

La resistencia a compresión del hormigón

¿Como mido la resistencia? ¿Su valor puede cambiar según como la mida? ¿Por qué hay diferentes métodos? ¿La relación entre los valores obtenidos con estos métodos se mantiene constante?

Raúl Zerbino, Investigador Principal, CONICET: zerbino@ing.unlp.edu.ar

Cuando pensamos o hablamos de la resistencia del hormigón nos referimos, en general, a la resistencia a compresión. Es altamente conocido por todos nuestros lectores que el hormigón, como ocurre con todos los materiales, según el tipo de sollicitación que estemos considerando, ofrece diferentes valores de resistencia a tracción directa, a flexión en sus diferentes variantes, al corte, al impacto, o frente a esfuerzos multiaxiales, entre otras alternativas. Sin embargo, en esta nota vamos a hablar únicamente de la resistencia a compresión.

El ensayo de compresión ocupa una ubicación preferencial como método de valoración del hormigón y esto se debe, entre otras razones, a que el hormigón se utiliza para sobrellevar preponderantemente esfuerzos de compresión. Los códigos y reglamentos se basan, fundamentalmente, en esta propiedad y, a lo largo del tiempo, tanto en estudios científicos como en aquellos orientados al desarrollo de nuevas tecnologías, las diversas propiedades se han relacionado con la resistencia a compresión como referencia del material. No menos importante, el ensayo a compresión es un método sencillo y económico, por lo que se aplica no sólo para el diseño sino en los controles de obra, incluso en aplicaciones donde las sollicitaciones de compresión no representan la cuestión crítica.

En nuestro país, el ensayo a compresión se ha realizado tradicionalmente sobre cilindros de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, y los reglamentos o códigos de diseño se basan en ese resultado. Con el advenimiento de hormigones de mayor resistencia y el uso de agregados de menor tamaño se utilizan cada vez más en todo el mundo cilindros de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Estos resultan ideales para evaluar hormigones de alta resistencia, para los cuales, muchas prensas disponibles en las obras no cuentan con la capacidad suficiente para ensayar cilindros de 150 mm de diámetro. Sin embargo, en otros países de Europa y Asia se emplean probetas cúbicas, por ejemplo, de 150 mm o de 100 mm de arista. También se han utilizado, años atrás, cubos de 200 mm para evaluar la resistencia del hormigón y habitualmente se emplean cubos para medir la resistencia en morteros (de 40 mm, 50 mm, o 70 mm de arista).

Los cilindros se proponen con relación altura/diámetro igual a 2 para eliminar la influencia de los efectos multiaxiales que se generan por la fricción entre el hormigón y el acero de los cabezales de la máquina de ensayo, pero requieren asegurar la planitud y el correcto acondicionamiento de las caras. Los cubos precisamente no demandan este acondicionamiento y aseguran el paralelismo al aplicar las cargas sobre las caras laterales del molde, pero para un mismo hormigón, por efecto de la fricción, los valores de resistencia en cubos son mayores que los obtenidos sobre cilindros de esbeltez 2.

Las probetas de menor tamaño poseen la ventaja de no requerir cargas tan elevadas, pero tienen como limitación que el tamaño debe ser acorde al tamaño máximo del agregado grueso empleado en la elaboración de la mezcla.

Obviamente, existe un procedimiento, en nuestro país establecido en la norma IRAM 1546, donde se brindan precisiones acerca de los requisitos sobre la velocidad de ensayo (sea controlando la velocidad de aplicación de la carga o la velocidad de desplazamiento del cabezal), la planitud y perpendicularidad de las caras de las probetas, las dimensiones y dureza de los platos de carga o las características de las rotulas de la máquina. A la vez, también es conocido que las condiciones de humedad, de temperatura, la edad del ensayo, y otras variables van a incidir en el resultado a obtener, pero tampoco estas cuestiones se van a discutir en esta breve nota.

El tema central se refiere a si, para muestras obtenidas de un mismo hormigón, respetando los procedimientos de llenado y compactación, con iguales condiciones de curado, ensayadas el mismo día, y bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad, la resistencia medida, utilizando diferentes probetas, es similar o si lo es la relación entre los valores de resistencia que se miden con diferentes geometrías.

Cabe notar que, a modo de ejemplo, el *fib* Model Code, cuando establece las clases resistentes para el hormigón, brinda, para cada una, valores correspondientes a cubos y a cilindros. Estas diferencias han sido reconocidas durante años y muchos autores han informado relaciones cubo/cilindro o factores para corregir las resistencias cuando se ensayan cilindros con esbeltez menor a 2. La esbeltez y el volumen de las muestras (cilindros o cubos) son los principales factores que modifican la resistencia a compresión: la esbeltez, por la fricción, y el volumen, por un tema de probabilidad de falla. En la actualidad, se ha impuesto por razones prácticas y ambientales (para reemplazar al encabezado de azufre), el uso de placas de neopreno para ensayar los cilindros de esbeltez 2. Estas placas brindan otras ventajas ya que se evitan potenciales errores del operador durante la confección de las caras. En los ensayos con placas de neopreno se han visto cambios en algunas formas de rotura, pero los valores de resistencia resultan, en general, iguales o en ocasiones ligeramente mayores (posiblemente por la mencionada disminución en los errores de confección) respecto a los obtenidos con otros métodos de encabezado. Pero, como fue expresado más arriba, en un cilindro de esbeltez 2 los efectos de fricción son irrelevantes, por lo cual, desde el punto de vista conceptual, el valor no debiera ser afectado.

Lo importante a entender es que los efectos de la esbeltez, con mayor o menor fricción según el tipo de encabezado, y del tamaño de la probeta, por un aumento de la probabilidad de falla a mayor volumen, existen y han sido cuantificados a partir de factores de corrección, pero que tales factores fueron obtenidos en forma empírica, esto es, corresponden a hormigones dentro de un rango de resistencias y elaborados con agregados de determinadas formas y tamaños.

Numerosa bibliografía confirma que:

- Para ensayos con condiciones habituales de fricción en las caras, la relación cubo/cilindro decrece a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado y a medida que aumenta el nivel de resistencia; por ello resulta mucho más baja que la habitual en hormigones de alta resistencia, y en hormigones de resistencia convencional, mayor a edad temprana que a edad avanzada, para una misma mezcla.
- El tipo, forma y tamaño de agregado grueso, en la medida que afectan el mecanismo de rotura según sea más o menos propenso el material a fracturarse a través de los

agregados (en eso inciden la resistencia de la roca y de la matriz), también modifican esta relación.

- La presencia de defectos, en particular si existen macro y microfisuras que afecten el mecanismo de rotura, también pueden modificar la relación cubo/cilindro.
- Cuando disminuyen las condiciones de fricción, los efectos de la esbeltez (lo que implica la relación cubo/prisma) disminuyen e incluso pueden desaparecer.
- A medida que se ensayan probetas de menor volumen la resistencia tiende a aumentar, por una cuestión probabilística, hecho que se puede potenciar debido a que caras de mayor tamaño son más propensas a contener defectos. El tipo, forma y tamaño de agregado grueso, también, aunque en menor medida, pueden afectar la relación entre probetas de igual esbeltez y diferente volumen. La dispersión de los resultados de ensayo tiende a disminuir a medida que se emplean muestras de mayor volumen.

Es importante expresar entonces, que es posible emplear diferentes geometrías de probetas para evaluar la resistencia a compresión, lo mismo que si se buscan objetivos como evaluar la variabilidad en una producción, comparar efectos de los materiales componentes, como el tipo de cemento o de los agregados, o las condiciones de curado o de otras tantas variables, diversas opciones se encuentran disponibles. Obviamente, en cada caso, habrá que respetar características adecuadas de las caras y principalmente el tamaño de los agregados.

Sin embargo, por todo lo comentado, y a modo de conclusión, hay que saber que el valor de la resistencia va a variar conforme el tamaño y la forma de la probeta empleada. A la vez, que un correcto encabezado no debe afectar la resistencia en los cilindros. A esto se suma entender, en cuanto a la relación entre probetas de diferente geometría, que los valores propuestos son una referencia que surge de medidas empíricas y que cada reglamento debe establecer en base a qué probetas y normas de ensayo obtener los valores de cálculo para el diseño. Finalmente, si existe la necesidad de establecer con precisión un valor de correlación entre diferentes formas o tamaños de probetas para ensayos de compresión, la única opción es la realización de ensayos previos con un número de muestras representativo, utilizando hormigones dentro del mismo rango de resistencias y elaborados con los mismos tipos y tamaños de agregados.