

DETERMINACION DE LA DOSIFICACION DE MORTEROS FRAGUADOS

Por JUAN M.^a COROÑAS y VICENTE IRANZO
Doctores en Ciencias

El título del presente artículo pone de manifiesto el interés del tema tratado, que podrá permitir el estudio de las dosificaciones empleadas en obras construidas.

El problema de la determinación de la dosificación de un hormigón endurecido fué estudiado detenidamente en nuestro trabajo anterior (1), en el que anunciábamos ya la publicación de éste, que hace referencia a los resultados obtenidos en el caso de morteros.

En líneas generales, la cuestión queda planteada en igual forma que al considerar los hormigones. Es necesario también recurrir a métodos indirectos, basados en determinar, por análisis químico, la cantidad de alguno o algunos elementos que, existiendo en abundancia en el cemento, no entren a formar parte de la arena, o estén contenidos en ella en cantidad muy escasa.

En los morteros, la ausencia de gravilla y piedra y, en general, la existencia de una sola clase de arena reduce a tres los productos iniciales: cemento, arena y agua, lo que constituye una indudable simplificación del problema. De todas formas, como la arena raramente es totalmente inatacable y puede ser de naturaleza caliza o dolomítica, para determinar la dosificación no pueden seguirse, sin más, aquellos métodos que consideran la arena como totalmente inatacable (por ejemplo, el primer método de las normas DIN o el de la pérdida al fuego, de Loman). Era de esperar que pudiera determinarse el cemento existente en los morteros hallando el contenido en sílice soluble por tratamiento sucesivo con ácido clorhídrico y carbonato sódico, en la forma propuesta por nosotros para el hormigón (1). La aproximación, totalmente satisfactoria, que se obtiene en el caso de hormigones, cuando se conoce el valor en sílice del cemento empleado, permitía esperar también una aproximación suficiente al aplicarlo a los morteros. La determinación del

tanto por ciento de cemento no podía ofrecer en este caso dificultades especiales.

Pero así como en el caso de los hormigones basta, en general, determinar con bastante aproximación la riqueza en cemento expresada en kilogramos por metro cúbico de producto endurecido, en el caso de los morteros suele ser necesario conocer la relación de cemento : arena, pues es ésta la forma usual de expresar su dosificación. Por esto, en tanto en los hormigones dirigimos especialmente nuestra atención a precisar y comprobar un método adecuado para la determinación del cemento en kilogramos por metro cúbico, en este trabajo, al aplicar aquél método a los morteros, nos hemos propuesto determinar la indicada relación cemento-arena, en peso.

Era preciso, pues, estudiar con mayor detalle la influencia que podía ejercer en este sentido la determinación meramente aproximada del agua retenida en el fraguado y endurecimiento, al aplicar el coeficiente empírico que propusimos, en el caso de hormigones, para hallar la relación agua : cemento. En los morteros, es posible una mayor variabilidad de la cantidad de agua empleada y, por otra parte, es mayor la cantidad total. Como se calculan los áridos por diferencia ($A = 100 - C - H_2O$), siendo A el tanto por ciento de arena y C el tanto por ciento de cemento, era conveniente precisar mejor la cantidad de agua, para reducir en lo posible las causas de inexactitud.

Estudiamos, pues, un método cómodo para la determinación experimental y precisa del agua retenida por el producto endurecido, que ha constituido el objeto de otro trabajo (2).

Conocido el tanto por ciento de agua retenida,

por determinación experimental independiente, y pudiéndose determinar la riqueza en cemento con diferencias máximas del 4 por 100, según se desprende de los resultados experimentales que más adelante se indican, la determinación del árido por diferencia es ya suficientemente aproximada.

Ciertamente que, en el caso de desconocerse el cemento empleado, el error máximo que podría llegarse a cometer, al calcular la riqueza a base del valor medio en sílice de los cementos españoles (20,5 por 100) sería de ± 18 por 100. Pero debemos considerar, de una parte, que en general los valores extremos de sílice que se han usado para determinar el error máximo indicado, esto es, 23,3 y 17,6 por 100, se presentan raramente en los cementos portland, y, por otra parte, es frecuente conocer la procedencia del cemento utilizado, y esto permite tomar para el cálculo el valor de SiO_2 que habitualmente corresponde a la marca de cemento en cuestión.

Finalmente, conviene señalar que los métodos que, como el de Malette (3) y el de las normas DIN, comentado modernamente con todo detalle por Kurt Gaede (4), parecen ser, en cierta forma, satisfactorios, requieren, en general, disponer de muestras de los diferentes materiales (cemento, arena y mortero); y además, el empleo de métodos indirectos y el planteo de sistemas de ecuaciones puede conducir en muchos casos a grandes errores cuando no son exactos los coeficientes empleados. Dada la índole del material y de las determinaciones, no puede esperarse que el análisis de estos materiales, cuyos resultados determinan dichos coeficientes, tengan la precisión que de ordinario tienen las determinaciones químicas cuantitativas, y esto

implica la inseguridad de los resultados obtenidos por análisis indirecto. A pesar de ello, se han propuesto muchas veces las determinaciones cuantitativas correspondientes en los tres materiales y el planteo de sistemas de ecuaciones; en muchos casos se ha prescindido de la existencia del agua, con lo cual se ha introducido una causa más de imprecisión.

Los resultados de las experiencias realizadas en este Laboratorio, con muestras cuidadosamente dosificadas y conservadas largo tiempo en condiciones diversas, indican que el método seguido por nosotros es de aplicación general y conduce a resultados satisfactorios.

PARTE EXPERIMENTAL

Preparación y conservación de las probetas. — Interesaba estudiar morteros fabricados en condiciones muy diversas y aun poco frecuentes, y, por ello, se emplearon dos clases de arena y cemento, y con cada clase de arena y cemento se prepararon probetas con diferente cantidad de agua de amasado. La tabla número 1 da los valores de la sílice so-

TABLA NÚMERO 1. — Tanto por ciento de sílice soluble de los materiales empleados.

CEMENTO		ARENA	
A	B	Sílicea	Caliza
21,5	20,5	0,11	—

luble de los materiales empleados; la tabla número 2 detalla la composición de las 10 mezclas preparadas. Se amasó el mortero sobre placa de mármol, en la forma habitual. La dosificación se hizo

TABLA NÚMERO 2. — Dosificación de los morteros en peso.

MEZCLA N.º...	1 Gramos	2 Gramos	3 Gramos	4 Gramos	5 Gramos	6 Gramos	7 Gramos	8 Gramos	9 Gramos	10 Gramos
Arena sílicea . . .	6.750	—	6.750	—	6.750	—	6.750	—	6.750	—
Arena caliza . . .	—	6.750	—	6.750	—	6.750	—	6.750	—	6.750
Cemento A. . . .	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	—	—	—	—
Cemento B. . . .	—	—	—	—	—	—	2.250	2.250	2.250	2.250
Agua.	765	945	688	850	842	1.040	855	1.035	1.045	932
PESO TOTAL. .	9.765	9.945	9.688	9.850	9.842	10.040	9.855	10.035	10.045	9.932

La tabla núm. 5 da la composición calculada así para las probetas analizadas.

N.º 1 <u>Gr.</u>	N.º 2 <u>Gr.</u>	N.º 3 <u>Gr.</u>	N.º 4 <u>Gr.</u>	N.º 5 <u>Gr.</u>	N.º 6 <u>Gr.</u>	N.º 7 <u>Gr.</u>	N.º 8 <u>Gr.</u>	N.º 9 <u>Gr.</u>	N.º 10 <u>Gr.</u>
98	50	33	97	54	126	117	132	84	119

Método seguido. — A causa de la heterogeneidad del material, convendrá partir, en la práctica, de muestras de peso no inferior a 1 kilogramo. La probeta, desecada al aire, se fragmenta primero en la prensa para ensayos de resistencia a la compresión, con aumento lento de la presión, para evitar pérdidas por proyección; se colocan además unas bandejas de cartón fuerte, adaptadas a la parte inferior del plato que soporte la probeta de mortero, al objeto de recoger todos los fragmentos y el pol-

Composición de las probetas. — Para el cálculo de la composición en el momento del análisis, se consideró que la pérdida total de masa observada al preparar las probetas podía atribuirse al agua, perdida por efecto de la evaporación durante la manipulación y también por escurrirse de los moldes

MEZCLA N.º...	<u>1</u> Gramos	<u>2</u> Gramos	<u>3</u> Gramos	<u>4</u> Gramos	<u>5</u> Gramos	<u>6</u> Gramos	<u>7</u> Gramos	<u>8</u> Gramos	<u>9</u> Gramos	<u>10</u> Gramos
Peso inicial de la probeta.	734,6	790,9	704,7	783,5	764,3	804,5	766,6	774,1	791,4	798,9
Peso al ser analizada	724,1	772,2	696,4	770,6	748,2	775,9	757,3	757,1	778,6	788,1
<i>Pérdida</i> . . .	10,5	18,7	8,3	12,9	16,1	28,0	9,3	17,0	12,8	10,8

[illegible]

TABLA NÚMERO 6. — *Determinación del agua total.*

Probeta número	PÉRDIDA AL FUEGO			ANHÍDRIDO CARBÓNICO			AGUA TOTAL (pérdida—CO ₂)
	1.ª determinación	2.ª determinación	Valor medio	1.ª determinación	2.ª determinación	Valor medio	
1	7,48	7,56	7,56	2,21	2,21	2,21	5,31
2	31,70	31,70	31,70	25,80	26,04	25,92	5,78
3	7,81	8,01	7,90	2,69	2,74	2,72	5,18
4	30,84	30,82	30,83	24,48	24,76	24,62	6,21
5	8,35	8,25	8,30	1,84	1,90	1,87	6,43
6	31,89	31,90	31,90	25,64	25,85	25,74	6,16
7	8,08	8,05	8,07	1,81	1,91	1,86	6,21
8	31,47	31,52	31,49	24,79	24,69	24,74	6,75
9	8,19	8,25	8,22	1,72	1,75	1,74	6,48
10	31,98	32,07	32,03	24,28	24,36	24,32	7,71

TABLA NÚMERO 7. — *Determinación de la sílice soluble.*

PROBETA NÚMERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.ª determinación.	5,13	5,08	5,09	5,16	5,15	4,85	4,93	4,88	4,67	4,89
2.ª determinación.	5,21	4,80	5,13	5,17	5,21	4,84	4,72	4,80	4,55	4,97
Valor medio.	5,17	4,94	5,11	5,16	5,18	4,84	4,82	4,84	4,61	4,92

TABLA NÚMERO 8. — *Comparación entre los valores teóricos y experimentales.*

Mezcla número	CEMENTO		Error en %	ARENA		Error en %	RELACIÓN CEMENTO-ARENA		Error en %
	Teórico	Hallado		Teórico	Hallado		Teórico	Hallado	
1	23,65	24,05	+ 1,7	70,90	70,64	— 0,4	0,334	0,340	+ 1,8
2	23,29	22,98	— 1,3	69,87	71,24	+ 2,0	0,334	0,322	— 3,6
3	23,58	23,77	+ 0,8	70,74	71,05	+ 2,4	0,334	0,334	0
4	23,46	24,00	+ 2,3	70,37	69,79	— 2,2	0,334	0,343	+ 2,7
5	23,48	24,15	+ 2,9	70,45	69,42	— 1,5	0,334	0,347	+ 3,9
6	23,54	22,51	— 4,4	70,60	71,33	+ 1,0	0,334	0,315	— 5,7
7	23,39	23,51	+ 1,4	70,17	70,28	+ 0,1	0,334	0,334	0
8	23,23	23,61	+ 1,5	69,70	69,64	— 0,1	0,334	0,339	+ 1,5
9	22,96	22,49	+ 1,4	68,88	71,03	+ 3,1	0,334	0,316	— 5,4
10	23,24	24,00	+ 3,3	69,73	68,18	— 2,2	0,334	0,352	+ 5,4

vo fino. Se pulveriza la muestra en un molino de bolas, y se sigue el método de análisis indicado en nuestro trabajo sobre hormigones, a que nos hemos referido ya.

Hemos introducido una pequeña modificación

en lo que se refiere al tratamiento alcalino con la solución que contiene 5 por 100 de carbonato sódico cristalizado (CO₃Na₂, 10 H₂O) y 5 por 100 de cloruro sódico. La modificación consiste en lavar por decantación el residuo, con solución de cloruro

sódico al 5 por 100, en lugar de hacerlo con agua sola. La filtración es más rápida y se consiguen líquidos más transparentes, sin que se modifique sensiblemente el resultado.

Para la determinación del agua total se emplean muestras de 1 a 2 gr. del polvo obtenido al pulverizar íntegramente la probeta analizada. Se determina la pérdida de fuego de la manera ordinaria, en mufla eléctrica a 1.100° C., y el anhídrido carbónico total por descomposición a esta temperatura y absorción sobre amianto sodado, según nuestro método (2).

Resultados. — Los resultados obtenidos en estas determinaciones figuran en las tablas números 6 y 7. La tabla núm. 6 da los valores obtenidos para la pérdida al fuego y el anhídrido carbónico en cada una de las 10 probetas, analizadas por duplicado, así como los valores medios; en la última columna figuran los valores del agua total retenida por el mortero y calculados por diferencia entre pérdida al fuego y anhídrido carbónico.

En la tabla núm. 7 figuran los valores obtenidos para la sílice soluble en determinación por duplicado, así como los valores medios correspondientes a cada una de las 10 probetas.

Finalmente, la tabla núm. 8 permite comparar los valores obtenidos para el cemento y arena, y también para la relación cemento : arena, con los valores calculados a partir de la proporción en peso utilizada en la preparación de las probetas. En ella figuran, asimismo, los errores relativos correspondientes. La concordancia es satisfactoria.

Los valores de agua presentan en algunos casos divergencias que, como ya hemos indicado, son perfectamente explicables por la forma de calcular el contenido teórico, y que fueron ya estudiadas en nuestro trabajo antes citado (2).

Conclusiones.

1.^a Con muestras de mortero de peso no inferior a 1 Kg. puede hallarse la riqueza en cemento, en peso, con un error máximo del orden de ± 4 por 100, si se conoce el contenido en sílice del cemento empleado en su fabricación, aun cuando no se disponga de muestra de la arena.

2.^a Se confirma así la posibilidad de aplicar a los morteros el método estudiado para la determinación de la dosificación del hormigón fraguado, y se prueba su validez general para los materiales fabricados con cemento portland y que no contengan adiciones de escorias de altos hornos o puzolanas. La presencia de estos materiales es poco frecuente y, en general, se tiene conocimiento de su empleo, por lo que no constituye en la práctica motivo de desorientación en la aplicación del método.

3.^a En caso de tener que recurrir al valor medio de sílice soluble de los cementos portland españoles (20,5 por 100), los errores que se podrían cometer en la determinación de la proporción de cemento en peso podría llegar a ser, en caso extremo, de ± 18 por 100.

4.^a Se puede determinar la relación, en peso, cemento : arena con error máximo inferior a ± 6 por 100, previa determinación experimental del agua retenida por el mortero endurecido y si se conoce el contenido en sílice del cemento empleado.

Bibliografía.

1. CORONAS, J. M.^a y V. IRANZO: *Rev. Obras Públicas*, octubre (1944). *Anal. Inst. Téc. Constr. y Edif.*, núm. 19. *Lab. Centr. Ens. Mat. Constr.*, Publ. núm. 1.
2. — *Anal. Inst. Téc. Constr. y Edif.*, núm. 21. *Lab. Centr. Ens. Mat. Constr.*, Publ. núm. 31.
3. MALETTE, J.: *Les défauts des mortiers et de bétons*. Dunod, París, 205 (1929).
4. KURT GAËDE: *Zement*, 32, 7/8, 68 (1943).