



## Concreto de alto comportamiento

Henry G. Russel

Durante muchos años, el concreto de alto comportamiento (CAC) ha estado asociado con concreto de alta resistencia y se ha aplicado a columnas de edificios de gran altura. Sin embargo, el concreto de alta resistencia fue la elección para algunos edificios por otras razones que simplemente la resistencia. Por ejemplo:

. En 1983 se empleó una resistencia de  $700 \text{ kg / cm}^2$  (69 MPa) para la Plaza Interfirst, en Dallas, debido a que el concreto proporcionaba una rigidez seis veces mayor por dólar que un edificio con marco de acero.

. En el Two Union Square de Seattle se empleó una resistencia a la compresión de  $335 \text{ kg / cm}^2$  (131 MPa) porque el diseñador quería un módulo de elasticidad de  $4.2 \times 10^5 \text{ kg / cm}^2$  (41 GPa).

Para lograr el módulo, las pruebas mostraron que era necesario tener una resistencia a la compresión del concreto de  $1,335 \text{ kg / cm}^2$  (131 MPa), mientras que se requerían  $980 \text{ kg / cm}^2$  (97 MPa) para soportar las cargas estructurales. Consecuentemente, el diseño de la mezcla estuvo regido por el módulo de elasticidad.

Al mismo tiempo, se ha empleado concreto de alta resistencia en algunos puentes tales como el East Huntington a través del río Ohio, y el Puente Annacis a través del río Frazer en Canadá. Ambos puentes con tirantes de cables emplearon concreto de alta resistencia a la compresión de  $560 \text{ kg / cm}^2$  (55 MPa) para reducir el peso del tablero. En un puente con tirantes de cables, el tablero actúa como un miembro a compresión largo, en el que el concreto de alta resistencia resulta ventajoso.

En el puente flotante Lacey V. Murrow en Seattle, Wash., el concreto se seleccionó por su resistencia, contracción y rápida impermeabilidad a cloruros. El resultado fue una resistencia a la compresión a 28 días por encima de  $700 \text{ kg / cm}^2$  (69 MPa), aunque el diseño estructural solamente requería  $460 \text{ kg / cm}^2$

# Anúnciese

### Resumen:

No sólo la resistencia sino también la durabilidad y la economía de construcción son los atributos del concreto de alto comportamiento que han llevado al gobierno de Estados Unidos a promoverlo para la construcción de puentes. De esto y de los trabajos del ACI para definirlo y formular especificaciones a su elaboración nos informa un experto en el tema.

(45 MPa). Otros puentes importantes que han usado CAC incluyen el que cruza el estrecho de Northumberland en Canadá, y el puente Normandy en Francia.

La Administración Federal de Carreteras (FHWA por sus siglas en inglés), en cooperación con el Departamento Estatal de Carreteras, ha lanzado ahora un programa para construir puentes de demostración con CAC. El objetivo es alentar el uso de CAC para lograr economía de construcción y comportamiento a largo plazo. Existen proyectos en curso en Alabama, Colorado, Georgia, Nebraska, New Hampshire, Carolina del Norte, Ohio, Texas, Virginia y Washington.

Ya están en construcción puentes auténticos en Nebraska, New Hampshire, Texas, Virginia y Washington. Para estos puentes, el enfoque se centra en el concreto de alto comportamiento y no solamente en el concreto de alta resistencia. La durabilidad y el mantenimiento económico a largo plazo se han convertido en los objetivos, junto con la economía en la construcción. Las ventajas del CAC pueden sintetizarse como sigue:

- claros más largos,
- espaciamientos incrementados de las trabes,
- miembros de poco peralte,
- durabilidad incrementada, y
- propiedades mecánicas mejorada.

Para promover el uso del CAC, la FHWA está ahora llevando a cabo demostraciones regionales. La primera de éstas se realizó en Houston en marzo de 1996; duró tres días y enfocó los puentes de Texas. La segunda se efectuó en Omaha en noviembre de 1996, y se centró en el puente de Nebraska. A ambas exposiciones concurren más de 200 participantes.

En 1997 se planearon exposiciones en Virginia y en North Hampshire. En otros estados también se están llevando a cabo miniexposiciones de un día. Además, se realizó una sesión técnica en la Convención del ACI en Seattle, y se llevó a cabo un Simposio Internacional en la Convención del PCI en octubre de 1997.

En 1991, el Comité de Actividades Técnicas formó un subcomité sobre concreto de alto comportamiento con la misión de proporcionar "liderazgo y guía técnica sobre el concreto de alto comportamiento para todas las actividades del ACI". La primera acción del comité consistió en debatir, y volver a debatir, una definición para el concreto de alto comportamiento.

Como resultado, el comité definió el concreto de alto comportamiento como un concreto que satisface los requisitos especiales de comportamiento y uniformidad que no siempre pueden alcanzarse rutinariamente empleando sólo materiales convencionales y prácticas normales de mezclado, colocación y curado. Los requisitos pueden incluir intensificación en la colocación y compactación sin segregación, propiedades técnicas a largo plazo, resistencia a edad temprana, tenacidad, estabilidad volumétrica, o vida de servicio en ambientes severos. Esta fue una definición general, ya que existía todavía un fuerte sentimiento de que definir el concreto de alto comportamiento con mayor precisión podría resultar restrictivo.

Goodspeed y otros, en su estudio en *Concrete International* de febrero de 1996, presentaron una definición propuesta para el CAC que está desarrollando la FHWA. La definición propuesta consta de cuatro parámetros de resistencia y cuatro de durabilidad. Asociados con cada parámetro, están los criterios de comportamiento, procedimientos de pruebas para medir el comportamiento y recomendaciones para relacionar el comportamiento con condiciones de campo.

Esta definición, pensada para aplicaciones de carreteras, se preparó para estimular el uso de concreto de alta calidad en estructuras de carreteras. El estudio de Goodspeed dio como resultado el equivalente de tres páginas completas de cartas de los lectores, y dos páginas completas de respuestas de los autores. La mayor parte de esta discusión se relacionaba con aspectos de durabilidad del concreto de alta resistencia.

Durante muchos años, el Consejo de Dirección del ACI ha alentado el empleo de estándares de comportamiento más que prescriptivos. Uno de los retos que enfrentan actualmente los comités del ACI que tratan aspectos de durabilidad es el de cómo crear especificaciones de comportamiento que puedan utilizarse para implementar concretos de alto comportamiento.

Todos nosotros sabemos que el público en general espera que el concreto dure para siempre, y con frecuencia ve que el concreto no llena sus expectativas. Muchas autopistas de este material se agrietan en lugares inapropiados o se descostran debido a la congelación y el deshielo. Muchos puentes se han deteriorado. Los puentes de concreto que se caen durante los temblores dan lugar a cuadros dramáticos.

Para parafrasear una expresión política, "si hemos de reemplazar puentes del pasado, o construir puentes para el futuro, debemos emplear concreto de alto comportamiento.

Henry G. Russell es miembro del ACI e ingeniero consultor especializado en diseño, construcción e investigación del concreto.

Este artículo se publicó en *Concrete International* y se reproduce con la autorización del American Concrete Institute.



# Coeficiente volumétrico del agregado: Modificaciones al comportamiento del concreto

Ingeniero Irán Ariza Simon

Hoy día la tecnología del concreto requiere agregados pétreos mucho más elaborados que antes. Un conocimiento mayor de las características de éstos implica establecer métodos y procedimientos para determinar cada una de las características físicas, químicas y mecánicas que se buscan para la obtención de un mejor comportamiento del concreto como producto final.

Aquí! 

En nuestro medio de la construcción –y sobre todo cuando se trata de obras de gran magnitud– ha cobrado mayor importancia últimamente el concepto de *coeficiente volumétrico*. Con la intención de contribuir a la elaboración de un método de prueba debidamente establecido como norma mexicana para la determinación del coeficiente volumétrico, este estudio tiene como objetivo principal comparar el coeficiente volumétrico calculado conforme lo que indica el Anteproyecto de Norma Mexicana NMX-C-S/N-1991 con el coeficiente volumétrico obtenido a partir de algunas consideraciones propuestas.

## Resumen:

La deficiencia en la calidad de los agregados empleados provoca la aparición de propiedades no deseables en el concreto: bajo módulo de elasticidad, altas deformaciones y elevados cambios volumétricos, todo lo cual da lugar al agrietamiento de las estructuras. De ahí la importancia del coeficiente volumétrico del agregado grueso, una característica

## Efectos del proceso de trituración y origen de la grava en el coeficiente volumétrico

Entre las características externas importantes de los agregados se incluyen su forma y su textura superficial. Dependiendo de su grado y redondez, se los puede clasificar en bien redondeados, redondeados, subredondeados, angulares y subangulares. Las gravas producto de trituración, sin importar el origen de la roca, pueden pertenecer al grupo de angular a subangular: aun cuando toda roca triturada presenta partículas planas y elongadas.

Por otra parte, considerando la referencia de un cubo, las tres dimensiones que lo conforman –largo, ancho y espesor– así como la variación entre los mismos, darán como consecuencia los tres tipos de forma geométrica de cualquier partícula (figura 1), esto es:

- Cuando las tres dimensiones son aproximadamente iguales, la partícula toma la forma geométrica de un cubo o una esfera (figura 1.a).
- Cuando el largo y el ancho tienen aproximadamente la misma dimensión y también muchas veces la dimensión del espesor, la forma de la partícula será plana; es la comúnmente conocida como laja (figura 1.b).
- Cuando el largo es muchas veces el tamaño del ancho y espesor, y estos últimos son de dimensión similar, se describe la partícula elongada y se la conoce comúnmente como aguja (figura 1.c).

En el caso del concreto hidráulico, la presencia de cantidades excesivas de partículas planas o elongadas puede dar lugar a una mezcla poco trabajable, difícil de mezclar y de colocar. Esto se debe a que por su forma son partículas débiles, con mucha tendencia a fracturarse.

En términos generales, la tendencia de buscar que la forma de las partículas sea lo más parecido a un cubo o una esfera es lograr concretos más manejables, con menores contracciones.

física que modifica el comportamiento del concreto y afecta su maleabilidad. Este trabajo presenta los resultados de una comparación experimental entre el coeficiente volumétrico calculado de acuerdo con lo establecido por el Anteproyecto de Norma Mexicana NMX-C-S/N-1991 y los valores obtenidos según algunas consideraciones propuestas por el autor.

## El proceso de trituración y origen de la grava

Las partículas con formas no equidimensionales tienden a darse cuando hay planos de intemperismo en la roca de origen. Esto puede incluir planos de estratificación en rocas sedimentarias, y foliación y lineación en rocas metamórficas. Se ha visto que el tipo de maquinaria utilizada en las operaciones de trituración también influye en la forma de la partícula. Las máquinas más utilizadas en la explotación de partículas para la producción del concreto y otros usos emplean los métodos mecánicos de reducción por compresión, impacto, desgaste y corte.

Dos de los conceptos que definen el comportamiento de las diferentes trituradoras son:

a) Índice de reducción. Se define como la relación entre el tamaño  $D$  del fragmento de roca a la entrada de la trituradora con el tamaño  $d$  del producto de la trituración a la salida (figura 2).

b) Coeficiente de forma. Dado un fragmento de roca cuya dimensión mayor sea representada por  $L$  y sea  $v$  el volumen de dicho fragmento, y  $V$  el volumen de la esfera cuyo diámetro sea  $L$  (figura 3), se define el coeficiente volumétrico de dicho fragmento como la relación:

$$CV = v/V$$

La operación de trituración se basa en impartir al material que se va a triturar tensiones superiores a su límite elástico que lleguen a provocar su fractura. Las máquinas empleadas para lograr este objetivo pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

- Máquinas que rompen la piedra por compresión
- Máquinas que provocan la ruptura por impacto

Existen trituradoras que combinan ambos principios.

Trituración por compresión

En lo que al coeficiente volumétrico se refiere, cuando las trituradoras que funcionan por compresión han de triturar materiales de origen sedimentario o estratificado (calizas), el producto triturado tiende a salir en forma de losas que, aun cuando su espesor está limitado por la abertura de salida, las otras dos dimensiones, ancho y largo, no tienen limitación práctica alguna. Este tipo de trituradoras jamás puede proporcionar partículas que se aproximen a la forma cúbica ideal para la obtención de toda clase de agregados (figura 4).

Este tipo de trituradoras por compresión presenta poco desgaste y su empleo se ve favorecido cuando se trabaja con rocas hipogénicas que no son exfoliables y que normalmente son muy abrasivas.

### Trituración por impacto

En la trituración por impacto, la fragmentación de la piedra se produce por el rápido golpe impartido por los elementos móviles sobre la misma. Su forma de trabajo produce un alto porcentaje de finos. La turbulencia que se produce en la cámara de trituración de las trituradoras de impacto da lugar a violentos choques entre las piedras y ayuda a eliminar aristas agudas y zonas débiles del producto triturado (figura 5).

En este tipo de trituradoras existe poca posibilidad de dejar pasar losas en materiales muy estratificados, así como de dar una forma cúbica ideal al producto triturado.

En resumen, el valor del coeficiente volumétrico va a depender de las características de la trituración y del material que va a ser triturado, de su resistencia a la trituración, su naturaleza abrasiva o no abrasiva y si es de consistencia granular o laminada.

Lo anterior, sin otra pretensión que la enunciativa, se puede expresar cualitativamente en el siguiente cuadro:

Cuadro 1

Tipo de trituradora	Índice de reducción	Coficiente volumétrico
---------------------	---------------------	------------------------

Por compresión Bajo Bajo: muchas lajas

Por impacto Muy alto Muy bueno

### **Métodos de prueba para determinar la forma de la partícula del agregado grueso: antecedentes**

Actualmente existen en la normatividad internacional procedimientos para la determinación directa o indirecta de la forma de la partícula del agregado grueso.

### **Norma británica B.S. 812 Método para Muestreo y Pruebas de Agregados Minerales, Arenas y Rellenos. Determinación del Coeficiente de Angulosidad**

La angulosidad o ausencia de redondeo de las partículas de un agregado es una propiedad importante debido a su efecto en la facilidad de manejo de la mezcla del agregado y el aglutinante, y esto es la trabajabilidad del concreto, o la estabilidad de las mezclas que depende de la liga entre partículas.

Se trata de un método de laboratorio que pretende comparar las propiedades de diferentes agregados para propósitos de diseño de la mezcla.

La prueba de *Coeficiente de angulosidad* se realiza como una medida de la angulosidad relativa que se basa en el porcentaje de vacíos en el agregado después de compactar en la forma indicada en esta norma.

Debido a que se emplea un esfuerzo de compactación mayor que en las prueba de densidad de la masa y vacíos, los resultados de las dos pruebas son diferentes. Asimismo, los agregados más débiles pueden ser triturados durante la compactación, por lo que esta prueba no se aplica a los agregados que pueden romperse durante la misma.

En resumen, la prueba consiste en lo siguiente:

Con un cucharón se procede a llenar con el agregado en condición de seco un cilindro metálico de aproximadamente 3 l de capacidad cerrado en un extremo. El llenado se hace hasta que rebasa el cilindro. El agregado del cilindro se

compacta con cien golpes –dos golpes por segundo–, con una varilla para compactar que tiene un extremo hemisférico. Los golpes se distribuyen en toda la superficie del cilindro y se aplican manteniendo la varilla en posición vertical, con su extremo hemisférico a 5 cm sobre la superficie del agregado y soltándola para que caiga libremente.

El proceso de llenado y compactado se repite con una segunda y tercera capa de agregado; la tercera capa deberá contener únicamente la cantidad de agregado suficiente para llenar el nivel del cilindro hasta su borde superior, antes de compactar.

Compactada la tercera etapa, el cilindro se llena hasta que sobrepase y se enrasa en la parte superior utilizando la varilla para compactar. Deberán adicionarse partículas individuales del agregado; se procede a pesar ( $W$ ).

El cilindro utilizado se calibra determinando el peso del agua requerido para llenarlo. Peso ( $C$ ).

El cálculo del *Coefficiente de angulosidad* se hace mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Coeficiente de angulosidad} = 67 - (100 * W) / CG_A$$

Donde:

$W$  = Peso medio del agregado en el cilindro (g)

$C$  = Peso del agua requerida para llenar el cilindro (g)

$G_A$  = Gravedad específica del agregado determinada en laboratorio

### **Norma francesa AFNOR**

Definición de la forma de las gravas según la norma P 18301

Para caracterizar la forma del agregado, la AFNOR ha definido un coeficiente volumétrico igual a la relación entre el volumen  $V$  del agregado, expresado en  $\text{mm}^3$  y el volumen de la esfera de diámetro  $N$  en milímetros, siendo  $N$  la mayor

dimensión diametral de dicho elemento.

$$C = V / (p * N^3 / 6)$$

Prácticamente se efectúa esta medición de un conjunto de granos, tomándose una muestra de 200 g para las gravillas. En este caso:

$$C = S V / (S p * N^3 / 6)$$

Los coeficientes volumétricos mínimos para gravas prescritos en esta norma son:

- Hormigones armados 0.20
- Hormigones impermeables 0.20
- Hormigones en masa 0.15

### **Anteproyecto de norma mexicana NMX-C-S / N-1991 Coeficiente Volumétrico (de forma) en Agregado Grueso - Método de Prueba**

Este anteproyecto de norma mexicana "establece el método de prueba para determinar, bajo condiciones normalizadas, el *coeficiente volumétrico* del agregado grueso que se retenga en la criba de 4.75 mm (núm.4), también conocido como *factor de forma* o *coeficiente de forma*"

Se define como *coeficiente volumétrico* "la relación que existe entre la suma de los volúmenes de las partículas representativas del agregado grueso que componen una muestra y la suma de los volúmenes de las esferas que circunscriben a cada partícula de dicha muestra".

El procedimiento de prueba consiste en:

"Obtener una muestra representativa del material, lo suficientemente grande para seleccionar por lo menos 50 partículas de agregado grueso que componen la muestra. Extender la muestra en la charola y seleccionar al azar 50 partículas de agregado grueso como mínimo, de diferentes

tamaños, pero representativa de la granulometría del material."

"Medir con el vernier la longitud mayor de cada partícula seleccionada, la cual se denomina  $d_i$ , en donde, en donde  $i = 1, \dots, n$  siendo  $n =$  número de partículas seleccionadas."

Determinar con el picnómetro y la probeta el volumen de agua desalojada que corresponde al de las partículas seleccionadas, la cual se denomina  $V_p$  (volumen real).

"Calcular el volumen teórico de la esfera que circunscribe a cada una de las partículas seleccionadas, mediante la siguiente expresión:

$$V_i = \rho (d_i)^3 / 6$$

En donde:

$V_i$ : Volumen teórico de la esfera que circunscribe a cada partícula seleccionada ( $i = 1, \dots, n$ ).

$$\rho = 3.1415927$$

$d_i$  = Longitud mayor de cada partícula seleccionada ( $i = 1, \dots, n$ ).

"Obtener la sumatoria de los volúmenes de las esferas individuales, correspondientes a cada partícula seleccionada, con la siguiente expresión:

$$n$$

$$V_e = \sum V_i$$

$$i = 1$$

En donde:

$V_e$  = Suma de los volúmenes de todas las esferas que circunscriben a cada partícula seleccionada."

"Calcular el coeficiente volumétrico del agregado grueso con

la siguiente expresión:

$$CV = (\text{Volumen real } V_p / \text{Volumen teórico } V_e)$$

## **Determinación experimental del coeficiente volumétrico**

### **Situación actual**

El valor del *coeficiente volumétrico* de la grava y su cumplimiento han sido establecidos en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto; del Reglamento de Construcciones del Departamento del Distrito Federal en el año 1987 en su inciso 11.3.1. Materiales componentes.

"La calidad y proporciones de los materiales componentes del concreto serán tales que logren la resistencia, deformabilidad y durabilidad necesarias"...

"Los materiales pétreos, gravas y arenas, deberán cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-111, con las modificaciones y adiciones indicadas a continuación.

Propiedad Concreto clase 1

Coeficiente volumétrico de la grava, mín. 0.20

Así también, en el anteproyecto de Norma Mexicana NMX-C-S-1994 "Concreto hidráulico para uso estructural"; en su inciso 5.1.2. Especificaciones (para agregados), donde indica en iguales términos que en el RDDF:

"Además de los requisitos especificados en la norma NMX-C-111, el agregado grueso empleado en la fabricación de concreto debe tener un *coeficiente volumétrico* igual o mayor que 0.20."

Lo anterior fue como consecuencia de una mayor exigencia técnica, propiciada por los desastres ya conocidos en el año 1985.

### **Discusión**

Si bien es cierto que en la actualidad es marcada la tendencia de exigir cada vez más el cumplimiento del valor del *coeficiente volumétrico* en aquellas gravas que serán utilizadas en la fabricación del concreto para uso estructural, también es cierto que a la fecha no existe un método de prueba debidamente establecido como norma mexicana; los esfuerzos únicamente se han concretado en un Anteproyecto de Norma Mexicana - NMX-C-S/N-1991 "Industria de la Construcción - Agregados de Concreto - Coeficiente Volumétrico (de Forma) en Agregado Grueso - Método de Prueba"; la cual, en mi consideración, expresa en forma subjetiva algunos de sus puntos indicados en su procedimiento; a saber:

En el punto 5, inciso 5.1, que dice:

"Tomar el material para esta prueba de acuerdo con la NMX-C-30 y reducir por cuarteo de acuerdo a la NMX-C-179 [ ...] hasta obtener una *muestra representativa del material*, lo suficientemente grande para seleccionar por lo menos 50 partículas de agregado grueso de los tamaños que componen la muestra".

Con la finalidad de reducir al mínimo los errores de interpretación, sería conveniente que para la selección de la *muestra representativa del material* se tomara como referencia la tabla núm. 1, p. 3 / 5 de la NMX-C-77 Análisis Granulométrico - Método de Prueba, en la que se indica la masa mínima de la muestra seca, de acuerdo con el Tamaño Nominal Máximo; interpretándose como *muestra representativa*.

En el punto 5, inciso 5.2, que dice:

"Extender la muestra (representativa) en la charola y *seleccionar al azar* 50 partículas de agregado grueso como mínimo, de diferentes tamaños, *pero representativa de la granulometría del material*."

Extender en una charola la muestra representativa implicaría, según el criterio adoptado en la NMX-C-77, seleccionar como mínimo 50 partículas de entre aproximadamente (porque depende del origen del agregado), 3,500 partículas; lo que hace poco probable que la selección

al azar resulte verdaderamente representativa del material.

Lo anterior da lugar a los siguientes interrogantes:

- ¿Es verdaderamente representativo el coeficiente volumétrico obtenido de como mínimo del ensaye de 50 partículas del material?

Si consideramos que cualquier muestra representativa de un agregado está formada por la sucesión ascendente o descendente, como se la quiera ver, de varios tamaños; cuantitativamente...

- ¿Cómo se comporta el valor del coeficiente volumétrico calculado en cada uno de los tamaños que forman la muestra: considerando el número de partículas en cada tamaño de acuerdo con los porcentajes retenidos para cada criba, así como considerando un número igual de partículas para cada tamaño?

Para dar respuesta a lo anterior se diseñó el estudio de investigación que se expone a continuación.

## **Estudio experimental**

### Diseño del estudio

Para el presente estudio se consideran dos gravas de origen calizo, con un tamaño máximo nominal de 19 mm, provenientes de diferentes minas localizadas en el estado de Hidalgo; seleccionándose este tipo de material por su empleo generalizado para la producción de concreto premezclado en su clase 1.

Se determinará para cada una de las gravas el valor del coeficiente volumétrico, de acuerdo con tres criterios en la selección de la cantidad de partículas:

*Criterio 1.* Se determinará el coeficiente volumétrico según lo indicado en el Anteproyecto de Norma Mexicana NMX-C-S/N-1991.

*Criterio 2.* El valor del coeficiente volumétrico se calculará en relación con los porcentajes retenidos en cada criba obtenidos del análisis granulométrico; tomando como base 500 partículas de la muestra total.

*Criterio 3.* El valor del coeficiente volumétrico se obtendrá a partir de la medición de un número fijo de partículas para cada tamaño; 182 partículas para la grava núm. 1 en cada tamaño, haciendo una muestra total de 910 partículas. Y para la grava núm. 2, 160 partículas por cada tamaño, haciendo una muestra total de 800 partículas.

### Consideraciones

En el Anteproyecto de Norma se establece que la muestra en estudio será aquella que se entrega en la criba 4.75 (núm. 4); se decidió considerar también lo retenido en la criba 2.36 (núm. 8).

De acuerdo con la NMX-C-111 (DE 20 A 5) y / o ASTM-C-33 (núm.67); en las cribas que intervienen para la evaluación de su granulometría no se presenta la criba 12.5 (½ "); sin embargo, se consideró importante incluirla.

### Presentación

En el siguiente informe se indican los resultados obtenidos del estudio de investigación del comportamiento en el cálculo del coeficiente volumétrico de acuerdo con los varios criterios de selección de la muestra en estudio.

### Equipo utilizado

El equipo consistió en un picnómetro de sifón, probetas de vidrio, un calibrador tipo vernier con aproximación a 0.01 mm, agitador mecánico con cribas para granulometría y equipo complementario.

### Determinación del coeficiente volumétrico de la grava de Gravasa-Apaxco

*Aplicación del criterio número 1 NMX-C-S/N-1991)*

Con el objeto de ilustrar la variación que puede existir en el cálculo del coeficiente volumétrico, se realizó en tres ocasiones la determinación de éste, conforme lo indica el Anteproyecto de Norma Mexicana; la selección de las partículas, así como la realización de la prueba, estuvo a cargo de un solo operador.

La variación entre los valores del coeficiente volumétrico se consideró propia del método de prueba (selección al azar de las partículas).

El promedio del coeficiente volumétrico obtenido de estas pruebas se puede considerar muy bueno ( $CV = 0.27$ ).

#### *Aplicación del criterio número 2 (porcentaje retenido)*

Se seleccionaron 500 partículas para la determinación del coeficiente volumétrico. En cada uno de los tamaños, el número de partículas de cada tamaño va a estar en función del porcentaje retenido calculado en la prueba de granulometría.

El valor del coeficiente volumétrico disminuye a medida que disminuye el tamaño de las partículas; sin embargo, como se puede observar, el coeficiente volumétrico de los retenidos en las mallas núm. 4 y núm. 8 presentan un coeficiente volumétrico de 0.17 y 0.16 respectivamente; por lo que valdría la pena considerar, en el método de prueba de la NMX-C-S/N las partículas retenidas en la malla núm. 8. El coeficiente volumétrico de la muestra total de 500 partículas es 0.23.

#### *Aplicación del criterio número 3 (160 partículas)*

Se calculó el coeficiente volumétrico de cada tamaño de partículas retenido, para lo cual se midieron 160 partículas de cada tamaño.

El valor del coeficiente volumétrico calculado a partir de un número fijo de partículas por cada tamaño se comporta aproximadamente igual al *criterio núm. 2*, en donde el coeficiente volumétrico es calculado con un número de partículas en función de los porcentajes retenidos de acuerdo con la granulometría.

El valor del coeficiente volumétrico de la muestra total compuesta por 160 partículas de cada uno de los tamaños retenidos, que hacen un total de 800 partículas es de 0.25. El comportamiento se puede apreciar más claramente en las figuras 10 y 11.

### *Resumen*

En el cuadro 7 y la figura 12, se observa que existe una diferencia de 17% entre el valor del coeficiente más bajo, obtenido por el *criterio núm. 2* (número de partículas en función de los porcentajes retenidos de acuerdo con la prueba de granulometría) y el valor del coeficiente volumétrico obtenido por el *criterio núm. 1* (calculado de acuerdo con lo que indica el Anteproyecto de la Norma Mexicana).

### Determinación del coeficiente volumétrico de la grava de Adosa-La Palma

#### *Aplicación del criterio número 1 (NMX-C-S/N-1991)*

El cálculo del coeficiente volumétrico se realizó en tres ocasiones, conforme lo indica el Anteproyecto de la Norma Mexicana; la selección de las partículas, así como la realización de la prueba, estuvo a cargo de un solo operador.

La variación entre los tres valores del coeficiente volumétrico se considerará propia del método de prueba (selección al azar de las partículas).

El promedio del coeficiente volumétrico obtenido de estas tres pruebas se puede considerar bueno ( $CV = 0.22$ ).

Como se puede observar, este valor de coeficiente volumétrico es menor que el obtenido en la hrava de Gravasa-Apaxco.

#### *Aplicación del criterio número 2 (porcentajes retenidos)*

Se seleccionaron 500 partículas para la determinación del coeficiente volumétrico; así también se determinó el coeficiente volumétrico de las partículas retenidas en cada malla; el número de partículas de cada tamaño va a estar en

función del porcentaje retenido calculado en la prueba de granulometría. El valor del coeficiente volumétrico disminuye a medida que disminuye el tamaño de las partículas; sin embargo, como se puede observar, el coeficiente volumétrico de los retenidos en las mallas núm. 4 y núm. 8 presentan un coeficiente volumétrico de 0.13. El coeficiente volumétrico de la muestra total de 500 partículas es 0.19, menor que el obtenido en la grava de Gravasa-Apaxco.

### *Aplicación del criterio número 3 (182 partículas)*

Se calculó el coeficiente volumétrico de cada tamaño de partículas retenido, para lo cual se midieron 182 partículas por cada tamaño.

El valor del coeficiente volumétrico calculado a partir de un número fijo de partículas por cada tamaño se comporta aproximadamente igual que el *criterio núm. 2*, en donde el coeficiente volumétrico es calculado con un número de partículas en función de los porcentajes retenidos de acuerdo con la granulometría.

El valor del coeficiente volumétrico de la muestra total compuesta por 182 partículas de cada uno de los tamaños retenidos, que hacen un total de 910 partículas, es de 0.21. El comportamiento se puede apreciar más claramente en las figuras 14 y 15.

### *Resumen*

En el cuadro 10 y la figura 15 se observa que existe una diferencia de 16 por ciento entre el valor del coeficiente volumétrico más bajo, obtenido por el *criterio núm. 2* (número de partículas en función de los porcentajes retenidos de acuerdo con la prueba de granulometría) y el valor del coeficiente volumétrico obtenido por el *criterio núm. 1*, (calculado de acuerdo con lo que indica el Anteproyecto de Norma Mexicana).

En ambos casos, tanto para la grava de Gravasa-Apaxco como para la de Adosa-La Palma, existe una diferencia entre 16 o 27 por ciento respecto a los valores de coeficiente volumétrico calculados con el *criterio núm. 1* con los calculados ya sea con el *criterio núm. 2* o con el *criterio*

núm. 3.

## Conclusiones y recomendaciones

- Con una finalidad meramente enunciativa, nos referimos a las trituradoras de impacto o de martillos como la forma más ventajosa para obtener un material cúbico de elevado coeficiente volumétrico; siendo aconsejable su empleo para tratar calizas.
- Es muy importante que se definan los procedimientos de prueba para determinar el coeficiente volumétrico en el marco de una norma mexicana.
- De los resultados de la experimentación se observa que las partículas retenidas en la malla 2.36 (núm. 8) presentan un coeficiente volumétrico de 0.16 a 0.18 para la grava núm 1 Gravasa-Apaxco y de 0.13 para la grava núm. 2 Adosa-La Palma. Por lo cual, no se puede dejar de considerar la determinación del coeficiente volumétrico de una muestra; actualmente el Anteproyecto de Norma Mexicana establece utilizar todas las partículas que sean retenidas hasta la malla 4.75 (núm. 4).
- Cuantitativamente, el coeficiente volumétrico de la grava núm. 2 es de 17 a 19 por ciento menor que el coeficiente volumétrico de la grava núm. 1; esto, considerando cualesquiera de los criterios de selección de las partículas para la determinación del coeficiente volumétrico.
- El coeficiente volumétrico calculado según lo establece el Anteproyecto de Norma Mexicana es de 16 a 17 por ciento mayor que el coeficiente volumétrico calculado a partir de la selección del número de partículas retenidas en cada malla de acuerdo con el porcentaje retenido en el análisis granulométrico.
- De los tres criterios de selección de la muestra para calcular el coeficiente volumétrico, se considera más representativo del material aquél que se obtiene al

considerar los porcentajes retenidos en cada malla de acuerdo con su granulometría.

- Las conclusiones reflejan únicamente las características del material: origen calizo y explotado por procesos de compresión. por lo que, para poder complementar el presente estudio se realizarán pruebas con otros tipos de material en cuanto a su origen y forma de explotación.

## **Bibliografía**

Arredondo y Verdu, Francisco y José L. Núñez del Pino: *Los áridos en la construcción*, Barcelona, Editorial Técnicos Asociados, 1967.

Benítez Esparza, Pedro Luis, *Técnicas modernas de producción de agregados*, UNAM, Facultad de Ingeniería. *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto*, México, 1987.

Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana (NOM-C-S/N-1991). Industria de la construcción / Agregados para concreto / Coeficiente volumétrico (de forma) en agregado grueso / Método de prueba.

Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana (NOM-C-S/N-1994). Edificación / Concreto hidráulico para uso estructural, especificaciones y método de prueba.

Norma Mexicana NMX-C-111 "Agregados Especificaciones". Norma Británica B.S. 812:1960, UDC 625.7.07.620.1 "Método para muestreo y pruebas de agregados minerales, arenas y rellenos".

## **(Pies de cuadros y figuras:)**

Figura 1. Forma de partícula: equidimensional, plana y elongada.

Figura 2. Índice de reducción.

Figura 3. Coeficiente volumétrico.

Figura 4. Trituradoras de rodillos; utilizan los efectos de compresión y corte.

Figura 5. Trituradoras de impacto: esquema de funcionamiento.

Figura 6. Equipo utilizado para la determinación del coeficiente de forma.

Figura 7.

Figura 8.

Figura 9. Grava Gravasa Apaxco: Determinación del coeficiente volumétrico según NMX-C-S/N.

Figura 10. Grava Gravasa-Apaxco: Determinación del coeficiente volumétrico según porcentajes retenidos.

Figura 11. Grava Gravasa-Apaxco: Determinación del coeficiente volumétrico eligiendo 160 partículas de cada porcentaje retenido.

Figura 12. Grava Gravasa-.Apaxco: Comparativo del cálculo del coeficiente volumétrico.

Figura 13. Determinación del coeficiente volumétrico según NMX-C-S/N.

Figura 14. Grava Adosa-La Palma: Determinación del coeficiente volumétrico según porcentajes retenidos.

Figura 15. Grava Adosa-La Palma: Determinación del coeficiente volumétrico eligiendo 182 partículas de cada porcentaje retenido.

Figura 16. Grava Adosa-La Palma: Comparativo del cálculo del coeficiente volumétrico.

Cuadro 2. Análisis granulométrico de la grava núm. 67 de Gravasa-Apaxco

Cuadro 3. Análisis granulométrico de la grava núm. 67 de Adosa-La Palma

Cuadro 4. Grava Gravasa-Apaxco: Valor del coeficiente volumétrico de acuerdo con NMX-CS/N.

Cuadro 5. Grava Gravasa-Apaxco: Valor del coeficiente volumétrico de acuerdo con el porcentaje retenido, según granulometría.

Cuadro 6. Grava Gravasa-Apaxco: Valor del coeficiente volumétrico para un número fijo de partículas (160).

Cuadro 7. Grava Gravasa-Apaxco: Valor del coeficiente volumétrico de acuerdo con el criterio de selección de la muestra.

Cuadro 8. Grava Adosa-LaPalma: Valor del coeficiente volumétrico de acuerdo con NMX-C-S/N.

Cuadro 9. Grava Adosa-La Palma: Valor del coeficiente volumétrico de acuerdo con el porcentaje retenido, según granulometría.

Malla Vol. teórico Vol. real Coeficiente Diferencia %

Cuadro 10. Grava Adosa-La Palma: Valor del coeficiente volumétrico para un número fijo de partículas (182)

Malla Vol. teórico Vol. real Coeficiente



Cuadro 11. Grava Adosa-La Palma: Valor del coeficiente volumétrico de acuerdo con el criterio de selección de la muestra.

**Instituto Mexicano del Cemento y del  
Concreto, A.C.**

**Revista Construcción y Tecnología**

**Marzo 1999**

**Todos los derechos reservados**

[ARTICULO  
ANTERIOR](#)



[ARTICULO  
SIGUIENTE](#)



# Pavimentos de concreto para estacionamientos

James A. Rossberg



Al acercarse el fin del invierno y empezar el deshielo de primavera, llega el momento de mirar hacia afuera y ver en qué condiciones se encuentra el área de estacionamiento. En la mayoría de los casos, el resultado es el ritual anual de rellenar los baches y echar chapopote en las grietas que se forman en áreas típicas de estacionamientos durante los meses de invierno. Sin embargo, para algunos la época de primavera es apenas una brisa; saben bien que su estacionamiento está en buenas condiciones y que continuará así muchos años gracias a que fue construido con concreto.

## Resumen:

El concreto es una excelente opción para pavimentar un área de estacionamiento, tanto desde el punto de vista del propietario como del usuario: existen buenas razones que lo prueban.

Muchos arquitectos e ingenieros reconocen que el concreto es un material superior de pavimentación, pero no llegan a especificarlo porque "saben intuitivamente" que es muy caro. Antes de discutir el costo de la pavimentación con concreto, examinemos las razones de por qué el concreto es superior.

## Beneficios del concreto

La ventaja más grande de poseer un estacionamiento con pavimento de concreto es evidente año con año: el bajo mantenimiento.

- Mantenimiento

Cada año, mucha gente gasta miles de dólares en el mantenimiento de áreas deterioradas de estacionamientos. Con un estacionamiento de concreto, este ritual anual se reduce virtualmente a nada. Se diseña una área de estacionamiento de concreto empleando principios de ingeniería bien establecidos para soportar el tránsito esperado durante 20 o 30 años. Los requisitos de mantenimiento son mínimos, porque el pavimento es rígido, lo que elimina la formación de baches y depresiones. Además, cuando se utiliza concreto, se eliminan completamente las cubiertas costosas, destructivas y que consumen mucho tiempo, típicamente necesarias cada cuatro a siete años para las áreas de estacionamientos de asfalto. Algo acaso de menor importancia que cuenta: el dinero que se gasta en limpiar las manchas de chapopote de pisos y

alfombras interiores.

- Apariencia

Al usar el concreto como un material de pavimentación, se proporciona al propietario un área de estacionamiento limpia y atractiva. El pavimento de concreto da la impresión de resistencia y permanencia; esto es una ventaja sutil pero muy real. Además, el concreto proporciona flexibilidad sin límite en la apariencia, a través del uso de técnicas de relieve y coloreado. En lugar de colocar costosos ladrillos o adoquines, se puede lograr el mismo efecto utilizando concreto por una fracción de su costo.

- Seguridad

El pavimento de concreto se construye fácilmente con una superficie rugosa. Esto incrementa la resistencia a derrapes, haciéndolo con ello más seguro para el tránsito vehicular y peatonal. En una sociedad plagada de reclamos, este es un punto muy importante que debe considerar el propietario de un área de estacionamiento.

- Alumbrado

Si observamos un área de estacionamiento de concreto en la noche, notamos inmediatamente que aparece mucho más brillante, como resultado del color y la reflectividad del material. Además, a fin de hacer el área más segura para el usuario, la reflectividad agregada se transforma en ahorros significativos para el propietario. Puesto que refleja la luz, un área de estacionamiento de concreto requiere menos dispositivos de iluminación para proporcionar un grado satisfactorio de brillantez. Esto significa un menor gasto durante la construcción inicial y un recibo mensual de luz más reducido, por el resto de la vida del complejo de estacionamiento.

- Impresión del consumidor

Todos los involucrados en las ventas al menudeo saben que tener al cliente contento es muy importante. Un área de estacionamiento de concreto elimina la necesidad que tienen los clientes de quejarse por los baches que dañan sus autos. Ellos no estarán manejando sobre depresiones obstaculizantes; no tendrán que bordear ni atravesar charcos. En vez de eso,

estarán manejando con seguridad en el estacionamiento, saliendo del complejo por un área bien construida, resistente al derrape y bien iluminada.

- Costo

Así podemos empezar a darnos cuenta de las ventajas que representa un área de estacionamiento de concreto. Sin embargo, tal vez pensemos que algo que tenga todas estas ventajas debe ser muy caro. Si esto fuera en 1966 en vez de 1987, quizás fuera así.

Sin embargo, en los últimos 20 años el costo de los materiales de pavimento bituminoso se ha incrementado en más de 600 por ciento. Esto significa que en el mercado actual, el costo inicial de los pavimentos de concreto es el mismo, si no es que menor en casi todas las áreas de Estados Unidos. Una prueba adicional de esto se puede tener al examinar los precios de licitación para los proyectos de carreteras. En 1984, el costo de 1 yd<sup>2</sup> de un pavimento de concreto de 1" de espesor era de \$ 1.75; ¡el de 1 yd<sup>2</sup> de pavimento bituminoso de una resistencia equivalente era de \$ 1.82! Estos son los precios promedio de los contratos de construcción con auxilio federal para los proyectos urbanos, con un valor mínimo de 500 mil dólares.\*

Las cifras anteriores indican que el concreto es competitivo con base en los costos primarios. Pero el propietario que está consciente de los costos, examina no solamente el primer costo, sino también los que le siguen durante la vida del pavimento. Para hacer esto, se debe considerar el costo del mantenimiento rutinario que incluye, por ejemplo, las capas de sellado con asfalto periódicas, el costo de una sobrecapa de asfalto necesario, en cuatro o cinco años, y el costo de iluminación del área del estacionamiento.

### **El Valley Fair Mall**

Estos costos y los beneficios de un área de estacionamiento de concreto fueron tomados en consideración por los propietarios del Valley Fair Mall en Salt Lake City, Utha. El área existente del estacionamiento de asfalto se estaba deteriorando y requería continuamente reparaciones muy costosas. En vez de poner una capa superpuesta de asfalto, se decidió poner una capa superpuesta utilizando concreto. El razonamiento de los propietarios fue doble. Primero y más importante, eligieron

el concreto por los ahorros significativos en los costos de mantenimiento. En segundo lugar, se pudo anticipar que ellos podrían ahorrar 25 por ciento de los costos de iluminación construyendo un área de estacionamiento de concreto. Estos ahorros constantes fueron suficientes para que los propietarios decidieran construir la capa superpuesta de concreto más grande del país: 167,225 m<sup>2</sup>.

Ya sea que usted esté considerando poner una sobrecapa en una área de estacionamiento, o construir una nueva área de estacionamiento, el concreto es una alternativa confiable y viable, que debe ser examinada. En el mercado actual, usted puede construir competitivamente un área de estacionamiento de concreto –y construirla para que dure mucho tiempo.

### **(Ilustraciones:)**

Foto 1. El mantenimiento excesivamente caro de una playa de estacionamiento de asfalto que tenía 15 años en Valley Fair Mall, en Salt Lake City, condujo a los propietarios a elegir una sobrecapa de concreto. La Compañía McNeil Construction Co. de Woods Cross, Utah, utilizó cimbras deslizantes para poner una capa superpuesta de 10 cm de peralte en franjas de 7.6 m directamente encima del asfalto antiguo. (Foto cortesía de Gomaco Corp.)

Foto 2. Después de haberse reparado en puntos blandos en la plancha de asfalto de Valley Fair Mall, se limpió la superficie y se coló concreto en cimbras deslizantes en pases alternos, con un revenimiento de 5 cm. La mezcla de concreto alcanzó 140 kg / cm<sup>2</sup> (14 MPa) en tres días, permitiendo al contratista poner nuevamente la pavimentadora sobre las losas para colar los carriles de relleno. Gracias a las cimbras deslizantes, la producción diaria promedio fue de 573 m<sup>3</sup>, y McNeil pudo completar el trabajo en la mitad de tiempo de los 120 días según el contrato. (Foto cortesía de Gomaco Corp.)

\* Fuente: "Tendencia de Precios para la Construcción de Carreteras con Ayuda Federal." Oficina de Ingeniería, División Ayuda Federal, Administración Federal de Carreteras. Washington, D.C. 20590.

James A. Rossberg es ingeniero encargado de la promoción del concreto en la Asociación Nacional de Concreto Premezclado.



Este artículo fue publicado en *Concrete Technology Today* y se reproduce con la autorización de la Portland Cement Association.



# Puente atirantado girando sobre una autopista

Tender un puente sobre una autopista de 10 carriles sin interrumpir el tránsito: este era el reto extraordinario presentado por el Departamento de Transporte de Sudáfrica cuando prohibió el cierre de carriles durante la construcción de un puente para continuar la carretera Harper sobre la autopista N12 en Germiston. La N12 es recorrida en sus 10 carriles por 230 mil vehículos diariamente.

El puente Concorde East, terminado en 1995, es el puente de tres carriles que aceptó el reto del Departamento de Transporte. La estructura con tirantes de cables sobre una sola pila y dos claros fue construida al lado de la autopista, y después girada alrededor de la pila a su posición final, extendiéndose sobre la autopista sin cerrar la carretera al tránsito. El segundo claro que actúa como contrapeso quedó empotrado en el terraplén y es completamente invisible en la estructura acabada. Único en los aspectos de diseño y construcción, el paso a desnivel es el puente con tirantes de cable más corto del mundo abierto al tránsito vehicular, y el único en su tipo en Sudáfrica.

¿Por qué se usó una estructura con tirantes de cables?

Para este proyecto se eligió un puente con tirantes de cables debido a que podía ser diseñado sin un soporte central sobre la mediana de la autopista, lo que hubiera requerido el cierre de carriles durante la construcción. La estructura con tirantes de cables podía abarcar los 49.87 m requeridos con un esbelto tablero de solamente 84 cm de

**Anúnciese**

**Resumen:**

Los inconvenientes que hubiera provocado suspender temporalmente el tránsito vehicular en esta autopista sudafricana condujeron a que un paso superior que debía ser colocado sobre la misma fuera llevado a su posición haciéndolo girar sobre un pivote mientras fluía normalmente la circulación por los 10 carriles que corren debajo.

espesor, minimizando la elevación requerida para la carretera con un paso superior.

Considerando los costos de los retrasos en el tránsito y los accidentes que probablemente hubieran ocurrido al cerrar los carriles en la N12, resultó rentable girar la estructura a su posición. Nunca se restringió el tránsito en la autopista, excepto por un reducido límite de velocidad impuesto durante el período de seis horas requerido para la rotación.

#### Diseño del claro principal

La figura 1 muestra las dimensiones de conjunto del paso superior. El claro principal tiene 49.87 m de largo, con un tablero de 15.81 m de ancho que consiste en dos vigas longitudinales coladas en el lugar, las cuales soportan vigas transversales presforzadas prefabricadas con centros espaciados a 3 m. La losa del tablero con peralte de 20 cm se expande sobre el claro entre las vigas presforzadas con un voladizo de 90 cm, 7.5 cm más lejos de los bordes exteriores de las vigas longitudinales.

La deflexión total de la carga viva para el puente es de 17.3 cm. Los puentes con tirantes de cables tienen deflexiones muy grandes por la carga viva, debido a la elasticidad de los soportes del cable. Estas deflexiones inducen momentos de flexión secundarios en el tablero que son varias veces más grandes que los momentos de carga muerta. El problema es más severo en claros más cortos como éste; los claros más largos son más flexibles y mejor adaptados para absorber las deflexiones. Por lo tanto, el tablero se diseñó para aceptar deformaciones por flexión anormalmente altas mientras permanezcan dentro de los límites de fatiga y agrietamiento aceptables.

El claro de contrapeso, que pesa más de 1,600 toneladas, es una losa plana, sólida, de 1.60 m de peralte. Los cables desde las pilas convergen en una de anclaje único, en el extremo de este claro, el cual está internamente presforzado para resistir grandes fuerzas de levantamiento y horizontales.

La pila es un elemento de concreto reforzado esbelto de 25.8 m de alto. Los anclajes de los tirantes superiores fueron

colados directamente en la sección superior de la pila. La carga que viene de cada pata de la pila es transmitida a la cimentación a través del espesor del contrapeso y a través de dos grandes apoyos. Durante la rotación del puente (figura 2) uno de los apoyos sirvió como pivote mientras que el otro se movía alrededor sobre una viga curva de cimentación. La cabeza de la pila es una sección curva que se ahusa en dos planos.

Los cimientos para el claro de contrapeso y la pila están sobre pilotes de aproximadamente 8 pies de largo colados en la obra. Estos cimientos forman parte del sistema de rotación. El contrafuerte en el extremo más alejado del claro principal está sobre una zapata continua y soporta una carga relativamente pequeña. Los tirantes de los cables y las anclas son del sistema Freyssinet, y cada uno consta de torones. Los tirantes del extremo superior tienen 31 torones, los que se encuentran más abajo, 15 torones, y los tirantes intermedios tienen 19 torones. Cada tirante consta de un torón de siete alambres presforzados de 0.62 pulgadas, galvanizado relleno de cera y revestido de polietileno.

#### Secuencia de la construcción

Después de la preparación del lugar y de la instalación de una plataforma de construcción hecha de tierra, las cuadrillas construyeron la cimentación de los pilotes para la pila y el contrapeso, incluyendo los pilotes de levantamiento, necesarios para anclar el puente en su posición final. Una vez construidas las vigas curvas de cimentación para que sirvieran como rieles de deslizamiento para la rotación del puente, las cuadrillas construyeron el claro del contrapeso y empezaron los trabajos en la pila.

El claro principal fue construido a lo largo de la carretera en un terraplén previamente instalado. Después de la construcción de las dos vigas longitudinales, los trabajadores colocaron las vigas transversales presforzadas y prefabricadas en su lugar y construyeron los moldes para el tablero. Después de colocar las varillas corrugadas y las anclas empotradas, se colocó el concreto y se compactó. El cuadro muestra las resistencias del concreto y los materiales cementantes para el claro principal, el contrapeso y la pila.

El siguiente paso consistió en construir las cabezas y las vigas transversales de las pilas y los anclajes en el extremo del contrapeso. La colocación del concreto en la cabeza de la pila fue difícil, complicada en parte por los 3.3 t/m<sup>3</sup> de varilla corrugada requeridos. El concreto premezclado con aditivo superfluidizante con un revenimiento de 15 cm fue colocado y compactado a través de aberturas temporales en la cimbra. Se requirieron tres horas para colocar los 6.8 m<sup>3</sup> de concreto.

Después de la instalación de todos los cables, las cuadrillas quitaron las cimbras del claro principal y empezaron el proceso de rotación. Se utilizó un gato hidráulico para presfuerzo a fin de aplicar una fuerza de 48 ton para vencer la fricción estática, y después tan solo 15 ton para vencer la fricción de deslizamiento. Una vez completada la rotación, el apoyo se convirtió de modo de deslizamiento en un pivote o cojinete libre y el claro principal se unió al claro del contrafuerte por medio de un relleno interior. Las fuerzas en los tirantes de los cables se afinaron bien antes de que la estructura completa se abriera al tránsito.

**Precisión requerida.** Puesto que el puente contiene muchos elementos altamente tensados, se requirieron materiales de alta calidad y excelente mano de obra en todo el proyecto. Fue necesario un control estricto de la precisión dimensional estructural para satisfacer los requisitos del procedimiento de rotación. Por ejemplo, se tuvieron que alinear pares de anclajes de cables ahogados perfectamente alineados uno respecto al otro después de los movimientos causados por el corrimiento que había tenido lugar. Las distancias entre las anclas de los cables se midieron a una exactitud de 0.5 cm. Para asegurar una precisión similar de la longitud de los cables, éstos se cortaron solamente durante las horas frías del día.

La superficie superior de la viga de deslizamiento curvo principal se terminó a 0.5 cm de la elevación especificada. El espacio entre el extremo libre del claro principal y su contrafuerte se especificó a 5 cm; después de la rotación, la separación real fue de 4.8 cm.

Consideraciones acerca del costo

El costo del puente en 1995 fue de aproximadamente

\$ 840.000 o 3.8 millones de rands sudafricanos, distribuidos como sigue:

Cimentación y sistema de rotación 24%

Tablero, pilas y acabado 48%

Cables y anclajes 28%

Un puente convencional, con un soporte en la mitad del claro, hubiera costado aproximadamente un tercio menos que la estructura por la cual se optó finalmente. Pero la construcción de un puente convencional hubiera requerido un acceso a la mediana de la autopista, y el montaje de vigas para el tablero y el andamiaje. El angostamiento resultante de la autopista de 5 a 3 carriles en cada dirección hubiera causado retrasos a los automovilistas y hubiera podido causar accidentes. Un estudio independiente estimó que los costos para los automovilistas que hubieran sufrido colisiones y retrasos hubiera sido de aproximadamente siete veces el costo del puente con tirantes de cables, o 24 veces la diferencia entre las opciones convencional y los tirantes de cables.

Participación de la comunidad

El interés del público en este proyecto fue muy grande, y el equipo del proyecto tomó las medidas necesarias para mantener informado al público sobre el diseño del puente y el proceso de construcción. El proyecto también tuvo difusión extensa en los medios impresos y en radio y televisión.

Se prepararon más de 20 tours al lugar para grupos que a veces excedían las cien personas; mucha otra gente en la comunidad visitó el sitio de manera informal. Y cientos de personas observaron en la mañana de aquel domingo cuando tuvo lugar la rotación del puente. Muy rara vez se ha visto en Sudáfrica tanto interés del público en un proyecto de construcción de ingeniería. Este interés no solamente benefició la imagen de la industria del concreto, sino que instruyó a la comunidad acerca de la versatilidad del

concreto como material de construcción.

### **(Ilustraciones)**

Foto 1. El claro principal del puente en proceso de construcción al lado de la autopista N12 en Germiston, Sudáfrica.

Foto 2. El paso superior con un claro de 49.8 m fue girado a su posición mientras el tránsito fluía por debajo en la autopista.

Figura 1. Dimensiones y localización de los principales componentes del puente.

( anclaje)

Figura 2. Diagrama esquemático del proceso de rotación, mostrando la viga curva de cimentación.

(Puente en posición de construcción)

(Punto de rotación)

Foto 3. El Paso Superior East Concord –el primer puente de autopista con tirantes de cables de Sudáfrica–, cruza sobre 10 carriles de tránsito. Terminada en 1995, la estructura ha recibido cuatro premios importantes de parte de organizaciones de profesionales y de la industria.

(Cuadro:)

Concretos especificados para el puente

Elemento Resistencia de un Resistencia\*

del puente cubo característico aproximada de

a 28 días un cilindro

(kg/cm<sup>2</sup>) equivalente

(kg/cm<sup>2</sup>)

Claro

principal 408 337

Material cementante

Cemento portland Escoria de alto horno

ordinario\*\* granulada y molida

70% 30%

50% 50%

70% 30%

\* Debido a la forma relativamente baja y ancha del cubo, la resistencia del cubo de un concreto dado es de aproximadamente 20 por ciento mayor que la resistencia del cilindro del ASTM C469.

\*\* Similar al ASTM tipo 1.

---

Créditos

Propietario: Departamento del Transporte, Gobierno Nacional de Sudáfrica.

Cliente: Consejo de la Ciudad de Germiston

Ingeniero Consultor: Keeve Steyn Inc.

Diseñadores: Peter Fitzgerald y Jerzy Sochanski

Contratista: Empresa conjunta entre LTA Construction Ltd. y Labor Construction (Pty) Ltd.

Otros participantes: Ground Engineering, and Piling; Freyssinet Civil Engineering,; Nova Engineering, y RMM Concrete.

Brian Addis es consultor de concreto, escritor de temas técnicos y escultor. Es editor de numerosas publicaciones técnicas sobre el concreto.

Este artículo fue publicado en *Concrete Construction* y se reproduce con la autorización del Aberdeen Group.

Claro del 302 253

contrapeso

Pila 506 422

**Instituto Mexicano del Cemento y del  
Concreto, A.C.**  
**Revista Construcción y Tecnología**  
**Marzo 1999**  
**Todos los derechos reservados**

[ARTICULO  
ANTERIOR](#)



[ARTICULO  
SIGUIENTE](#)



# Residuos del cobre como aditivo para el concreto

Jorge Gómez Domínguez y Luis Balderrama Neder

En el estado de Sonora se encuentra ubicada la empresa minera Mexicana de Cananea, SA de CV, que produce aproximadamente 75 mil toneladas diarias de jales de cobre. Este desecho se está acumulando en una presa de sedimentación construida para evitar que los escurrimientos fluviales lo acarreen hacia otras áreas cercanas. En particular, la presa de control evita que se contamine la cuenca del río Sonora, el más importante del estado. A pesar de los esfuerzos de la empresa minera, la contaminación del área de embalse de la presa misma es inevitable, así como la del canal (sin revestimiento) que lleva los residuos desde la planta concentradora hasta la presa. Este problema puede provocar la infiltración de contaminantes en los mantos acuíferos de la zona. Los resultados del estudio que aquí exponemos plantean la posibilidad de emplearlos en la construcción.

## Objetivo e importancia del estudio

El objetivo del estudio fue investigar y analizar las propiedades físicas y químicas de los jales de cobre, con el propósito de determinar si este desecho industrial es adecuado para desarrollar propiedades puzolánicas al ser incluido como aditivo mineral en el concreto de cemento portland.

La importancia del trabajo está asociada a la posibilidad de emplear los jales de cobre como un aditivo mineral que

**Anúnciese**

## Resumen:

Este artículo es producto de una investigación que realizaron sus autores con el objeto de analizar la posibilidad de emplear los jales de cobre como aditivo mineral con propiedades puzolánicas en la construcción. La conclusión a la que llegaron fue que este residuo de la industria cuprífera puede ser muy útil para la fabricación de morteros y concretos de cemento portland.

pueda reaccionar en forma puzolánica con el hidróxido de calcio que libera el cemento al hidratarse; reacción que generaría a su vez un nuevo elemento de dureza. Es decir, existe la posibilidad de que en lugar de que los jales de cobre se almacenen por millones de toneladas sin ninguna utilidad, la industria de la construcción los pueda emplear como un adicionante que por efecto puzolánico se convierta en piedra artificial, tal y como sabemos lo hace el cemento solo. Debe aclararse que cuando el cemento solo se hidrata produce fundamentalmente dos cosas: gel (silicatos hidratados) causante de la dureza y resistencia e hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (cal libre), este último producto no contribuye a la resistencia pero ocupa un espacio en la estructura. Un ejemplo de su falta de cohesión es el hecho de que el hidróxido de calcio es arrastrado fácilmente fuera del concreto por el agua que logra establecer un flujo a través del material (la cal libre arrastrada se conoce comúnmente como salitre, el cual aparece como manchas en el concreto después de mojarse, especialmente en la temporada de lluvias).

#### Metodología empleada

El comportamiento de los jales de cobre se analizó tomando en cuenta básicamente tres áreas de interés que fueron las propiedades físicas, la composición química y la composición mineralógica. Algunos análisis de laboratorio se realizaron procesando el material en cuestión y algunos otros se realizaron con mezclas de mortero incluyendo los jales como un aditivo mineral. El mortero se elaboró mezclando cemento portland tipo I, arena y agua. Por definición, un aditivo es una sustancia diferente a los elementos básicos mencionados como integrantes de un mortero; en este caso los jales de cobre cumplen con esta definición y se les considera como un aditivo, el término mineral se adopta por tratarse de una especie de suelo o mineral en polvo.

#### Análisis de propiedades físicas

Las propiedades físicas se analizaron empleando como guía la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) C 311 "Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete". Los resultados obtenidos se

cotejaron con las especificaciones incluidas en la norma ASTM C 618 "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete".

Dentro de las pruebas realizadas para determinar las propiedades físicas de los jales de cobre se incluyeron: densidad (ASTM C 188), finura, contracción por secado de barras de mortero (ASTM C 157), sanidad (expansión en autoclave, ASTM C 151), índice de actividad puzolánica con cemento portland (ASTM C 109).

### Análisis químico

Las pruebas realizadas para el análisis químico se hicieron de acuerdo a la norma ASTM C 311 y sus referencias. Para la determinación de los óxidos presentes en los jales de cobre se emplearon 174 diferentes muestras procesadas mediante el método de plasma. El análisis se realizó en el laboratorio CHEMEX-LAB de la ciudad de Hermosillo, Sonora. Los datos fueron proporcionados por Mexicana de Cananea S.A. de C.V. Se detectó la presencia de los siguientes óxidos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{CaO}$ . La prueba de pérdida por ignición se basó en la norma ASTM C 114.

### Análisis mineralógico

El análisis mineralógico se realizó mediante el método de Difracción de Rayos X, con el objeto de conocer la cantidad de materia cristalina y amorfa de los jales de cobre.

### Resultados y discusión

Según la norma ASTM C 618 existen tres clases de aditivos minerales que son:

- Clase N. Puzolanas crudas o calcinadas como las tierras diatomáceas, horstemos opalinos, arcillas, lutitas, tobas y cenizas volcánicas o pumicitas
- Clase F. Cenizas volantes producidas durante la combustión de antracita o carbón bituminoso.
- Clase C. Cenizas volantes normalmente producidas por la combustión de lignito o de carbón sub-

bituminoso, el cual puede contener CaO en más de 10 por ciento.

De acuerdo con la definición anterior, se considera que los jales de cobre pueden ubicarse dentro de las puzolanas clase N, ya que las otras variedades de cenizas son resultado de la combustión del material molido para generar energía eléctrica. Por lo tanto, la discusión de resultados se centrará en las comparaciones pertinentes considerando las especificaciones correspondientes a la clase N.

Los resultados del análisis químico para la determinación de los óxidos y la prueba por ignición se presentan en el cuadro 1. La norma ASTM requiere un mínimo de 70 por ciento para las sumas de los porcentajes de la sílice ( $\text{SiO}_2$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y fierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), y un máximo de 10 por ciento para la pérdida por ignición. Como se puede comprobar en el cuadro 1, la suma de los óxidos para los jales de cobre es de 83.47 por ciento, en tanto que la pérdida por ignición es de 11.44 por ciento. Según los resultados los jales de cobre no cumplen con el requisito de pérdida por ignición; esto indica que el material contiene partículas lo suficientemente suaves para ser consumidas por el fuego, afectando posiblemente en algún grado la reactividad final del material.

Cuadro 1. Análisis químico de los jales de cobre

$\text{SiO}_2$  63.50%

$\text{Al}_2\text{O}_3$  16.17%

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  3.80%

MgO 0.56%

$\text{K}_2\text{O}$  3.84%

CaO 0.14%

$\text{Na}_2\text{O}$  0.22%

Pérdida por ignición 11.44%

Los resultados del análisis mineralógico obtenidos mediante difracción de rayos x, se muestran en la figura 1. El

propósito principal de este análisis consistió en detectar la presencia de material amorfo, el cual según la ASTM es indicativo de la posible alta reactividad del material. La figura 1 muestra que el material analizado no contiene minerales amorfos o no cristalinos, se observa cómo la línea base de la gráfica permanece sobre el eje horizontal. Las fases no cristalinas o amorfas se denotarían en un análisis por difracción de rayos x como secciones curvas (se levanta la línea base) denotando una concavidad hacia abajo entre los picos distintivos de los materiales que se detecten. En este análisis las concentraciones estimadas de los minerales cristalinos presentes en los jales de cobre son: cuarzo (55%), muscovita (30%), caolinita (10%) y pirita (5%).

Si bien es cierto que la ausencia de minerales amorfos se liga con una posible baja en la actividad puzolánica, es necesario verificar ésta por medio de pruebas físicas. Los resultados de las pruebas físicas que se consideran más simples y por lo tanto de un mayor interés para los constructores, se presentan a continuación.

- Densidad

Se procesaron tres muestras y se obtuvieron las densidades de 2.75, 2.72 y 2.732, con variaciones con respecto al promedio muy por abajo del 5 por ciento máximo especificado.

- Sanidad

Se procesaron dos muestras para someterlas a la prueba de expansión en autoclave. Se fabricaron las barras de mortero con una proporción de cien partes de cemento y 25 partes de aditivo mineral. Las barras de mortero de la prueba 1 (muestra 1) presentaron una expansión de 0.14%, en tanto que las barras de la prueba 2 (muestra 2) presentaron una expansión de 0.10 por ciento. Los resultados contrastan con el máximo permitido de 0.8 por ciento.

- Requerimiento de agua

Al igual que en las anteriores características, la ASTM C 618 establece una especificación para la variación del requerimiento de agua respecto a la mezcla de control. En este ensayo se empleó una mezcla de control. denominada

mortero de control 1, el cual no incluyó aditivo mineral. Los resultados de este análisis se muestran en el cuadro 2, donde se observa que el porcentaje de agua requerido por diversas mezclas de ensaye con respecto a la mezcla de control 1 es menor que el máximo permitido de 115 por ciento.

#### Cuadro 2. Requerimiento de agua

Mezcla ensayada Agua óptima (ml) % respecto al control 1  
ASTM C 618

100% cemento (control 1) 242.5 100

90% cemento + 10% aditivo 250 103

80% cemento + 10% aditivo 257 106 115% máximo

70% cemento + 30% aditivo 263 108

80% cemento + 20% aditivo 240 99

Las mezclas ensayadas donde se consideran diversos porcentajes de sustitución parcial de cemento por el aditivo mineral (jales de cobre), tienen como objetivo averiguar los beneficios de esta sustitución especialmente en la resistencia desarrollada, en este caso, el cuadro 2 nos permite prever que los jales de cobre no influirán en que la mezcla de mortero o de concreto requiera mucho más agua que la mezcla de control (en construcción, cuando las mezclas de concreto tienden a ser aguadas la resistencia final baja). Aparentemente, la mezcla de 80 por ciento de cemento más 20 por ciento de aditivo es excelente.

- Finura

La finura se analizó mediante un ensayo granulométrico de acuerdo con la norma ASTM C 618. Las mallas empleadas fueron las núm. 48, 65, 100, 150, 200, 325 y 400; sin embargo, la norma solamente marca una especificación para el porcentaje retenido en la malla núm. 325. El análisis granulométrico arrojó 47.14 por ciento de retenido (por peso) en la malla 325, mientras que la especificación señala un máximo de 34 por ciento. Ciertamente, los jales de cobre resultaron más gruesos de lo especificado y esto influirá de alguna manera para que la reactividad puzolánica no sea

muy alta.

- Contracción por secado

La contracción por secado se obtuvo ensayando tres barras de mortero según la norma ASTM C 618, el porcentaje de contracción obtenido fue de 0.02 por ciento, el cual resultó menor que el máximo que permite la norma de 0.03 por ciento.

- Actividad puzolánica con cemento portland

Para detectar el grado de actividad puzolánica de los jales de cobre se realizaron pruebas de resistencia a la compresión empleando cubos de mortero (5× 5 × 5 cm). Se emplearon cinco mezclas, dos de control y tres de prueba para los porcentajes de sustitución de cemento que parecieron más atractivos. Las mezclas ensayadas fueron las mostradas en el cuadro 3. En este cuadro se incluye la mezcla de control 1 mencionada anteriormente y la mezcla de control 2, en el mortero de control 2 se empleó como reemplazo del cemento (en 20 por ciento) un material de relleno denominado *filler* que presenta cero reactividad con el cemento.

Cuadro 3. Proporciones de las mezclas empleadas para detectar la actividad puzolánica

Control 1	Prueba	Prueba	Prueba	Control 2
-----------	--------	--------	--------	-----------

Relación A / C	0.485	0.555	0.514	0.751	0.6
----------------	-------	-------	-------	-------	-----

Cemento	500 g	450 g	400 g	350 g	400 g
---------	-------	-------	-------	-------	-------

Jales (aditivo)	0 g	50 g	100 g	150 g	100 g
-----------------	-----	------	-------	-------	-------

Arena	1,375 g	1,375 g	1,375 g	1,374 g	1,375 g
-------	---------	---------	---------	---------	---------

Agua	242.5 ml	250 ml	257 ml	263 ml	240 ml
------	----------	--------	--------	--------	--------

Fluidez	89.5	91	91.5	91	93
---------	------	----	------	----	----

Debe mencionarse que las mezclas fueron proporcionadas para obtener una fluidez (prueba normalizada con la que se controla lo aguado de la mezcla) semejante. Las mezclas que se presentan de izquierda a derecha en el cuadro 3 se

identificarán también como:

100% cemento (control 1)

90% cemento + 10% aditivo mineral (prueba)

80% cemento + 20% aditivo mineral (prueba)

70% cemento + 30% aditivo mineral (prueba)

80% cemento + *filler* (control 2)

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los siete y 28 días se presentan en el cuadro 4, donde se puede observar que no existe una diferencia significativa entre los resultados de resistencia a los siete días y a los 28 días con respecto a la mezcla de control 1. Sin embargo, se puede apreciar en el mismo cuadro que la mezcla óptima resulta ser la constituida por 80 por ciento de cemento y 20 por ciento de aditivo mineral (jales de cobre), ya que estos resultados superan el mínimo establecido por la norma ASTM C 618 de 75 por ciento. Los resultados de resistencia a la compresión también se pueden apreciar en las figuras 2 y 3. Los resultados de la mezcla de control 2 nos permiten apreciar que los jales de cobre sí ayudan a mejorar la resistencia; recuérdese que la mezcla de control 2 fue fabricada con un agregado inerte (*filler*), el cual se ha comprobado que no reacciona con el cemento.

El poder puzolánico de los jales de cobre queda demostrado en el hecho de que cumple con los requisitos mínimos establecidos por la norma ASTM C 618. La pregunta es: ¿podrán los jales de cobre desarrollar más resistencia con el tiempo hasta acercarse o superar a la mezcla de control 1? Es posible contestar esta pregunta realizando más ensayos a edades superiores que los contemplados en esta investigación.

## Conclusiones

El presente trabajo permite concluir que los jales de cobre presentan una reactividad puzolánica con el cemento portland, ya que cumplen con el mínimo especificado por la norma ASTM C 618. Sin embargo, los cambios en resistencia debidos a la actividad puzolánica entre los siete y los 28 días no fueron significativos. Como se puede

observar de los resultados, no basta con que la suma de la sílica, alúmina y hierro sobrepasen 70 por ciento mínimo requerido por la norma ASTM C 618, sino que hacen falta otras características más para que el aditivo se constituya en un excelente material puzolánico, entre otras, que se posea una estructura mineralógica amorfa y una finura alta. Sin embargo, los jales de cobre pueden ser muy útiles para emplearse en concretos y morteros ya que poseen actividad puzolánica y esto permite, por un lado, un ahorro de cemento en las mezclas, y por otro, se puede dar en la construcción un buen destino a un desecho industrial que de otra manera llegaría eventualmente a contaminar si permaneciera inutilizado.

#### Normas de referencia

ASTM C 109 Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.

ASTM C 151 Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement.

ASTM C 157 Test Method for Length Change for Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete.

ASTM C 188 Test Method for Density of Hydraulic Cement.

ASTM C 311 Standard Test Methods for Sampling and testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete.

ASTM C 305 Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency.

ASTM C 618 Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete.

#### **(Pies de figuras:)**

Figura 1. Difracción de rayos x de jales de cobre.

Figura 2. Resistencia a la compresión de cubos de mortero ensayados a siete días.

(Resistencia a la compresión (kg / cm<sup>2</sup>) 100% cemento 90%

cemento + 10% aditivo 80% cemento + 20% aditivo 70%  
cemento + 30% aditivo 80% cemento + 20% *filler*

Figura 3. Resistencia a la compresión de cubos de mortero  
ensayados a 28 días.

(Resistencia a la compresión (kg / cm<sup>2</sup> 100% cemento 90%  
cemento + 10% aditivo 80% cemento + 20% aditivo 70%  
cemento + 30% aditivo

80% cemento + 20% *filler* 400 350 300 250 200 150 100 50  
0)

Jorge Gómez Domínguez es profesor del Departamento de  
Ingeniería Civil del ITESM, campus Monterrey, y Luis  
Balderrama Neder es candidato a M. en C. con especialidad  
en Ingeniería Civil en la misma institución.

**Instituto Mexicano del Cemento y del  
Concreto, A.C.**  
**Revista Construcción y Tecnología**  
**Marzo 1999**  
**Todos los derechos reservados**

[ARTICULO  
ANTERIOR](#)



[ARTICULO  
SIGUIENTE](#)



## Punto de encuentro

Aquí! 

### **Build-India '99**

Tecnología y Materiales de Construcción Basados en Desechos

Del 13 al 16 de abril en Nueva Delhi, India

Informes: Building Materials and Technology Promotion Council, Ministry of Urban Affairs and Employment

Tel.: +91-11-3792462, 3019367

Fax: +91-11-3010145

E-mail: [bmtpc@del2.vsnl.net.in](mailto:bmtpc@del2.vsnl.net.in)

Website: <http://www.bmtpc.org>

### **Feria de Comercio Internacional y Congreso de Tecnología de Aislamiento de Muros y Cubiertas**

Del 12 al 15 de mayo en Stuttgart, Alemania

Informes: Messe Stuttgart International

Tel.: +49-711 2589-353

Fax: -657 (Project Manager)

### **7a. Conferencia Internacional sobre Carreteras de Bajo Volumen**

Del 23 al 27 de mayo en Baton Rouge, Luisiana, EUA

Informes: Transportation Research Council, 2101 Constitution Avenue, NW, Washington, DC 20418, EUA

16o. Congreso Internacional BIBM '99

Del 25 al 28 de mayo en Venecia, Italia

Informes: ASSOBETON, Milán

Tel.: +39/2/70100168

Fax: +39/2/7490140

E-mail: [assobeton@galactica.it](mailto:assobeton@galactica.it)

### **ISAP '99**

Coloquio Internacional para la Adherencia entre Polímero y Concreto

Del 14 al 17 de septiembre en Dresden, Alemania  
Informes: Technische Akademie Esslingen,  
Weiterbildungszentrum  
Tel.: (0711) 3 40 08-52  
Fax: (0711) 3 40 08-27, -43  
E-mail: [tae@rz.fht-esslingen.de](mailto:tae@rz.fht-esslingen.de)  
Internet: <http://www.tae.de>

**8a. Conferencia sobre Durabilidad de Materiales de Construcción y Componentes / Vida en servicio y administración de activos: Hacia la integración de métodos de predicción de aplicación de la vida en servicio**

Del 30 de mayo al 3 de junio en Vancouver, Canadá  
Informes: Conference Secretariat 8dbmc, National Research Council Canada  
Fax: (613) 993-7250

**8a. Conferencia Internacional EXPERTCENTRUM / Predicción de la Vida y Administración de la Edad de las Estructuras de Concreto**

Del 5 al 7 de julio en Bratislava, Eslovaquia  
Informes: Profesor T. Jávor, EXPERTCENTRUM, Eslovaquia  
Fax: xx421-7-5311738  
24a Conferencia sobre Nuestro Mundo en las Estructuras y el Concreto  
25 y 26 de agosto en Singapur  
Informes:  
Tel.: (65) 733-2922  
Fax: (65) 235-3530  
E-mail: [ci-premie@si.com-sgngnet](mailto:ci-premie@si.com-sgngnet)

**2a. Conferencia Asia-Pacífico sobre Concreto Reforzado con Fibras**

27 y 28 de agosto en Singapur  
Informes: Secretariat  
Tel.: 065-733-2922  
Fax: 065-235-3530  
E-mail: [cipremie@singnet.com.sg](mailto:cipremie@singnet.com.sg)

**RILEM Simposio sobre Concreto Autocompactante**

Del 13 al 15 de septiembre en Estocolmo, Suecia  
Informes: RILEM "Self Compacting Concrete"



c / o Congrex Sweden AB  
Tel.: +46 8 459 66 00  
Fax: +46 8 661 91 25  
E-mail: [rilem@congrex.se](mailto:rilem@congrex.se)

**Instituto Mexicano del Cemento y del  
Concreto, A.C.**  
**Revista Construcción y Tecnología**  
**Marzo 1999**  
**Todos los derechos reservados**

[ARTICULO  
ANTERIOR](#)



[ARTICULO  
SIGUIENTE](#)



Construcción  
y Tecnología



## Notas del acontecer

### Luis Flores en el arquidiálogo sobre Formación Profesional

**Anúnciese**

Como parte de las actividades programadas en el marco del XXI Congreso Panamericano de Arquitectos, convocado por la Federación Panamericana de Asociaciones de Arquitectos (FPAA) para los días 20, 21 y 22 de septiembre del año 2000 en nuestra ciudad, se llevó a cabo uno de los interesantes encuentros denominados arquidiálogos, en los que se expresan diferentes opiniones y puntos de vista sobre un tema de interés.

La reunión tuvo lugar el pasado 14 de enero en las instalaciones del Colegio de Arquitectos de México y trató sobre Formación Profesional. El arquitecto Luis Flores fue el encargado de la exposición y para ello viajó desde Puerto Rico acompañado por cinco destacados estudiantes de arquitectura de ese país.

Asistieron personalidades del medio tales como el presidente del Comité Organizador del Congreso, arquitecto Mauricio Rivero Borrell, el presidente del Colegio de Arquitectos de la Ciudad de México, arquitecto Manuel Barclay, el director de la Facultad de Arquitectura del Centro Universitario México (CUM), arquitecto Arturo Ayala y otros destacados arquitectos como son Antonio Gallardo, José Piccioto, César Mora Velasco, Hugo García Pérez y Jorge Alcocer.

Luis Flores es sin duda uno de los arquitectos más importantes en el plano internacional, no sólo por su obra sino también por sus aportaciones a la educación. El objetivo de su visita fue obtener información necesaria y

desarrollar propuestas específicas que posteriormente estarán a disposición de las autoridades capitalinas y de los arquitectos mexicanos.

Al tomar la palabra, advirtió que "hablar de enseñar arquitectura es pretencioso: estamos enseñando mal, es necesario replantear los sistemas que aplica actualmente la docencia. Estamos preparando equivocadamente al estudiante de arquitectura al inducirlo a crear por inspiración divina, al estimularlo a una carencia total de humildad que lo conduce a una arrogancia innegable. La enseñanza pragmática ha prevalecido sobre la didáctica; en los talleres de diseño se trabaja sobre la ignorancia de una realidad general. Es necesario revertir ese proceso para trabajar sobre una base de información".

El arquitecto Luis Flores es el precursor de una escuela en Puerto Rico donde los estudiantes no sólo aprenden en los libros sino que viajan a diferentes ciudades del mundo para conocer más de cerca en proceso creativo y el acervo arquitectónico de diferentes culturas. Esta nueva modalidad en la docencia representa un costo más elevado que el de la forma tradicional, pero aportará mayores frutos a las nuevas generaciones de arquitectos que seguramente contribuirán a desarrollar un mejor futuro.

Se refirió al aprovechamiento que debe hacerse del adelanto tecnológico: "Con el avance de la informática y de los programas de diseño por computadora, la habilidad debe ser sustituida por la creatividad y la comprensión de un entorno más real y más práctico. Se debe evaluar al estudiante por su capacidad y no por su habilidad manual".

Finalmente, comentó que todos aquellos que de alguna forma están relacionados con la docencia, el proyecto o el diseño, "son cómplices de la arquitectura de consumo, donde se siguen al pie de la letra estilos de otros países y corrientes que no guardan ninguna relación con la realidad cotidiana que vivimos en países tales como Puerto Rico y México".

Por su parte, el arquitecto Mauricio Rivero Borrell destacó la importancia de realizar este tipo de encuentros en los que participan representantes de diferentes especialidades, profesiones y actividades. Dijo que en la medida en que

abramos nuestros horizontes y discutamos conceptos sobre la creatividad y la funcionalidad de nuestro hábitat, podremos avanzar en la difícil tarea de recopilar opiniones e ideas sobre un mismo tema que aporten beneficios reales no sólo a las próximas generaciones, sino también a los que vivimos hoy en ciudades como la nuestra.

Al arquitecto Arturo Ayala señaló a su vez que el maestro no debe limitarse a enseñar su materia específica, sino que debe tener la preparación suficiente y la cultura general necesaria para formar, además de arquitectos, seres humanos capaces y con el acervo cultural suficiente para poder desarrollar un pensamiento crítico.

### **Presentación del libro *Ingeniería estructural de los edificios históricos*, del doctor Meli**

En la ex-capilla del Palacio de Minería, la Fundación ICA presentó el libro *Ingeniería estructural de los edificios históricos*, cuyo autor es el doctor Roberto Meli. Se trata de un trabajo que se perfila como la investigación más importante en su género acerca de la Catedral Metropolitana y en cuyo desarrollo el autor estuvo en contacto con los integrantes del comité técnico de la Catedral así como con especialistas franceses, alemanes, ingleses y turcos, todos ellos con un vasto conocimiento sobre el tema de rehabilitación de monumentos.

El acto comenzó con las palabras de bienvenida y el mensaje del ingeniero Raúl López Roldán, miembro del Consejo Directivo de la Fundación ICA, y continuó con la presentación del libro, que estuvo a cargo del arquitecto Sergio Zaldívar Guerra, director general de Sitios y Monumentos del Patrimonio Cultural del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. Vinieron luego los comentarios del ingeniero Oscar de Buen López de Heredia, director general de Colinas de Buen, SA de CV, y del arquitecto Xavier Cortés Rocha, secretario general de la UNAM. Para terminar, el doctor Roberto Meli, director general del Centro Nacional para la Prevención de Desastres y autor del libro, se refirió a éste.

Según el doctor Meli, la importancia de la obra radica en que hasta el momento no hay estudios minuciosos sobre el tema: "Hasta la década de 1950 poco se escribía sobre

esto. De hecho, en México todavía muy poca gente escribe de tal cuestión; lamentablemente, no ha cundido el ejemplo que proviene de los países europeos. En unas cuantas decenas de cuadras del Centro Histórico hay casi 400 monumentos coloniales de los que buena parte está muy dañada debido a los efectos del hundimiento de suelos del centro de la ciudad. Sólo algunos reciben la atención que se le ha prodigado a la Catedral".

Ante un nutrido grupo de colegas, invitados especiales, funcionarios de ICA y diversos medios de comunicación reunidos en el lugar, el autor expuso los motivos que lo llevaron a publicar su libro: "Existe aquí una gran experiencia y muchos conocimientos, se han realizado proyectos ambiciosos pero de muy pocos existe una documentación detallada. Todo quedó en publicaciones generales y conceptuales, muy bellas pero con muy poco contenido técnico. Ojalá el haberme atrevido a publicarlo sirva de estímulo a personas con mayor conocimiento y experiencia que la propia para que escriban sobre este y otros aspectos de la rehabilitación de monumentos; los datos en que están basadas las mediciones realizadas seguramente serán muy útiles para aquellos que vengan a enfrentarse a estos problemas".

Fue más explícito al decir: "Existen algunas razones que me permitieron tomarme tal atrevimiento, unas de tipo personal y otras de tipo académico. Como ustedes saben, desde hace tiempo ocupo un puesto que me mantiene alejado de mis labores anteriores de investigación, docencia y ejercicio profesional de la ingeniería. Desde el principio me propuse continuar con ciertas diligencias de investigación y la principal actividad de este tipo que quise mantener fue la que desde hacía varios años desarrollaba, principalmente en colaboración con el ingeniero Roberto Sánchez, relativa a los estudios estructurales del proyecto de la Catedral".

Señaló también el doctor Meli que existe una creciente desconfianza en el medio de los restauradores de monumentos respecto de la participación de los especialistas de estructuras en tales tareas, "en parte, merecida por algunas intervenciones no muy afortunadas, pero no justificada en términos generales". Y precisó: "Los ingenieros en estructuras son vistos actualmente como tecnólogos sin conocimientos de historia y de los aspectos

culturales que motivaron la construcción de monumentos; se piensa que no tienen sensibilidad para aceptar las limitaciones de los materiales y sistemas constructivos de la época".

Planteó finalmente que el gobierno federal no cuenta con los recursos necesarios para atender todos los monumentos históricos del primer cuadro de la ciudad, por lo que se hace necesario elaborar un programa ambicioso en el que participen la iniciativa privada, fundaciones y empresas interesadas en patrocinar los trabajos. Y habló de recurrir incluso a apoyos internacionales para salvar esas edificaciones que son patrimonio del país y de la humanidad.

**Instituto Mexicano del Cemento y del  
Concreto, A.C.**

**Revista Construcción y Tecnología**

**Marzo 1999**

**Todos los derechos reservados**

[ARTICULO  
ANTERIOR](#)



[ARTICULO  
SIGUIENTE](#)



## De libros, revistas, memorias



### **Variabilidad de los elementos del costo**

Jorge Luis Castillo Tufiño

Reunión Nacional e Internacional de Analistas de Costos, Sociedad Mexicana de Ingeniería Económica, Financiera y de Costos, México, 1998., 10 pp.

El objetivo del trabajo es apoyar a los profesionales de la construcción mediante el conocimiento básico y las prácticas de algunos subtemas de la ingeniería de costos, para el mejor desempeño de sus tareas de análisis, registro y control de costos. También se busca entrenar a los profesionales en las prácticas cotidianas de la elaboración de precios unitarios, cuantificaciones de obra, preparación de catálogos e integración de presupuestos o impactos inflacionarios.

### **El costo en vivienda**

Augusto Matus Ocampo

Reunión Nacional e Internacional de Analistas de Costos, Sociedad Mexicana de Ingeniería Económica, Financiera y de Costos, México, 1998, 13 pp.

Se trata de una manera muy general el tema del costo de la vivienda, desde la perspectiva principalmente cualitativa –y seguramente subjetiva– del quehacer del Instituto de Vivienda de la Ciudad de México (INVI).

### **Predicción de respuestas espectrales para la ciudad de Puebla basadas en modelos de atenuación**

Tiziano Perea Olvera y Emilio Sordo Zabay

*Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Veracruz, México, 1997., 10 pp.

Se analizan estadísticamente los espectros de respuesta elásticos, calculados a partir de registros acelerográficos

obtenidos recientemente en la ciudad de Puebla.. Con base en esta información, se obtienen expresiones estadísticas, asociadas a diferentes zonas sismogénicas de interés, que relacionan los espectros de respuesta elásticos con los parámetros de magnitud y distancia epicentral de la fuente. Dichas expresiones se obtienen a partir de los datos disponibles, empleando un modelo de regresión ampliamente utilizado en la literatura para la obtención de leyes de atenuación. Finalmente, se evalúan varios escenarios considerados intensos, tanto históricos como hipotéticos, y se discuten los resultados obtenidos y sus implicaciones, comparando los espectros de respuesta estimados con el espectro de diseño para zona II del reglamento vigente y con otras propuestas de diseño para dicha zona.

### **Daños estructurales en marcos de edificios sujetos a sismo**

F. García y O. Díaz

*Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, México, 1997, 10 pp.

El estudio analiza la presencia de daño en marcos diseñados bajo los criterios del Reglamento del Distrito Federal sometidos a sismo. El efecto del daño se introduce a través de un modelo de comportamiento histerético propuesto para los elementos estructurales que evalúa su pérdida de resistencia ante la carga cíclica provocada por el fenómeno sísmico. Los análisis sísmicos inelásticos fueron realizados utilizando registros de movimientos típicos de las zonas en donde se desplantan las estructuras. Se establecen al final las relaciones existentes entre las características de diseño de las estructuras analizadas y una serie de índices de deterioro global propuestos.

### **Uso del cemento en reciclaje de carreteras**

Boletín ICPC, núm. 80, enero / marzo de 1998, 4 pp.

El reciclaje de vías *in situ* requiere la disgregación del pavimento deteriorado existente, el que luego es mezclado con un conglomerante (generalmente agua y cemento), compactándolo para formar la superficie de rodadura.

El reciclaje de vías podrá ayudar al gobierno a lograr el objetivo de duplicar el empleo del reciclaje de materiales para el año 2006.

### **Lineamientos para la aplicación de capas de concreto sobre pavimentos de asfalto (whitetopping)**

Boletín ICPC, núm. 80, enero / marzo de 1998, 9 pp.

En Colombia existe actualmente un ambicioso programa de construcción, rehabilitación y mantenimiento de la malla vial, razón por la que la técnica del *whitetopping* debe estar dentro de las alternativas por considerar.

El artículo analiza las ventajas que ofrece el *whitetopping*, así como la efectividad, consideraciones de diseño, de construcción y forma de pago recomendadas al aplicar esta técnica.

### **Sobre la enseñanza y la práctica de la teoría de estructuras**

Mariano Vázquez Espi

*Informes de la Construcción*, vol. 49, núm. 449, mayo-junio de 1997, 13 pp.

Algunas anomalías detectadas en la enseñanza y la práctica de la ingeniería y la arquitectura sirven de excusa para realizar un examen epistemológico de la técnica en la cultura industrial, utilizando como ejemplo la teoría de estructuras. De ese examen se concluye la necesidad de una consideración más atenta del diseño de estructuras, en detrimento del hoy omnipresente análisis. Además, se formula una propuesta concreta para la reforma, tanto de la enseñanza como de la práctica profesional.