

617-121

# 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 comportamiento real de muchos cementos

**DANTE J. E. VERONELLI**

**Asesor Químico de CORCEMAR, S. A.**

Este trabajo fue expuesto en la 13ª. reunión de los Técnicos de la Industria del Cemento organizada por la Asociación Brasileña del Cemento Portland

El ensayo de expansión en autoclave, bajo las condiciones normalizadas en ASTM C-151-69 para el cemento portland, pretende determinar en forma acelerada la expansión que experimentará el cemento y, por lo tanto, el mortero u hormigón en el que se utilice, cuando se halla sometido durante largo tiempo a condiciones de humedad permanente o variable.

Este ensayo, normalizado como tentativa por ASTM en 1940, aunque su discusión ya figura en los Proceedings ASTM de 1936, fue estudiado y ensayado en profundidad desde 1932 a 1952 por H. F. Gonnerman, William Lerch y Thomas Whiteside y publicado por la Portland Cement Association en su Bulletin 45 (1953) bajo el título: "Investigations on the Hydration Expansion Characteristics of Portland Cements".

En la carta de octubre 22 de 1953 con la que el Vicepresidente for Research and Development de la P.C.A., Dr. A. Allan Bates, acompaña la presentación del trabajo dice: "This report contains *the most extensive data ever published* on hydration expansion characteristics of portland cements and *provides a valuable source of information on the subject*. The significant results of these investigations are given in the conclusions".

Efectivamente, este trabajo provee tan valiosa fuente de información que sería redundancia repetir todos sus ensayos para discutir algunas de sus observaciones y otras que figuran como conceptos casi indiscutibles en la literatura técnica referente a este ensayo.

Las investigaciones en todos los campos del cemento portland, desde la fecha de publicación del trabajo de referencia, y la observación más precisa y continuada de obras en las que se conocen con exactitud todas las características físicas y químicas de los cementos empleados, han permitido disponer de mayores informaciones que las que se contaban en la fecha de normalización de este ensayo.

Concordando con los conceptos del Dr. Allan Bates, he preferido referir mis observaciones

a los valores que figuran en el extenso trabajo publicado por la P.C.A. Sobre esta base he establecido los siguientes puntos en discusión:

- 1) Influencia de la velocidad del enfriamiento del clínker en el comportamiento de los cementos fabricados.
- 2) Relación entre los valores de la expansión acusada por el ensayo en autoclave con los comprobados para los mismos cementos luego de 15 años de inmersión en agua.
- 3) Amplitud del concepto de "Precisión" aprobado por ASTM en 1969 para la norma C-151.

## **PUNTO 1**

### **Influencia de la velocidad de enfriamiento del clínker en la estabilidad del cemento portland fabricado**

Un concepto muy en boga, que figura en la literatura técnica especializada, es que: "Si el clínker a la salida del horno se enfría rápidamente, el cemento que se fabrique superará el límite del ensayo de expansión en autoclave y, por lo tanto, será aceptado como estable en largos períodos, aun en condiciones de humedad permanente". Este concepto está en cierta forma relacionado con la presencia de fase vítrea en el clínker. A mayor fase vítrea habrá mayor porcentaje de MgO disuelto y, además, en el caso de cristalizar periclasa serán muy finos los cristales.

Uno de los ensayos del trabajo de la P.C.A. fue la comprobación de este supuesto. Para ello compararon la expansión de barras de pasta pura de cemento, sometiénolas al ensayo de expansión en autoclave, contra la expansión de barras gemelas mantenidas 10 años bajo agua luego de curado húmedo normal. Los cementos estudiados provenían de clínker que fue sometido a distintas velocidades de enfriamiento.

La técnica seguida para el ensayo fue la siguiente:

Trabajando sobre clínkeres provenientes de plantas industriales de cemento, cada lote de clínker recibido de fábrica fue dividido en tres partes, para ser mantenida una de ellas en las condiciones de recepción, y las otras dos, que fueron calentadas en horno de laboratorio hasta la temperatura de clinkerización, enfriadas una de ellas lentamente y la otra muy rápidamente.

Los tres tipos de clínker resultantes, para cada serie de ensayos, fueron molidos en laboratorio y adicionados de yeso, con lo cual para cada clínker industrial obtuvieron tres cementos que denominaron: *P*: de clínker enfriado en la planta industrial; *Q*: de clínker enfriado muy rápidamente, y *S*: de clínker enfriado muy lentamente.

Los cementos obtenidos se dividieron en dos series:

*Serie 270*: Formada por cementos preparados por molienda en laboratorio de 26 clínkeres comerciales, antes y después del tratamiento térmico en laboratorio.

*Serie 276*: Formada por cementos preparados por molienda en laboratorio de clínkeres que provienen de tres plantas industriales diferentes, denominadas A, B y C, tratados en las mismas condiciones que la serie anterior.

Del conjunto de valores tabulados en el trabajo de la P.C.A. (Boletín 45), he tomado de aquellas muestras relacionables las columnas correspondientes a: % de fase vítrea; ex-

pansión en autoclave; expansión luego de 10 años sumergidas bajo agua (para estas dos determinaciones de expansión trabajaron con barras gemelas de pasta pura de cemento); y valor de las resistencias medidas en barras de mortero 1:2, luego de haberlas mantenido 10 años sumergidas en agua.

Los valores extraídos de la serie 270 constituyen la tabla 1.

Los valores extraídos de la serie 276 contituyen las tablas 2, 3 y 4.

TABLA 1  
Serie 270 (P.C.A. Boletín 45)

Muestra	Vidrio (%)	Expansión en autoclave	Expansión en 10 años bajo agua	Mortero 1 : 2 10 años/agua	
				Flexión (kp/cm <sup>2</sup> )	Compresión
1 S	0	5,7	0,236	94,91	805
1 P	2	3,2	0,332	85,07	793
1 Q	8	10,6	0,472	94,56	819
2 S	1	0,027	0,123	97,44	865,50
2 P	5	0,142	0,244	90,70	811
2 Q	21	0,116	0,202	85,07	739,60
3 S	0	10,6	0,198	—	—
3 P	11	0,66	0,222	95,26	780
3 Q	16	0,17	0,224	106,16	930,91
4 S	1	10,8	0,228	92,81	883,72
4 P	21	10,4	0,536	104,40	848
4 Q	22	0,55	0,322	99,13	870,42
5 S	—	0,006	0,122	—	—
5 P	—	0,003	0,134	—	—
5 Q	—	0,003	0,132	95,62	889,41
6 S	3	0,112	0,110	103,70	907
6 P	2	0,084	0,136	103,70	968
6 Q	14	0,042	0,131	93,16	990
7 S	2	8,2	0,206	94,91	715,72
7 P	8	0,958	0,249	96,67	772
7 Q	21	0,140	0,269	94,56	869,72
8 S	0	10,9	0,174	102,30	868
8 P	11	0,146	0,206	101,95	937
8 Q	12	0,167	0,206	113,54	1.001,91
9 S	0	11,0	0,228	100,54	727
9 P	8	0,416	0,238	101,59	887
9 Q	14	0,198	0,244	90,70	872,50
10 S	1	0,158	0,110	108,62	921
10 P	2	12,0	0,260	96,32	872,50
10 Q	10	8,9	0,222	91,75	1.004,72
11 S	3	— 0,006	0,076	100,89	925
11 P	7	— 0,002	0,072	95,97	923
11 Q	8	0,036	0,104	101,24	917,51
12 S	1	0,050	0,115	100,54	942
12 P	9	0,004	0,110	98,08	878
12 Q	21	0,038	0,117	99,48	856
13 S	0	11,5	0,208	99,84	830
13 P	4	0,258	0,237	95,97	920
13 Q	15	0,108	0,247	91,40	839,41
14 S	0	9,5	0,200	91,40	782,50
14 P	6	0,332	0,298	96,32	800
14 Q	15	0,132	0,266	100,54	938
15 S	2	11,3	0,222	104,05	830
15 P	5	0,655	0,336	101,24	850
15 Q	16	0,298	0,364	98,43	933,72
16 S	0	9,4	0,180	101,24	724
16 P	11	0,313	0,214	89,64	860
16 Q	17	0,098	0,216	98,08	904
17 S	0	0,308	0,105	95,97	784,61
17 P	5	0,096	0,114	106,16	976,52
17 Q	12	0,042	0,137	98,78	914

TABLA 1 (Continuación)

Muestra	Vidrio (%)	Expansión en autoclave	Expansión en 10 años bajo agua	Mortero 1 : 2 10 años/agua	
				Flexión (kp/cm <sup>2</sup> )	Compresión
18 S	0	10,8	0,174	94,56	737
18 P	10	0,984	0,240	91,75	808
18 Q	18	0,136	0,246	100,54	922
19 S	0	12,8	0,217	106,51	780
19 P	7	0,836	0,252	103,35	859
19 Q	11	0,113	0,258	102,65	936,50
20 S	4	0,318	0,098	95,62	814
20 P	2	0,371	0,184	96,67	873
20 Q	13	0,148	0,168	87,18	721
21 S	1	0,840	0,125	90,70	681
21 P	5	0,374	0,132	102,65	869
21 Q	9	0,038	0,138	99,84	966
22 S	0	12,5	0,215	92,10	708
22 P	3	3,4	0,264	101,24	774
22 Q	11	0,248	0,268	92,10	805
23 S	2	3,8	0,253	100,89	770,51
23 P	5	1,260	0,342	95,26	836
23 Q	11	0,270	0,355	94,56	908
24 S	—	9,7	0,314	—	—
24 P	—	0,008	0,191	—	—
24 Q	—	10,2	0,308	—	—
25 S	0	0,740	0,310	—	—
25 P	5	0,105	0,271	—	—
25 Q	20	0,122	0,264	—	—
26 S	1	0,137	0,150	—	—
26 P	8	0,010	0,150	—	—
26 Q	12	0,097	0,211	—	—

TABLA 2  
Clinkeres de planta A de la Serie 276 (P.C.A. Boletín 45)

Muestra	Expansión en autoclave	Expansión en 10 años bajo agua	Mortero 1 : 2 10 años/agua	
			Flexión (kp/cm <sup>2</sup> )	Compresión
13 S	0,448	0,192	93,16	791
13 P	0,252	0,216	99,84	771
13 Q	0,151	0,202	86,12	789
14 S	0,301	0,199	106,87	769
14 P	2,320	0,202	89,64	816
14 Q	0,069	0,176	87,54	644
15 S	0,245	0,174	89,64	718
15 P	0,165	0,179	97,02	751,52
15 Q	0,076	0,129	94,56	784
16 S	0,172	0,182	97,02	729
16 P	0,110	0,146	89,64	751
16 Q	0,076	0,147	93,51	739
17 S	12,2	0,352	86,12	791
17 P	0,110	0,168	87,88	720
17 Q	0,028	0,171	85,77	829
20 S	0,844	0,207	86,83	794
20 P	0,105	0,168	101,95	857
20 Q	0,120	0,204	88,59	860,51
21 S	0,687	0,200	88,59	643
21 P	0,100	0,158	83,66	676
21 Q	0,083	0,158	92,10	778
22 S	0,272	0,186	99,84	795
22 P	0,132	0,204	105,11	853
22 Q	0,150	0,200	90,70	754

TABLA 3  
Clínteres de planta B de la serie 276 (P.C.A. Boletín 45)

Muestra	Expansión en autoclave	Expansión en 10 años bajo agua	Mortero 1 : 2 10 años/agua	
			Flexión (kp/cm <sup>2</sup> )	Compresión
5 S	0,689	0,228	91,75	852
5 P	0,129	0,194	91,75	940
5 Q	0,097	0,204	91,05	913
6 S	0,316	0,148	96,67	867,61
6 P	0,043	0,170	95,97	959
6 Q	0,036	0,191	92,45	886,60
7 S	0,195	0,136	94,56	877
7 P	0,022	0,156	88,94	957
7 Q	0,023	0,168	96,67	924,51
8 S	0,461	0,166	94,56	941
8 P	0,063	0,190	95,62	967
8 Q	0,049	0,200	99,48	962
9 S	0,554	0,194	94,56	852
9 P	0,113	0,218	88,94	910
9 Q	0,100	0,252	97,37	945

TABLA 4  
Clínteres de planta C de la serie 276 (P.C.A. Boletín 45)

Muestra	Expansión en autoclave	Expansión en 10 años bajo agua	Mortero 1 : 2 10 años/agua	
			Flexión (kp/cm <sup>2</sup> )	Compresión
1 S	0,403	0,166	91,05	799
1 P	0,195	0,260	87,43	765
1 Q	0,078	0,263	94,21	774
2 S	0,353	0,178	92,81	724
2 P	0,164	0,234	93,51	798
2 Q	0,056	0,255	74,87	700
3 S	0,504	0,182	93,51	792
3 P	0,171	0,248	96,32	805
3 Q	0,047	0,238	87,53	790
4 S	0,714	0,191	91,05	715
4 P	0,103	0,198	99,48	834
4 Q	0,020	0,205	87,53	729
5 S	0,572	0,208	97,73	768
5 P	0,064	0,182	91,05	857
5 Q	0,006	0,205	92,45	808
6 S	0,485	0,222	82,61	726
6 P	0,141	0,246	88,23	771
6 Q	0,133	0,292	89,29	700

De los valores tabulados, Gonnerman, Lerch y Whiteside, en el trabajo citado expresan la siguiente conclusión:

“A pesar de las *amplias diferencias de expansión* acusadas por el autoclave entre el cemento que proviene de clínter rápidamente enfriado, contra clínter lentamente enfriado, el comportamiento a largo plazo, tanto bajo agua como al aire, del cemento puro y del mortero, así como las resistencias mecánicas, *no presentan ninguna diferencia entre los valores obtenidos a pesar del diferente enfriamiento del clínter original*”.

De los valores tabulados me permito extraer una conclusión más amplia. Debemos admitir que en la mayoría de los casos la expansión en condiciones de curado normal y a

largo plazo es mayor en el cemento que proviene de clínker rápidamente enfriado, lo que contraría aún más los resultados acusados por el autoclave.

Es decir, que el enfriamiento rápido del clínker, aconsejado para superar los límites del ensayo en el autoclave, sólo sirve como artificio técnico para superar un índice impuesto por las normas de calidad, pero en ninguna forma modifica las características físico-mecánicas del cemento obtenido.

Por lo tanto, en este punto el ensayo de expansión en autoclave no tiene ninguna relación con el comportamiento a largo plazo, en condiciones normales de trabajo, del cemento portland.

## PUNTO 2

### **Relación entre los valores de la expansión acusada por el autoclave con los comprobados sobre barras gemelas sometidas a curado húmedo e inmersión bajo agua durante 15 años**

Cementos normales de planta industrial.

La expansión que se quiere detectar por el ensayo acelerado sometiendo barras de pasta pura de cemento, a condiciones sumamente enérgicas, de temperatura y presión de vapor de agua normalizadas (215°C y 21 atmósferas durante 3 horas), es la que se debe a la hidratación retardada del MgO libre, cristalizado como periclasa y, en ciertos casos, al exceso de cal libre.

Se supone que esta hidratación de la periclasa (MgO) al pasar a brucita [Mg(OH)<sub>2</sub>] es sumamente lenta y si se produce dentro de una masa fraguada deberá producir tensiones, que darán lugar a la destrucción del hormigón.

Sin embargo, algunas observaciones que expondré en un trabajo en preparación llevan a dudar sobre la posibilidad de esta hidratación total, expansiva, del MgO dentro de las condiciones de resistencia de una masa de hormigón fraguado. Además, por las características reológicas del hormigón, se deberá admitir que ciertos procesos de deformación atensionales, en los que se encuadraría la expansión lenta y limitada, producida por una también limitada hidratación del MgO, debido a las resistencias alcanzadas, no llegarán a producir deformaciones peligrosas en el hormigón. El ensayo de expansión en autoclave se aparta tanto de las condiciones normales de hidratación del cemento, que las características físicoquímicas de los productos obtenidos en esta hidratación acelerada difieren fundamentalmente de los que se producen en una hidratación normal a temperatura ambiente.

Según C. A. Menzel y W. C. Hansen se produce en el tratamiento por vapor una expansión atribuible a la alta proporción de material cristalino, que a temperatura normal no se hubiera producido.

Los silicatos de calcio hidratados tienden a cambiar su condición normal gelatinosa por un estado cristalino; los cristales planos hexagonales del aluminato tricálcico hidratado se transforman en una forma cúbica menos soluble.

Según T. C. Powers, el principal efecto es bajar la superficie específica de los productos de hidratación lo suficiente para eliminar muchos de sus atributos coloidales. Incluso, todos estos factores físicos y químicos que aceleran las primeras reacciones modifican la resistencia final del cemento.

Es a estos fenómenos, cuya influencia conjunta aún no ha sido suficientemente determinada, y que parecerían ser específicos para cada cemento, a los que debemos atribuir la *falta de correlación* muy significativa, como veremos, entre los valores de la expansión acusada por el autoclave como ensayo acelerado, y el comportamiento real, a largo plazo, del cemento, mortero u hormigón, en condiciones de humedad permanente, así como de los distintos cementos entre sí.

En ninguna norma se estipula el límite de la expansión del cemento, a largo plazo, que deba ser calificada como peligrosa para la estabilidad de las obras. En cambio se ha estipulado un límite para la expansión producida en el autoclave, por encima de la cual debe suponerse que el cemento en ensayo experimentará en obras una expansión inconveniente.

Sobre el primer punto se encuentra en la pág. 59 del trabajo de la P.C.A. (Boletín 45), la siguiente indicación:

“Los resultados indican (serie 263) que los cementos portland comerciales que tuvieron en autoclave expansión del 0,50 % demuestran, en general, una expansión aproximada del 0,26 % en barras de pasta pura y del 0,08 % en mortero 1:2, luego de 15 años de curado húmedo continuo”.

Y en la página 68 del mismo trabajo se dice:

“Debe hacerse notar sin embargo que en el promedio de expansión en agua entre 0,20 y 0,26 % que *no debe ser considerado anormal* hubo muchos cementos que tuvieron expansiones en autoclave mayores de 0,5 % y hubo varios que tuvieron expansión en autoclave en exceso del 1 % (entre 1,0 y 3,0 %)”.

Tomando en consideración estas indicaciones del valor 0,26 % de la expansión para pasta pura de cemento, luego de 15 años de curado húmedo, como normal y no peligrosa, y el valor 0,80 % establecido actualmente por ASTM como máximo aceptable para la expansión acusada por el ensayo en autoclave, se extraen de las tablas de la serie 263 (P.C.A. Boletín 45; tablas R y T) los valores correspondientes a cementos que se hallan dentro de uno u otro límite, pero sin concordar en el concepto de aceptación o rechazo.

Los valores que conforman la serie 263 corresponden a los ensayos de 418 cementos portland comerciales.

Los valores que se extraen se agrupan formando las siguientes tablas:

T A B L A 5

*Cementos que acusaron en el ensayo en autoclave expansiones mayores de 0,80 % (límite actual de la norma ASTM) y experimentaron, luego de 15 años de curado húmedo, expansiones menores de 0,26 %.*

Cemento	Expansión en autoclave (%)	Expansión en 15 años bajo agua (%)
205	1,287	0,215
187	0,806	0,224
203	0,987	0,232
204	2,901	0,241
U-100	1,157	0,260

TABLA 6

Cementos que acusaron en el ensayo en autoclave expansiones menores de 0,80 % y experimentaron, luego de 15 años de curado húmedo, expansiones mayores de 0,26 %.

Cemento	Expansión en autoclave (%)	Expansión en 15 años bajo agua (%)
U-33	0,192	0,262
292	0,206	0,262
U-110	0,689	0,262
U-68	0,180	0,263
268	0,693	0,263
O-57	0,176	0,264
O-31	0,340	0,264
U-45	0,396	0,264
U-73	0,164	0,265
U-120	0,286	0,265
U-85	0,418	0,265
O-34	0,460	0,266
393	0,599	0,268
367	0,315	0,268
U-46	0,252	0,269
238	0,263	0,269
124	0,791	0,269
O-32	0,268	0,270
U-95	0,226	0,270
O-103	0,354	0,271
U-72	0,374	0,272
O-18	0,200	0,273
U-43	0,668	0,273
207	0,798	0,274
U-57	0,310	0,275
O-24	0,673	0,276
136	0,733	0,277
O-76	0,222	0,280
O-95	0,222	0,281
U-29	0,318	0,282
O-50	0,406	0,283
O-42	0,496	0,285
185	0,614	0,286
U-82	0,398	0,286
266	0,524	0,287
U-8	0,716	0,287
130	0,785	0,288
U-114	0,202	0,289
O-41	0,290	0,295
221	0,250	0,295
412	0,205	0,296
261	0,650	0,296
U-50	0,570	0,298
210	0,361	0,299
264	0,553	0,300
O-94	0,699	0,300
O-46	0,645	0,301
263	0,645	0,301
174	0,258	0,302
175	0,264	0,302
293	0,246	0,307
U-98	0,723	0,308
344	0,775	0,308
O-81	0,469	0,310
O-23	0,594	0,310
O-58	0,644	0,310
302	0,246	0,312
217	0,313	0,320
U-11	0,560	0,322
U-122	0,182	0,324
201	0,202	0,334
250	0,508	0,344
138	0,498	0,379



TABLA 7

*Expansión en 15 años de curado húmedo de todos los cementos de la serie 263, que experimentaron en el ensayo en autoclave más de 0,80 % de expansión.*

Cemento	Expansión en autoclave (%)	Expansión en 15 años bajo agua (%)
U-90	0,844	0,263
313	0,818	0,271
O-69	0,912	0,272
U-87	1,076	0,273
U-1	1,359	0,275
303	0,835	0,276
U-41	1,405	0,278
270	1,459	0,281
U-10	1,412	0,282
O-62	1,066	0,283
135	0,991	0,287
U-75	2,001	0,294
190	1,484	0,298
263	0,836	0,301
O-40	1,051	0,306
169	0,854	0,310
U-99	1,186	0,311
O,28	0,895	0,325
92	2,690	0,325
112	5,140	0,344
144	2,031	0,358
U-94	8,168	0,362

Conforme a los valores transcritos, extraídos del trabajo de referencia de la P.C.A. (Boletín 45), no se justifica la seguridad ni la concordancia que se pretende atribuir al ensayo de expansión en autoclave, como índice de la expansión que se producirá en el cemento, mortero u hormigón, a muy largo plazo.

Si se acepta que son normales y no peligrosas expansiones luego de 15 años de curado húmedo, para la pasta pura de cemento, del 0,26 % y para el mortero 1:2, del 0,08 %, nos encontramos con las siguientes incongruencias:

En la tabla 5 figuran 5 cementos de la serie 263 que acusaron en el autoclave expansiones entre 0,806 y 2,901 %, es decir, ampliamente superiores al límite de aceptación establecido en la norma ASTM, y a pesar de ello tuvieron a largo plazo expansiones menores que el límite supuesto peligroso.

En la tabla 6 figuran reunidos los 63 cementos de la misma serie, que con expansiones en autoclave entre 0,164 % y 0,798 %, es decir, aceptable, tuvieron expansiones a largo plazo que superaron ampliamente el máximo considerado aceptable, ya que alcanzaron un valor de 0,379 %. Estos valores para la pasta pura de cemento deben compararse con los correspondientes a los 22 cementos que constituyen la tabla 7 en la que se han reunido aquellos que, presentando expansión en autoclave mayor del 0,80 %, también superaron el valor del 0,26 % para la expansión a largo plazo. En este caso el autoclave acusó valo-

res exageradamente más altos que en 15 años bajo agua. Este contraste es máximo en los dos últimos valores de cada tabla:

		Cemento	Autoclave	Largo plazo
Tablas n.ºs	6	138	0,498	0,379
	7	U-94	8,168	0,362

La tabla 8 es una visión en conjunto de los resultados de los 418 cementos estudiados. La síntesis transcribe la serie 263 tal como estuvo constituida en el trabajo de la P.C.A.

Con carácter didáctico se han reunido los cementos por grupos de expansión en autoclave creciente.

Se puede observar que la expansión a largo plazo experimentada por los mismos *no refleja ninguna tendencia definida*, ya que similares valores máximos y mínimos se presentan en todos los grupos, lo que revela la total discordancia con los valores que acusa el autoclave.

T A B L A 8

Cementos	Expansión en autoclave entre: (%)	Expansión en 15 años bajo agua (%)
<u>GRUPO 1</u>		más baja: 0,102
14 cementos	0,016 y 0,04	más alta: 0,157
<u>GRUPO 2</u>		más baja: 0,095
169 cementos	0,06 y 0,105	más alta: 0,254
<u>GRUPO 3</u>		más baja: 0,107
94 cementos	0,106 y 0,205	más alta: 0,334
<u>GRUPO 4</u>		más baja: 0,139
47 cementos	0,206 y 0,304	más alta: 0,312
<u>GRUPO 5</u>		más baja: 0,144
23 cementos	0,310 y 0,398	más alta: 0,320
<u>GRUPO 6</u>		más baja: 0,206
15 cementos	0,406 y 0,504	más alta: 0,379
<u>GRUPO 7</u>		más baja: 0,254
11 cementos	0,508 y 0,599	más alta: 0,344
<u>GRUPO 8</u>		más baja: 0,262
9 cementos	0,614 y 0,699	más alta: 0,310
<u>GRUPO 9</u>		más baja: 0,238
9 cementos	0,716 y 0,798	más alta: 0,308
<u>GRUPO 10</u>		más baja: 0,224
7 cementos	0,806 y 0,895	más alta: 0,325
<u>GRUPO 11</u>		más baja: 0,232
3 cementos	0,912 y 0,991	más alta: 0,287
<u>GRUPO 12</u>		más baja: 0,215
12 cementos	1,051 y 2,001	más alta: 0,311
<u>GRUPO 13</u>		más baja: 0,241
3 cementos	2,031 y 2,901	más alta: 0,358
<u>GRUPO 14</u>		más baja: 0,344
2 cementos	5,140 y 8,168	más alta: 0,362

### **PUNTO 3**

#### **El concepto de "PRECISION" aprobado para la norma C-151 por ASTM**

En el preprint ASTM del 16 de julio de 1968 se publica la propuesta del Comité C-1 por la que proponen para la norma ASTM C 151-66: "Test for Expansion of Portland Cement", junto a otras modificaciones, el agregado de un nuevo capítulo con n.º 10 por el que establecen lo siguiente:

#### 10. Precisión.

10.1. "En el rango de expansión de 0,11 a 0,94 %, la precisión hallada para múltiples pastones repetidos en días distintos, de un solo laboratorio con el mismo operador es 7,46 (R 1 S %) y la precisión hallada para pastones diarios de múltiples laboratorios con operador individual es 15,31 (R 1 S %), tal como está definido en ASTM Recommended Practice E 177, para el uso de los términos Precisión y Exactitud cuando se aplican a una medida de una propiedad de un material; por lo tanto, el 95 % de las veces los resultados de dos ensayos (cada uno el promedio de determinaciones duplicadas de ensayos correctamente realizados) obtenidos por el mismo operador en diferentes días no deberán diferir en más del 21 % de su media, y los resultados de ensayos (cada uno el promedio de determinaciones duplicadas de ensayos correctamente realizados) obtenidos por dos laboratorios no deberán diferir en más del 47 % de su media".

Este nuevo capítulo fue aprobado e incluido en la edición 1969 de la norma ASTM C 151. Dada la amplitud atribuida a las dispersiones admisibles, se consultó al Comité de cementos de ASTM sobre la base estadística usada para obtener esos índices, quienes informaron que los ensayos utilizados figuran en la tabla III del informe "Cooperative studies of autoclave tests of portland cement" (Sponsored by working committee on volume change and soundness of ASTM Committee C-1). Proceeding V. 38 (1938) pp. 280-96. En el capítulo "Uniformidad de los ensayos" el informe dice:

"Considerando el ensayo en autoclave como un ensayo de aceptación del cemento, se deseó obtener información sobre la uniformidad que debía esperarse de ensayos repetidos con el mismo cemento en un determinado laboratorio y en diferentes laboratorios. Con el fin de obtener información en estos puntos, los datos de la tabla III con la información completa de todos los laboratorios para el ensayo normalizado de 5 horas (3 h, a 420°F) fueron analizados estadísticamente para determinar las desviaciones standard para (1) cada barra respecto a la media para un determinado laboratorio y (2) la media de un dado laboratorio respecto a la media general de todos los laboratorios".

En 13 laboratorios estudiaron 35 cementos, repitiendo el ensayo en autoclave en tres días diferentes, con lo cual dispusieron de 1.365 valores (cada valor es el promedio de dos barras ensayadas simultáneamente).

El problema radica en que siendo este ensayo para aceptación o rechazo del cemento portland, con un valor límite especificado por las normas, el concepto de "Precisión" tiene fundamental importancia, pero la amplitud de la discrepancia admisible entre laboratorios puede dar lugar a serios litigios.

En el rango de expansiones entre 0,11 y 0,94 % las discrepancias extremas admisibles entre laboratorios, tal como lo ha establecido ASTM, darán lugar a los siguientes valores:

TABLA 8

Síntesis de valores, agrupando los cementos por su expansión en autoclave creciente en 0,100 % y sus correspondientes expansiones a largo plazo bajo agua, indicando los valores extremos máximo y mínimo de cada grupo (tal como figura en la tabla R del trabajo publicado en el Boletín 45 de la P.C.A.).

Promedio	Diferencia respecto a promedio + -	VALORES ACEPTABLES	
		Laboratorio 1	Laboratorio 2
0,11	0,051	0,059	0,161
0,20	0,094	0,106	0,294
0,30	0,141	0,159	0,441
0,40	0,188	0,212	0,588
0,50	0,235	0,265	0,735
0,60	0,282	0,318	0,882
0,70	0,329	0,371	1,029
0,80	0,376	0,424	1,176
0,90	0,423	0,477	1,323
0,94	0,441	0,499	1,381

El gráfico 1 indica el entorno, conforme a la tabla 8, dentro del cual deberán hallarse el 95 % de los valores hallados en varios laboratorios para una misma muestra.

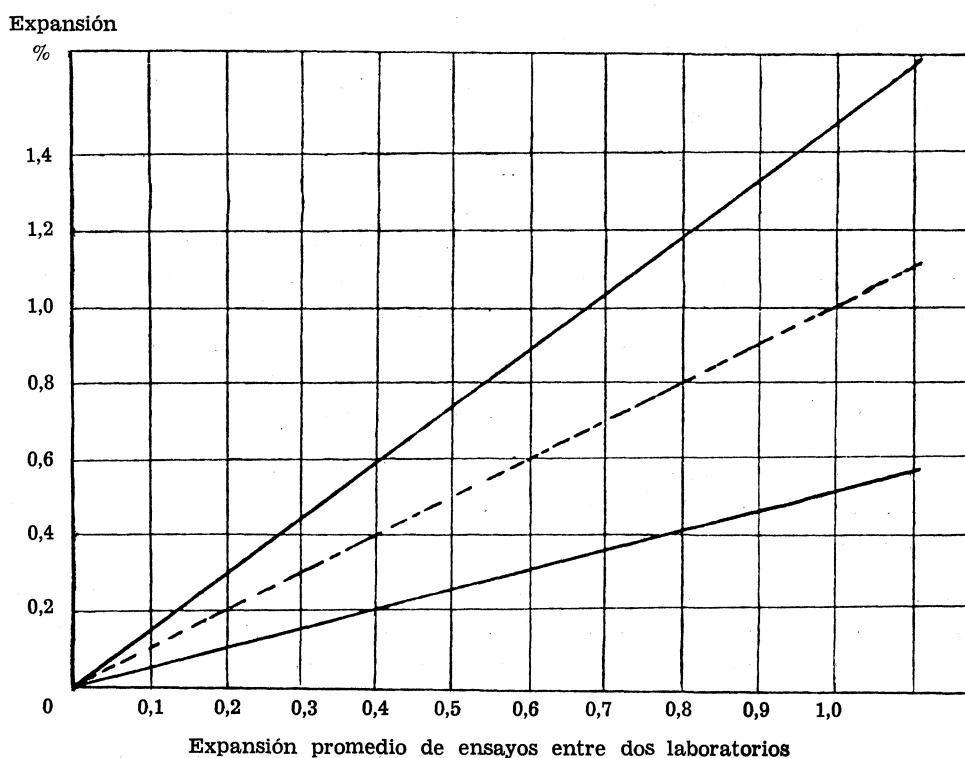


Gráfico 1

Es evidente que cuando el promedio de los resultados obtenidos por dos laboratorios, al ensayar un mismo cemento, no supera 0,50 % para la expansión, el cemento será aceptado sin litigio, porque, al aplicársele el concepto de "Precisión" para el ensayo, ninguno de los resultados será rechazable.

El problema surgirá cuando uno de los laboratorios acuse un valor de la expansión mayor de 0,80 %, pero que promediado con el valor del otro laboratorio cumpla con el índice de precisión indicado en la norma ASTM.

Aplicando dicha norma a valores de la tabla III del informe ASTM de referencia (Proc. V. 38 — Report of Committee C-1) se ha preparado la tabla 9.

Se comparan en ella los resultados de los dos laboratorios que para una misma muestra de cemento obtuvieron los valores más bajo y más alto (cada valor indicado es la media de las expansiones acusadas por el autoclave en ensayos realizados en 3 días diferentes, sobre dicha muestra, en cada laboratorio).

T A B L A 9

Muestra n.º	Valor más bajo de la media	Valor más alto de la media	Promedio	Diferencia entre valores y promedio	% de la diferencia
3	0,429	0,633	0,523	0,092	17,6
5	0,329	1,043	0,686	0,357	52
8	0,459	0,633	0,546	0,087	17,7
17	0,675	1,110	0,892	0,218	24
18	0,368	0,614	0,491	0,123	25
19	0,230	0,440	0,335	0,105	31
23	0,400	0,583	0,491	0,091	18,5

Todos los resultados de la tabla 9, con excepción de la muestra n.º 5, tienen que ser aceptados por estar dentro del límite del 47 % de diferencia con la media, fijado por el concepto de "Precisión" en la norma. Sin embargo, la muestra n.º 17 analizada por dos laboratorios distintos acusa en uno de ellos un valor de la expansión que es causa de rechazo.

Llevando las discrepancias a sus valores extremos, podría darse el hipotético caso absurdo de dos laboratorios que obtuvieran sobre una misma muestra de cemento valores medios de expansión 2,200 % y 0,795 %, respectivamente, lo que significa una discrepancia del 46,8 % respecto al promedio. Tendríamos que aceptar que, según la norma, ambos valores deben ser aceptados por hallarse dentro del concepto de "precisión" de la misma. Sin embargo sólo uno de ellos cumple con el límite establecido en normas.

## CONCLUSIONES

Del estudio de los valores transcriptos se concluye lo siguiente, con referencia al ensayo de expansión en autoclave como método de determinación de la estabilidad del cemento portland:

- 1) Es un ensayo que carece de las condiciones de precisión y exactitud necesarias para ser aplicado al control de calidad de un material dentro de límites establecidos. Las dispersiones admitidas por la norma ASTM C-151-69 bajo el título de "Precisión" pa-

ra los resultados obtenidos por dos laboratorios sobre una misma muestra, impiden su aplicación a la recepción de cementos portland con un valor promedio de la expansión, según el ensayo, mayor de 0,50 %.

- 2) No se ha hallado ninguna ley que relacione el valor de la expansión acusada por el ensayo en autoclave, con la real expansión del cemento portland en obra, a largo plazo, en condiciones normales de uso. Las relaciones halladas son erráticas y tanto pueden favorecer como perjudicar a cualquier cemento portland, sin que se conozcan, de momento, todas las causas que rigen esta dispersión.
- 3) Con sólo modificar las condiciones de tratamiento del clinker se alteran los resultados del ensayo en autoclave, sin que por ello los ensayos a largo plazo hayan demostrado que el cemento resultante modifique también su estabilidad en obra. Esta alteración confirma la falta de correlación entre los resultados del ensayo y el comportamiento del cemento en condiciones de trabajo normal.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Norma ASTM C-151 Edición 1969.
- (2) GONNERMAN H. F., LERCH W., y WHITESIDE, T.: Investigations of the Hydration Expansion Characteristics of Portland Cements. —Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association; Research Department, Bulletin 45; 1953—.
- (3) Report of Working Committee on Volume Change and Soundness. ASTM Committee C-1, 1936; Proceedings of the ASTM v. 36 (1936).
- (4) CALLEJA, J.: Conglomerantes hidráulicos. Fisicoquímica y tecnología. Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica. Instituto de la Construcción y del Cemento, n.º 214.
- (5) MENZEL, C. A.: Strength and Volume Change of Steam-cured Portland Cement Mortar and Concrete. J. Amer. Conc. Inst.; 31, 125 (1934).
- (6) HANSEN W. C.: Chemical Reactions in High Pressure Steam-curing of Portland Cement Products. J. Amer. Conc. Inst.; 49, 841 (1953).
- (7) POWERS, T. C.: Estructura física de la pasta de cemento portland. Capítulo 10 de la Química de los Cementos por H. F. W. Taylor. Traducción Española; Ed. Urmo (1967).
- (8) Report of Working Committee on Volume Change and Soundness, ASTM Committee C-1; Proceedings of the ASTM, v. 38 (1938).