

617-122

Una nota más acerca de la expansión de los cementos

Prof. Dr. JOSE CALLEJA

R E S U M E N

Se aportan nuevos datos y conclusiones en pro de la tesis acerca de la limitación del campo de aplicación de los métodos para determinar la expansibilidad de los cementos. Asimismo, se discute la validez de los resultados y, sobre todo, la comparabilidad entre los de un mismo método realizado en distintas condiciones, los de diversos métodos diferentes, y los de cualquiera de ellos con los de la expansión en la realidad práctica.

1. MEMORANDUM

Recientemente se han publicado dos trabajos con la firma del autor del presente, y la de un colaborador suyo en uno de ellos, relativos, el primero (1), a la expansión de los cementos y a los métodos para su determinación. En él se marcaba un énfasis especial sobre las limitaciones en el campo de aplicación y en la validez de los resultados del ensayo de expansión de cementos en autoclave. El segundo trabajo (2) se refería a la cal libre de los cementos en relación con la mencionada expansión.

De ellos interesa recordar principalmente los siguientes puntos:

- a): que el ensayo de expansión de cementos en autoclave, no por más drástico es el más seguro en todos los casos;
- b): que tampoco es el más representativo, en cuanto a reflejar el comportamiento real (expansivo o no) de los cementos en la práctica;
- c): que no se debe aplicar con igual criterio a todos los tipos de cemento, ni fijar, basadas en él, las mismas limitaciones expansivas para todos ellos;
- d): que, en general, no se puede pretender encontrar una buena correlación, ni entre resultados de expansión en autoclave y resultados de expansión determinada por otros métodos, ni entre los primeros y los contenidos de cal libre de los cementos ensayados.

2. CONFIRMACION

Más recientemente se ha tenido ocasión de ver confirmadas algunas de estas ideas en un

trabajo previo (3), relativo a las características expansivas de un cemento portland ordinario, afectado de una fuerte expansión en autoclave. En tal sentido, el primer párrafo de la conclusión del citado trabajo dice textualmente: “El grado de expansión de los morteros conservados de forma continua a 22°C y 95 % de humedad relativa indica que cementos con una elevada expansión en autoclave no producirían necesariamente expansión en condiciones ambientales”.

Sólo este párrafo confirma a un tiempo lo expuesto por nuestra parte en los puntos a), b), c) y d), y particularmente en los dos primeros.

En un interesante trabajo publicado en este mismo número y cuyos resultados y primeras conclusiones fueron dados a conocer en una reunión de la Associação Brasileira de Cimento Portland, en Sao Paulo (Brasil), en marzo de 1971, el Dr. VERONELLI (4) puso de relieve, de forma muy documentada, que al estudiar la expansión de los cementos en autoclave, en función de la velocidad de enfriamiento del clínker de que proceden, y en relación con la expansión observada después de 15 años de inmersión en agua, se podían extraer, de forma clara y convincente, las siguientes conclusiones:

- 1.^a Que la velocidad de enfriamiento del clínker, no solamente no parece influir en el comportamiento a largo plazo del cemento y del mortero al aire y bajo agua, según GONNERMAN, LERCH y WHITESIDE (5) sino que, ampliando esta conclusión, habría que admitir que, en la mayoría de los casos, la expansión a largo plazo, en condiciones de curado normal, es mayor en un cemento procedente de un clínker enfriado rápidamente. Y esto, a pesar de las grandes diferencias acusadas por la expansión en autoclave para cemento de clínker enfriado deprisa o despacio. Según lo que antecede, el enfriamiento rápido preconizado para el clínker sólo sirve para que el cemento cumpla con la limitación impuesta en las normas, en virtud del ensayo del autoclave, pero no para garantizar que el cemento no sea realmente expansivo en la práctica (4).
- 2.^a Que la falta de correlación entre la expansión detectada por el ensayo de autoclave y el comportamiento real de los cementos, es un hecho; el cual puede ser atribuido a la posible hidratación no total de la periclase en el autoclave, y a la distinta naturaleza física, química y fisicoquímica de los productos de hidratación resultantes en las condiciones del autoclave y en las condiciones ordinarias. Del análisis de resultados deduce VERONELLI (4) que, si a los de expansión en autoclave agrupados en orden creciente corresponden otros de expansión a largo plazo, los cuales no reflejan ninguna tendencia definida, no se justifica la confianza que se atribuye al ensayo en autoclave, como índice real de la expansión de un cemento en condiciones prácticas a largo plazo.
- 3.^a Que, en virtud de las dos conclusiones anteriores, no se ha logrado todavía —y se podría añadir que ni será fácil o incluso posible conseguir jamás— una ecuación de regresión que correlacione la expansión real a largo plazo de los cementos, con sus correspondientes expansiones en autoclave, o solamente con ellas.

3. NUEVAS CONSIDERACIONES

En el citado trabajo (3) se señalan algunos aspectos que arrojan nueva luz sobre los puntos antes expuestos. Uno de ellos es que el curado preliminar de las probetas, anterior al ensayo de expansión en autoclave o bajo agua en ebullición, influye en los resultados de

estos ensayos, aunque de forma contraria en uno y en otro: la expansión bajo agua hirviendo aumenta al aumentar el tiempo de curado previo (a 22°C y a 95 HR), mientras que la expansión en autoclave disminuye. En el primer caso el aumento (y el máximo) de expansión coincide con una disminución (y un mínimo) de resistencia mecánica de las probetas. Esto es así porque las pastas curadas previamente durante un cierto período de tiempo, antes de someterlas a la ebullición, son aún lo suficientemente plásticas y deformables como para que los productos de la expansión se acomoden en el material, sin que ésta se haga demasiado ostensible al exterior. Pero con períodos de curado previo más largos la pasta se vuelve más rígida, hasta el punto de que los productos de la expansión no se acomodan, y ésta se manifiesta en toda su magnitud, ya que la rigidez contribuye a la mejor transmisión de las fuerzas expansivas que tienden a separar las agujas Le Chatelier, en el caso de este ensayo. Si el curado previo es aún más prolongado, la resistencia alcanzada por la pasta puede ser ya tal que ésta aguante y absorba, cada vez más, los esfuerzos expansivos, cuyos efectos se manifestarán, cada vez menos, ya que además serán sólo los atribuibles a la expansión residual, esto es, a la total menos la que haya podido manifestarse sin consecuencias durante el prolongado curado previo. Estos efectos se pueden apreciar, como queda indicado, en el caso del ensayo de la expansión con agujas Le Chatelier.

Otro aspecto del trabajo comentado, digno de ser tenido en cuenta, es que la expansión total de un cemento depende de la velocidad con que dicha expansión se desarrolla, y, por lo tanto, de las características del método con que se determina.

Un tercer aspecto es que las diferencias en el comportamiento expansivo de un cemento ensayado por distintos métodos depende también, en parte, del hecho de que la probeta se halle confinada en un molde y constreñida en cierta medida por él durante el ensayo (agujas Le Chatelier), o no (autoclave, galletas).

Estos dos últimos aspectos, y sobre todo el primero de ellos, se pueden explicar en función de la velocidad de hidratación de los constituyentes expansivos, y de la velocidad de desarrollo de las resistencias mecánicas y, por consiguiente, en función de la resultante de la interacción de ambos factores en cada momento. Esto se puede apreciar, esquemáticamente representado, en el gráfico de la figura 1.

La parte superior I representa las curvas de endurecimiento de tres cementos 1, 2 y 3, más resistentes a cualquier edad en el orden indicado. La parte media II muestra las curvas de los esfuerzos de expansión de otros tres cementos A, B y C, más expansivos a cualquier edad, también según el orden expuesto. La parte inferior C presenta las curvas resultantes de componer o combinar unas y otras curvas de todas las maneras posibles, restando las A, B, C de las 1, 2, 3.

Los resultados del esquema, sólo válido a efectos indicativos, muestran que los cementos con diversas velocidades de endurecimiento y de desarrollo de la expansión podrán resistir mejor o peor los efectos de ésta, conservando resistencias residuales mayores o menores —1C, 2C, 1B, 3C, 1A—, o no resistirlos —3A, 2B, 3B, 2A—. Lo segundo sucede cuando la expansión anula a la resistencia desde el primer momento (o en cualquier etapa del endurecimiento —esquema de la figura 2—). Ello depende de las citadas velocidades y de los valores alcanzados por la resistencia y por las fuerzas expansivas en cada instante.

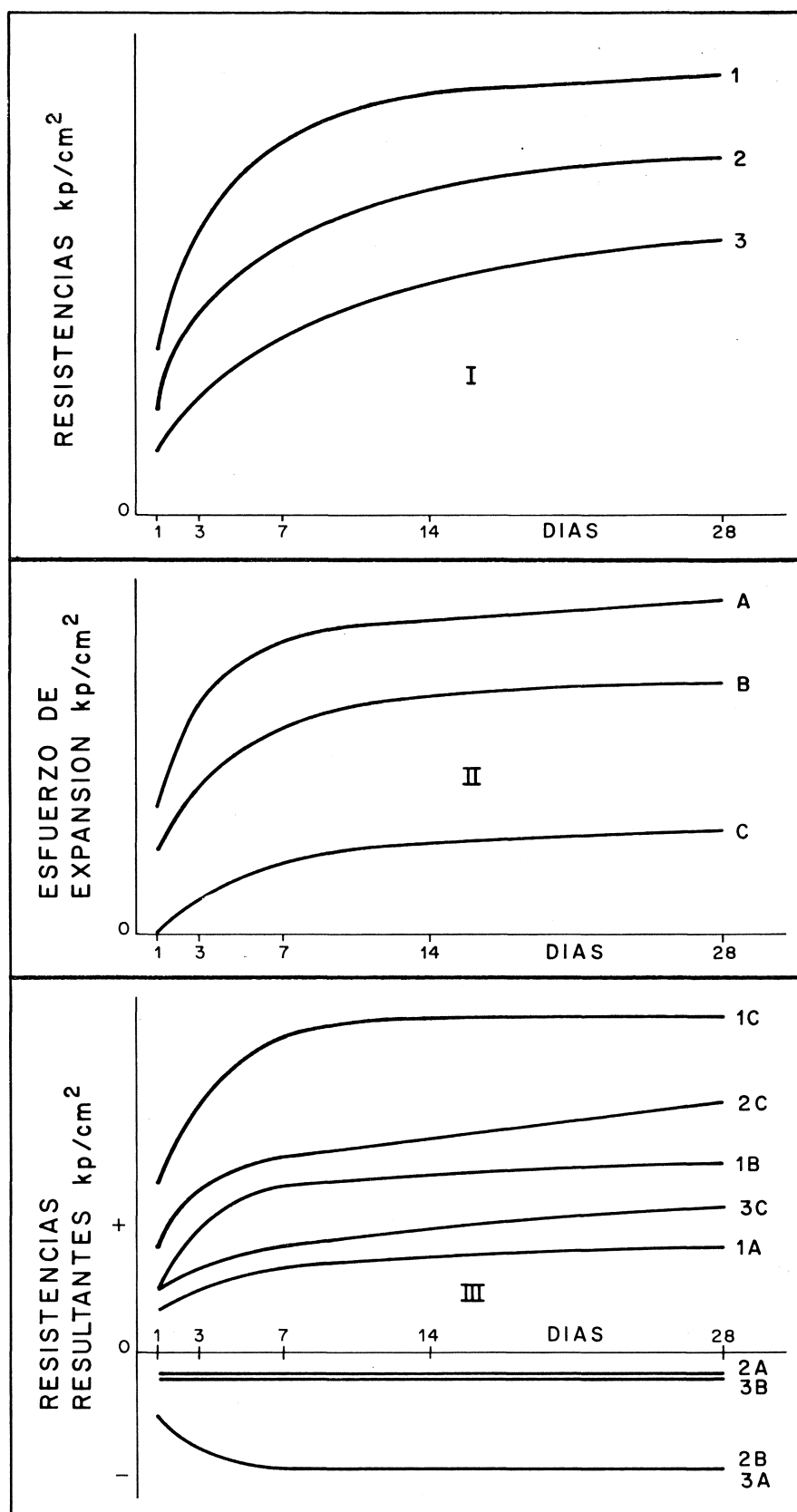


Fig. 1

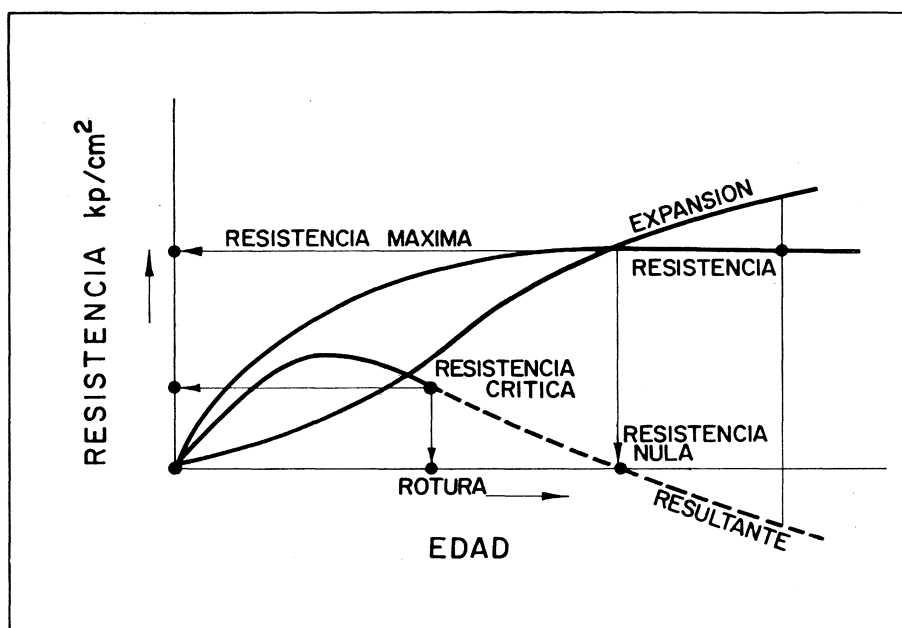


Fig. 2

4. CONCLUSIONES

En resumen, si la duración del curado preliminar, previo al ensayo de expansión así como sus condiciones, tienen tanta importancia en los resultados*; si la velocidad de desarrollo de la expansión, en relación con la velocidad de desarrollo de las resistencias, también influye tanto en los efectos de la expansión; si el hecho de producirse la expansión en probetas constreñidas en molde, o bien libremente, ejerce asimismo una cierta influencia, todo ello lleva a las conclusiones siguientes:

- a) un mismo método de determinación de la expansión, aplicado en condiciones experimentales distintas (p. ej., en cuanto se refiere al curado previo al ensayo, o a la temperatura o duración del mismo) puede conducir a resultados distintos y, por lo tanto, no comparables entre sí. Por vía de ejemplo se propone el siguiente caso: un cemento sometido al ensayo de expansión Le Chatelier puede resultar expansivo en una prueba de 6 horas, efectuada al nivel del mar —presión atmosférica normal de 760 mm Hg; temperatura de ebullición del agua 100°C— exigiéndose una expansión máxima de 5 mm, mientras que el mismo cemento podría no resultar expansivo en otra prueba de 1 hora, realizada a una altitud como la de La Paz (Bolivia) de unos 3.650 m —presión atmosférica de unos 480 mm Hg; temperatura de ebullición del agua, unos 83°C— prescribiéndose una expansión máxima de 10 mm. Con respecto a las distintas condiciones en que se practica el método Le Chatelier en cuanto a duración del ensayo, y expansión máxima tolerada, véase la referencia (1);
- b) con mayor razón, métodos distintos en su realización y en sus condiciones experimentales no tienen por qué dar resultados comparables y, de hecho, no los dan, aún midiendo la expansión debida a una misma causa o causas;

* No es de extrañar, dada la trascendencia que con razón se atribuye al período preliminar en el desarrollo de las resistencias, en la técnica del tratamiento higrotérmico del hormigón (5) (6).

- c) aún con más motivo, métodos que dentro de las condiciones b), por su naturaleza miden expansiones debidas a distintas causas en número y calidad —cal libre y/o magnesia libre y/o aluminatos, etc.—, tampoco dan resultados que puedan ser comparables;
- d) si un mismo método y, más aún, métodos distintos, según las diferentes condiciones experimentales pueden no dar —o no dan— resultados comparables, tampoco se puede esperar que estos resultados sean comparables con los del comportamiento real, en la práctica, de los cementos ensayados, precisamente por la diferencia de condiciones, ya que los métodos de ensayo, por su carácter de acelerados, se realizan en condiciones distintas y más drásticas que las reales;
- e) en consecuencia, el valor de tales métodos de ensayo, realizados siempre en las mismas condiciones, perfectamente especificadas, consiste en poder comparar, en dichas condiciones, la capacidad expansiva potencial (que a veces no real) de los cementos sometidos a la prueba. Aun este valor es limitado, pues, por ejemplo, el ensayo del autoclave no se puede aplicar con fines comparativos a cementos (“portland”) con adiciones y sin ellas (1), y el método Le Chatelier no se puede aplicar, tal cual, con igual finalidad, en Amsterdam, o Mar del Plata, que en La Paz, o en Ciudad de Méjico, por ejemplo.

REFERENCIAS

- (1) CALLEJA, J.: “Sobre la expansión de los cementos y los métodos para su determinación: Limitaciones lógicas del campo de aplicación y de la validez de los resultados de ensayos de expansión de cementos en autoclave”. *Revista ION*, XXXI, (360), 351-360 (1971): *Materiales de Construcción — Últimos Avances* (I.E.T.c.c.). Núm. 141 (1971).
- (2) CALLEJA, J. y DEL OLMO, C.: “La cal libre de los cementos y la expansión en autoclave”. *Revista ION* XXXI (363), 565-571 (1971). *Materiales de Construcción — Últimos Avances* (I.E.T.c.c.). Núm. 143 (1971).
- (3) VAN RENSBURG, J. J. J., KRUGER, J. E. y VAN AARDT, J. H. P.: “A study of the expansion characteristics of an ordinary Portland cement with a high autoclave expansion”. C S I R Research Report 251, Bull. 46 National Building Research Institute of Pretoria (South Africa), 1967.
- (4) VERONELLI, D.: “El ensayo de expansión en autoclave como método de determinación de la estabilidad del cemento Portland. Observaciones sobre falta de concordancia de sus resultados con el real comportamiento de muchos cementos”. *Materiales de Construcción — Últimos Avances* (I.E.T.c.c.). Núm. 145 (1972).
- (5) GONNERMAN, H. F., LERCH, W. y WHITESIDE, T.: “Investigations on the hydration expansion characteristics of portland cements”. *Portland Cement Association, Bulletin* 45 (1953).
- (6) SAUL, A. G. A.: “Principles underlaying the steam curing of concrete at atmospheric pressure”. *Magazine of Concrete Research* 127-40 marzo 1957.
- (7) CALLEJA, J.: “Tratamientos térmicos del hormigón”. *Revista de Ciencia Aplicada*, Nos. 119 nov.-dic. 1967 y 120 ene.-feb. 1968. *Materiales de Construcción — Últimos Avances* (I.E.T.c.c.). Núm. 129 (1968).