

Método simplificado para la dosificación de cemento portland en los hormigones

G. E. VILLAR

Fundamentos del método. — Según puede observarse en el Cuadro I, es muy bajo el contenido de residuo insoluble en los cementos portland.

CUADRO I

Residuo insoluble en algunos cementos portland

Marca del cemento	Pérdida al rojo o/o	Residuo insoluble o/o	R. I. referido a los elementos fijos o/o
"Artigas"	0,77	0,200	0,202
"Dyckerhoff"	1,42	0,050	0,051
"Klockner"	1,04	0,244	0,248
"Hemmoor"	1,74	0,200	0,204
"Alsen"	1,28	0,134	0,137
"Ideal"	1,37	0,100	0,105
"Stallion"	1,07	0,380	0,384
"Radio"	1,94	0,230	0,235

Por otra parte, de los Cuadros II y III se desprende que es muy reducida la proporción de compuestos solubles contenidos en los materiales aglomerados (arena y gravilla o piedra partida) que entran habitualmente en la constitución de los hormigones a base de cemento portland.

Teniendo en cuenta la proporción ínfima que existe entre el contenido de residuo insoluble en el cemento portland y en los materiales aglomerados que forman parte del hormigón, puede emplearse la determinación del residuo insoluble para dosificar

el contenido en cemento de los hormigones, sobre la base de admitir que el residuo insoluble de éstos, corresponda exclusivamente a los materiales aglomerados.

CUADRO II

Algunas características de arenas empleadas corrientemente en la preparación de hormigones en Montevideo

Origen de la muestra	Densidad aparente kg. lt ⁻¹	Proporción retenida de el tamiz 4 o/o	Pérdida al rojo o/o	Residuo insoluble o/o	R. I. referido a los elemen- tos fijos o/o
Barra del Santa Lucía	1,60	1,00	2,27	94,34	96,50
Carrasco	1,65	0,00	1,72	97,15	98,80
Carrasco	1,66	0,00	1,09	96,54	97,70
Barra del Santa Lucía	1,61	0,50	2,34	94,65	97,20
25 de Agosto	1,61	2,70	2,15	95,24	97,10
Carrasco	1,65	0,00	0,70	98,02	99,00
Carrasco	1,65	0,28	0,50	98,91	99,50
Promedios	1,63	0,63	1,54	96,20	97,70

Según se muestra más adelante, esta hipótesis introduce en los cálculos del método analítico un pequeño error completamente despreciable frente a los errores que podrían provenir de la extracción de la muestra, los que salvo circunstancias favorables, son del orden del 10 % (3).

CUADRO III

Algunas características de gravillas y piedras partidas empleadas corrientemente en la preparación de hormigones

Tipo de la piedra	Pérdida al rojo o/o	Residuo insoluble o/o	R. I. referido a los elementos fijos o/o
Cantos rodados	0,10	99,68	99,70
Pegmatita	0,44	99,03	99,40
Granito aplítico	2,69	96,72	99,80
Granito anfibólico	0,31	98,09	98,40
Arenisca cuarcítica	2,21	97,31	99,60
Granito biotítico	0,21	95,86	96,20
Granito ácido	0,42	97,27	97,80
Granito gris	0,63	95,18	96,00

El método analítico A. S. T. M. C 85-36 propuesto por la *American Society for Testing Materials* (1) se encuentra basado en la determinación de la sílice soluble, y permite conocer en peso la proporción de cemento contenido en el hormigón examinado.

Como la composición de los hormigones se expresa generalmente en peso de cemento referido a determinados volúmenes de materiales aglomerados, los resultados obtenidos por dicho método son en muchos casos de difícil interpretación.

El procedimiento seguido por el *Instituto de Pesquisas Tecnológicas de S. Paulo* (2) en el análisis de hormigones está fundado en el cálculo de la proporción de cemento de acuerdo con el contenido en sílice soluble o en óxido de calcio del material examinado, y se complementa con la determinación del peso específico de la muestra, lo que permite expresar los resultados en kilogramos de cemento por metro cúbico de hormigón.

A pesar de las ventajas que presenta la expresión de los resultados en esta última forma, quedan aún indeterminadas las proporciones correspondientes a los materiales aglomerados, proporciones que a menudo interesa conocer y que únicamente pueden determinarse mediante la desintegración previa del hormigón; operación laboriosa y delicada, que a nuestro juicio es imprescindible para poder expresar los resultados del análisis en forma idéntica a la empleada en memorias y pliegos de condiciones para establecer la composición del hormigón.

Los dos procedimientos mencionados hacen necesaria la dosificación de la sílice soluble o del óxido de calcio referidos a los elementos fijos contenidos en el hormigón y en los materiales empleados para su preparación. En cambio, el método que se propone, si bien exige una preparación más laboriosa de la muestra de hormigón a analizar, requiere solamente la dosificación del residuo insoluble referido a los elementos fijos del hormigón, operación más sencilla que las correspondientes a las determinaciones anteriormente citadas.

Selección y preparación de la muestra. — Al elegirse la muestra de hormigón a analizar, deben adoptarse todas las precauciones necesarias para que la composición de la porción a remitir al laboratorio represente en lo posible la composición media del material a examinarse.

En vista de la falta de homogeneidad del hormigón, la muestra deberá ser importante y constituida preferentemente por varios trozos de gran tamaño, si fuera posible de unos 5 kgs. de peso.

Siempre que sea posible, deberá adjuntarse a la muestra de hormigón, muestras de los materiales que sirvieron para su preparación (100 gr. de cemento, 5 kg. de gravilla o piedra partida y 3 kg. de arena).

Por medio de un martillo y evitando romper las piedras, se dividen los trozos de hormigón en fragmentos de 4 a 5 cm. de dimensión máxima; se mezcla perfectamente y por el procedimiento de selección por cuartos, se aparta una muestra cuyo peso no debe ser inferior a 1 kg.

El polvo formado durante esta operación se mezcla íntimamente, y se agrega a la muestra apartada, la cantidad que proporcionalmente le corresponda.

Por medio de un martillo y luego por frotamiento suave de los trozos pequeños en un mortero de porcelana, se continúa la desintegración de la muestra de hormigón, tamizando los productos obtenidos por el tamiz N.º 18 (de 1 mm. de abertura). El material que pasa por el tamiz se retiene aparte como "*mortero de arena fina*", mientras que el material retenido por dicho tamiz, se tamiza por el tamiz N.º 4 (de 4,76 mm. de abertura). El material que pasa por este tamiz se considera como "*arena gruesa*" mientras que el material retenido se considera como "*gravilla*".

Los materiales así separados se pesan, y se les reserva para efectuar sobre ellos las operaciones que más adelante se detallan.

Procedimiento general de análisis de hormigones mediante la determinación del residuo insoluble.

1a. *Operación.*—Desintegración de la muestra en la forma anteriormente indicada:

Resultados:

"Mortero de arena fina"	A gr
"Arena gruesa"	B "
"Gravilla"	C "

2a. *Operación.*—Sobre la muestra de arena se determina la densidad aparente, el residuo insoluble y el residuo fijo en la forma detallada para la 4.a operación, operando sobre 5 gr y con las cantidades equivalentes de reactivos.

Resultados:

Densidad aparente de la arena d_a kg. lt⁻¹
 Residuo insoluble de la "arena
 fina" referido a los elementos
 fijos D %.

3a. *Operación.*— Sobre la muestra de gravilla se determina la densidad aparente d_g .

Resultados:

Densidad aparente de la gravilla d_g kg. lt⁻¹

4a. *Operación.*— Sobre la muestra de cemento se determinan el residuo insoluble y el residuo fijo en la siguiente forma (A. S. T. M. C 114-39):

(a) En un vaso de Bohemia de conveniente capacidad se pone 1 gr de cemento y se agregan 25 cc de agua y 5 cc de ácido clorhídrico concentrado ($D = 1,19$).

Se calienta suavemente la preparación favoreciendo su ataque por medio del frotamiento con una varilla de vidrio.

Luego se agregan 50 cc de agua caliente y se calienta al baño maría durante 15 minutos.

Se filtra, se lava seis veces con agua caliente y se hace digerir durante 15 minutos al filtro con su contenido en 30 cc de solución de carbonato de sodio al 5 %, manteniendo la temperatura ligeramente debajo del punto de ebullición.

Se filtra, se lava dos veces con agua hirviendo, después con unas pocas gotas de ácido clorhídrico diluído (1:9) caliente y finalmente diez veces con agua caliente.

Se deseca y calcina entre 900 y 1000° y se pesa como residuo insoluble.

(b) Se determina luego el residuo fijo, colocando 1 gr de cemento en un crisol de platino tarado y calcinando durante 20 minutos a una temperatura comprendida entre 900 y 1000°.

(c) Con los valores obtenidos en las operaciones (a) y (b) se expresa el siguiente resultado:

Residuo insoluble del cemento re-
 ferido a los elementos fijos E %.

5a. *Operación.*— Por el método de los cuartos se selecciona una muestra de 30 gramos de "mortero de arena fina" y se pul-

veriza hasta que todo el material pase por el tamiz N.º 140 (de 0,105 mm de abertura).

Luego se determinan el residuo insoluble y el residuo fijo en la forma detallada para la 4a. operación operando sobre 5 gr de substancia a analizar y con las cantidades equivalentes de reactivos.

Resultado:

Residuo insoluble del "mortero de arena fina" referido a los elementos fijos $F \%$.

6a. Operación.—Cálculo de la composición del hormigón:
Contenido en cemento del "mortero de arena fina": $\frac{100(D-F)}{D-E} \%$.

Composición en peso de la muestra de hormigón analizada:

Cemento	gr $A \times \frac{D-F}{D-E}$
Arena	" $B + A \frac{F-E}{D-E}$
Gravilla	" C

Composición del hormigón en peso de cemento por volúmenes de materiales aglomerados:

Cemento	kgs $A \frac{D-F}{D-E}$
Arena	" $\frac{1}{d_a} (B + A \frac{F-E}{D-E})$
Gravilla	" $\frac{C}{d_g}$

Ejemplo de análisis de un hormigón en el que se presumían deficiencias en el dosaje de los materiales agregados.

1.º — Desintegración de la muestra:

"Mortero de arena fina"	$A = \text{gr } 489,49$
"Arena gruesa"	$B = \text{" } 180,85$
"Gravilla"	$C = \text{" } 364,63$
Peso de la muestra analizada	" $1034,97$

2.º — Densidad aparente de la arena $d_a = 1,650 \text{ kg It}^{-1}$
Residuo insoluble de la arena referido a los elementos fijos $D = \%$ 99,3

- 3.° — Densidad aparente de la gravilla $d_g = 1,391 \text{ kg. lt}^{-1}$
 4.° — Residuo insoluble del cemento referido a los elementos fijos $E = \%. 0,221$
 5.° — Residuo insoluble del "mortero de arena fina" referido a los elementos fijos $F = \%. 66,2$

Introduciendo estos valores en las fórmulas anteriormente expuestas, se deduce la siguiente composición para el hormigón en peso de cemento por volúmenes de materiales aglomerados:

Cemento	kgs. 163
Arena	lts. 307
Gravilla	" 262

Teniendo presente que en el Pliego de Condiciones se había previsto para el hormigón la composición siguiente:

Cemento	kgs. 350
Arena	lts. 400
Gravilla	" 800

se refirieron los resultados anteriores a 1200 lts. de materiales aglomerados, obteniéndose así los siguientes valores:

Cemento	kgs. 344
Arena	lts. 649
Gravilla	" 551

Admitiendo la hipótesis de que el residuo insoluble corresponda exclusivamente a los materiales aglomerados, se tendrá:

$$E = \%. 0,00$$

Por otra parte como de acuerdo con los valores que figuran en el Cuadro II, es muy reducido el contenido de sustancias solubles en las arenas, puede también admitirse que:

$$D = \%. 100,00$$

Adoptando estos valores en lugar de los deducidos experimentalmente para el ejemplo propuesto, se tendrían los siguientes resultados:

Cemento	kgs.	165
Arena	lts.	306
Gravilla	"	262

Refiriendo estos valores a 1200 lts. de materiales aglomerados se tendrá finalmente:

Cemento	kgs.	348
Arena	lts.	646
Gravilla	"	554

Los resultados obtenidos son prácticamente idénticos a los anteriores, lo que justificaría el adoptar en el análisis de hormigones, el método simplificado que a continuación se detalla.

Procedimiento simplificado para análisis de hormigones.

1a. *Operación.* — Desintegración de la muestra en la forma anteriormente indicada.

Resultados:

"Mortero de arena fina"	A gr.
"Arena gruesa"	B "
"Gravilla"	C "

2a. *Operación.* — Sobre la muestra de arena se determina la densidad aparente d_a .

3a. *Operación.* — Sobre la muestra de gravilla se determina la densidad aparente d_g .

4a. *Operación.* — Sobre la muestra de "mortero de arena fina", se determinaría el residuo insoluble D referido a los elementos fijos, en la forma indicada para la 5a. operación del procedimiento anterior.

5a. *Operación.* — Cálculo de la composición del hormigón en peso de cemento por volúmenes de materiales aglomerados:

Cemento	kgs.	$\frac{A(100-D)}{100}$
Arena	lts.	$\frac{1}{d_a} \left(B + \frac{A \cdot D}{100} \right)$
Gravilla	"	$\frac{C}{d_g}$

Si no se dispone de muestras de los materiales empleados en la fabricación del hormigón, debe realizarse la 1.ª operación sobre una muestra de 2 kilogramos, adoptando las mayores precauciones para evitar la ruptura de las piedras durante su desintegración. Se determina luego la densidad aparente d_g de la "gravilla" separada en esta operación; adoptándose como densidad aparente d_a de la arena, el valor medio $1,63 \text{ kg. lt}^{-1}$ deducido del Cuadro II.

El procedimiento que se acaba de detallar es solamente aplicable al análisis de morteros u hormigones preparados con materiales silíceos aglomerados por cemento portland. Si los materiales aglomerados son de otro carácter, o si se sospecha que se haya agregado otro aglomerante además del cemento portland, conviene emplear los procedimientos basados en la determinación de la sílice soluble, previa desintegración de la muestra en la forma indicada.

Referencias Bibliográficas.

- (1) — *American Society for Testing Materials*. — A. S. T. M. Standards 1939, Part II, Non metallic materials Philadelphia, 1939.
- (2) — *Instituto de Pesquisas Tecnológicas de S. Paulo*. — Métodos de análisis químicos adoptados no I. P. T. Boletim N.º 25. São Paulo, 1940.
- (3) — *F. M. Lea y C. H. Desch*. — *The Chemistry of Cement and Concrete*. Edward Arnold & Co, London, 1935.