Materiales de Construcción Vol. 13 nº 111
Julio, agosto, septiembre de 1963

687 - 20

la determinación del agua de amasado en morteros y hormigones fraguados

MANUEL DEL CAMPO

Doctor en Ciencias Químicas del Laboratorio Central de Ensayos de Materiales de Construcción

Las características mecánico-resistentes de un hormigón son función, entre otras variables, de las cantidades de cemento y agua de amasado utilizadas en su fabricación. Los métodos de análisis que actualmente se emplean para conocer la dosificación de un hormigón fraguado, se limitan a determinar la cantidad de cemento empleada en el mismo. El autor de este trabajo describe un procedimiento sencillo, por el que se puede hallar, con gran precisión, la cantidad de agua con la que fue amasado un hormigón ya endurecido. Con ello se logra un conocimiento mucho más completo de la dosificación de hormigones fraguados, y así podrán explicarse algunos anómalos comportamientos de determinados hormigones en obra.

Con mucha frecuencia se presenta en los Laboratorios de control de ensayos de materiales de construcción la necesidad de tener que determinar las causas por las que un mortero u hormigón no cumple con las condiciones de resistencia mecánica para los que fueron proyectados.

En términos generales puede decirse que la resistencia mecánica de un mortero u hormigón es, en la mayoría de los casos, su propiedad más característica y el índice que se utiliza para establecer su calidad.

Pero no es menos cierto que esa propiedad es función de una serie de variables responsables, en mayor o menor escala del resultado final. En efecto, las características específicas de los materiales utilizados en su confección, el cálculo adecuado de la dosificación de los mismos, su correcto amasado y transporte a la obra y el cuidado en su colocación y posterior curado, son aspectos importantes a tener en cuenta para conseguir el fin propuesto.

Confirma tal aserto el hecho de que en las fórmulas matemáticas, que a lo largo del tiempo se han ido estableciendo para calcular la resistencia de un hormigón, se ha tenido en cuenta, de un modo más o menos explícito, lo indicado anteriormente. Así, Feret fijó hace cincuenta años que la resistencia R de un hormigón viene dada por la fórmula:

$$R = K\left(\frac{c}{c+a+h}\right)^2,$$

en la que K es un parámetro que depende de la calidad del cemento, tipo de curado, etc., y c, a y h, los volúmenes absolutos de cemento, agua y huecos.

De un modo análogo, Abrams, en el año 1919, y como consecuencia de un estudio experimental muy completo, sugirió la siguiente fórmula:

$$R = \frac{A}{B^{1/z}},$$

en la que A y B son parámetros que dependen de las características de los materiales y edad del hormigón, y z, la concentración.

Recientemente, C. de la Peña (*) (1), en un trabajo sobre dosificación de hormigones, realizado en el Laboratorio Central, y basándose en la fórmula de Bolomey, ha establecido una nueva fórmula de cálculo, que se recoge en la Instrucción H.A. 61, del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, y según la cual la resistencia de un hormigón viene dada por:

$$R = \frac{R_m}{k_2}(z - 0{,}5),$$

en la que R_m es la resistencia a compresión del mortero normal a tres, siete o veintiocho días en kg/cm²; k_2, un parámetro cuyo valor es función de la edad del mortero y de la clase de

(*) La bibliografía consultada se da al final del trabajo.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

árido empleado en el hormigón, y z, la concentración de la pasta o relación cemento/agua.

Pero de todos los factores enumerados, que de hecho influyen en la resistencia final del producto fabricado, algunos de ellos escapan por completo a la posterior fiscalización, cuando se trata de aclarar las causas determinantes de su mal comportamiento. No se puede deducir de la observación y análisis de un hormigón endurecido, si sus componentes fueran incorrectamente amasados, deficientemente transportados a obra o inadecuadamente curados en la misma. La medida de la oquedad puede ser, ciertamente, un índice de que alguna de esas facetas no fue realizada correctamente, pero de ello puede ser igualmente responsable una impropia dosificación o puesta en obra del producto, siempre y cuando tal estructura no se haya creado intencionadamente y con fines determinados por la adición de un aireante.

Análogamente, las características específicas de los materiales empleados en la fabricación del hormigón, tampoco se pueden deducir del análisis del mismo. En general, y para poder obtener conclusiones definitivas en este sentido, es necesario analizarlos aisladamente para comprobar si cumplen con las especificaciones establecidas a tal fin en los respectivos Pliegos de Condiciones.

La dosificación parcial de los componentes que integran un hormigón endurecido, es realmente la única variable que se puede llegar a deducir del análisis del mismo. En efecto, los métodos establecidos hasta la fecha permiten determinar, con mayor o menor exactitud, las cantidades, en peso o volumen, de cemento y árido, utilizadas en la fabricación del producto, y en determinados casos se puede incluso llegar a establecer la composición granulométrica del árido empleado. Los trabajos de investigación realizados en este sentido son muy numerosos. Las publicaciones números 38 y 48 de este Laboratorio recogen la aportación de los doctores Coronas e Iranzo (2) al tema, y puede citarse igualmente los trabajos de Florentín (3), Goria y Appiano (4), Bowden (5), Butcher (6), Brocard (7), etc., etc.

Pero si el hecho, de poder llegar a conocer las cantidades de cemento y árido utilizados en la fabricación de un hormigón, es de por sí un dato importantísimo que en muchos casos sirve para justificar su comportamiento, no es menos cierto que en otros, tales datos no aclaran el problema planteado.

Son muchas las ocasiones que se nos han presentado en el desempeño de nuestra actividad profesional, en las que hemos comprobado que hormigones fabricados con una correcta dosificación de cemento y árido presentan un mal comportamiento desde el punto de vista mecánico resistente. La mayoría de las veces, ello no puede atribuirse, ni a una deficiente calidad de los materiales, ni tampoco a una inadecuada puesta en obra del producto.

De los tres componentes fundamentales que constituyen un mortero u hormigón—cemento, árido y agua—, dos de ellos tienen un carácter eminentemente activo. Tales son el cemento y el agua. Es sabido que ambos influyen en las características finales del producto elaborado.

Conocida la importancia del cemento, puede igualmente demostrarse que la cantidad de agua de amasado, utilizada en la fabricación de un hormigón, tiene un valor decisivo en las resistencias que ha de alcanzar el producto.

Del examen crítico de la fórmula matemática propuesta por Abrams, para calcular esa resistencia, se observa que si se adopta para el parámetro A el valor 1.000, que es aplicable en la mayoría de los casos, y para B el valor 10,6, también deducido por Abrams para los hormigones fabricados con cemento portland de resistencia media, el valor de la resistencia mecánica del hormigón pasa de 95 kg/cm² a 307 kg/cm², cuando la concentración de la pasta activa, esto es, la relación cemento/agua, aumenta de 1 a 2. Es decir, que la resistencia se triplica cuando se dobla la concentración.

A las mismas conclusiones llegaríamos al aplicar tal razonamiento a cualquiera de las otras fórmulas matemáticas propuestas para el cálculo de la resistencia. De todo ello se deduce que la cantidad de agua a utilizar en el amasado de un hormigón, que es función, entre otras cosas, de las características del árido, de su granulometría y de la forma de puesta en obra, tiene un valor mínimo que nos dará el valor máximo de la concentración de la pasta. Todo exceso de agua que se añada a partir de ese mínimo aconsejable, disminuirá el valor de la concentración e irán en detrimento de la resistencia, y análogamente el empleo de una menor cantidad iría igualmente en perjuicio de las características mecánicas del producto elaborado.

Se llega, pues, a la conclusión de que en el estudio analítico de un hormigón fraguado, si el conocer el contenido de cemento es un factor importante, también lo ha de ser el poder llegar a precisar la cantidad de agua que se utilizó en su amasado. Los trabajos realizados hasta la fecha para poder llegar a fijar esta variable son ciertamente escasos. Pretendemos con este nuestro, dar a conocer los buenos resultados obtenidos con el método experimental que después exponemos.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Consideraciones previas

Al amasar el cemento anhidro con una cierta cantidad de agua, se forma, en primer lugar, una masa plástica, moldeable, que poco a poco, y en función del tiempo, va perdiendo su plasticidad, y simultáneamente va desapareciendo el aspecto mojado que al principio tenía. Tecnológicamente se dice que la pasta está fraguando. El proceso continúa, y llega un momento en el que aquélla deja de ser plástica para transformarse en un cuerpo rígido. Cuando se produce ese cambio en su estructura, se dice igualmente que ha terminado el período de fraguado y se ha iniciado el de endurecimiento.

Responsable de todo ello son la serie de reacciones químicas que tienen lugar entre el cemento anhidro y el agua de amasado.

Sin discriminar el mecanismo que da origen al fraguado y endurecimiento de la pasta, que además de su complejidad escapa por completo al objeto de este trabajo, lo cierto es que aquélla, en términos generales, retiene el agua de amasado en dos formas distintas:

a) Como parte integrante de los nuevos compuestos químicos que se han formado.

b) Como agua no combinada, ocluida en el seno de la masa.

El carácter poroso del producto fraguado se deberá al crecimiento y entrecruzamiento de las nuevas fases que se producen, a la presencia de burbujas de aire que puedan introducirse como consecuencia de la puesta en obra del material, y al agua ocluida en el seno de la masa, que, o bien termina por reaccionar con la fase no hidratada, o por capilaridad y evaporación, puede llegar a escapar del sistema. De ahí, el que las cantidades, características granulométricas de los materiales que constituyen la mezcla, su correcto amasado y puesta en obra, y su posterior curado, sean factores importantes en la estructura final del producto fraguado y por ende responsables de su resistencia mecánica.

Pero si el agua no combinada abandona el sistema, por un proceso de desecación natural, determina el que aparezca en el mismo una serie de cavidades, una red más o menos capilar, cuyo volumen total será igual al volumen del agua evaporada. Parece igualmente lógico suponer, que si a ese cuerpo desecado se le sumerge en agua, vuelvan a rellenarse los espacios vacíos que la evaporación de aquélla originó por un mecanismo inverso al anterior. Si ello es así, nos encontraríamos con que en ese momento el producto fraguado contendría la misma cantidad de agua no combinada químicamente que en el momento de su puesta en obra. Cualquier procedimiento que en esas condiciones permita separar del producto el agua total (combinada y no combinada químicamente), servirá igualmente para conocer la cantidad de agua utilizada en su amasado.

Basado en estas mismas consideraciones, publica Blackman (8), en el año 1954, un trabajo en el que pone de manifiesto que puede llegarse a conocer el agua de amasado de un hormigón endurecido, determinando la pérdida de peso que experimenta el producto fraguado si previamente se ha mantenido en agua durante veinticuatro horas, y posteriormente se calcina a 700 grados centígrados.

Los resultados que se deducen del trabajo de Blackman parecen ser suficientemente aproximados, pero la técnica de llegar a ellos presenta, a nuestro juicio, los siguientes inconvenientes:

a) El tiempo de imbibición de veinticuatro horas es corto para que un hormigón endurecido adquiera la condición de «saturado». Tal inconveniente ya lo apunta su autor en el trabajo que se comenta, pero fija ese plazo con objeto de no prolongar demasiado el ensayo.

b) La temperatura de 700° C la consideramos muy baja para conseguir eliminar totalmente el agua absorbida o combinada químicamente de una masa de hormigón fraguado.

c) El método no puede ser aplicable más que a hormigones fabricados con áridos silíceos, ya que si fuera necesario elevar la temperatura por encima de 700° C se produciría una descarbonatación del árido de tipo calizo, que falsearía los resultados obtenidos.

Con objeto de establecer un procedimiento más general y válido, cualquiera que sean las características del árido empleado en la preparación del hormigón, hemos puesto a punto un nuevo método de ensayo, cuyas principales características son las siguientes:

1.ª Saturar el hormigón en agua hasta obtener un peso constante del mismo.

2.ª Deshidratar totalmente el hormigón saturado, a la temperatura necesaria, para conseguir tal condición.

3.ª Condensar el vapor de agua producido en el proceso de la deshidratación para poder, al final del ensayo, medir exactamente el agua recogida.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Conocido en cada caso el volumen de muestra ensayada, se puede, de forma inmediata, calcular los litros de agua por metro cúbico con que ese material fue amasado.

Las ventajas que nuestro procedimiento ofrece, respecto al método propuesto por Blackman, son las siguientes:

1.ª Al saturar el hormigón en agua, hasta obtener un peso constante, nos aseguramos, de forma terminante, que todos los huecos accesibles que presenta la estructura del hormigón se han rellenado de agua. El tiempo necesario para conseguir tal estado, varía ciertamente de unos hormigones a otros, pero, en general, es suficiente que permanezcan en agua un plazo de cuarenta y ocho horas.

2.ª Al no limitar la temperatura de deshidratación a 700° C, aseguramos con ello el que aquélla se ha producido de una forma total. Hemos podido comprobar que, por encima de aquella temperatura continua, el proceso de destilación y la temperatura se sigue elevando hasta que cesa por completo la eliminación de agua.

3.ª Como la temperatura alcanzada en nuestras condiciones de ensayo es lo suficientemente elevada para producir una descarbonatación total o parcial, cuando el árido utilizado en la fabricación del hormigón es de tipo calizo, se ha adoptado el sistema de condensar el vapor de agua producido y medir la cantidad de agua recogida en lugar de determinar la pérdida de peso que experimentó el producto fraguado, que en nuestras circunstancias sería superior al correspondiente al agua de amasado. Por este procedimiento el método es válido, cualquiera que sea la naturaleza del árido empleado en la fabricación del hormigón.

Para poder llevar a efecto la deshidratación total del hormigón fraguado hemos utilizado un dispositivo que, esquemáticamente, se indica en la figura 1, y del que da idea real la figura 2.

Consiste, esencialmente, en una caldereta metálica, provista, en su parte superior, de una salida, que se une a un refrigerante de vidrio, en el que se condensa el vapor de agua que se forma en el período de calcinación. La caldereta se coloca en un horno—que, en nuestro caso, quema una mezcla gas-aire—que permite elevar la temperatura hasta 1.200° C.

Para evitar que durante el período de calentamiento se puedan producir pérdidas que determinarían el falseamiento de los resultados, la tapa de la caldereta va provista de una junta de cobre que permite asegurar el cierre hermético de la misma. La tapa lleva, además, soldado un tubo metálico que penetra en el interior de la caldereta, y que sirve para colocar en él un par termoeléctrico, con el que se controla la temperatura del interior.

Parte experimental

Se han preparado cuatro tipos de hormigones de las siguientes características:

Hormigón número 1.—Grava y arena silícea; compactación por picado.

Hormigón número 2.—Grava y arena caliza; compactación por picado.

Hormigón número 3.—Grava y arena silícea; compactación por vibrado.

Hormigón número 4.—Grava y arena caliza; compactación por vibrado.

En el cuadro 1 se recoge el análisis granulométrico de los áridos silíceo y calizo utilizados en la fabricación de los cuatro tipos de hormigones.

CUADRO 1.—Análisis granulométrico de los áridos.

Lado de abertura en mm	PROPORCION EN TANTO POR CIENTO QUE PASA POR CADA TAMIZ			
	Grava silícea	Arena silícea	Grava caliza	Arena caliza
40,000	100,0	100,0	100,0	100,0
20,000	40,5	100,0	78,0	100,0
9,300	1,0	100,0	44,5	100,0
4,450	0,0	100,0	7,2	100,0
2,120	0,0	85,9	1,5	70,6
1,230	0,0	47,8	1,2	56,9
0,560	0,0	28,5	0,9	34,7
0,330	0,0	3,9	0,7	20,4
0,147	0,0	1,8	0,6	14,1

Se ha utilizado un cemento tipo portland P-350 que respondía a las siguientes características químicas:

Sílice (SiO_2) %	20,0
Alúmina (Al_2O_3) %	6,4
Oxido férrico (Fe_2O_3) %	1,9
Cal (CaO) %	61,9
Magnesio (MgO) %	1,1
Sulfatos (SO_3) %	2,6
Pérdida al fuego %	2,7
Insolubles %	2,8
Alcalis y sin dosificar %	0,6

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

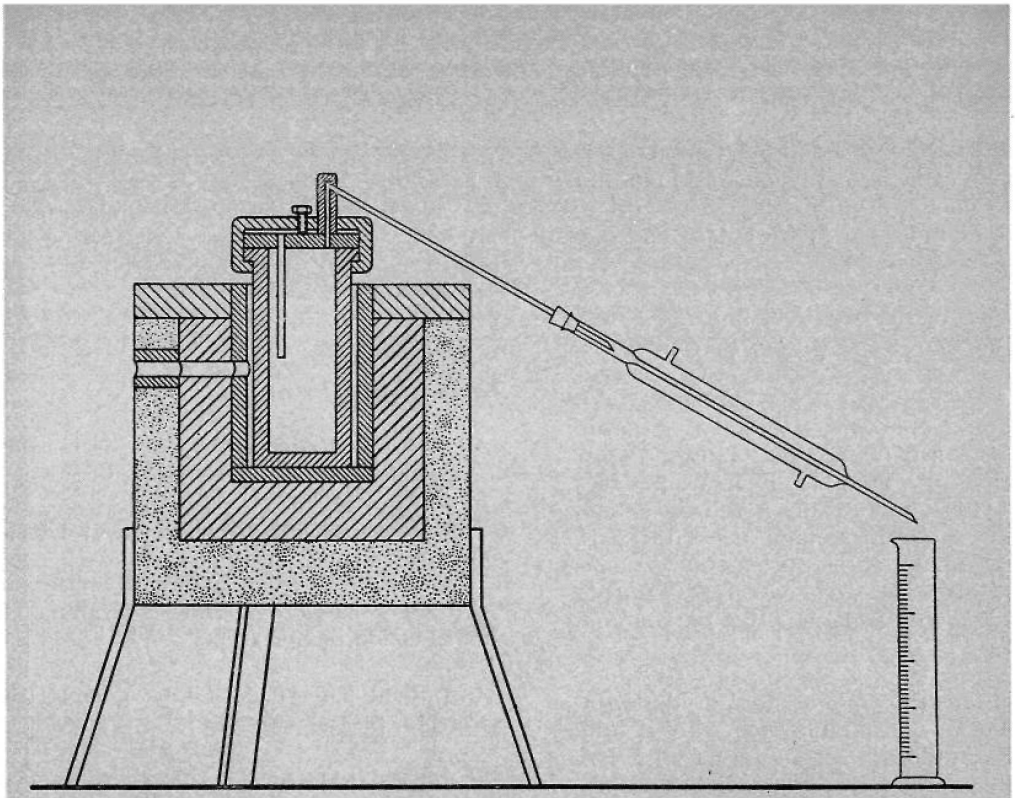
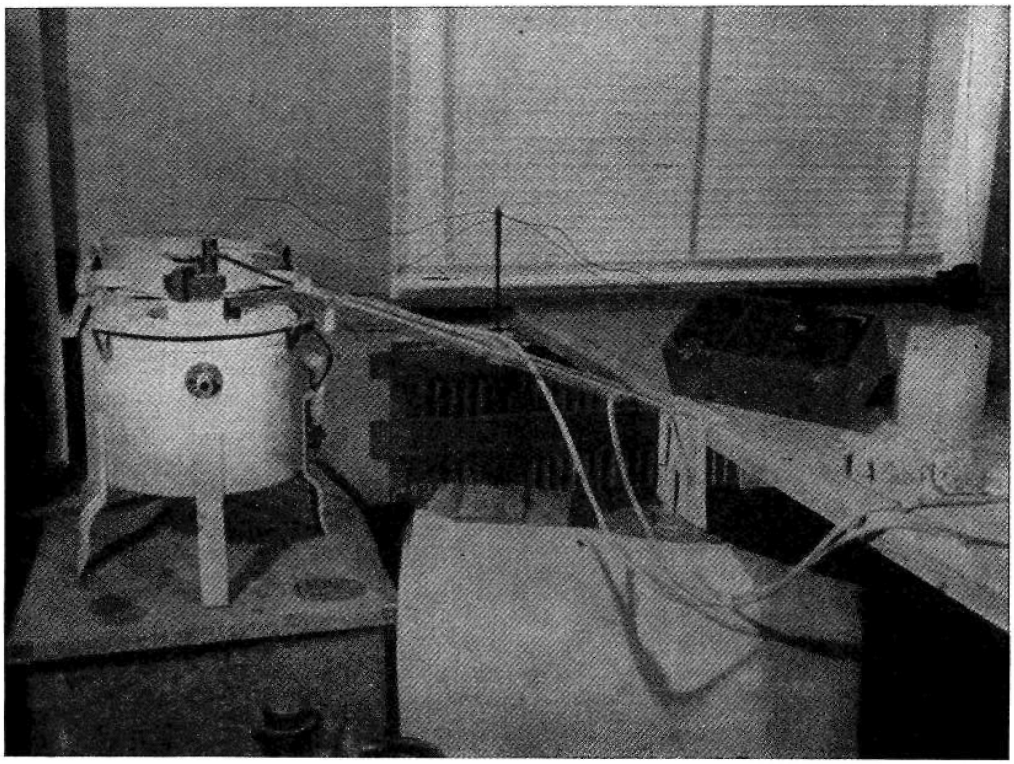


Fig. 1

Fig. 2



© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

En el cuadro 2 se recogen los datos de las dosificaciones utilizadas en cada caso.

CUADRO 2. Composición de los hormigones preparados.

Dosificación por m³ de hormigón	HORMIGON NUM. 1	2	3	4
Grava, kg	1.141	1.264	1.224	1.358
Arena, kg	692	541	742	581
Cemento, kg	300	300	300	300
Agua, l	210	230	160	180

De cada uno de estos hormigones se han fabricado cuatro probetas cilíndricas de 15 × 30 cm. Aquellas que se compactaron por vibrado se consolidaron en dos capas sobre una mesa vibratoria, cuya frecuencia es de 800 ciclos por minuto, y a cada una se la dio una duración de vibrado de veinte segundos por capa.

Las cerradas por picado se compactaron siguiendo la técnica habitual para este procedimiento. Todas las probetas se conservaron en sus moldes durante las veinticuatro horas primeras, en una sala con una humedad relativa del 95 ± 5 por 100 y una temperatura de 20 ± 2° C. Seguidamente se desmoldaron y se sumergieron en agua a 20 ± 2° C, durante veintiocho días. Pasado ese tiempo se han dejado a la intemperie durante un año.

Para cada tipo de hormigón se midió, en el momento de la fabricación de probetas, su consistencia y se calculó igualmente el rendimiento. En el cuadro 3 se recogen los valores obtenidos.

CUADRO 3.—Consistencia y rendimiento de los hormigones fabricados.

	HORMIGON NUM. 1	2	3	4
Consistencia % (*) ...	122	103	32	32
Rendimiento %	0,97	0,98	1,02	1,02

Antes de realizar el ensayo de la determinación del agua de amasado se partieron las probetas cilíndricas en trozos de aproximadamente 1 kg y se sumergieron en un recipiente con agua hasta comprobar, por pesada, que habían alcanzado un peso constante. La pesada se realizaba en todos los casos, eliminando con un paño húmedo el agua superficial. En ese momento, y por medio de una balanza hidrostática, se determinaba el volumen de cada uno de los trozos cuyo ensayo se iba a realizar.

(*) Medida de escurrimiento en la mesa de sacudidas de acuerdo con M.E.L.C. 5.07-*a* (Métodos de Ensayo del Laboratorio Central).

Resultados obtenidos

Con cada tipo de hormigón se han efectuado cinco ensayos distintos, y en los cuadros 4, 5, 6 y 7 se dan los resultados obtenidos.

CUADRO 4. Hormigón núm. 1.—Grava silícea, arena silícea. Compactación por picado.

Peso al aire muestra saturada — g	Peso muestra sumergida en agua — g	Volumen de la muestra — c. c.	Agua obtenida — c. c.	Litros de agua/m³ de hormigón Por cálculo	Real	Error relativo — %
1.192	684,5	507,5	108	212	210	+ 0,95
1.095	615	480	99,5	207	210	— 1,4
1.103	610	493	107	205	210	— 2,4
985	524	461	96	208	210	— 0,95
1.207	694	513	104	203	210	— 3,3

CUADRO 5. Hormigón núm. 2.—Grava caliza, arena caliza. Compactación por picado.

Peso al aire muestra saturada — g	Peso muestra sumergida en agua — g	Volumen de la muestra — c. c.	Agua obtenida — c. c.	Litros de agua/m³ de hormigón Por cálculo	Real	Error relativo — %
1.062,5	611	451,5	102,0	225	230	— 2,2
1.005	585	420	95,7	228	230	— 0,87
960	562	398	87,5	220	230	— 4,3
1.030	593	437	98,3	225	230	— 2,2
985	582	403	90,0	223	230	— 3,0

CUADRO 6. Hormigón núm. 3.—Grava silícea, arena silícea. Compactación por vibrado.

Peso al aire muestra saturada — g	Peso muestra sumergida en agua — g	Volumen de la muestra — c. c.	Agua obtenida — c. c.	Litros de agua/m³ de hormigón Por cálculo	Real	Error relativo — %
1.118	656	462	73,0	158	160	— 1,2
980	580	400	62,0	155	160	— 3,1
990	565	425	67,0	158	160	— 1,2
1.200	700	500	78,5	157	160	— 1,8
1.150	670	480	74,5	156	160	— 2,4

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

CUADRO 7. Hormigón núm. 4.—Grava caliza, arena caliza. Compactación por vibrado.

Peso al aire muestra saturada	Peso muestra sumergida en agua	Volumen de la muestra	Agua obtenida	Litros de agua/m³ de hormigón		Error relativo
—	—	—	—	Por cálculo	Real	—
g	g	c. c.	c. c.			%
741	435	306	58,0	186	180	+ 3,6
815	452	363	66,5	183	180	+ 1,6
913	501	412	75,5	184	180	+ 2,2
803	451	352	65,5	186	180	+ 3,3
825	455	370	67,0	181	180	+ 0,56

Discusión de los resultados

Aun cuando los valores obtenidos, que se recogen en los cuadros 4 a 7, ponen claramente de manifiesto que el método de ensayo propuesto permite determinar con una gran precisión la cantidad de agua con que fue amasado un hormigón endurecido, se ha hecho un análisis estadístico de los resultados que confirma plenamente tal aserto (*).

En principio cabe considerar los valores obtenidos, con cuatro muestras de extensión 5 de la distribución de errores, que podemos suponer sea normal; con esa hipótesis la reducción de datos estadísticos serán los de las muestras 1.ª, 2.ª, 3.ª y 4.ª

Al analizar los datos obtenidos resulta ser falsa la hipótesis de que las cuatro muestras pertenecen a un mismo colectivo normal. En efecto, si comparamos la muestra 4.ª con la 1.ª (que es la más próxima a ella) y contrastamos sus medias mediante una t de Student:

$$t = \frac{x_4 - x_1}{\sqrt{nS^2_1 + S^2_4}} \frac{\sqrt{2n-2}}{\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{n}}} = \frac{3{,}872\sqrt{8}}{\sqrt{5 \times 3{,}35 \times 2/5}} = 4{,}218,$$

Como el valor de t correspondiente al 1 por 100 para 8 grados de libertad es 3,355 (9), la diferencia de las medias es «muy significativa» para que pertenezcan a la misma población. Queda, por tanto, probado desde un punto de vista estadístico que los factores que concurren en la muestra 4.ª imprimen carácter especial a los resultados obtenidos.

Las tres muestras restantes son concordantes y, por tanto, para un estudio más amplio del colectivo normal pueden considerarse como una muestra de extensión 15; el histograma de frecuencia de esta muestra tomando como intervalos de clase de la variable los definidos por dos números enteros consecutivos, no discrepa del carácter normal del colectivo. La reducción de datos estadísticos será, ahora (muestra 15):

MUESTRA 1.ª

Error relativo	Desviaciones	(Desviaciones)²
+ 0,95	0,95 + 1,42 = 2,37	5,6169
— 1,4	— 1,4 + 1,42 = 0,02	0,0004
— 2,4	— 2,4 + 1,42 = — 0,98	0,9604
— 0,95	— 0,95 + 1,42 = 0,47	0,2209
— 3,3	— 3,3 + 1,42 = — 1,88	3,5344

Media, $x_1 = -1{,}42$ Varianza, $S^2_1 = 2{,}0666$

MUESTRA 2.ª

Error relativo	Desviaciones	(Desviaciones)²
— 2,2	— 2,2 + 2,514 = 0,314	0,098596
— 0,87	— 0,87 + 2,514 = 1,644	2,702736
— 4,3	— 4,3 + 2,514 = — 1,786	3,189796
— 2,2	— 2,2 + 2,514 = 0,314	0,098596
— 3,0	— 3,0 + 2,514 = — 0,486	0,236196

Media, $x_2 = -2{,}514$ Varianza, $S^2_2 = 1{,}2652$

(*) Agradecemos al Ingeniero de Caminos del Laboratorio Central, D. Fernando Arriaga, su colaboración en la realización de este estudio estadístico que presentamos.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

MUESTRA 3.ª

Error relativo	Desviaciones	(Desviaciones)²
— 1,2	— 1,2 + 1,94 = 0,74	0,5476
— 3,1	— 3,1 + 1,94 = — 1,16	1,3456
— 1,2	— 1,2 + 1,94 = 0,74	0,5476
— 1,8	— 1,8 + 1,94 = 0,14	0,0196
— 2,4		0,2116
Media, $x_3 = -1,94$		Varianza, $S^2_3 = 0,5344$

MUESTRA 4.ª

Error relativo	Desviaciones	(Desviaciones)²
+ 3,6	3,6 — 2,452 = 1,148	1,317904
+ 1,6	1,6 — 2,452 = — 0,852	0,725904
+ 2,2	2,2 — 2,452 = — 0,252	0,063504
+ 3,3	3,3 — 2,452 = 0,848	0,719104
+ 0,56	0,56 — 2,452 = — 1,892	3,579664
Media, $x_4 = +2,452$		Varianza, $S^2_4 = 1,2812$

MUESTRA DE EXTENSIÓN 15.

Error relativo	Desviaciones	(Desviaciones)²
+ 0,95	0,95 + 1,96 = 2,91	8,4681
— 1,4	— 1,4 + 1,96 = 0,56	0,3136
— 2,4	— 2,4 + 1,96 = — 0,44	0,1936
— 0,95	— 0,95 + 1,96 = 1,01	1,0201
— 3,3	— 3,3 + 1,96 = — 1,34	1,7956
— 2,2	— 2,2 + 1,96 = — 0,24	0,0576
— 0,87	— 0,87 + 1,96 = + 1,09	1,1881
— 4,3	— 4,3 + 1,96 = — 2,34	5,4756
— 2,2	— 2,2 + 1,96 = — 0,24	0,0576
— 3,0	— 3,0 + 1,96 = — 1,04	1,0816
— 1,2	— 1,2 + 1,96 = + 0,76	0,5776
— 3,1	— 3,1 + 1,96 = — 1,14	1,2996
— 1,2	— 1,2 + 1,96 = + 0,75	0,5776
— 1,8	— 1,8 + 1,96 = + 0,16	0,0256
— 2,4	— 2,4 + 1,96 = — 0,44	0,1936
Media, $x_0 = -1,96$		Varianza, $S^2_0 = 1,16325$

$$\text{Varianza centrada } \bar{S}^2_0 = \frac{nS^2_0}{n-1} = 1,246 \; ; \; \bar{S}_0 = 1,11$$

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Los resultados obtenidos son bastante concluyentes sobre el grado de aproximación que el método proporciona, puesto que la media obtenida no llega al 2 por 100, y la varianza es pequeña. Pero aún podemos deducir otras importantes consecuencias: ante todo, cabe fijar al colectivo normal el valor de su varianza 1.ª, $\sigma^2 = 1$, puesto que aplicando la χ^2 de Pearson:

$$\chi^2 = \frac{nS^2_0}{2} = 17{,}445 .$$

Las tablas de χ^2 dan para 17,445 y 14 grados de libertad una probabilidad mayor que 20 por 100 y, por lo tanto, la hipótesis es consistente.

Por último, vamos a determinar el intervalo de confianza de la media del colectivo fijando como nivel de significación 1 por 100; por tratarse de una muestra pequeña este intervalo viene determinado por:

$$X_0 - P_\alpha \frac{\bar{S}_0}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq X_0 + P_\alpha \frac{\bar{S}_0}{\sqrt{n}}$$

en donde μ es la media del colectivo, $\bar{S}^2_0$ es la varianza centrada, y P_α el valor de la t de Student correspondiente al nivel de significación que en este caso es 2,977, con lo cual:

$$-1{,}96 - 2{,}977 \frac{1{,}11}{\sqrt{15}} \leq \mu \leq -1{,}96 + 2{,}977 \frac{1{,}11}{\sqrt{15}} ,$$

$$-1{,}96 - 0{,}86 \leq \mu \leq -1{,}96 + 0{,}86.$$

El error medio del método queda acotado entre —2,82 por 100 y —1,1 por 100 con una probabilidad del 99 por 100.

De todos los valores encontrados en la experimentación llevada a cabo, los únicos que de manera sistemática nos han dado un resultado por exceso son los correspondientes al hormigón núm. 4, que por otro lado, y según se ha deducido en el estudio estadístico realizado, parece que en ese hormigón concurren factores especiales que imprimen carácter a los resultados obtenidos y hacen que no sean comparables con los restantes.

A nuestro juicio, ello se debe a las dos circunstancias siguientes:

1.ª Por tratarse de un hormigón vibrado en su confección se utilizó una consistencia seca.

2.ª El árido utilizado en la fabricación del mismo era de naturaleza caliza.

Pero hemos de hacer notar que precisamente ese hormigón, juntamente con su análogo de la serie silícea (hormigón núm. 3), se mantuvieron sumergidos en agua, antes de realizar el ensayo, durante un plazo de tiempo de siete días. Si se tiene en cuenta que el árido calizo utilizado presenta una absorción sensiblemente superior a la del árido silíceo, como posteriormente hemos podido comprobar, querría ello decir que durante ese largo período de inmersión en agua se ha producido una cierta absorción por parte del árido calizo que ha determinado el que se haya obtenido un valor por exceso del agua de amasado. Experimentalmente hemos comprobado que si ese hormigón calizo se mantiene sumergido en agua durante veinticuatro horas, el error que se comete al determinar su agua de amasado es por defecto y análogo al de los otros hormigones.

No queremos terminar la exposición de este trabajo sin indicar brevemente que este método de ensayo, de muy fácil realización, por el que se pueda llegar a obtener el agua con que fue amasado un hormigón endurecido, además de resolver este importante aspecto del problema de la dosificación, puede servir igualmente para determinar la cantidad de cemento con que se fabricó el hormigón por un procedimiento totalmente diferente a los utilizados con tal fin hasta la fecha, y por el que se descartan los errores que por esos procedimientos se pueden cometer.

En efecto, como consecuencia del tratamiento térmico a que ha sido sometido el hormigón fraguado, su desintegración posterior es extraordinariamente sencilla, pues para ello basta la presión que los dedos puedan ejercer sobre él. De esta forma, y por tamizados sucesivos, se puede llegar a separar el árido de la fracción más fina. Conociendo la cantidad de árido y agua que contiene el hormigón fraguado, por diferencia sabremos igualmente la cantidad de cemento. Sirvan, a título de ejemplo, los valores que hemos obtenido al aplicar este procedimiento al hormigón núm. 3, fabricado con árido silíceo (véase cuadro 2).

Peso al aire del hormigón saturado	1.118 g
Peso de árido recuperado	897 g
Cemento + agua (por diferencia)	221 g
Centímetros cúbicos de agua obtenida en el ensayo	73
Cemento (por diferencia)	148 g
Volumen de la muestra de hormigón ensayada	462 c. c.
Cantidad de cemento	313 kg/m³
Idem de árido	1.944 kg/m³
Idem de agua	158 l/m³

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

La gran concordancia de estos valores con los realmente utilizados nos permiten abrigar fundadas esperanzas, y esperamos, en una futura comunicación, dar más amplios detalles sobre este segundo aspecto que tan sólo hemos esbozado.

Conclusiones

1.º Se describe la puesta a punto de un procedimiento por el que, de un modo sencillo, se puede llegar a determinar la cantidad de agua con la que fue amasado un mortero u hormigón endurecido.

2.º El método es válido cualquiera que sea la naturaleza del árido utilizado en la fabricación del hormigón.

3.º El error que se comete en la determinación del agua de amasado es, en general, por defecto, e inferior al 2,0 por 100.

Bibliografía

(1) C. de la Peña: Recomendación R.1.8 de la Instrucción H.A. 61 del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid, 1961.

(2) Coronas, J. M., e Iranzo, V.: *La dosificación de morteros y hormigones endurecidos.* Publicaciones números 38 y 42 del Laboratorio Central de Ensayos de Materiales de Construcción. Madrid, 1946-1947.

(3) Florentín, D. · *Annalis de Chimie Analitique*, 1926, 8 (11), 321-4.

(4) Goria, C., y Appiano: *Cemento italiano*, 1947.

(5) Bowden, S. R., y Green, E. H.: *Nat. Building Studies Tech.*, paper núm. 8 (1950), R. R. S.

(6) Butcher, W. S.: *Inst. Eng. Australia*, vol. XXX, número 6 (1958).

(7) Brocard, M. S.: *Ann. Inst. Tech. Bât. et Trav. Publics*, núm. 231, 1952.

(8) Blackman, J. S.: *J.A.C.I.*, vol. XXV, núm. 7, página 533 (1954).

(9) Fisher, R. A.: *Statistical Methods for Research Workers.*, 12 ed. Hafner. Publishing Company Inc., 1954.

últimas publicaciones
del instituto

pliego general de condiciones facultativas para la ejecución de pavimentos rígidos

p.r. 63

Cómo se realiza un pavimento de hormigón en 1963. Más de 200 páginas de articulado, comentarios y métodos de ensayo. Extensa bibliografía.

sobre el comportamiento anelástico del hormigón armado en piezas prismáticas

reimpresión de la monografía n.º 54

Los principios anelásticos del hormigón armado, que el profesor Torroja desarrolló en 1949, continúan en vigor catorce años después.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es