

cálculo previo de la resistencia a la compresión del hormigón a través de la resistencia a la compresión del mortero normalizado de cemento según DIN 1164 E (método de ensayo ISO)

GERD WISCHERS, DÜSSELDORF

Beton, nº 3, marzo 1969, pág. 121

ORIENTACION

Por medio de un nomograma adecuado en el que se representen la resistencia a la compresión del mortero normal y la relación agua/cemento es posible calcular de antemano, y con suficiente exactitud, la resistencia a la compresión del hormigón. Como quiera que este nomograma se basa en la resistencia a la compresión del mortero normal determinada según DIN 1164 (edición 1942), puede utilizarse, sin ningún inconveniente, cuando sólo se conoce la resistencia a la compresión del mortero normal de cemento de acuerdo con DIN 1164 E (método de ensayo ISO). Primeramente se ha de transformar a la resistencia normalizada actual mediante un diagrama.

Como se aprecia por un estudio comparativo, en el cálculo previo el error queda dentro de límites razonables si se introduce directamente en el nomograma la resistencia a la compresión del mortero normal determinada con arreglo a DIN 1164 E, aunque en el cálculo previo se admita, sin embargo, una resistencia a la compresión del hormigón aumentada en 20 kp/cm².

1. Generalidades

Como se sabe desde hace tiempo, la resistencia a la compresión de hormigón corriente con árido rocoso compacto puede calcularse previamente, y con una suficiente exactitud para la práctica, con sólo conocer la resistencia a la compresión del mortero normal de cemento y la relación agua/cemento del hormigón fresco. Por resistencia a la compresión del hormigón se entiende aquí aquella resistencia que se determina en cubos de 20 cm después del compactado total del hormigón fresco y la conservación con arreglo a DIN 1048, durante 28 días.

2. Cálculo previo de la resistencia del hormigón a la compresión

Para el cálculo previo de la resistencia del hormigón a la compresión a partir de la resistencia a la compresión del mortero normal según DIN 1164 y de la relación agua/ce-

mento, se dispone, desde hace muchos años, tanto de fórmulas como de nomogramas basados en abundante documentación experimental (1), (2), (3), (4).

Los nomogramas son fáciles de manejar para su aplicación práctica. En la figura 1, que ha sido tomada de (4), frente a la relación agua/cemento, se representa la relación de la resistencia del hormigón a la compresión a los 28 días y la resistencia a la compresión del mortero normal, a la misma edad, con arreglo a DIN 1164. Si se conocen o se eligen dos de las tres magnitudes, puede determinarse la tercera por medio de este nomograma.

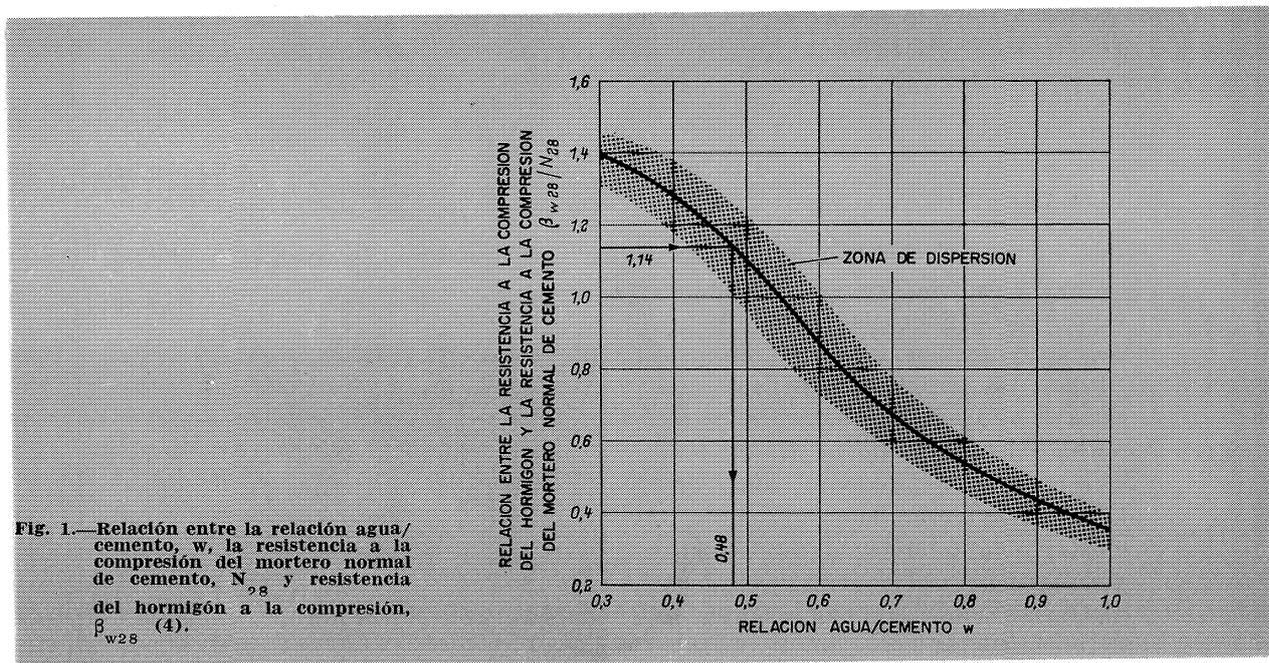


Fig. 1.—Relación entre la relación agua/cemento, w , la resistencia a la compresión del mortero normal de cemento, N_{28} y resistencia del hormigón a la compresión, β_{w28} (4).

Además de la relación media, en la figura 1 se incluye la zona de dispersión normal, que es relativamente amplia. Esta zona de dispersión se debe a uno o varios factores influyentes no tenidos en cuenta, como, por ejemplo, la distinta adherencia del mortero de cemento con diferentes áridos como consecuencia del grado de rugosidad de su superficie.

Por otra parte, esta zona de dispersión también se afecta por la propia dispersión del ensayo, la cual es inevitable incluso siguiendo con cuidado la marcha del mismo tanto en la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón como de la resistencia a la compresión del mortero normal de cemento. Debido a la gran zona de dispersión, tampoco es lógico seguir el proceso de cálculo con una precisión exagerada y, por eso, el contenido de cemento calculado para la posterior comprobación debe de redondearse por lo menos en 5 ó 10 kg/m³.

3. Determinación de la resistencia a la compresión del mortero normal de cemento.

El nomograma en la figura 1 se basa en la resistencia a la compresión normalizada del cemento, tal como se determina desde julio de 1942 con arreglo a DIN 1164 [en lo sucesivo denominada DIN 1164 (antigua)]. Este dato se refiere a un mortero de ensayo

plástico con arena normalizada (granulometría discontinua de dos grupos granulométricos estrechamente limitados) con una proporción cemento/arena de 1:3 en peso y con una relación agua/cemento de 0,60; el mortero se compacta apisonándolo a mano.

La nueva versión prevista de DIN 1 164 proyectada en julio de 1967 (en lo sucesivo denominada DIN 1 164 E) prevé, por varios motivos (5), un mortero de ensayo algo más rígido, cuya proporción de mezcla es también de 1:3, pero con una arena que presenta una granulometría continua y donde la relación agua/cemento es sólo de 0,50. Esta composición corresponde al método de ensayo propuesto por la ISO (Organización Internacional de Normas). Para la compactación del mortero de ensayo hay prescrita una mesa vibratoria en DIN 1 164 E(*).

O sea, que para un cemento que en forma de hormigón suministra una determina resistencia, con el método de ensayo previsto en DIN 1 164 E se obtiene una resistencia a la compresión del mortero normal distinta a la obtenida hasta ahora con DIN 1 164 (antigua).

Las diferencias que han resultado de un ensayo amplio con arreglo a ambos métodos de todos los cementos de la República Federal de Alemania, están representados en la figura 2 (5). Sobre la abscisa se indica la resistencia a la compresión a 28 días con arreglo a DIN 1 164 (antigua); sobre la ordenada, la resistencia a la compresión a los 28 días determinada de acuerdo con DIN 1 164 E. Si fueran iguales las resistencias a la compresión con arreglo a ambas normas los resultados se encontrarían sobre la recta incluida a 45° en la figura 2.

De acuerdo con la menor relación agua/cemento, en la mayoría de los cementos, ensayados con arreglo a DIN 1 164 E, se produjo una resistencia a la compresión algo mayor que, en general, no sobrepasó esencialmente el 5 % (línea por encima de la línea de 45°). En el ensayo con arreglo a DIN 1 164 (antigua) y DIN 1 164 E,

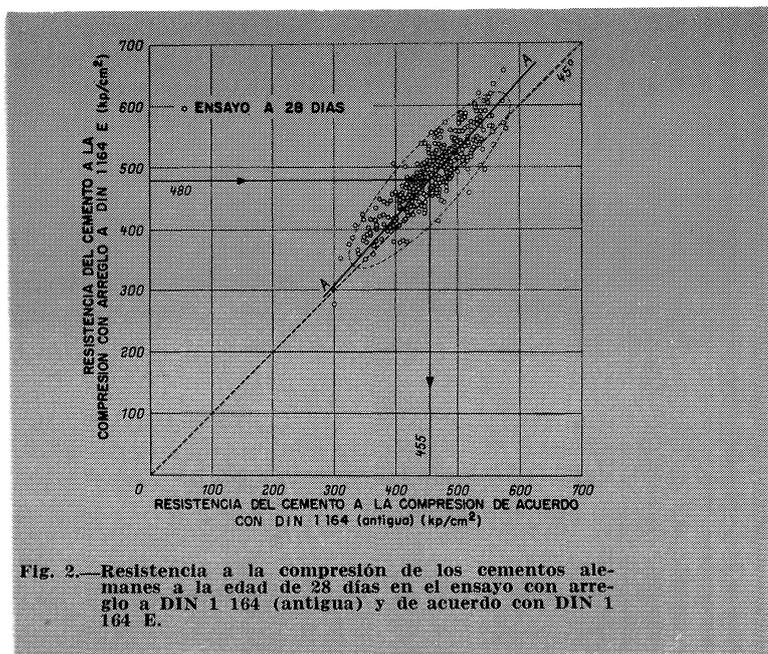


Fig. 2.—Resistencia a la compresión de los cementos alemanes a la edad de 28 días en el ensayo con arreglo a DIN 1 164 (antigua) y de acuerdo con DIN 1 164 E.

(*) En la sesión de clausura de DIN 1 164 E, la Comisión de normas técnicas "Cemento" ha decidido con respecto al vertido y compactado del mortero de ensayo las siguientes modificaciones frente al proyecto publicado previamente:

La amplitud de vibración de la mesa vibratoria ha de ser de $0,75 \pm 0,10$ mm. El molde hay que sujetarlo firmemente a la mesa vibratoria. Después de conectado el vibrador, los compartimientos del molde se llenan con mortero en dos capas dentro de 45 segundos como máximo de la manera siguiente: Con la primera capa de mortero (unos 320 g por compartimiento), y empleando una cuchara, se llenan los compartimientos del molde, empezando por la derecha, en unos 15 segundos, hasta aproximadamente la mitad; después de una pausa de llenado de 15 segundos, dentro de los 15 siguientes se vierte la segunda capa empezando nuevamente por la derecha y se llena el molde hasta un poco por encima del borde. Después de 120 segundos en total se desconecta el vibrador.

muchos cementos proporcionaron resistencias a la compresión aproximadamente iguales, sobre todo aquéllos situados en la zona inferior de resistencias. Con el nuevo método (DIN 1 164 E), algunos cementos tuvieron incluso una resistencia más baja que con el método de ensayo antiguo.

4. Cálculo previo de la resistencia del hormigón a la compresión a partir de la resistencia a la compresión normalizada del cemento determinada con arreglo a DIN 1 164 E

Como quiera que para reunir experiencias más amplias en muchos lugares de la R. F. A. el cemento se ensaya complementaria o exclusivamente con arreglo a DIN 1 164 E se suscita la cuestión de cómo puede calcularse previamente la resistencia a la compresión del hormigón con estos nuevos valores de resistencia, ya que aún no se han publicado los correspondientes nomogramas —tal como el de la figura 1 para DIN 1 164 (antigua)— (los correspondientes nomogramas, y quizás también tablas, se publicarán por K. Walz hacia finales de 1969. Actualmente se realizan con este fin varios cientos de ensayos con áridos de diferentes zonas de Alemania).

Con la figura 2 puede determinarse, conociendo la resistencia según DIN 1 164 E, la probable resistencia a la compresión del mortero normal según DIN 1 164 (antigua). Para ello se sitúa el valor con arreglo a DIN 1 164 E sobre la ordenada de la figura 2, se le prolonga horizontalmente hasta el punto de intersección con el eje A—A del grupo elíptico de puntos incluido, se baja verticalmente hasta la abscisa y se lee allí el valor según DIN 1 164 (antigua). Entonces se realiza el cálculo previo en la forma acostumbrada con ayuda de la figura 1; como aclaración sirva el siguiente ejemplo de cálculo.

EJEMPLO

Se busca el contenido de cemento necesario para un hormigón del tipo resistente B 450. Para la prueba de idoneidad se toma una seguridad de un 15 % más en la resistencia del hormigón a la compresión, o sea, se toma la composición de un hormigón con una resistencia cúbica a la compresión de $\beta_{w28} = 1,15 \times 450 = 518 \text{ kp/cm}^2$. La necesidad de agua de la mezcla para la consistencia elegida es de 160 l/m^3 .

Se dispone de un cemento cuya resistencia a la compresión del mortero normal a los 28 días N_{28} , determinada con arreglo a DIN 1 164 E, es de unos 480 kp/cm^2 . Como muestra el ejemplo incluido en la figura 2, corresponde a esto una resistencia a la compresión con arreglo a DIN 1 164 (antigua) de unos 455 kp/cm^2 (o sea, aproximadamente, 5 % menos). Con una resistencia a la compresión del mortero normal de 455 kp/cm^2 , $\beta_{28} : N_{28} = 518 : 455 = 1,14$.

La figura 1 suministra para esto una relación media agua/cemento de $w = 0,48$ (véase ejemplo incluido). De aquí se calcula el contenido de cemento necesario $Z = \text{contenido de agua} : \text{relación agua cemento} = 160 : 0,48 = 335 \text{ kg/m}^3$.

Si se efectúa un cálculo previo sin tener en cuenta que el método de ensayo según DIN 1 164 E proporciona, la mayoría de las veces, una resistencia a la compresión normalizada del cemento algo mayor, es decir, si se introduce directamente en la figura 1 la resistencia a la compresión con arreglo a DIN 1 164 E, se obtiene una relación agua/cemento demasiado elevada, y con ello, ya que el contenido de agua del hormigón es fijo, un contenido de cemento un poco reducido.

Para el ejemplo antes calculado, introduciendo directamente la resistencia a la compresión del mortero normal con arreglo a DIN 1 164 E (480 kp/cm^2) en la figura 1, se obtendría una relación agua/cemento de 0,51 y, con ello, un contenido de cemento calculado de 315 kg/m^3 , el cual se encuentra unos 20 kg/m^3 por debajo del contenido de cemento necesario. En un ensayo con 315 kg/m^3 de cemento habría que esperar sólo unos 490 kp/cm^2 en lugar de la pretendida resistencia del hormigón a la compresión de 518

kp/cm². Cálculos análogos para los tipos resistentes de hormigón B 225 y B 300, suministraron contenidos de cemento que se encontraban unos 10 kg/m³ por debajo de la cantidad necesaria si se introducía directamente la resistencia a la compresión normalizada del cemento en la figura 1 de acuerdo con DIN 1164 E.

La resistencia del hormigón a la compresión prevista con estos contenidos de cemento demasiado pequeños se halla, sin embargo, unos 20 kp/cm², como máximo, por debajo de la resistencia pretendida.

5. Resumen

Si para un cálculo de mezcla se dispone únicamente de la resistencia a la compresión del mortero normal determinada con arreglo a DIN 1164 E (nuevo método de ensayo), con la figura 2 se puede entonces transformar esta resistencia en la resistencia a la compresión normalizada del cemento con arreglo a DIN 1164 (antigua, edición 1958) y calcular la composición del hormigón utilizado en la figura 1.

Si la resistencia a la compresión del mortero normal con arreglo a DIN 1164 E se incluyera para el cálculo de la mezcla directamente en la figura 1, se obtendría así una cantidad de cemento de 10 a 20 kg/m³ inferior, o una resistencia del hormigón de 15 a 30 kp/cm² más baja, debido a que el nomograma (fig. 1) sólo sirve para la resistencia normalizada a la compresión del cemento con arreglo a DIN 1164 (antigua). Se podría elegir también este camino, si para β_{w28} (ordenada de la figura 1) se incluye una resistencia a la compresión del hormigón de unos 20 kp/cm² mayor.

Nomogramas basados en la resistencia a la compresión normalizada del cemento con arreglo a DIN 1164 E (método ISO), se publicarán en esta revista (Beton) hacia finales de 1969 o a principios de 1970.

BIBLIOGRAFIA

- (1) GRAF, O.: "La composición de la argamasa y del hormigón".—Editorial Julius Springer, Berlín 1930.
- (2) HUMMEL, A.: "El ABC del hormigón".—Editorial de Wilhelm Ernest and Sohn, Berlín 1935 (12ª edición 1959).
- (3) WALZ, K.: "Instrucciones para la composición y fabricación del hormigón con determinadas propiedades".—Editorial de Wilhelm Ernst and Sohn, Berlín 1958 (2ª edición 1963).
- (4) WALZ, K.: "¿Cómo se hacen los conocimientos técnicos del hormigón útiles para la construcción?"—"Hormigón 10" (1960), cuaderno 10, págs. 483-490; asimismo Informes de la técnica del hormigón 1960, Editorial Hormigón, Düsseldorf 1961, págs. 107-125.
- (5) WALZ, K. y WISCHERS, G.: "Para el proyecto de la nueva versión de la norma de cemento DIN 1164".—"Hormigón 18" (1968), cuaderno 1, págs. 10-14.