

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

688-6 CONDICIONES PARA LA PRODUCCION DEL HORMIGON DE ALTA CALIDAD

(Voraussetzungen für die Herstellung hochwertigen Betons)

H. J. Peters

De: "BETONSTEIN ZEITUNG", vol. 20, nº 6, junio 1954, pág. 242

Las altas calidades del hormigón, precisas para el hormigón pretensado, hacen necesarias unas discusiones previas para ver qué materias primas, condiciones de mezcla, procedimientos de tratamiento, aparatos, etc., permiten conseguir, con toda garantía y economía, las calidades requeridas en los hormigones.

Ha de concederse preferencia al problema de los áridos - (consúltese DIN 1045, 4225), porque los restantes problemas dependen, en gran parte, de él. Los áridos se emplean en grupos separados de granulometría, propios para el esfuerzo a que se ha de someter el hormigón. Interesa emplear aquella forma de grano que permita obtener un hormigón más denso, y con ello más resistente, desde el principio, con el mínimo gasto posible. Si no se dispone de grano esférico, debe elegirse una curva granulométrica superior, a no ser que se quiera reforzar el trabajo de compactación.

De forma segura y económica se obtienen también hormigones de altas calidades con granos del mayor tamaño posible. El restante grano grueso se ajusta según la finalidad de empleo del hormigón y la posibilidad de fabricar y compactar este hormigón. Cuanto mayor es el grano grueso, más pequeña debe ser, en general, la parte de arena, sin que la docilidad sufra por eso. Al disminuir la par

te de arena, desciende la necesidad de agua, y con ella, la de cemento. Así se puede obtener, por ejemplo, un hormigón 300 con grano 0/30 mm. con la mitad de cemento que un hormigón 300 con grano 0/7 mm. En otros casos es necesario un empequeñecimiento del grano grueso; la cantidad de cemento se ha de elevar, entonces, al doble, para alcanzar una resistencia igual. Simultáneamente se ha de calcular la cantidad de agua, conforme a la relación agua/cemento. Las mezclas más ricas en cemento poseen una gran retracción.

En general se elegirá una curva granulométrica de acuerdo con DIN 1045. Puede suceder que sea difícil proporcionar una granulación aislada, por lo que se debe trabajar con curvas granulométricas discontinuas (granulación deficiente). En tales casos no deben omitirse arbitrariamente grupos de granulación, sino solamente aquéllas que no disminuyen la densidad. El empleo de granulación deficiente presupone experiencias y muchas investigaciones previas. Empleada rectamente permite alcanzar, con contenidos bajos de cemento, altas resistencias. Se comprueba especialmente, frente a los áridos con una curva granulométrica continua, un mejoramiento de la resistencia a la tracción con flexión. Paralelamente a esto, existe una menor inclinación a la retracción.

Por lo demás, con curva granulométrica continua o no, la distribución de granos está dentro de las fracciones de significación (figura I), por lo cual se centra la principal atención a la composición de la arena, con lo que se producen hormigones pobres en cemento, y por ello con pequeña retracción. Especialmente importante es la parte de arena fina, por debajo de 0,2 mm., que, en cantidad suficiente, debe existir como relleno de poros. Un exceso de arena fina devora cemento innecesario (la cantidad de cemento ha de ser, por lo menos, de 400 a 425 Kgrs. con un grano por debajo de

0,2 mm., en un m³ de hormigón 0/30 mm. y, en un hormigón más fino mayor cantidad de kilogramos). Reduce, a causa de la alta necesidad de agua, la resistencia. Si en el árido empleado no está incluida la cantidad necesaria, se ha de suministrar polvo de piedra, cenizas volantes, etc. Los cementos con tiempo corto de fraguado requieren más partes finas y, al contrario, los cementos con tiempos largos.

Se puede renunciar a una parte de tales finos si se añade al hormigón un medio fluidificante, en el supuesto de que el medio es compatible con los cementos que se emplean. Tales medios reducen la necesidad de agua y mejoran, por consiguiente, la docilidad, produciendo, en igualdad de trabajo de compactación, un hormigón más denso. No se utilizan dichas adiciones, sin embargo, sin disminuir al mismo tiempo la cantidad de agua de amasado, porque se puede producir un retroceso en la resistencia. La misma adición tiene diferente efecto según la marca, clase y calidad de los cementos. Será necesario, por regla general, examinar las cantidades de adiciones, calculadas e indicadas por el productor, con determinados cementos y bajo ciertas condiciones, en cuanto a la utilidad para el hormigón a producir. Esto sirve especialmente para las adiciones aireantes, en las cuales una sobredosificación conduce a una resistencia considerablemente menor. Quien quiera asegurarse, comprobará el contenido de aire que se origina.

En la elaboración del hormigón se ha de comprobar la relación de mezcla fijada, debiendo atenerse a la misma, para que, elaborando el hormigón de acuerdo con ella, se puedan alcanzar las calidades solicitadas para el mismo. La única garantía para la medida exacta de las partes integrantes, se halla en la adición en peso de las materias primas.

La figura II muestra la dependencia del peso específico de los diferentes grupos de granos de áridos, a su contenido de humedad. Se ve claramente que con contenido creciente de humedad tiene lugar un entumecimiento de la mezcla de áridos; con una cierta saturación de agua disminuye de nuevo. De acuerdo con esto, frecuentemente, este entumecimiento cambia de hora en hora, unas veces más y otras menos, si la adición de áridos a la mezcla se hace en volumen, de forma que con contenido constante de cemento se pueden obtener diferentes resistencias, especialmente si en la cantidad del agua de amasado no se tiene en cuenta la humedad propia.

El cemento necesita, según las disposiciones, solamente determinación en peso o por sacos completos; en el caso de cemento de silo, ha de añadirse mediante balanzas. También los áridos debían pesarse. Puede omitirse esta operación, pero, por lo menos, se han de utilizar cajas de medida regulables.

El contenido de agua del hormigón, dependiente de la clase de cemento y de la composición de los áridos, debe ser, si es posible, bajo, mas ha de ser lo suficientemente grande para que el hormigón se pueda elaborar y compactar inmejorablemente, sin que se produzca segregación. El contenido en agua, o, más exactamente, la relación agua/cemento, tiene la influencia más significativa sobre la calidad del hormigón. La figura III indica la dependencia de la resistencia del hormigón a la compresión al valor de la relación agua/cemento. Se observa cuán rápidamente, incluso para una relación agua/cemento poco creciente, disminuye la resistencia a la compresión. La justa proporción del contenido en agua, y con ello la garantía de igual calidad del hormigón, depende, en el caso de insuficientes aparatos de medida, por completo, de la eficacia de la mezcladora. Si se reflexiona que, por ejemplo, para un valor de la

razón agua/cemento de 0,5, 3 litros más de agua tienen el mismo efecto sobre la calidad del hormigón que una disminución del contenido de cemento en 6 Kg., se debía prestar más atención al agua de amasado y adquirir un contador del gasto de agua -que trabaje exactamente- especialmente si se han de elaborar grados variables de hormigón. Los aparatos de medida más corrientes son, para las actuales calidades de hormigón, apenas suficientes, pues sólo permiten anular imprecisamente las variaciones. La adición de agua en cubos es un procedimiento injustificable.

La mayoría de las veces es necesario atenerse exactamente a un determinado valor de la relación agua/cemento, sobre todo si el hormigón debe ser unas veces más consistente y otras más débil. La cantidad de cemento debe variarse de acuerdo con el contenido de agua; el valor de la relación agua/cemento permanece como símbolo de la calidad. Si no tiene lugar el ajuste del contenido de cemento, las consecuencias son considerables disminuciones de la resistencia. La justa cantidad de cemento y su calidad -la última, especialmente, respecto a las altas resistencias iniciales- tiene gran influencia sobre la calidad del hormigón (fig. IV). Supuesto que la composición del hormigón permanece constante, su resistencia a la compresión varía algo en relación con la resistencia a la compresión, de acuerdo con las normas del cemento. Al hormigón no debe añadirse más cemento que el necesario para alcanzar la resistencia deseada, con lo que la retracción permanece pequeña. Por otra parte, dicha cantidad no ha de ser inferior al mínimo que fijan las normas DIN 1045 para garantizar el recubrimiento seguro del refuerzo. Composiciones defectuosas del hormigón exigen más cemento. Cementos viejos poseen una fuerza adhesiva menor que los frescos, y, por consiguiente, deben excluirse de empleo.

El tiempo que hay para la producción o el aprovechamiento económico de la organización de la instalación pueden, en ciertos casos, ser motivo para pasar a una calidad mejor de cemento. Cementos de calidad superior pueden provocar, sin embargo, una mayor retracción del hormigón, y poseen una temperatura superior de fraguado, por lo cual un cemento mejor no es, en todos los casos, la panacea, sino que necesita un empleo con total comprensión de que las diferentes clases de cementos requieren distintas manipulaciones y tratamientos posteriores.

Se alcanzan altas resistencias iniciales con cementos aluminosos, que se diferencian fundamentalmente del cemento Portland en que sus partes componentes esenciales son las uniones de cal con alumina, en lugar de con ácido silícico. A esta diferencia química se debe que en el fraguado normal tenga lugar un endurecimiento rápido, fuera de lo corriente. Con una cantidad de cemento de 300 kg/m^3 se puede esperar, después de 10 h., una resistencia de unos 150 kg/cm^2 , y después de 24 h., de 400 kg/cm^2 . El cemento aluminoso necesita, sin embargo, más agua de amasado que los cementos corrientes, pues no se apodera tan rápidamente del agua. Se producen, fácilmente, temperaturas de fraguado por encima de 100°C . El cemento aluminoso es de fraguado corto y necesita una curva granulométrica superior a la de los cementos corrientes; necesita especialmente que no falten granos finos. Se ha de evitar la mezcla con otros cementos, pues da lugar a un fraguado rápido.

Además de con cemento 425 y cemento aluminoso, se alcanzan rápidamente altas resistencias del hormigón por tratamiento del mismo con vapor recalentado, a presión o no, pues el fraguado y el endurecimiento del cemento se aceleran con temperatura creciente. Al mismo tiempo, por este tratamiento, aumenta la resistencia del

hormigón contra las acciones químicas, y disminuye la tendencia a la retracción. La elección de uno de dichos procedimientos depende esencialmente del tiempo de que se dispone y de las temperaturas - que se pueden alcanzar con la instalación existente. El crecimiento de la resistencia del hormigón es proporcional al producto del tiempo de tratamiento por la temperatura, es decir, 1 h. de endurecimiento al vapor a 50°C tiene aproximadamente la misma influencia que un tratamiento de 2 h. a 25°C. Las temperaturas altas (y tiempo correspondiente de tratamiento corto) se han de evitar, pues un calentamiento demasiado rápido del hormigón conduce a grandes diferencias de temperatura en el cuerpo del hormigón, y se producen resquebrajaduras. Las grandes piezas son más sensibles que las pequeñas, por lo cual, en las primeras, el calor debe actuar más despacio. Con presión de vapor creciente aumenta, en general, además de la resistencia inicial, la final.

Se obtienen buenos resultados en la producción de hormigón con altas resistencias iniciales, empleando aceleradores.

Acarreo incomprensible del hormigón, compactación defectuosa e insuficiente tratamiento posterior pueden llevar al fracaso todos los esmeros en la elección de las materias primas y de la composición de la mezola. Por lo tanto, el hormigón ha de acarrear se antes de que comience el endurecimiento, para que no se produzca segregación, y después se compacta suficientemente. La compactación a mano debía eliminarse, en general, en el hormigón de calidad. Son muy indicados los aparatos mecánicos, especialmente los aparatos de vibración, por ej., vibradores internos, externos, de mesa, etc., que deben estar dispuestos y existir en tal número que se lleve a vibración, simultáneamente, toda la masa de hormigón. - Por las vibraciones comunicadas al hormigón, se disminuye el roce

entre los granos, la lechada de cemento (cemento más agua) se fluidifica y se expulsa el aire, de forma que se alcanza una disposición más compacta de los áridos y una adhesión superior al refuerzo metálico. El efecto de fluidificación produce una reducción del contenido en agua, por lo que solamente el hormigón más compacto es propio para la vibración. En otros casos se origina una mezcla imperfecta, con caída de la resistencia. La parte superior de la pieza, no obstante la vibración general, se ha de compactar adicionalmente por medio de un vibrador superficial para obtener un hormigón proporcionalmente compacto.

Mientras que el hormigón no es suficientemente resistente necesita una protección, que le preserve de cualquier daño, especialmente de sacudidas y de desecación. Elementos de construcción de espesor reducido son más sensibles que los macizos. Deben, por lo tanto, disponerse en lugares donde estén libres de sacudidas. Cubriendo con paños o esterillas húmedos, por regado tenue, por un barnizado contra la evaporación, etc., se han de proteger contra la desecación. La extensión y duración del tratamiento húmedo está influido considerablemente por la clase, calidad y cantidad del cemento y por la clase y composición de los áridos. Estas diferencias se han de tener en cuenta para conseguir altas resistencias y para que la retracción sea lo más baja posible.

La práctica ha probado hasta la saciedad que la consideración de todas estas influencias decisivas permite alcanzar calidades superiores del hormigón. S. F. S.

- - -

CONDICIONES PARA LA PRODUCCION DE HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA

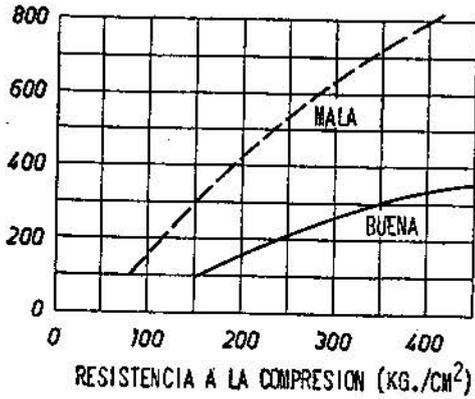


Fig. I.—Cantidad necesaria de cemento para la obtención de una determinada resistencia a la compresión, con áridos de composición granulométrica buena y mala.

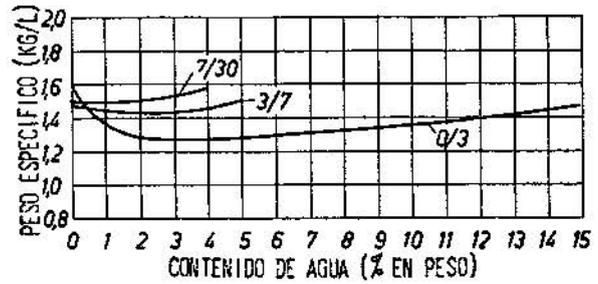


Fig. II.—Peso específico de grava 0/30 mm. y arena 0/3 y 3/7 mm., en función del contenido de humedad.

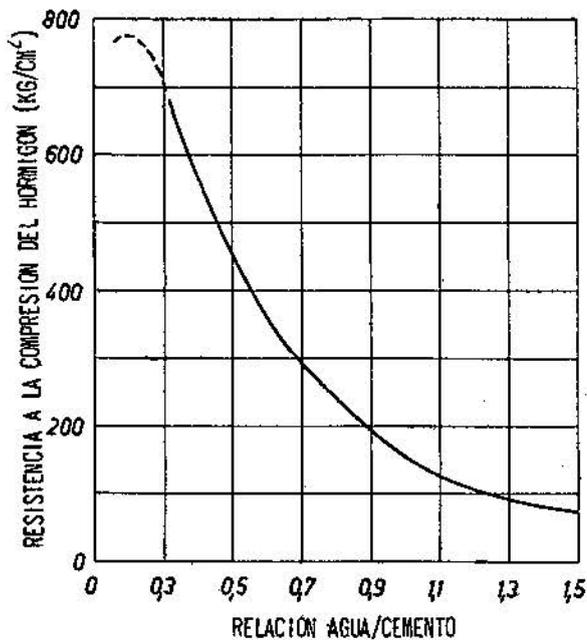


Fig. III.—Resistencia media a la compresión del hormigón, determinada sobre probetas cúbicas de 20 cm., en función de la relación agua/cemento, con composición granulométrica óptima del árido.

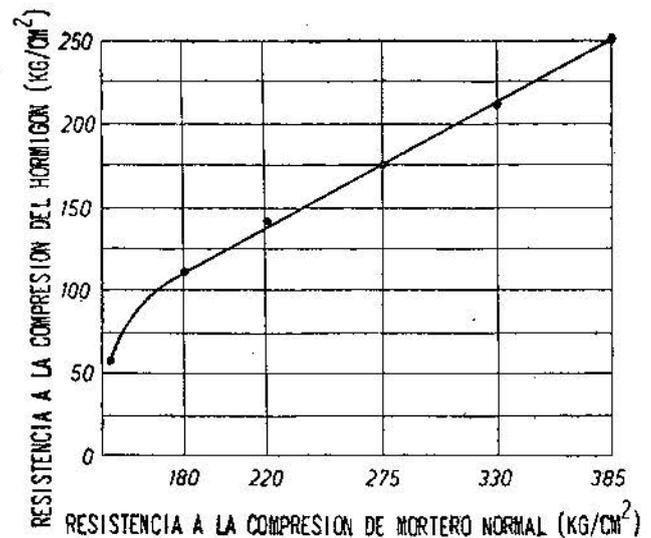


Fig. IV.—Resistencia a la compresión de hormigón con 300 kg. de cemento y 190 l. de agua, en función de la calidad del cemento, expresada por la resistencia a la compresión del mortero normal.