

# FORNEY

## Pruebas de Concreto de Alta Resistencia

*A medida que el nivel de las resistencias en el diseño de las mezclas de concreto aumenta, el seguimiento de las pruebas de compresión debe mantenerse al mismo paso*

## ***A medida que aumentan las resistencias del diseño de las mezclas de hormigón, las pruebas deben mantenerse al día***

Los requisitos actuales de infraestructura y construcción imponen exigencias cada vez mayores a los materiales y métodos que utiliza la industria de la construcción. Hoy en día, la resistencia del hormigón es el doble, incluso el triple, de lo que era hace una generación, y los diseños de mezclas modernos a menudo producen hormigón capaz de soportar resistencias a la compresión superiores a 20 000 psi.

¿Cómo llegamos a este punto?

- **Eficiencia estructural:** el hormigón de mayor resistencia permite el diseño de estructuras más delgadas y ligeras, reduciendo el uso de material y los costos de construcción.
- **Durabilidad:** el hormigón más resistente puede soportar mejor las condiciones ambientales adversas, como ciclos de congelación y descongelación, sales descongelantes y productos químicos agresivos.
- **Mayor capacidad de carga:** el hormigón de mayor resistencia puede soportar cargas más pesadas, lo que permite la construcción de estructuras más altas y complejas.
- **Costos de mantenimiento reducidos:** el hormigón más fuerte requiere menos mantenimiento y reparaciones a lo largo de su vida útil.
- **Flexibilidad en el diseño arquitectónico:** se puede utilizar hormigón de mayor resistencia para crear diseños más innovadores y estéticamente agradables.

Ya en 1979, el interés por el Hormigón de Alta Resistencia (HSC) impulsó al Instituto Americano del Concreto (ACI) para formar el Comité 363 a fin de estudiar e informar sobre el HSC. Hoy en día, la Especificación 363R de ACI proporciona información completa sobre el desarrollo de diseños de mezclas de hormigón de alta resistencia. Originalmente definido por tener una resistencia a la compresión especificada por encima de 6000 psi, con revisiones posteriores que comienzan en 8000 psi, se establece un umbral sin límite superior definido.

Es importante tener en cuenta que, si bien existe cierta superposición, el hormigón de alta resistencia (HSC) no es lo mismo que el hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC). El UHPC puede alcanzar resistencias incluso mayores que el HSC, pero los requisitos de prueba, como se especifica en la Norma ASTM C1856, exigen ejemplares de prueba más pequeños para UHPC que los que se usan normalmente para HSC. Irónicamente, este material de mayor resistencia exige menos a los equipos de prueba de lo que suele ocurrir con el HSC.

Probar la resistencia a la compresión del hormigón de alta resistencia (HSC) presenta desafíos únicos en comparación con el hormigón de resistencia normal. Incluso variaciones menores en los métodos o equipos de prueba pueden generar diferencias significativas en los resultados de las pruebas. Actualmente, no existe un conjunto estandarizado de equipos o protocolos que aborde completamente estos desafíos, lo que hace que la realización de pruebas consistentes y precisas de HSC sea más compleja.

En este artículo, revisamos esos desafíos y ofrecemos recomendaciones para superarlos y obtener los mejores resultados posibles.

## IMPACTO DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA EN EL ENTORNO DE PRUEBAS

**A diferencia del UHPC, el HSC se produce con una selección adecuada de agregados finos y de mayor tamaño. Ese tamaño de agregado más grande generalmente requiere muestras de prueba de 4 x 8 o incluso de 6 x 12.**

La mayor resistencia del HSC naturalmente requiere cargas de prueba más elevadas para completar los ensayos destructivos. A menudo, el valor de resistencia se asocia a valores de módulo de elasticidad más altos. Esto significa que el ejemplar es a la vez más fuerte y más rígido: una combinación potente cuando se trata de destruir el ejemplar con fuerza.

### Roturas más violentas

Durante la prueba, un bastidor de prueba de compresión “estira” una pequeña cantidad. Cuando el ejemplar falla en una fracción de segundo, el marco se “contrae” esa corta distancia en un período de tiempo casi infinitamente corto. Ese pequeño intervalo produce una velocidad increíble y la violencia de la rotura se multiplica.

En otras palabras, no es visible, pero la máquina lo siente.

El problema se vuelve más difícil dependiendo de cómo se preparen los cilindros para la prueba. Los cilindros deben estar a escuadra, es decir, los extremos deben ser perpendiculares a los lados y en el plano. Los evaluadores han empleado muchos métodos para lograr esto, incluido el uso de tapones de almohadilla no adheridos. Sin embargo, la naturaleza flexible de las tapones de almohadilla no adheridos en realidad almacena energía durante la compresión. En caso de falla, liberan esa energía, haciendo que una rotura de alta resistencia sea aún más violenta.

### Resultados más variables

Las roturas repetidas con esta resistencia mayor pueden afectar el rendimiento y la durabilidad de la máquina, amenazando la longevidad de su máquina y afectando la precisión de la medición en pruebas futuras.

La variabilidad también está relacionada con el problema de preparación del cilindro, donde podrían estar en juego un par de situaciones diferentes.

En primer lugar, cuando se utilizan tapas no adheridas durante las pruebas del HSC, existe una mayor probabilidad de que las tapas se salgan de la parte inferior del anillo de retención y entren en el espacio entre la superficie vertical del anillo de retención y la superficie vertical del cilindro.

Esto produce una fuerza de compresión horizontal en el extremo del cilindro además de la fuerza de compresión vertical. Debido a esto, muchos cilindros del HSC probados con tapas no adheridas presentan fracturas solo en los extremos de los cilindros (roturas tipo 5 o 6 según la Norma ASTM C39). Esta fuerza horizontal no intencional da como resultado una mayor variabilidad en las pruebas y, muy probablemente, resistencias menores que si las muestras se hubieran preparado para la prueba rectificando los extremos.

No se puede subestimar la necesidad de tener extremos parejos. Con extremos irregulares o fuera del plano, la máquina esencialmente aplica una carga a través de una superficie plana contra una superficie no plana. En lugar de aplicar la carga en toda el área de la sección transversal del cilindro, se concentra en los puntos altos de la superficie irregular hasta que esos puntos fallan y se rompen. Esta situación hace que el área de la sección transversal del cilindro se reduzca y la tensión calculada parezca mucho menor que la real.

Ya sea por desgaste de la máquina, tapas extruidas no adheridas o cilindros “astillados”, la variación en los resultados de resistencia a la compresión nunca es algo bueno.

**Si bien la industria carece de orientación específica sobre este tipo de pruebas (por ahora), hay cosas que puede hacer para reducir la variación en los resultados de las pruebas y proteger a su personal y equipo de roturas violentas.**

## 5 CONSIDERACIONES PARA LAS PRUEBAS DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA

### 1. Preparación del ejemplar

Las pruebas de hormigón de alta resistencia comienzan mucho antes de llegar a la [máquina de prueba de compresión](#). En primer lugar, los cilindros deben estar preparados para la prueba. Como se mencionó, es importante que los cilindros tengan superficies uniformes, pero los tapones de almohadilla no son la mejor solución. Entonces, ¿por qué se utilizan y qué deberían hacer los evaluadores en su lugar?

#### Opciones para el HSC

Para probar el UHPC según la Norma ASTM C1856 se requieren cilindros de rectificado de extremos. Pero no se define un método de prueba específico para el HSC. Se prueba de acuerdo con los criterios más generales de la Norma [ASTM C39](#). En lo que respecta a la preparación de ejemplares, la Norma ASTM C39 permite tapar cilindros de acuerdo con la Norma [ASTM C617](#) (adheridos) o la Norma [ASTM C1231](#) (no adheridos), o cortar con sierra o rectificar los extremos de los cilindros para lograr planitud.

Esta es la realidad de estos métodos de preparación para cilindros de hormigón de alta resistencia:

**Los tapones adheridos según la Norma ASTM C617** requieren que la resistencia del compuesto de taponado coincida con la resistencia del cilindro.

Si no se cumple el requisito de resistencia del compuesto de taponado de la Norma ASTM C617, el rendimiento del compuesto de taponado se puede calificar probando 30 cilindros en condiciones específicas y comparándolos con los resultados de cilindros rectificadas en los extremos de la misma mezcla. Como anécdota, se sabe que muchos laboratorios no utilizan tapones adheridos cuando prueban cilindros.

**De acuerdo con la Norma ASTM C1231**, se prohíben los tapones no adheridos para hormigón con resistencias superiores a 12 000 psi y requieren pruebas de calificación (similares a los tapones adheridos) para hormigón con una resistencia superior a 7000 psi.

Sin embargo, los requisitos de la Norma ASTM C1231 se basan en la resistencia especificada del hormigón, no en la resistencia probada. Por lo tanto, en el hormigón que tiene una resistencia especificada de 12 000 psi se permiten tapones no adheridos, aun cuando su resistencia real pueda ser muy superior a 12 000 psi.

Por lo tanto, los laboratorios que utilizan tapones no adheridos podrían estar violando la Norma ASTM C1231 y, como resultado, experimentar roturas excesivamente violentas y una mayor variación. Sin embargo, todavía se sabe que los tapones no adheridos utilizados dentro de las resistencias técnicamente permitidas generan resultados impredecibles. Cuanto mayor sea la resistencia o cuanto más fuera del plano esté el cilindro, más problemas causarán los tapones no adheridos.

Debido a estos factores, el [corte con sierra](#) o [rectificado de extremos](#) son las mejores opciones.

**El corte con sierra, si bien no es tan efectivo como el rectificado de extremos, puede crear un plano más uniforme.** También puede mejorar el rendimiento de los tapones adheridos al permitir un compuesto más delgado.

**El rectificado de extremos de cilindros es el método preferido para tratar los extremos de los cilindros del HSC.** Una rectificadora y una rueda de amolar de alta calidad garantizan que los extremos sean lo más uniformes posible, minimizando el potencial de impacto excesivo y variación de la prueba de compresión del hormigón de alta resistencia.

## 2. Rigidez de la máquina

Cuanto más rígido sea el bastidor de la máquina, menos violenta será la rotura. Un bastidor más rígido se recupera a una distancia más corta, a diferencia de un bastidor flexible con más espacio para “estirarse”.

Elija una máquina que sea tres o cuatro veces más rígida que el ejemplar.

**Por ejemplo:** un cilindro de 6 x 12 con un módulo nominal de 7 500 000 psi tiene una rigidez de 17,7 Mlb/pulgadas. Por lo tanto, la máquina debería tener una rigidez básica de más de 50 Mlb/pulgadas. La aceleración impartida por la falla del ejemplar será menor y se reducirá el impacto adverso en la máquina.

Además, independientemente de la rigidez de la máquina, cualquier máquina debe estar atornillada al suelo. Cuando más energía se libera, más probable es que la máquina salte del suelo si el ejemplar falla. Este potencial salto de la máquina agrega otra dinámica que contribuye a la fatiga de la máquina (y a la variación de los resultados).



Las máquinas y equipos también deben tener la clasificación adecuada para las cargas aplicadas y cumplir totalmente con las tolerancias de fabricación y las Normas ACI/ASTM en cuanto a dureza, resistencia, planitud y acabado de la superficie.

## 3. Montaje remoto del sistema hidráulico

Los sistemas de accionamiento hidráulico controlan la prueba de compresión. Este sistema incluye una serie de bombas, componentes electrónicos, transductores, válvulas y mangueras que generan y mantienen niveles de presión. Todas estas piezas móviles están en riesgo cuando se produce una rotura explosiva.

Para evitar daños innecesarios a estas piezas, elija una opción de diseño de máquina que reubique el sistema de accionamiento hidráulico en un montaje remoto separado del marco de prueba.

#### 4. Funcionalidad inteligente para pruebas de detención

A veces, las pruebas requieren determinar la resistencia total del ejemplar, es decir, realizar pruebas hasta que el ejemplar se rompa. Sin embargo, ciertas condiciones de control y garantía de calidad permiten realizar pruebas que solo necesitan establecer que el material es más resistente que la resistencia de diseño. Esto significa que la prueba puede interrumpirse antes de la falla una vez que se alcanza el nivel de tensión de diseño, evitando así que la máquina sufra una rotura más violenta.

Para llevar a cabo esta función de “Prueba de parada”, es necesario conocer la resistencia del diseño. Por supuesto, los técnicos tienen este conocimiento. Sin embargo, las [máquinas de prueba conectadas](#) modernas también puede gestionar esta funcionalidad. Una máquina conectada “sabe” lo que está probando gracias a una integración con un software de pruebas de materiales, [ForneyVault](#), que precarga la máquina con información relacionada sobre ejemplares y muestras. La máquina puede luego configurarse para detener la prueba en un determinado porcentaje por encima de la resistencia de diseño. Y el técnico que opera la máquina no necesita controlar la parada: la máquina la controlará automáticamente.

#### 5. Consideraciones de seguridad

Por último, asegúrese de utilizar todos los protectores instalados de fábrica y de que los técnicos de pruebas utilicen el equipo de protección personal adecuado durante la prueba. Cuando sea posible, contenga el material de rotura en [envolturas de cilindros](#) o en [fundas para escombros](#). Una máquina completamente cerrada contendrá los escombros sin necesidad de equipo adicional.

## CONCLUSION

Desde el horizonte frágil de Nueva York hasta el auge de la construcción en Nashville y [Legends Tower de la ciudad de Oklahoma](#), los edificios son cada vez más altos. Para seguir este ritmo, el hormigón se hace cada vez más resistente. Y los laboratorios de pruebas están sintiendo la presión.

La realidad es que el HSC es duro en las máquinas de prueba, y estas condiciones violentas ponen en riesgo no solo la vida útil de sus máquinas sino también la confiabilidad de los resultados de las pruebas.

A medida que Estados Unidos invierte en proyectos de infraestructura más grandes y robustos que requieren hormigón de alta resistencia, las prácticas de prueba deben mantenerse actualizadas. Hasta entonces, siga estas cinco consideraciones para proteger sus máquinas, su personal y los resultados del impacto de las pruebas del HSC.

*[¿Tiene una necesidad de prueba de alta resistencia? Utilice nuestro buscador de máquinas para encontrar la máquina adecuada para su aplicación de prueba, incluidos los bastidores de alta rigidez.](#)*