Materiales de Construcción. Últimos avances Vol. 7, nº 80
Noviembre, diciembre 1957

666.94.001.4.46) = 60

611-47

# expansión en autoclave de los cementos españoles

D. GUINEA GUERRERO (*)
Doctor en Ciencias Físicas
y P. GIMENEZ MONTOYA (*)
Comandante Ingeniero de Construcción

Una de las cualidades que debe poseer un cemento es la durabilidad o conservación en el tiempo de sus propiedades mecánicas, que asegure la permanencia de las construcciones en las cuales interviene como aglomerante principal o único. La falta de estabilidad de volumen del cemento durante su lentísimo proceso de endurecimiento crea tensiones internas en el hormigón o mortero enormes y no previstas en el cálculo que pueden, ayudadas por las solicitaciones exteriores, destruir la obra. El efecto de estas expansiones o contracciones es tanto más importante cuanto mayor es la rigidez del cemento, es decir, su edad. De nada servirá emplear un cemento con buenas resistencias mecánicas iniciales, si su falta de estabilidad de volumen hace que pierdan realidad al cabo de uno o varios años las hipótesis de cálculo utilizadas.

Los trabajos de Bogue y Lerch y la adopción por la A. S. T. M. desde 1943 de la Norma C-151, nos han inducido a estudiar, de acuerdo y en colaboración con el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, la expansión (+) o contracción (—) de 43 muestras que de todas las fábricas de cemento de España envió a este Laboratorio para su estudio, la Delegación del Gobierno en la Industria del Cemento durante el año 1956.

Todas las determinaciones se han efectuado siguiendo exactamente la citada Norma A. S. T. M. C-151, con un autoclave CENCO de regulación automática. Las muestras de cemento permanecieron en nuestro poder, envasadas de modo conveniente desde, por lo menos, tres meses antes de ser ensayadas.

Los resultados obtenidos figuran en la tabla adjunta. De los 43 cementos estudiados se encuentran: 26 (60 por 100) con expansiones toleradas por la especificación A. S. T. M. C-150 (0,50 por 100); en 33 muestras (77 por 100) la expansión es inferior al 1 por 100, y sólo 2 (5 por 100) presentan expansiones superiores al 2 por 100. En ningún cemento se observó contracción.

A la vez, y con las mismas muestras, se realizaron los ensayos correspondientes que prescribe el Pliego Oficial Español para la Recepción de Aglomerantes Hidráulicos, es

(*) Del Laboratorio de Ingenieros del Ejército.

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

decir, el curado en vapor de agua hirviente de galletas y cilindros de Le Chatelier. Todos los cementos cumplieron bien estas últimas condiciones, aun los que en el autoclave resultaron con expansiones de más del 2 por 100, lo cual parece indicar la poca sensibilidad de dichos métodos de ensayo hoy obligatorios en España.

Hemos intentado completar este trabajo estableciendo la correlación estadística entre la expansión en autoclave de un cemento y su composición potencial según Bogue, calculada mediante los resultados obtenidos efectuando el análisis químico de acuerdo con el Pliego Oficial. El empleo del método de los mínimos cuadrados nos ha permitido calcular los coeficientes del hiperplano que representa a la expansión en tanto por ciento ($\varepsilon$), función lineal de las variables independientes: silicato tricálcico ($C_3S$), silicato bicálcico ($C_2S$), aluminato tricálcico ($C_3A$), ferritoaluminato tetracálcico ($C_4AF$), yeso y magnesia.

Después de los laboriosos cálculos típicos de estos métodos obtuvimos, considerando los resultados de las 43 muestras de cemento, la fórmula ($a$):

$$a)\quad \varepsilon = 19{,}165 - 0{,}2108\,(C_3S) - 0{,}2190\,(C_2S) - 0{,}0060\,(C_3A) - 0{,}1329\,(C_4AF) - 0{,}3041\,(\text{Yeso}) - 0{,}5320\,(\text{MgO}),$$

y mediante ella se hallaron las expansiones que figuran en la columna correspondiente de la tabla.

Como nuestro objeto era lograr una relación matemática sencilla que nos permitiera predecir la expansión si conocíamos la composición potencial del cemento, necesitábamos saber con qué seguridad estadística la fórmula ($a$) nos hacía esta predicción. Para ello calculamos el coeficiente de correlación, que resultó ser de 0,63, aceptable pero no satisfactorio, lo cual induce a pensar si el número de variables independientes es insuficiente y conviene ampliarlo con otras, tales como la cal libre y finura de molido, álcalis y se debe, además, considerar la fase en que se presenta cada componente.

Con idea de mejorar el coeficiente de correlación se efectuó un intento, que consistió en repetir todos los cálculos, descartándo, como anormales por su gran expansión, las muestras números 2, 15, 17, 21 y 26, y encontramos la fórmula ($b$):

$$b)\quad \varepsilon = 8{,}407 - 0{,}0916\,(C_3S) - 0{,}0896\,(C_2S) + 0{,}0002\,(C_3A) - 0{,}0560\,(C_4AF) - 0{,}1329\,(\text{Yeso}) - 0{,}2521\,(\text{MgO}),$$

y como coeficiente de correlación el valor 0,48, inferior al de la fórmula ($a$), lo que confirma las consideraciones antes expuestas de que, en la fórmula que nos da la expansión, hay que tener en cuenta, aparte de las consideradas, otras variables.

Ambas fórmulas ($a$) y ($b$) son semejantes, pero no idénticas. En ellas se observa, de modo claro, que el aluminato tricálcico se porta, en cuanto a la expansión, de forma completamente distinta a los otros componentes.

No creemos, por los valores de los coeficientes de correlación hallados, que tenga interés una crítica de dichas fórmulas.



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

## COMPOSICION POTENCIAL SEGUN BOGUE Y EXPANSION EN AUTOCLAVE DE MUESTRAS DE CEMENTO PORTLAND

| MUESTRA núm. | COMPOSICION POTENCIAL POR 100 | | | | | | EXPANSION POR 100 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $C_3S$ | $C_2S$ | $C_3A$ | $C_4AF$ | Yeso | MgO | Medida | Calculada fórmula *a)* | Calculada fórmula *b)* |
| 1 | 49 | 20 | 13 | 9 | 3,7 | 1,3 | 0,91 | 1,52 | 0,81 |
| 2 | 66 | 2 | 13 | 8 | 4.6 | 1,5 | 3,22 | 1,63 | — |
| 3 | 30 | 44 | 13 | 7 | 4,1 | 1,4 | 0,10 | 0,36 | 0,43 |
| 4 | 49 | 28 | 10 | 6 | 2,8 | 2,0 | 0,39 | 0,05 | 0,20 |
| 5 | 44 | 30 | 7 | 8 | 2,4 | 3,1 | 0,20 | — 0,08 | 0,14 |
| 6 | 57 | 17 | 8 | 10 | 4,1 | 1,4 | 0,23 | 0,15 | — 0,21 |
| 7 | 39 | 29 | 18 | 8 | 4,6 | 1,0 | 1,30 | 1,70 | 0,93 |
| 8 | 42 | 32 | 12 | 7 | 2,8 | 2,9 | 1,40 | 0,05 | 0,20 |
| 9 | 40 | 30 | 12 | 8 | 6,4 | 2,1 | 0,03 | 0,11 | 0,23 |
| 10 | 46 | 24 | 13 | 8 | 4,3 | 1,8 | 0,34 | 0,96 | 0,57 |
| 11 | 55 | 15 | 14 | 7 | 4,3 | 2,1 | 0,49 | 1,02 | 0,53 |
| 12 | 34 | 27 | 11 | 20 | 4,1 | 3,0 | 0,17 | 0,65 | 0,45 |
| 13 | 36 | 34 | 14 | 8 | 4,6 | 1,5 | 0,54 | 0,96 | 0,63 |
| 14 | 44 | 27 | 13 | 7 | 4,3 | 2,6 | 0,58 | 0,43 | 0,34 |
| 15 | 43 | 22 | 19 | 8 | 3,7 | 1,7 | 2,04 | 2,30 | — |
| 16 | 34 | 38 | 12 | 9 | 3,9 | 1,8 | 0,85 | 0,41 | 0,41 |
| 17 | 34 | 39 | 13 | 6 | 3,2 | 1,8 | 1,65 | 0,80 | — |
| 18 | 47 | 25 | 13 | 9 | 2,8 | 0,7 | 0,30 | 1,44 | 0,81 |
| 19 | 13 | 51 | 20 | 6 | 1,4 | 6,0 | 0,27 | 0,96 | 0,62 |
| 20 | 40 | 33 | 3 | 13 | 4,7 | 1,1 | 0,05 | — 0,22 | 0,16 |
| 21 | 38 | 26 | 15 | 9 | 6,5 | 2,4 | 1,54 | 1,10 | — |
| 22 | 56 | 14 | 13 | 6 | 8,0 | 0,8 | 0,40 | 0,71 | 0,42 |
| 23 | 29 | 42 | 14 | 6 | 3,7 | 2,8 | 0,50 | 0,53 | 0,46 |
| 24 | 32 | 39 | 15 | 7 | 4,1 | 1,4 | 0,29 | 1,04 | 0,69 |
| 25 | 44 | 25 | 10 | 13 | 4,3 | 1.8 | 0,14 | 0,48 | 0,38 |
| 26 | 26 | 40 | 19 | 8 | 3,9 | 1,5 | 5,64 | 1,99 | — |
| 27 | 26 | 43 | 14 | 7 | 5,0 | 2,6 | 0,59 | 0,52 | 0,46 |
| 28 | 33 | 36 | 14 | 10 | 3,3 | 1,2 | 0,90 | 1,44 | 0,86 |
| 29 | 25 | 42 | 15 | 11 | 4,2 | 1,1 | 1,41 | 1,46 | 0,90 |
| 30 | 34 | 39 | 9 | 9 | 1,7 | 2,5 | 1,16 | 0,47 | 0,44 |
| 31 | 42 | 35 | 9 | 7 | 3,9 | 1,0 | 0,08 | 0,05 | 0,26 |
| 32 | 35 | 35 | 10 | 12 | 2,8 | 2,5 | 0,23 | 0,40 | 0,39 |
| 33 | 47 | 20 | 15 | 8 | 5,2 | 2,6 | 0,23 | 0,94 | 0,52 |
| 34 | 25 | 44 | 15 | 7 | 5,0 | 1,4 | 1,46 | 1,15 | 0,77 |
| 35 | 40 | 32 | 7 | 11 | 4,3 | 2,6 | 0,16 | — 0,38 | 0,03 |
| 36 | 59 | 17 | 9 | 6 | 4,7 | 2,1 | 0,34 | — 0,28 | — 0,01 |
| 37 | 42 | 28 | 11 | 6 | 2,4 | 3,0 | 0,51 | 1,12 | 0,64 |
| 38 | 31 | 36 | 14 | 9 | 4,8 | 1,4 | 1,33 | 1,43 | 0.85 |
| 39 | 25 | 49 | 16 | 2 | 5,3 | 1,0 | 0,24 | 0,85 | 0,66 |
| 40 | 40 | 36 | 13 | 2 | 5.3 | 1,2 | 0,24 | 0,41 | 0,40 |
| 41 | 32 | 40 | 13 | 8 | 4,7 | 1,7 | 0,09 | 0,34 | 0,39 |
| 42 | 52 | 24 | 14 | 2 | 5,7 | 0,8 | 0.27 | 0,61 | 0,42 |
| 43 | 67 | 12 | 12 | 1 | 4,6 | 1,1 | 0,16 | 0,37 | 0,25 |
| VALORES MEDIOS | 40 | 31 | 13 | 8 | 4,2 | 1,9 | 0,74 | 0,73 | 0,46 |

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