

# Actualizaciones Tecnológicas

## Lo que todo Gerente de Control de Calidad debe saber sobre el ensayo de Resistencia a la Compresión



*Cuando un concreto moldeado exhibe una resistencia de ensayo menor que la esperada, se produce una controversia entre los productores del concreto, laboratorios independientes, contratistas, abastecedores de materiales e ingenieros, referente a la calidad y al rendimiento del concreto moldeado.*

No obstante, si bien es cierto que la reducción en resistencia puede deberse a cierto factor o a una combinación de factores, también es cierto que los errores cometidos durante las pruebas pueden afectar los resultados de forma adversa. Por eso, antes que nada es necesario analizar los procedimientos de ensayo empleados para confirmar o no la existencia de un problema.

Como ejemplo podemos citar el ensayo de resistencia a compresión del concreto. Como asuntos prioritarios, es preciso averiguar las causas de la pérdida de resistencia, determinar las medidas correctivas requeridas y asignar la responsabilidad de los costos involucrados. En este artículo se demuestra que no es suficiente saber realizar un ensayo, sino que los técnicos participantes deben conocer los factores que pueden afectar los resultados del mismo. El lector se dará cuenta de que los resultados uniformes del ensayo no equivalen necesariamente a resultados exactos. Este estudio se concentró en la alineación inadecuada del cilindro, error que puede originarse en la máquina de carga y que el técnico podría pasar por alto debido a que es un factor “escondido”, o que frecuentemente se deja de lado durante el análisis de las causas de la resistencia reducida. El propósito fundamental de este trabajo es demostrar la posible influencia que puede tener un simple factor sobre los resultados de resistencia, y concientizar a técnicos y gerentes sobre el asunto de control de calidad del concreto.

### Programa de ensayo

Este programa tuvo como objetivo determinar los efectos de una alineación inadecuada del cilindro en un equipo de ensayo de carga, sobre la carga a ruptura de un mortero de alta resistencia. La evaluación fue realizada después de un diseño estadístico aleatorio completo. Se utilizó mortero de alta resistencia debido a que es un material más homogéneo que el concreto, lo cual favorece la formación de patrones de agrietamiento característicos en los cilindros ensayados a tensión. La inspección de los patrones de agrietamiento facilita reconocer las fallas causadas por la desalineación del cilindro.

### Mezcla, colado y cubierta de las probetas de ensayo

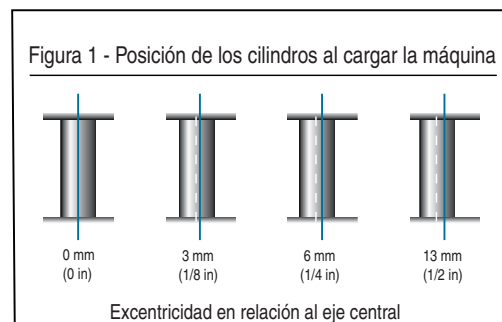
Para la fabricación de las probetas se colaron doce cilindros de 75 mm x 150 mm (3 in x 6 in) de un lote y se curaron en agua durante 28 días. Posteriormente se cubrieron con yeso siguiendo los procedimientos especificados en la norma ASTM C 617 “Método estándar de cubierta de probetas cilíndricas de concreto”.

### Alineación de la probeta de ensayo

La medición de la resistencia a compresión de los cilindros de mortero fue realizada utilizando cuatro excentricidades diferentes en la máquina de ensayo, tal como se especifica a continuación:

1. Colocación correcta (ninguna excentricidad) de la probeta en la máquina de ensayo, tal como se describe en ASTM C 39, “Método de ensayo de la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto”.
2. Colocación de la probeta en la máquina de ensayo, con el eje central del cilindro a 3 mm (1/8 in) a la izquierda del eje vertical central de la máquina de ensayo.
3. Colocación de la probeta en la máquina de ensayo, con el eje central del cilindro a 6 mm (1/4 in) a la izquierda del eje vertical central de la máquina de ensayo.
4. Colocación de la probeta en la máquina de ensayo, con el eje central del cilindro a 13 mm (1/2 in) a la izquierda del eje vertical central de la máquina de ensayo.

En la **Figura 1** se muestran las diferentes posiciones del cilindro en la máquina de ensayo. Las platinas de la mayoría de los equipos de



## Un aspecto esencial sobre el ensayo de resistencia a la compresión

prueba están grabadas con anillos a fin de facilitar la alineación correcta de las probetas. Para esta evaluación se limó el material de cubierta (yeso endurecido), para que estuviera a nivel con los lados de la probeta a fin de permitir una alineación exacta en la máquina de ensayo.

En la práctica, un cilindro puede quedar desalineado si el técnico que está haciendo el ensayo está apresurado. Asimismo, puede haber desalineación cuando se apilan varios bloques para dar cabida a un cilindro de 100 mm x 200 mm (4 in x 8 in) en una máquina de ensayos configurada para cilindros de 150 mm x 300 mm (6 in x 12 in). Esta situación es muy posible dadas las mezclas de concreto de alta resistencia de hoy en día (algunas máquinas de ensayo no tienen la capacidad requerida para ensayar concreto de alta resistencia sin utilizar las probetas de 100 mm x 200 mm [4 in x 8 in]).

### Ensayo de resistencia

Se ensayaron tres cilindros para cada una de las cuatro excentricidades descritas anteriormente. Una vez colocado el cilindro en la máquina de carga, se le fijaron dos extensómetros para medir la deformación axial de la probeta durante la aplicación de la carga. Los extensómetros fueron espaciados a 180°, afianzando los bordes de cuchilla del extremo de cada galga a 50 mm (2 in) de las partes superior e inferior de cada cilindro.

Para fines de análisis se colocó el extensómetro No. 1 en el lado derecho, y el No. 2 en el izquierdo (ver **Figura 2**). Ambos fueron conectados a un sistema de adquisición de datos computarizados para fines de realización del análisis de los datos. Asimismo se hizo un control cuidadoso de otros factores que podrían afectar los resultados de resistencia, tales como la calibración de la máquina, el contenido de humedad de las probetas durante el ensayo, y la velocidad de carga (esta última se fijó a 90 kN/min [20,000 libras/min], equivalente a 0.33 MPa/s [47.2 psi/s]).

### Resultados del ensayo

Los resultados presentados en la **Tabla 1** demuestran una significativa reducción de la resistencia a compresión del mortero conforme la línea central se alejó del eje central de la máquina de carga. La reducción aparente en la resistencia de los cilindros desalineados no representa la resistencia real del mortero: estos valores reducidos fueron más bien el resultado de la distribución desigual de carga en el área superficial del cilindro.

Para este estudio, la ecuación de predicción de la resistencia a la compresión es la siguiente:

$$\text{Resistencia a compresión (MPa)} = 53.11 - 1,765 D_{mm}$$

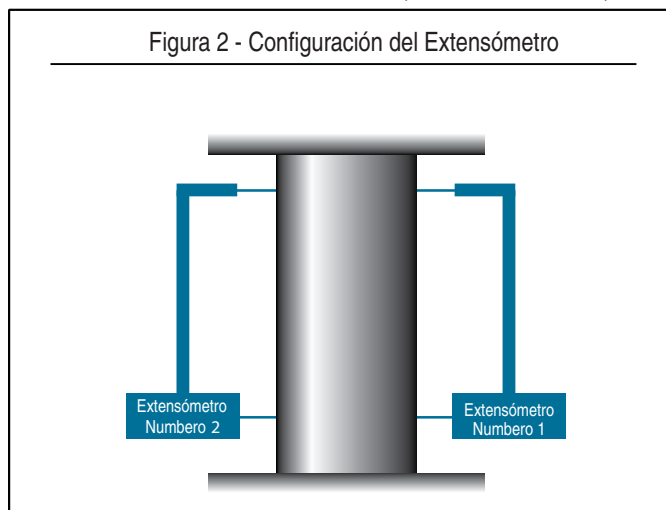
$$\text{Resistencia a compresión (psi)} = 7700 - 6500 D_{in}$$

en donde  $D_{mm}$  = distancia de excentricidad (en mm)  $D_{in}$  = distancia de excentricidad (en in).

Este modelo indica que por cada 2.5 mm (1/10 pulgada) de alejamiento del eje central, se produjo una disminución correspondiente de 4.5 MPa (650 psi) en la resistencia a la compresión. Tal como se observa en la **Figura 3**, la tasa de

disminución de la resistencia a la compresión es constante dentro del intervalo de 0 a 13 mm (0 a 0.5 in).

El análisis de los datos de deformación (ver también **Tabla 1**)



indica una diferencia en el nivel de deformación para cada lado de los cilindros ensayados incorrectamente, lo cual se debió a las concentraciones desiguales de carga en las probetas. Este fenómeno ocasionó la falla prematura de los cilindros. A medida

**Tabla 1**

| Posición del cilindro fuera del centro, mm (in) | Resistencia a la compresión, MPa (psi) | Número del Extensómetro | Deformación, x 10 <sup>-6</sup> mm (in/in) |
|---|--|-------------------------|--|
| Alineación correcta                             | 52.8 (7660)                            | 1                       | 3137                                       |
|   |  | 2                       | 3510                                       |
| 3 (1/8)   | 48.5 (7030)                            | 1                       | 3743                                       |
|   |  | 2                       | 1813                                       |
| 6 (1/4)   | 40.8 (5910)                            | 1                       | 3260                                       |
|   |  | 2                       | 696  |
| 13 (1/2)  | 31.0 (4500)                            | 1                       | 3324                                       |
|   |  | 2                       | -432*                                      |

\* "-" Indica tensión

que éstos se alejaban del eje central de la máquina de carga, aumentó la diferencia en la concentración de la carga. En cambio, los cilindros de prueba cargados sin excentricidad exhibieron una deformación similar en el extensómetro N° 1 y el N° 2; esto usualmente significa que la distribución uniforme de la carga conduce a una deformación uniforme de la probeta.

Los resultados de los valores de deformación variaron significativamente para los cilindros con carga excéntrica. El lado izquierdo de los mismos estuvo sometido a esfuerzo a tensión debido a la flexión causada por la excentricidad. Los extensómetros midieron la deformación en cada lado del cilindro.

# Un aspecto esencial sobre el ensayo de resistencia a la compresión

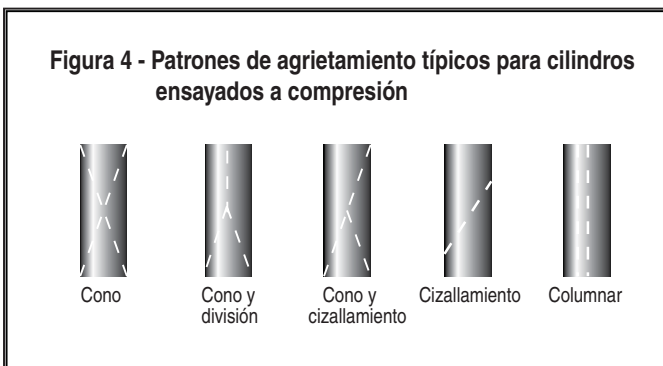
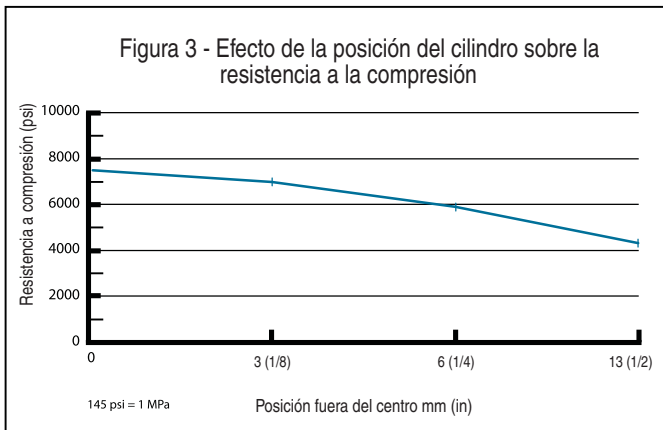
## Patrones de agrietamiento

La inspección visual de los patrones de agrietamiento de las probetas de ensayo complementaron y confirmaron los datos obtenidos para esta evaluación. La **Figura 4** muestra los típicos patrones de agrietamiento para probetas de concreto o mortero ensayadas correctamente. Los patrones de agrietamiento encontrados en ambos lados de los cilindros (izquierdo y derecho) mostraron grietas a cortante verticales e inclinadas.

Las **Figuras 5, 6, 7 y 8** muestran grietas a cortante verticales e inclinadas al lado derecho de la probeta de ensayo y grietas horizontales en el lado izquierdo que ocurren en probetas que han sido incorrectamente ensayadas. Las grietas horizontales ocurren por la flexión del cilindro en la máquina de carga y ruptura por tensión.

## Conclusiones del estudio de laboratorio

1. La alineación incorrecta de las probetas en la máquina de ensayo afecta significativamente la resistencia a la compresión de las mismas.
2. Los patrones de agrietamiento observados en las probetas confirman el análisis de los datos del ensayo de resistencia, lo cual sugiere una desalineación de los cilindros en la máquina de carga.



# Un aspecto esencial sobre el ensayo de resistencia a la compresión

## Implicaciones prácticas

### Control de calidad

La alineación incorrecta del cilindro es un factor que puede en parte explicar y resolver las diferencias presentadas entre los datos de resistencia obtenidos de laboratorios diferentes y de los cilindros preparados con una mezcla de concreto particular. La clave del buen control de calidad es entender la importancia de las observaciones hechas durante un ensayo. Los patrones de agrietamiento de las probetas son prácticamente la única señal visual que podría apuntar hacia la desalineación de las probetas como el causante de una resistencia menor que la esperada. Los datos de esta evaluación demostraron una reducción en la resistencia de 4.5 MPa (650 psi) por cada 2.5 mm (1/10 in) de separación entre la línea central de la probeta y el eje central de la máquina de ensayo. Por tal motivo, es aconsejable que los encargados de control de calidad realicen ensayos similares utilizando materiales y equipos de ensayo locales, y concreto de diferentes resistencias para determinar el efecto exacto de la alineación inadecuada de las probetas para sus operaciones.

### Capacitación

Tal como se explicó anteriormente, una evaluación relativamente sencilla puede servir como herramienta de adiestramiento para demostrar el efecto de los procedimientos de ensayo incorrectos sobre los resultados de resistencia del concreto. La capacitación de los técnicos es fundamental para la producción, moldeado y evaluación de un concreto de calidad. La inversión en clases para el personal se traducirá en mejoras continuas y garantizará un rendimiento aún más estricto para la industria del concreto del futuro.

Figura 8 - Patrones de agrietamiento reales para los cilindros ensayados a compresión, colocados a 13 mm (1/2 in) del centro



### Información adicional

Para información adicional por favor contacte a su representante local de ventas de BASF Construction Chemicals.

*BASF Construction Chemicals, es el proveedor líder de aditivos innovadores, en la especialidad de concreto para ser usados en, premezclados, prefabricados y en productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y pavimentos. Se usa la reconocida línea de productos Master Builders para mejorar la colocación, bombeo, acabado, apariencia y características de desempeño del concreto.*

## BASF Construction Chemicals

Latinoamérica Norte

**Mexico** - Av. Insurgentes sur 975, Mexico

Tel: ( 55 ) 5325 5643 – [www.basf-cc.com.mx](http://www.basf-cc.com.mx)

**Costa Rica** Parque Industrial Zeta de Alajuela, Alajuela

Tel: 506-2440-9110 – [www.centroamerica.basf-cc.com](http://www.centroamerica.basf-cc.com)

**Panamá** Calle 50 Torre Global Park, Piso 12, Of. 12-04 , San Francisco

Tel: 507-300-1360 - [www.centroamerica.basf-cc.com](http://www.centroamerica.basf-cc.com)

**Puerto Rico y el Caribe** Carr. 183 Km. 1.7 Caguas, Bo. Tomas de Castro, Puerto Rico

Tel: 1 787-258 2737 - [www.caribbean.basf-cc.com](http://www.caribbean.basf-cc.com)

**Rep. Dominicana** Gustavo Mejia Ricard # 11, Ed. Rogama, 3er piso, Sto Domingo

Tel: 809 334-1026 - [www.basf-cc.com.do](http://www.basf-cc.com.do)