI 318 para estimar el módulo de elasticidad es la siguiente:

$$E_c = w_c^{1.5} 0.14 \sqrt{f'_c}$$

Donde:

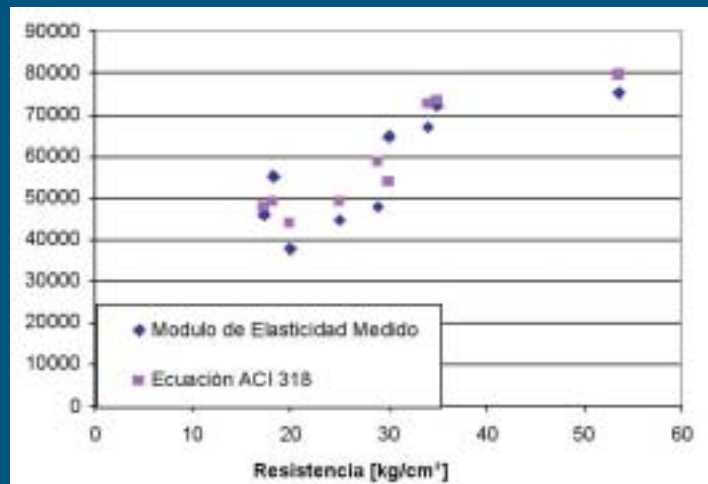
E_c es el módulo de elasticidad del concreto

f'_c es la resistencia a compresión del relleno fluido en kg/cm²

w_c es la masa unitaria del concreto

La expresión es válida para masas unitarias entre 1440 y 2480 kg/m³.

Figura 1 Módulo de elasticidad



Los valores de módulo de elasticidad del relleno fluido favorecen el buen comportamiento de las tuberías, presentando menores deformaciones y menores esfuerzos ante las cargas derivadas del tráfico de vehículos.

4. El módulo de ruptura: el relleno fluido varía entre 10 y 17% de la resistencia a compresión, y se ha medido en vigas con el equipo y el método de ensaye utilizado para concreto. Es importante tomar en cuenta la precisión del equipo que se use para hacer la prueba debido a que los niveles de módulo de ruptura son sensiblemente menores a los que se miden normalmente en concreto.

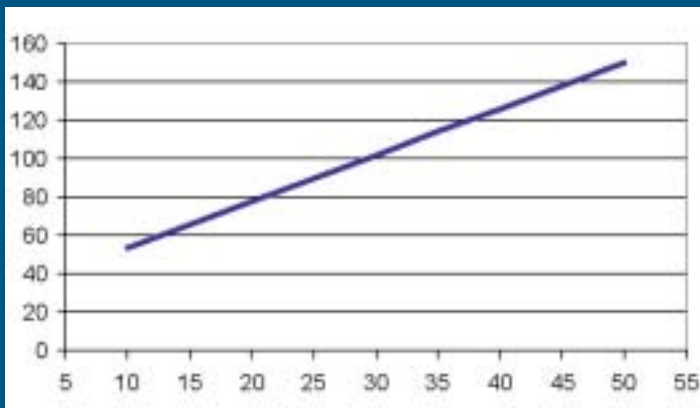
El módulo de ruptura típico puede estimarse como 14% de la resistencia a compresión.

$$MR = 0.14 (f'_c)$$

5. Valor relativo de soporte: cuando del relleno fluido es utilizado para bases de pavimentos, las especificaciones de éstas, hacen referencia al VRS (valor relativo de soporte). El VRS puede estimarse a partir de la resistencia a compresión mediante la siguiente expresión:

$$VRS = 2.4 f'_c + 30$$

Figura 2 Valor relativo de soporte vs resistencia a compresión



Esta correlación se estableció con valores de distintas ciudades de México, de rellenos fluidos producidos por CEMEX con masas unitarias entre 1,600 y 1,900 kg/m³ y se muestra gráficamente en la figura 2.

Estos valores corresponden a diseños de mezcla específicos por lo que sólo deben tomarse como guía y deben hacerse pruebas de verificación para cada proyecto. Otras correlaciones se han establecido igualmente para condiciones específicas².

La prueba más adecuada para fines de obtener información útil para el diseño de pavimentos es una de placa, con la que se obtiene el módulo de reacción

de la base de relleno fluido. Éste depende de varios factores, del espesor y de las características mecánicas de la base del relleno fluido, y de las peculiaridades del terreno o sub-base, donde está soportada la base.

Resultados de pruebas de placa muestran valores muy altos, de 300 kg/cm² o más. Sin embargo, estos valores están limitados por algunos métodos de diseño, como el ASHTO, que limita el módulo de reacción a 300 psi (21 kg/cm²). Los valores obtenidos de las pruebas de placa deberán ser analizados y empleados con cuidado por parte del diseñador del pavimento.

PROPIEDADES GEOTÉCNICAS

Pruebas triaxiales indican que este material tiene características mecánicas superiores a la de los suelos tradicionales, cuenta con una alta cohesión característica de los materiales arcillosos y al mismo tiempo un ángulo de fricción alto, típico de los materiales friccionantes.

Los valores obtenidos para un relleno fluido de 18 kg/cm² de resistencia y masa unitaria de 1800 kg/m³ son:

Cohesión: 3.78 kg/cm²
 Ángulo de fricción interna: 41.6°

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Los valores convencionales de resistencia a compresión varían entre 10 y 30 kg/cm². Se han producido rellenos fluidos con resistencias mayores, y como límite superior puede considerarse el establecido por el comité ACI 229, que limita la resistencia de los CLSM a 1,200 psi, que equivalen a 84 kg/cm².

Tabla 2

Resistencia a compresión [kg/cm ²]	Excavabilidad
Menor a 10	Excavable a mano (pico y pala)
Entre 10 y 30	Excavable con retroexcavadora
Mayor a 30	No excavable (fácil de demoler)

Los rellenos fluidos con resistencias mayores a 50 kg/cm² tienden a comportarse más como un concreto. Su costo es mayor y por lo general no es necesario emplear resistencias superiores a los 30 kg/cm². Y usualmente, para el relleno de zanjas no se requieren resistencias mayores a 15 kg/cm² y para bases de pavimentos resistencias entre 25 y 30 kg/cm² son adecuadas.

PERMEABILIDAD

Este parámetro depende del diseño de mezcla y de forma importante de la cantidad de células de aire incluidas, los rellenos fluidos producidos en México

tienen altas permeabilidad. Y los coeficientes de permeabilidad están entre 1×10^{-5} y 1×10^{-7} m/s.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Se han medido valores de conductividad térmica para rellenos fluidos con aire incluido que van de 0.42 a 0.48 W/m-K. Esta propiedad es relevante para aplicaciones del material como aislante térmico en cubiertas superiores o losas de azotea.

EXCAVABILIDAD

El relleno fluido puede ser excavable o no, de acuerdo con las especificaciones y requerimientos del proyecto. Para rellenos fluidos con masa unitaria entre 1600 y 1900, que contengan células de aire incluidas, se puede usar la tabla 2 como una forma práctica de conocer el grado de excavabilidad.

ESPECIFICACIÓN DEL RELLENO FLUIDO

En general, la especificación de relleno fluido suele ser simple. Sin embargo, pocas veces se ha especificado por los diseñadores y más frecuentemente por los constructores debido a sus ventajas constructivas.

La especificación del relleno fluido debe mencionar tanto aspectos del relleno, en estado fresco como endurecido y deberá establecerse sólo con base en las propiedades requeridas para el tipo de aplicación específico, sin detallar características adicionales que pueden encarecer el material y no ser necesarias.

NORMATIVA DEL RELLENO FLUIDO

En nuestro país no hay estándares oficiales que indiquen como medir las propiedades del relleno fluido. No obstante, ya hay

Tabla 3 Ventajas de los materiales de baja resistencia controlada

Disponibilidad	Usándose localmente hay disponibilidad de materiales, los productores de concreto premezclado pueden producir CLSM cumpliendo las especificaciones de la mayoría de los proyectos.
Facilidad de entrega	Los camiones mezcladores pueden entregar las cantidades especificadas de CLSM en la obra, cuando sea necesario.
Facilidad de colocación	Dependiendo del tipo y localización del vacío a rellenar, el CLSM puede ser colocado directamente desde el canalón, bombearse o en bacha. El CLSM es autonivelante y requiere poca o nula compactación. Ésto incrementa la velocidad de construcción y reduce los requerimientos de mano de obra.
Versatilidad	Las mezclas de CLSM pueden ser ajustadas para cumplir con requerimientos específicos de llenado. Las mezclas pueden ajustarse para mejorar la fluidez. Más cemento o <i>fly ash</i> puede adicionarse para incrementar la resistencia. Pueden adicionarse aditivos, para modificar los tiempos de fraguado y otras características. Adicionando agentes espumantes al CLSM se producen rellenos ligeros y aislantes.
Resistencia y durabilidad	La capacidad de carga de los CLSM es generalmente mayor que la de los suelos compactados o rellenos granulares. El CLSM también es menos permeable, así que es más resistente a la abrasión. Para su uso como relleno permanente el CLSM puede ser diseñado para alcanzar hasta 8.3 MPa (1200 psi).
Permite una rápida apertura al tráfico	Debido a que muchos CLSM son colocados rápidamente y soportan las cargas del tráfico dentro de pocas horas, el tiempo de reparación de pavimentos es mínimo.

Tabla 3 (continuación) Ventajas de los materiales de baja resistencia controlada

No presenta asentamientos	El CLMS no forma oquedades durante su colocación y no sufre asentamientos o roderas bajo la aplicación de las cargas. Esta ventaja es especialmente significativa si el relleno va ser cubierto por una reparación del pavimento. Los suelos o rellenos granulares, si no son compactados adecuadamente pueden asentarse posteriormente a la colocación del pavimento, formando grietas o hundimientos en el camino.
Reduce costos de excavación	El CLSM permite zanjas más angostas, debido a que no se requieren mayores anchos para el equipo de compactación.
Mejora la seguridad de los trabajadores	Los trabajadores pueden colocar el CLSM en la zanja, sin entrar a ella, reduciendo su exposición a posibles derrumbes.
Permite la construcción en cualquier clima	El CLSM generalmente desplazará cualquier estancamiento de agua en la zanja debidos a lluvia o derretimiento de nieve, reduciendo la necesidad de bombas. Para colocar el CLSM los materiales pueden ser calentados usando los métodos para concreto premezclado.
Puede ser excavado	Los CLSM con resistencias a compresión de 0.3 a 0.7 MPa puede ser excavado con equipo convencional y sigue siendo lo suficientemente resistente para la mayoría de los requerimientos de un relleno.
Requiere menos supervisión	Durante la colocación, los rellenos deben ser evaluados después de cada capa. En lo referente a la compactación, el CLSM es autocompactable y no requiere de estas pruebas en campo.
Reduce las necesidades de equipo	A diferencia de los suelos o rellenos granulares, el CLSM puede ser colocado sin cargadores, rodillos o pisones.
No requiere almacenamiento	Debido a que los camiones revolvedores entregan las convenientes, no es necesario almacenar el material.
Hace uso de un material producto de la combustión del carbón	La ceniza volante es un subproducto de las plantas que queman el carbón para generar electricidad. El CLSM que contiene ceniza volante brinda un beneficio ambiental haciendo uso de este producto.



algunos estándares de ASTM que lo hacen.

1. ASTM D 4832-95. *Standard Test Method for Preparation and Testing of Controlled Low Strength Material (CLSM) Test Cylinders.*

2. ASTM D 5971-96. *Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Controlled Low-Strength Material.*

3. ASTM D 6023-96. *Standard Test Method for Unit Weight, Yield, Cement, and Air Content (Gravimetric) of Controlled Low Strength Material (CLSM).*

4. ASTM D 6024-96. *Standard Test Method for Ball Drop on Controlled Low Strength Material (CLSM) to Determine*

Suitability for Load Application.

5. ASTM D 6103-97. *Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material (CLSM).*

Se han hecho varias pruebas como se hacen para el concreto: el módulo de ruptura, el revenimiento y la resistencia a compresión, entre otras. En este aspecto falta camino por recorrer para desarrollar y tener los métodos de prueba adecuados y normalizados.

VENTAJAS

Las propiedades mencionadas hablan de

las ventajas del relleno fluido, que se enlistan en la tabla tres, la cual corresponde a la traducción de la tabla de ventajas citada en el reporte del Comité ACI 229R-99. *Controlled Low-Strength Materials*.

EL RELLENO FLUIDO Y LA ECONOMÍA

Quienes han trabajado con relleno fluido conocen bien de sus ventajas y de la solución que representa cuando es empleado. Sin embargo, un aspecto que no puede quedar fuera es el aspecto económico, un m³ de relleno fluido cuesta varias veces más que un m³ de relleno tradicional. Pero, no significa que sea más caro, y para tomar una decisión adecuada debe hacerse un análisis costo beneficio considerando las ventajas del relleno fluido y con base en ello tomar la mejor decisión.

Varios proyectos construidos y estudios⁷ han comprobado la viabilidad económica del relleno fluido y son aspectos relevantes los tiempos de ejecución, la reducción en las dimensiones de las zanjas, la disminución de las dimensiones de las bases, las condiciones de lluvia que afectan a los rellenos tradicionales y no al relleno fluido.

COMENTARIO FINAL

El relleno fluido es una buena alternativa, con gran versatilidad en sus propiedades técnicas y constructivas, que deben aprovecharse por diseñadores y constructores. ☺

REFERENCIAS:

1. Reporte del Comité ACI 229R-99 *Controlled Low-Strength Materials*.
2. Howard, Amster K. y Hitch Jennifer L. *The Design and Application of Controlled Low-Strength Materials (Flowable Fill)* ASTM STP 1331.
3. Cervantes G. *Usos Alternativos del relleno fluido*. Reporte CTCC, CEMEX ACG-99-04, 1999.
4. Publicación Especial, ACI SP-150 *Controlled Low-Strength Materials*.
5. Meyers R. *Geotechnical Properties of Controlled Low Strength Materials*.
6. Cervantes G. *Propiedades del relleno fluido*. Reporte CTCC, CEMEX ACG-2002-05, 2002.
7. Romero I. *Estudio económico del uso de relleno fluido en zanjas para tendido de tuberías de acero*. Reporte CTCC, CEMEX, 1998.

Seventh International Symposium on the Utilization of High-Strength/High-performance Concrete

ESTA AMPLIA PUBLICACIÓN CONSTA DE DOS TOMOS, que en conjunto suman un contenido de 1,500 páginas, con las ponencias presentadas durante las sesiones del simposio, celebrado en la ciudad de Washington, DC, del 20 al 24 de junio de 2005. Dicho encuentro dio continuidad a los eventos efectuados en Stavanger, Noruega, en 1987; Berkley, California, en 1990; Lillehammer, Noruega, en 1993; París, Francia, 1996; Sandefjord, Noruega, en 1999 y Leipzig, Alemania, en 2002.

En Washington, ingenieros y científicos especialistas en materiales de todo el mundo compartieron interesantes debates sobre las múltiples aplicaciones a la luz de los recientes avances en el campo de los concretos de alto desempeño y de alta resistencia.

Desde los años en que se celebró el primer simposio en Noruega a escala global se ha incrementado la tendencia de utilizar tanto los concretos de alto desempeño, como los de alta resistencia. A lo anterior se suma la búsqueda en laboratorio de nuevas aplicaciones y/o aplicaciones prácticas de los concretos autocompactables. Esta publicación ofrece la oportunidad de conocer estos últimos adelantos.

En la presente edición se agradece la colaboración de los ponentes, a la revisión técnica realizada por ACI y a todo el equipo organizador del simposio que hizo posible la publicación de un documento tan completo en un mínimo de tiempo. ☺



Editado por American Concrete Institute (ACI), tomo I y II, 2005
Idioma: inglés
Editor: Henry G. Russell