

680-45

Procedimientos sencillos para la determinación de la consistencia y de la relación agua/cemento del hormigón fresco así como del contenido de agua de los áridos

P. NISCHER

Zement und Beton (Austria), nº 54, enero-febrero 1971, págs. 11-15

1. INTRODUCCION

Con ensayos sobre el hormigón endurecido —generalmente sobre probetas cúbicas—, se puede establecer si en un elemento de construcción se han alcanzado las propiedades deseadas del hormigón. Los resultados de estos análisis de calidad se conocen cuando ya es demasiado tarde para modificar la composición del hormigón. La finalidad del análisis del hormigón fresco es establecer determinaciones acerca de la trabajabilidad y las propiedades que pueden esperarse (por ejemplo la resistencia a la compresión), en tanto que la composición del hormigón pueda mejorarse o ajustarse más exactamente a las propiedades requeridas.

En este artículo se trata concretamente de dos procedimientos para la medida de la consistencia y para la determinación del contenido de agua de los áridos o del hormigón fresco, que se pueden llevar a cabo rápida y sencillamente en obra. Con el procedimiento para determinar el contenido de agua del hormigón fresco se puede averiguar también fácilmente la relación agua/cemento (A/C).

2. ENSAYO DE LA CONSISTENCIA

2.1. Generalidades

El hormigón plástico necesita más cemento o con el mismo contenido de cemento da una resistencia más baja que el hormigón seco. Por eso es también algo más caro que el hormigón seco de la misma resistencia. Especialmente, el creciente empleo del hormigón preamasado hizo necesario una determinación clara de la consistencia necesaria para la elaboración. Sólo gracias a esto se consigue que el hormigón suministrado en obra sin incorporación adicional de agua, lo que como se sabe reduce la resistencia, se puede elaborar irreprochablemente y, sobre todo, colocar de manera prácticamente perfecta. Por esta razón también en Austria se introdujeron los tipos de consistencia con las directrices provisionales para el hormigón preamasado [1] (tabla 1).

83

TABLA 1

Tipos de consistencia (zonas modificadas según ONORM B 4200, 10, coincidentes en parte con DIN 1045 E, último proyecto).

Tipos de consistencia	Medida de la compactación v	Medida sobre una torta a (cm)
K 1, hormigón seco	1,45 — 1,25	—
K 2, hormigón plástico	1,25 — 1,10	< 40
K 3, hormigón fluido	1,10 — 1,04	40 — 50

En el análisis de idoneidad es necesario medir la adición de agua de manera que se consiga una consistencia con la que se pueda trabajar con seguridad en obra. Al comienzo de los trabajos de hormigonado se debe examinar y comprobar esta consistencia para impedir que se elabore un hormigón demasiado blando, es decir, con demasiada agua (o demasiado poco cemento) y, por ello, no se alcance la resistencia requerida.

En la realización de las construcciones las modificaciones de la consistencia para una composición uniforme del hormigón se deben a variaciones en la composición granulométrica del árido (por ejemplo, demasiados tamaños inferiores) o a desigualdades en el contenido de agua (por ejemplo, humedad en la arena más elevada).

Entre consistencia y relación A/C no existe una relación fija. Así, se puede fabricar un hormigón seco con una relación A/C 1,00 ó por encima de este valor y un contenido de cemento bajo, o preparar un hormigón plástico con una relación agua/cemento 0,40, pero, sin embargo, con un contenido de cemento considerablemente más elevado. La costumbre con que nos encontramos frecuentemente de caracterizar los hormigones secos con una relación A/C reducida y los plásticos o fluidos con un valor elevado de esta relación, sólo puede ser válida para determinado contenido de cemento y áridos; por eso debe evitarse esta costumbre.

De la consistencia del hormigón fresco se puede deducir el gasto requerido en su compactación (fig. 1). El hormigón fluido (K 3) se puede compactar mediante picado o ligero apisonado, con poco gasto de compactación. En el caso de una consistencia plástica (K 2) se requieren vibradores, mientras que los hormigones secos (K 1) deben colocarse con gran consumo de energía y poderosos vibradores.

Como medida para la consistencia puede emplearse el trabajo que se requiere para la deformación de una masa de hormigón fresco. En esto se basa el aparato Vebe, el medidor de consistencia ONA y el aparato de Powers. Muchas veces también se mide la modificación de la forma como ocurre, por ejemplo, en la medida del escurrimiento de una torta de hormigón. Una transformación de la forma —y con ella también del volumen— en la compactación total de un hormigón se analiza con la medida del “espesamiento”, de lo que aquí se va a tratar más concretamente.

En la nueva ONORM B 3303 “Ensayo del hormigón”, junto a la conocida medida del escurrimiento, se aceptó esta medida de compactación (según K. Walz). Mientras que con la medida del escurrimiento sólo pueden analizarse hormigones plásticos y blandos (K 2

y K 3), la medida de la compactación o espesamiento se puede emplear también en el caso del hormigón seco (K 1).

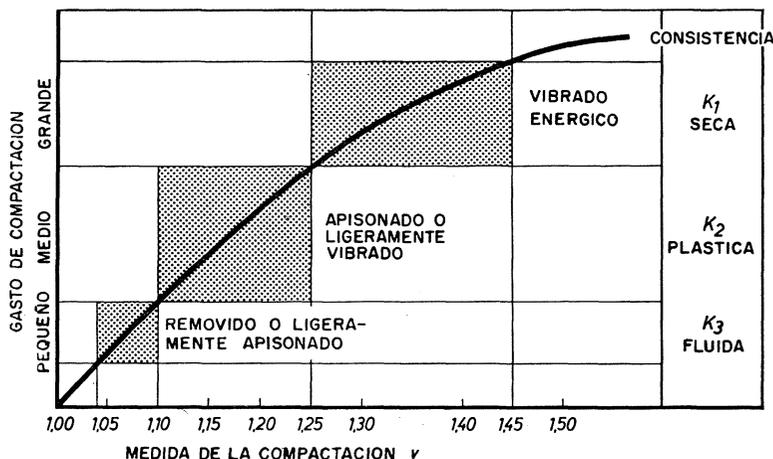


Fig. 1.—Medida de la compactación (consistencia) y gasto de compactación para el hormigón (valores normativos vagos; el gasto de tiempo de compactación se puede modificar con la composición granulométrica, contenido de finos, forma de los granos, medidas del elemento de construcción, revestimiento, etc.).

2.2. Determinación de la medida de compactación

La medida de compactación es especialmente adecuada para obra porque no se necesitan aparatos especiales para ello. Basta un molde cúbico de 20 cm de arista, una paleta de tamaño normal (de unos 10 cm × 16 cm) y una regla de acero.

Los hormigones secos, al verterlos, se depositan, al contrario de los blandos, bastante mal y, al compactarse, se desmoronan con más intensidad. La medida de compactación es la relación, establecida en determinadas condiciones de ensayo, de la altura del hormigón vertido suavemente con la altura del hormigón después de su compactación (fig. 2).

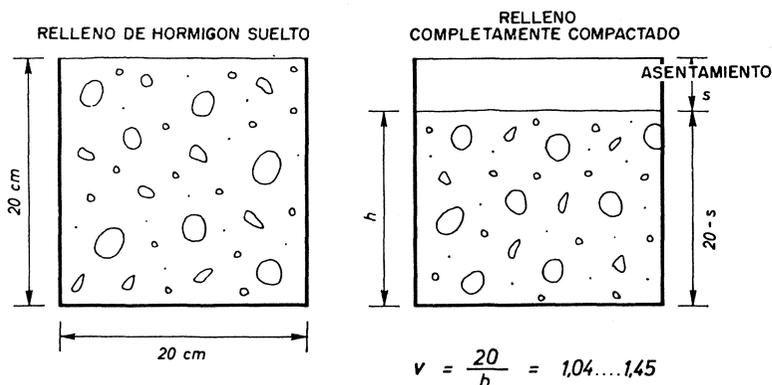


Fig. 2.—Determinación de la medida de compactación v en un molde cúbico de 20 cm.

Del hormigón que va a analizarse se toman, por lo menos, 15 litros en diferentes lugares y se entremezclan con la mano. De este modo se eliminan las segregaciones y durante el transporte al aparato de ensayo se ahuecan las zonas previamente compactadas de tal

modo, que la muestra se puede verter lo más suavemente posible. A continuación el hormigón se vierte lentamente con la paleta y en sentido alternativo en un molde cúbico de 20 cm desde cada uno de los bordes (fig. 3). El molde una vez lleno se enrasa cuidadosamente con una regla de acero, sin que por ello se compacte el hormigón. Acto seguido se compacta el hormigón, por ejemplo, con un vibrador en forma de botella, durante todo el tiempo que sea necesario hasta que no se observe desmoronamiento alguno (compactación total prácticamente). Después de esto se mide la distancia de la superficie del hormigón respecto al borde superior del molde en las esquinas y en el centro de los cuatro lados. Partiendo del valor medio se calcula la altura del hormigón compactado. En el caso de una consistencia seca es conveniente desmoldar el hormigón una vez hecho el asentamiento para averiguar si se ha alcanzado de hecho la compactación prácticamente completa, es decir, si no han quedado poros en el hormigón. Si en obra existe una balanza de 50 kg de carga y una exactitud de lectura de 10 g, también se puede examinar la compactación con ayuda del peso específico aparente, al comparar el valor conseguido con el peso específico aparente del hormigón fresco en el análisis de idoneidad. El 5 % de poros reduce el peso específico aparente en unos 120 kg/m^3 y el peso del hormigón en el cubo de 20 cm de acuerdo con la medida de compactación, de 0,65 hasta 1,00 kg. En este caso resulta una medida de compactación (0,05 ... 0,08) demasiado baja.

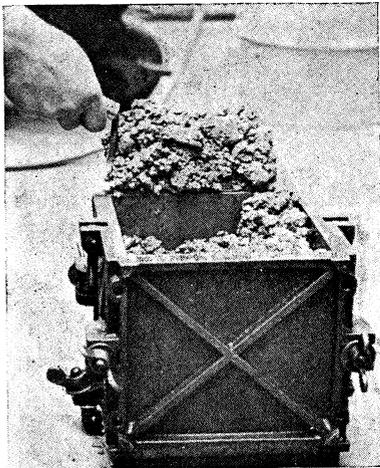


Fig. 3.—Llenado del molde cúbico mediante lenta basculación del hormigón desde los bordes del cubo.

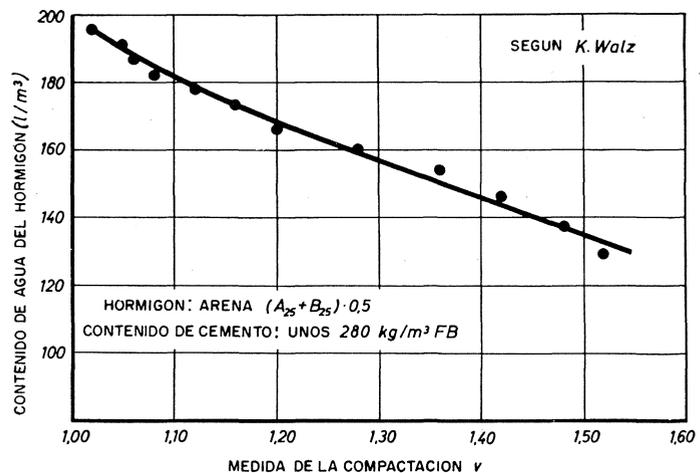


Fig. 4.—Medida de la compactación v de un hormigón con diversos contenidos de agua.

Con idénticos materiales de partida e idéntica relación de mezcla de cemento y áridos (fig. 4), la medida de compactación es tanto menor cuanto más elevado es el contenido de agua. Una inflexión en la curva granulométrica, por ejemplo, mediante disminución de la fracción de arena, hace el hormigón más blando y, en consecuencia, disminuye la medida de compactación.

La exactitud del ensayo en la medida de la consistencia es bastante grande. Los ensayos llevados a cabo por encargados de laboratorio, sin mucha práctica, dieron buena reproducibilidad [2]. Las desviaciones se encuentran entre 0,01 y 0,02.

3. DETERMINACION DE LA RELACION AGUA/CEMENTO

En la moderna tecnología del hormigón la relación A/C sigue siendo la magnitud más importante para casi todas las propiedades del hormigón endurecido. Resistencia mecánica, compactidad y resistencia contra el hielo y ataques químicos se establecen mejor con la relación A/C que con cualquier otra magnitud. En el hormigón fresco esta relación es relativamente fácil de determinar, si se conoce la relación de mezcla 1:k (cemento:áridos) o puede ser comprobada. En ese caso sólo es necesario que se calcule el contenido de agua del hormigón fresco. En la nueva ONORM B 3303 "Ensayo del hormigón" se establece la determinación del contenido de agua mediante un secado rápido del hormigón fresco. Junto a esto merece ensayar también, por su sencilla realización, el procedimiento de Thaulow que se explica a continuación con más detalle.

3.1. Determinación de la relación agua/cemento según S. Thaulow

De acuerdo con una proposición del técnico noruego del hormigón S. Thaulow [3], la relación A/C se calcula a partir del peso específico aparente de los áridos y del hormigón fresco y de la densidad del cemento y del agua. Para averiguar rápidamente la densidad de los áridos y la relación A/C se han presentado unos cuadros o diagramas, que dan una mayor exactitud que una regla de cálculo (tabla 2, figs. 5 y 6).

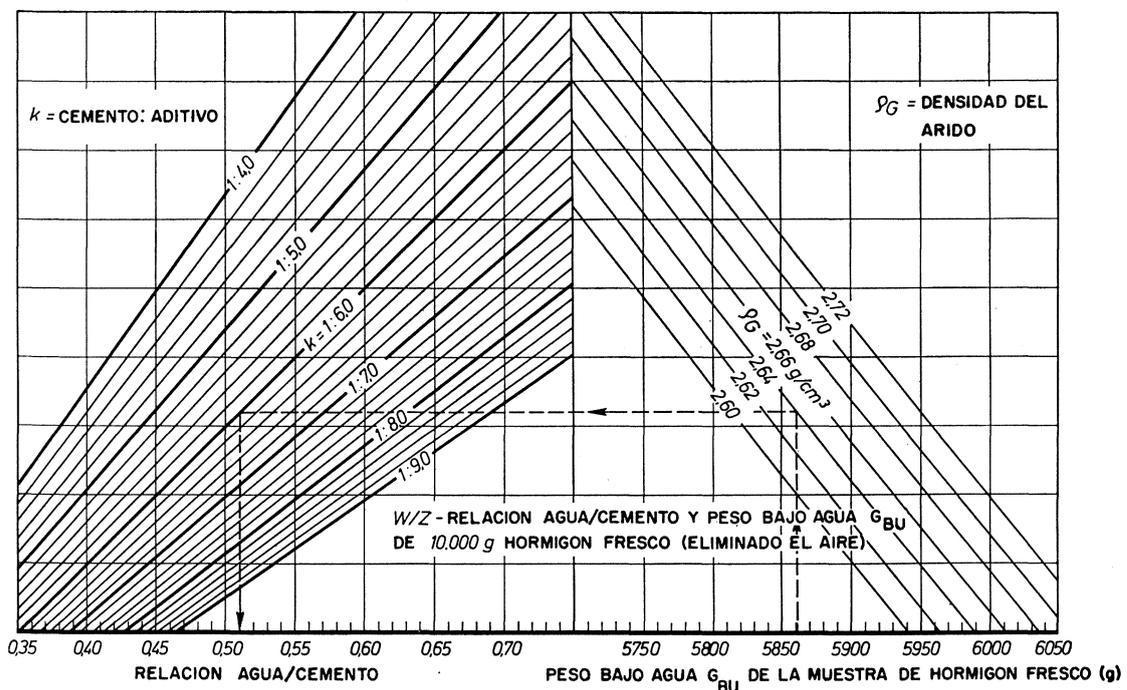


Fig. 5.—Determinación de la relación A/C, según S. Thaulow, para una densidad del árido de 2,60 a 2,72 g/cm³. (Peso del hormigón fresco 10 kg).

Ejemplo: Un peso bajo agua de 5.860 g da como resultado, para una relación de mezcla k de 1 : 6,0 y una densidad (ρ_G) del árido de 2,64 g/cm³, una relación agua/cemento de 0,51.

TABLA 2
Peso bajo agua de 5 kg de árido seco con diferente densidad.

Densidad ρ_G (g/cm ³)	Peso bajo agua G_{Gu} (g)	Densidad ρ_G (g/cm ³)	Peso bajo agua G_{Gu} (g)
2,60	3.077	2,74	3.175
2,62	3.092	2,76	3.188
2,64	3.106	2,78	3.201
2,66	3.120	2,80	3.214
2,68	3.134	2,82	3.227
2,70	3.148	2,84	3.240
2,72	3.162	2,86	3.252

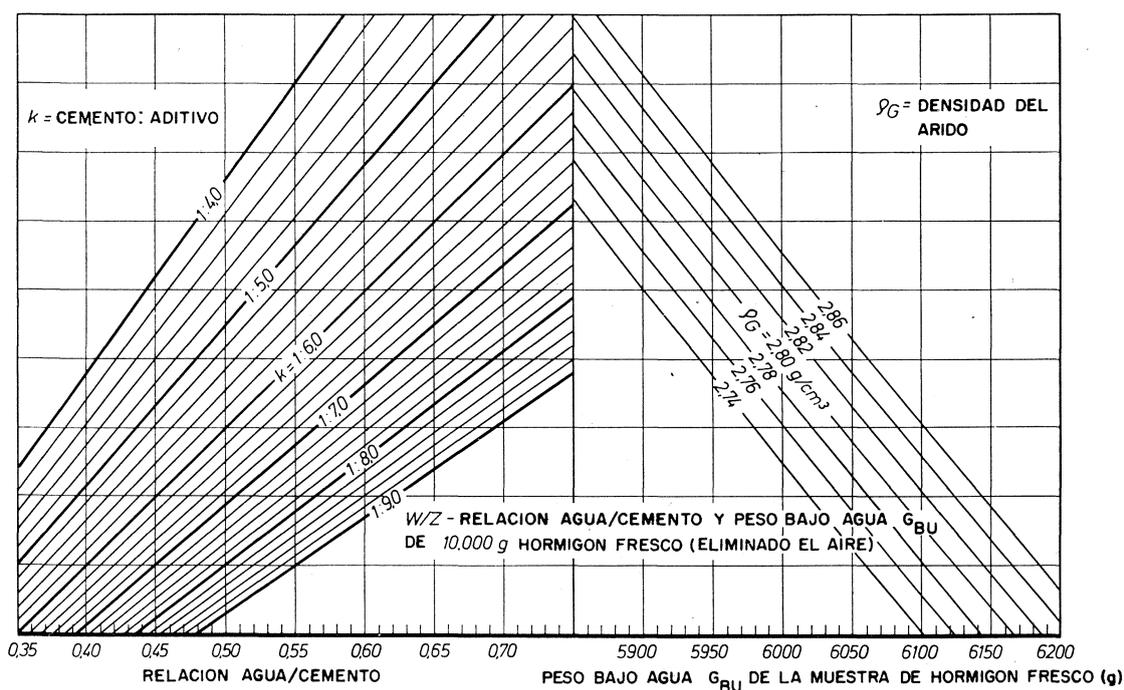


Fig. 6.—Determinación de la relación A/C, según S. Thaulow, para una densidad del árido de 2,74 hasta 2,86 g/cm³. (Peso del hormigón fresco 10 kg).

Como en el caso de la medida de la consistencia según K. Walz, también existen los aparatos necesarios para esto en cualquier obra un poco grande. Una vasija de 8 a 10 litros de contenido —lo mejor la pieza inferior de una vasija de ensayo del aire ocluido—, una placa de vidrio, una varilla agitadora y una báscula con una carga de 20 a 25 kg y una exactitud de lectura de 5 g. Esta exactitud de lectura la alcanzan las balanzas corrientes de mesa con un peso móvil y una división de la escala cada 10 g.

El procedimiento es muy adecuado para los hormigones corrientes en la práctica. Es menos adecuado en el caso de hormigones con contenidos de cemento muy reducidos (por

debajo de los 240 kg/m³) o con áridos absorbentes (por ejemplo, áridos ligeros o áridos normales con una porosidad elevada), porque en este caso hay que contar con fallos por encima de $\pm 0,01$.

3.11. Determinación de la densidad del árido

La densidad del árido empleado debe determinarse con buena precisión porque una inexactitud de 0,01 g/cm³ (2,65 g/cm³ en lugar de 2,66 g/cm³) daría como resultado una variación en la relación agua/cemento de 0,02 (0,40 en lugar de 0,42). La densidad se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$\rho_G = \frac{G_G}{G_G - G_{Gu}};$$

donde:

ρ_G = Densidad del árido.

G_G = Peso del árido seco.

G_{Gu} = Peso bajo el agua del árido seco.

Para determinar la densidad se coloca en el recipiente una cantidad de árido seco cuidadosamente pesada (generalmente 5 kg) y acto seguido se llena de agua hasta que el árido esté bien recubierto. Después se agita con una varilla hasta que ha desaparecido completamente el aire que estaba adherido al árido. Acto seguido se llena el recipiente con agua hasta el borde. Para que se conserve exactamente la altura del llenado, se desliza sobre el borde superior del recipiente una placa de vidrio y se cuida de que no permanezcan bajo éste burbujas de aire (fig. 7). Luego se pesa el recipiente lleno con la placa de vidrio y a continuación se vacía.



Fig. 7.—Enrasado del recipiente con una placa de vidrio para el llenado más exacto.

Se hace una segunda pesada con el recipiente lleno de agua solo, que se enrasó con la misma placa de vidrio. Esta pesada se sustrae de la anterior. Esta diferencia de peso es el peso del árido bajo el agua. De la tabla 2 se obtiene la densidad del árido correspondiente al peso bajo el agua.

3.12. *Determinación de la relación A/C del hormigón fresco. Para la determinación de la relación A/C del hormigón fresco se lleva a cabo la misma pesada bajo agua que con el árido.*

Si se conoce la relación de mezcla 1:k y si se ha determinado ya la densidad del árido, se puede calcular la relación A/C de acuerdo con la expresión:

$$A/C = \frac{G_B}{G_{Bu}} \left(1 + k - \frac{1}{\rho_z} - \frac{k}{\rho_G} \right) - (1 + k);$$

donde:

G_B = Peso de la muestra de hormigón fresco.

G_{Bu} = Peso bajo agua de la muestra de hormigón fresco.

k = Relación en peso de los áridos secos y el cemento.

ρ_z = Densidad real del cemento.

ρ_G = Densidad del árido.

Esta fórmula se aplica para una muestra de hormigón fresco de 10 kg en las figuras 5 y 6, donde se puede leer directamente la relación A/C (estos diagramas son válidos con cierta aproximación; no obstante las mayores desviaciones de la relación A/C son menores de 0,005). La figura 5 es válida para áridos con densidades de 2,60 a 2,72 g/cm³ y la figura 6 para 2,74 a 2,86 g/cm³.

La densidad real del cemento se ha supuesto para ambos diagramas de 3,07 g/cm³, lo que sirve con bastante aproximación para los cementos austriacos PZ 275 (H), EPZ 275 y PZ 375. Para los cementos PZ 275 (F) y HOZ la densidad real es de 2,94 a 2,98 g/cm³, y para el PZ 475, de 3,12 g/cm³. Para estos cementos resultan diagramas que se desvían algo de los representados en este trabajo.

3.13. *Influencia y notificación de posibles fuentes de error*

El peso de un recipiente para el ensayo de aire ocluido lleno de agua (8 litros) o de otro recipiente de acero similar se reduce al elevarse la temperatura 10°C en unos 15 gramos.

Por eso, la temperatura del agua y del hormigón fresco utilizados en el ensayo debe de ser constante.

Un error de 10 g en el peso modifica la relación A/C en 0,015, aproximadamente. Si se eleva la densidad del árido en 0,01 g/cm³, entonces se aumenta la relación A/C en 0,02, aproximadamente.

Un contenido de 0,25 % de agua en el árido representa una disminución de la densidad de 0,01 g/cm³.

Una absorción de agua en áridos absorbentes de 1 % de su peso aumenta su densidad hasta en 0,03 g/cm³. Si la relación A/C se determina con la densidad original, se obtiene un valor demasiado bajo, del orden de 0,05.

Por una medición defectuosa del cemento, agua y áridos, se modifica la relación de la mezcla. Con todos los procedimientos en los que se necesitan estos valores para determinar la relación A/C, los defectos permitidos en el peso conducen en la fabricación del hormigón a variaciones de la relación A/C de 0,02 aproximadamente, si los defectos de peso son de ± 3 %.

Si el peso bajo el agua se desvía del cálculo de mezcla en más de 20 g durante el control de la relación A/C, es recomendable siempre una determinación de la medida de compactación. Una modificación del contenido de agua no da como resultado sólo un hormigón más blando, sino también un peso bajo agua inferior. Variaciones en la densidad de los granos y en la relación de mezcla (1:k) o una defectuosa eliminación de aire de la muestra de hormigón fresco modifican, la mayor parte de las veces, sólo el peso bajo agua y conducen a relaciones A/C inexactas.

4. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA DE LOS ARIDOS

De la misma manera como se determina la densidad de los áridos secos (ver apartado 3.11) se puede determinar también el contenido de agua de los áridos, si se conoce la densidad de los mismos.

Para el peso bajo agua se emplea una muestra húmeda de 5 kg de peso igualmente.

El contenido de agua (%) se calcula con la fórmula:

$$A = 100 \cdot \frac{G_{Gu} - G_{Gfu}}{G_{Gu}};$$

donde:

A = Contenido de agua del árido en %.

G_{Gfu} = Peso bajo agua del árido húmedo.

G_{Gu} = Peso bajo agua del árido seco.

Del diagrama de la figura 8 se deduce el contenido de agua del árido correspondiente al peso bajo agua con la densidad ya determinada. Esta lectura del contenido de agua se hace inmediatamente en el eje de ordenadas. Un error en el peso de 30 g modifica el contenido de agua en un 1 %.

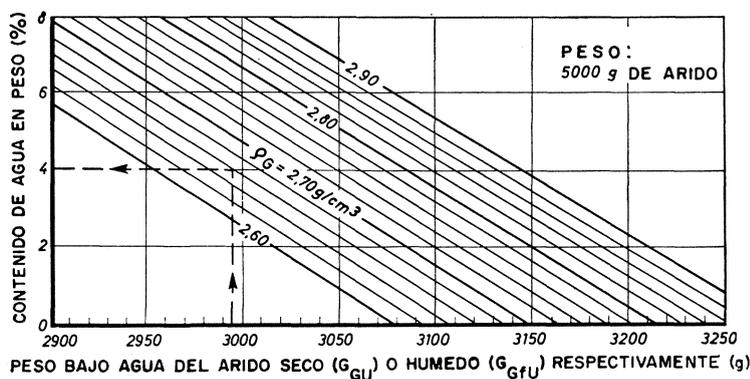


Fig. 8.—Determinación del contenido de agua del árido. (Peso: 5 kg de árido húmedo).

Ejemplo: Con una densidad del árido de $\rho_G = 2,66 \text{ g/cm}^3$ da como resultado un peso bajo agua de 2.995 g y un contenido de agua del 4 %.

5. RESUMEN

Para asegurar una buena elaboración del hormigón en obra, se debe observar el cumpli-

miento de la consistencia establecida durante todo el tiempo que dure la preparación del hormigón. Los tres tipos de consistencia se pueden determinar con poco gasto con la medida de la compactación, según K. Walz.

Para casi todas las propiedades del hormigón endurecido es determinante la relación A/C. Con el procedimiento de S. Thaulow se calcula, por pesada bajo agua, la densidad del árido y del hormigón fresco, y partiendo de ahí se calcula la relación A/C con ayuda de la relación de mezcla. Este procedimiento es muy adecuado también para la determinación del contenido de agua de los áridos. Para la práctica se han desarrollado cuadros y diagramas sencillos. Se ha investigado también la influencia de posibles fuentes de error.

B I B L I O G R A F I A

- [1] Transportbeton: Vorläufige Richtlinien für Herstellung und Lieferung. Schriftenreihe des Österreichischen Betonvereins, H. 4.
- [2] WALZ, K.: Kennzeichnung der Betonkonsistenz durch das Verdichtungsmaß v. beton 14, 1964, H. 11, S. 505/509.
- [3] THAULOW, S.: Betongkontroll pa Byggeplassen. Utgitt av Norsk Cementforening, Oslo 1953.
- [4] DIN 1048 E Beuth-Vertrieb GmbH., Berlin 30 und Köln, März 1968.