

# Expansión por humedad de los productos cerámicos españoles: revisión de la normativa

Autor: F. DE ISIDRO GORDEJUELA

## RESUMEN

El artículo presenta los resultados de una campaña de ensayos sobre piezas cerámicas españolas. Se han analizado 18 productos con el fin de determinar la magnitud de la expansión y el comportamiento de materiales cerámicos de distinta procedencia y composición. Para ello se han llevado a cabo tres tipos de ensayos: ensayos acelerados en autoclave (UNE 67036-86), en agua hirviendo (UNE 67036-94) y en expansión natural a largo plazo (en un lapso de tiempo de más de dos años). Los resultados permiten caracterizar las cerámicas más expansivas y su grado de crecimiento. Se ha estudiado la correlación entre las expansiones de los ensayos acelerados y los de expansión natural. También se hace una discusión sobre la fiabilidad de resultados obtenidos en los ensayos acelerados y su validez para determinar la expansión real de una cerámica.

Este trabajo se presentó en el primer Congreso Nacional de Tecnología en la Arquitectura en noviembre de 1994.

## ÍNDICE

### 1. INTRODUCCIÓN

### 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- 2.1. Preparación de probetas y toma de medidas
- 2.2. Recocido
- 2.3. Ensayos de expansión natural
- 2.4. Ensayos de expansión acelerada

### 3. RESULTADOS

- 3.1. Ensayos de expansión natural
- 3.2. Ensayos de expansión acelerada

### 4. CONCLUSIONES

#### INTRODUCCIÓN

El estudio de la expansión por humedad en los productos cerámicos españoles de uso estructural es relativamente reciente. El rápido desarrollo de la industria de la construcción en España durante los años setenta coincidió con la aparición de patologías derivadas de este fenómeno. Muchas de ellas fueron mal identificadas debido al desconocimiento que existía sobre el tema. Algunos informes de la época muestran diagnósticos equivocados; otros se apoyaron en ensayos específicos realizados en institutos españoles y franceses, cuyos datos experimentales no podían ser bien interpretados por una falta de experiencia sobre este fenómeno, o incluso por incredulidad.

La expansión por humedad de las cerámicas ha sido estudiada con todo detalle en Inglaterra (1,2), Estados Unidos (3,4), Francia, Sudáfrica o Australia, países con amplia experiencia en la identificación de este fenómeno. En España, sin embargo, el

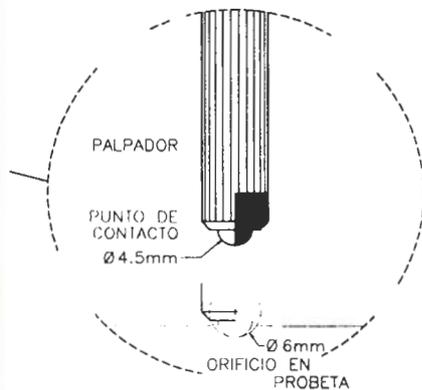
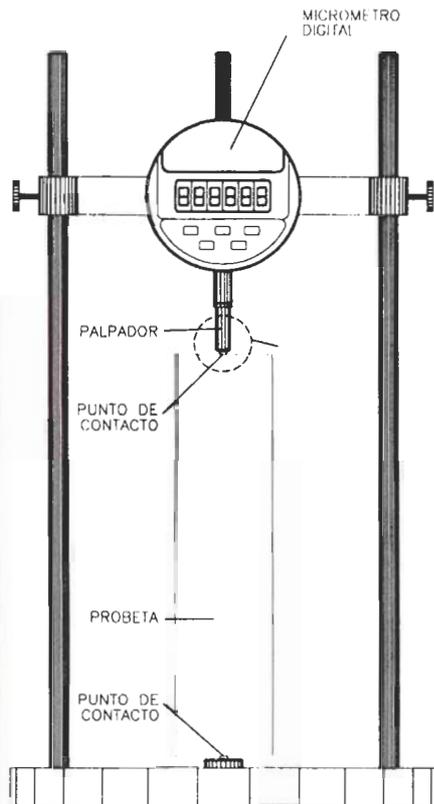
primer trabajo de investigación profundo sobre el tema data de 1985, y recogía el comportamiento de algunas cerámicas del área de Madrid.

En este trabajo pionero (5) se recogían entre otras las siguientes conclusiones: las cerámicas madrileñas expanden con el tiempo debido a la absorción de vapor de agua del ambiente, alcanzando un máximo en un lapso de tiempo de dos años (del orden de 0,6 mm/m) y estabilizándose después; un porcentaje importante de la expansión (alrededor de un 30%) se produce en la primera semana de vida. Se establece que la expansión final aumenta en un porcentaje apreciable cuando la cerámica se encuentra en ambientes saturados de humedad, y que los ciclos de humedad/sequedad aumentan ligeramente el valor final de dicha expansión. Por otro lado, la adición de ciertos productos (como el  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y los contenidos bajos de caolinita en la arcilla dan expansiones naturales bajas.

El autor constata que los ensayos de autoclave tipificados en las normas vigentes inducen expansiones muy superiores a las sufridas de forma natural en periodos dilatados, dejando patente que no existe relación inmediata entre el resultado de los ensayos y el de las expansiones obtenidas de forma natural.

Este trabajo dejaba constancia de la necesidad de emprender un estudio sistemático y estadístico del comportamiento de los distintos productos cerámicos a nivel nacional, con el fin de determinar su comportamiento y acotar el orden de sus expansiones.

En la presente contribución se presentan resultados obtenidos en una campaña de ensayos, realizada sobre material de cera-



mistas españoles en el Laboratorio de Materiales de Construcción del Colegio Universitario CEU-Arquitectura. Dicha campaña se ha desarrollado a lo largo de los últimos dos años y medio, y en ella se han conseguido experimentalmente datos que permiten conocer el comportamiento de los productos cerámicos de la construcción en el territorio nacional y establecer la eficacia de los actuales procedimientos de medida.

#### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental consiste básicamente en determinar las variaciones de medida debidas a la expansión por humedad que experimentan una serie de probetas de material cerámico, una vez que se ha realizado el máximo acortamiento posible tras un ciclo de desecado y recocido de dicho material, que tiene por objeto restituir las condiciones del material a la salida del horno. La preparación de las probetas, la toma de medidas, el ciclo de acortamiento por recocido, y el procedimiento seguido en los distintos tipos de ensayos de expansión efectuados se explican a continuación.

Preparación de probetas y toma de medidas.

Se presentan los resultados obtenidos en la evolución de 18 tipos de ladrillos y bovedillas enviadas directamente por los fabricantes. Se han realizado dos tipos de ensayos: Ensayos en expansión natural, sobre 18 probetas por cada fabricante, y divididos en tres grupos de 6 probetas conservados en distintas condiciones medioambientales. Ensayos de expansión acelerada, en autoclave trabajando a alta presión (UNE 67036-86) y en agua hirviendo (UNE 67036-94), realizados sobre 6 probetas por cada fabricante y ensayo. Cada probeta se corta con disco de diamante a partir de una pieza de formato comercial. La longitud de las probetas se ajusta a 210 mm. aproximadamente. Las medidas sobre las probetas requieren gran precisión, para lo cual se utiliza un comparador, que básicamente consiste en un micrómetro digital de 4 milímetros de recorrido ajustable al tamaño medio de las probetas. La medida se realiza orientando la probeta verticalmente. La precisión del aparato es de 0.001 mm. La toma de medida se hace sobre dos orificios esféricos practicados en los extremos de la probeta, de 6 mm. de diámetro. Dichos orificios se preparan cuidadosamente hasta conseguir una superficie casi pulida y perfectamente limpia. Los palpadores del aparato son esféricos de diámetro 4.5 mm.; de esta manera se consigue un único punto de contacto entre las dos superficies. La posición de la probeta, la gravedad y la pequeña presión del medidor en la parte superior de la pro-

beta asegura que los puntos de contacto sean siempre los mismos. Este sistema requiere una cuidada manufactura y un control riguroso de los orificios de medida en las probetas, que deben limpiarse e inspeccionarse regularmente.

La temperatura de las probetas se toma cada vez que se efectúa una medida. De esta manera puede obtenerse una corrección para la dilatación térmica. En una campaña de ensayos previos, se ha determinado un valor medio para el coeficiente de dilatación térmica de las cerámicas de aproximadamente  $4.5 \times 10^{-6}$  m/m C. También se controla el efecto de la erosión en los palpadores del medidor, debido a la elevada cantidad de medidas que se han efectuado a lo largo de toda la campaña (aproximadamente 18000). Con este fin se utiliza una barra INVAR y un segundo comparador, utilizado solo con fines de control. Se ha estimado un desgaste en los últimos nueve meses de 0.063 micras/día. La precisión global de este procedimiento de medida se estima en unos 0.002 mm (0.008 mm/m).

#### Recocido

Se han realizado una campaña de ensayos previa con el fin de determinar el procedimiento de recocido óptimo para conseguir un acortamiento máximo del material. Se han tomado nueve series de probetas de tres fabricantes diferentes, que han sido sometidas a nueve ciclos distintos de recocido. El acortamiento mayor se ha producido tras 9 horas a 600 C, ciclo que ha sido adoptado para todo el programa de ensayos.

Para el desecado previo al ciclo de recocido se ha adoptado el procedimiento de la normativa UNE 67036-86 (desecado a 110 C durante 24 horas)

Ensayos de expansión natural.

Para el ensayo de expansión natural se utilizan 18 probetas por cada fabricante. Seis probetas se mantienen expuestas a la intemperie, seis se mantienen en condiciones de laboratorio (temperatura estable próxima a los 20 C, y humedad estable próxima al 60%), y seis se mantienen en una atmósfera con una humedad relativa del 100% (dentro de laboratorio en recipientes herméticamente cerrados).

Una vez realizado el acortamiento por recocido, las probetas se miden después de 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 30 días, y después en lapsos de medio, uno, dos, tres meses, etc. A lo largo de la vida de la probeta se realizan entre 25 y 30 medidas. El ensayo concluye cuando la probeta parece haber finalizado su crecimiento.

Ensayos de expansión acelerada.

Se han realizado dos tipos de ensayos de expansión acelerada: el ensayo clásico de autoclave a alta presión (norma UNE

67036-86), y el ensayo de agua hirviendo durante 24 horas (norma UNE 67036-94). Se han utilizado las mismas condiciones de desecado y recocido de las muestras que en los ensayos de expansión natural.

**RESULTADOS**

**Ensayos de expansión natural**

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1 para cada fabricante, que se identifica con un número clave en la primera columna. Los dos tipos de pieza estudiados, ladrillos y bovedillas, se muestran en la segunda columna. La tercera columna indica la duración del ensayo. Las expansiones obtenidas en condiciones de exposición a la intemperie, en condiciones de laboratorio y en atmósferas con un 100% de humedad se muestran en las columnas cuarta, quinta y sexta. Las dos últimas columnas dan información cualitativa sobre la rapidez su crecimiento y el valor relativo de sus expansiones.

En los gráficos representados a continuación se muestran los valores medios obtenidos para las seis probetas de cada serie. En las Figuras 1 y 2 se muestra el comportamiento en condiciones de exposición a la

intemperie de dos cerámicas representativas. Puede apreciarse que el material del fabricante 04 experimenta una expansión brusca con una posterior estabilización en la medida de la probeta (fig.1). Sin embargo, el material del ceramista 13 expande todavía después de 100 días (fig.2). En general hemos encontrado que la forma de crecimiento de cada material cerámico es diferente, aunque predecible a través de este tipo de ensayos.

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se muestra el comportamiento de materiales con índices de expansión considerados cualitativamente como muy bajos (MB), bajos (B), medios (M) y altos (A) respectivamente.

Nótese en la Tabla 1 que, en general, las expansiones más elevadas corresponden al ensayo realizado en atmósferas con un 100% de humedad. Sin embargo, algunos productos presentan índices de expansión mayores en condiciones externas y de laboratorio (en particular, esto sucede en muestras de bovedillas de los fabricantes 04, 06, 16, 20 y 22, y en muestras de ladrillo de los fabricantes 01 y 14).

**Ensayos de expansión acelerada**

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2, para cada fabricante (primera columna) y tipo de pieza (segunda colum-

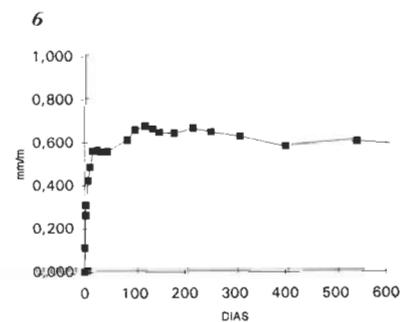
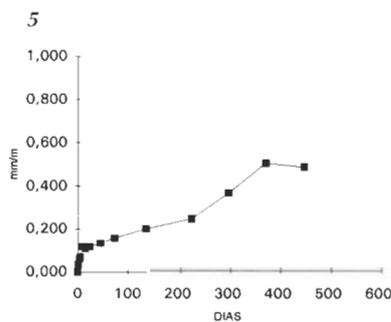
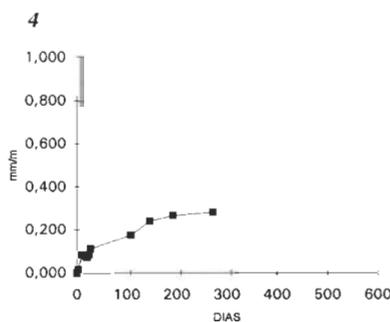
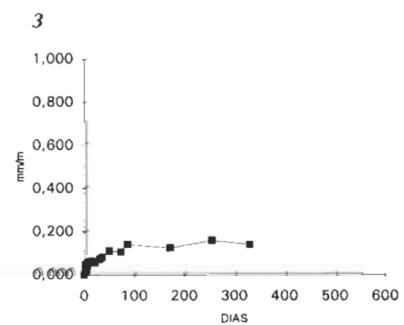
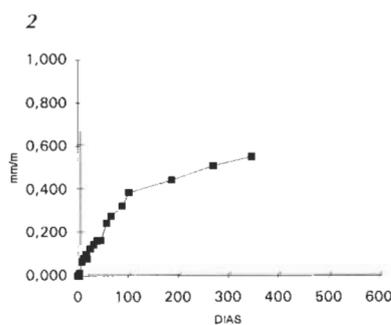
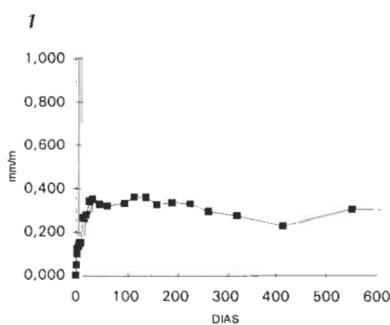


TABLA 1: ENSAYOS DE EXPANSION NATURAL

SERIE	TIPO	EDAD (días)	COND. EXPUESTA S (mm/m)	COND. LABORAT. (mm/m)	100 % HUMEDAD (mm/m)	ESTAB.	EXPAN.
1	L	492	0,546	0,292	0,568	M	M
8	L	833	0,309	0,182	0,384	M	B
9	L	725	0,400	0,323	0,548	L	M
10	L	691	0,364	0,371	0,498	L	M
12	L	680	0,496	0,489	0,669	L	A
13	L	576	0,688	0,334	0,801	L	A
14	L	560	0,231	0,113	0,067	M	B
15	L	515	0,530	0,356	0,679	M	A
19	L	346	0,570	0,389	0,891	M	A
4	B	874	0,383	0,433	0,359	R	M
6	B	862	0,752	0,698	0,682	R	A
7	B	849	0,237	0,187	0,250	R	B
11	B	687	0,269	0,212	0,429	L	M
16	B	508	0,176	0,141	0,153	M	MB
18	B	365	0,203	0,139	0,414	M	M
20	B	296	0,506	0,134	0,377	L	M
21	B	289	0,686	0,560	0,777	L	A
22	B	289	0,402	0,305	0,394	M	M

TABLA 2: ENSAYOS DE EXPANSION ACELERADA

SERIE	TIPO	EDAD (días)	EXP. NATURAL EN	EXP. AUTOCLAVE AU	ESP. AGUA HIRV. AH	AU/EN	AH/EN
1	L	492	0,568				
8	L	833	0,384	1,111	0,415	2,893	1,081
9	L	725	0,548	1,737	0,631	3,170	1,151
10	L	691	0,498	0,869	0,552	1,745	1,109
12	L	680	0,669	1,306	0,661	1,952	0,988
13	L	576	0,801	1,789	0,728	2,233	0,909
14	L	560	0,231	1,081	0,173	4,680	0,749
15	L	515	0,679	1,939	0,845	2,856	1,244
19	L	346	0,891	1,940	0,872	2,177	0,979
4	B	874	0,433	0,862		1,990	
6	B	862	0,752	0,649	0,538	0,863	0,715
7	B	849	0,250		0,196		0,784
11	B	687	0,429	1,411	0,384	3,359	0,895
16	B	576	1,774				
18	B	365	0,414	1,355	0,378	3,273	0,913
20	B	296	0,506	1,564	0,653	3,091	1,291
21	B	289	0,777	2,122	0,915	2,731	1,178
22	B	289	0,402	1,947	0,602	4,843	1,496

na). El valor máximo que toma la pieza en expansión natural (ver Tabla 1) se recoge en la cuarta columna, con el fin de poder establecer una comparación entre éstos y los que toman las piezas en expansión acelerada. La quinta y sexta columnas contienen los valores obtenidos en los ensayos de expansión acelerada, en agua hirviendo y en autoclave. Las dos últimas columnas contienen los cocientes entre los valores de expansión de los ensayos acelerados y el valor que toma la pieza en expansión natural.

Puede apreciarse la gran dispersión que existe en los valores de las dos últimas columnas. Esto muestra la dificultad que existe para encontrar una relación entre los ensayos de expansión acelerada y natural, así como entre los distintos ensayos de expansión acelerada.

Los valores obtenidos en materiales con edades menores a 100 días son poco representativos. En la actualidad el ensayo prosigue con el fin de obtener datos más fiables. La fecha de confección de la Tabla 2 data de Marzo de 1994.

## CONCLUSIONES

La expansión por humedad es un fenómeno que siempre han sufrido los materiales cerámicos, aunque es ahora cuando se está estudiando en profundidad. En el presente artículo se presentan los resultados de una campaña de ensayos a nivel nacional, sobre expansión en productos cerámicos (ladrillo y bovedilla).

Como primera conclusión de este trabajo se establece que no existe un modelo de comportamiento genérico que pueda ser aplicado a la expansión de los productos cerámicos, independientemente del fabricante o el tipo de pieza.

Se han encontrado cerámicas que estabilizan su crecimiento rápidamente (30 días), mientras otras siguen expandiendo tras un largo periodo de tiempo. Por otro lado, que la cerámica emplee un mayor lapso de tiempo en la estabilización de su crecimiento no implica un valor de expansión mayor, y viceversa.

Un ambiente muy húmedo no implica necesariamente que las expansiones que se esperan deban ser mayores. De hecho, se han encontrado cuatro tipos de cerámicas (tres bovedillas y un ladrillo) cuyas expansiones son mayores en condiciones de laboratorio que en entornos con altas humedades.

Los ensayos de expansión con autoclave pueden ser utilizados para tener una idea de la "expansividad" de una cerámica; sin embargo no puede establecerse una correlación genérica entre los valores obtenidos en este tipo de ensayos y los que se obtendrían en expansión natural.

Los ensayos de expansión en agua hirviendo no permiten tampoco encontrar algún

tipo de correlación, sin embargo los valores que se obtienen son más cercanos a los que se obtienen en expansión natural, motivo por el cual se ha modificado recientemente el procedimiento de ensayo de la norma UNE.

La relación que existe entre los valores que se obtienen en ensayos de expansión acelerada y las expansiones reales del material cerámico, sólo puede obtenerse realizando ensayos de expansión natural a largo plazo, para cada fabricante.

A la vista de los resultados obtenidos en la presente campaña, se establece que puede ser recomendable reducir los límites entre juntas de dilatación a valores más modestos comprendidos entre 12 y 15 metros en climas continentales y 25 metros en climas marítimos (valores habituales en países de nuestro entorno).

Esta campaña de ensayos ha servido para tener un conocimiento exhaustivo del comportamiento de las cerámicas nacionales con respecto al fenómeno que analizamos. En la actualidad trabajamos en una segunda fase dedicada a la investigación de acciones correctoras para los casos más críticos, obteniendo algunos resultados relevantes a través de modificación de composiciones, optimización de temperaturas y ciclos de cocción y uso de aditivos.

## AGRADECIMIENTOS

HISPALYT (Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas) ha financiado la campaña de ensayos que ha permitido la realización del trabajo expuesto en la presente ponencia.

El autor agradece la inestimable ayuda prestada por Eduardo Gómez López en la redacción de este manuscrito, y su apoyo y experiencia en la realización de todos los ensayos efectuados.

El autor agradece así mismo la ayuda prestada por Carlos Machín Hamalainen en la reducción de los datos obtenidos.

Toda la campaña de ensayos ha sido llevada a cabo en el Laboratorio de Materiales de Construcción del Colegio Universitario CEU-Arquitectura (Universidad Politécnica de Madrid).

## REFERENCIAS

- 1 FREEMAN, I.L., SMITH, R.G., Trans. Brit. Ceram. Soc., 66 (1967), 13
- 2 LOMAX, J., FORD, R.W., Trans. Brit. Ceram. Soc., 82 (1983), 82
- 3 MC BURNEY, J.W., Amer. Ceram. Testing Materials Proc., 54 (1954), 1219
- 4 YOUNG, J.E., BROWNELL, W.E., J. Amer. Ceram. Soc., 42 (1959), 571
- 5 GÓMEZ LÓPEZ, E., La expansión por humedad en los productos cerámicos de la construcción. Tesis Doctoral, E.T.S.I.C.C. y P. de Madrid, 1985.