

Determinación de la expansión por humedad en los productos cerámicos españoles

Federico de Isidro Gordejuela
Arquitecto
Colegio Universitario CEU-Arquitectura

CONTENIDO

RESUMEN

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- ENSAYOS SOBRE PROBETAS
- 3.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN ENSAYOS SOBRE PROBETAS
- 4.- ENSAYOS SOBRE MURETES
- 5.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN MURETES
- 6.- MEDIDAS CORRECTORAS ESTUDIADAS
- 7.- CONCLUSIONES

RESUMEN

El artículo presenta los resultados de una campaña de ensayos sobre materiales cerámicos españoles de uso en la construcción: ladrillos y bovedillas. El análisis se ha realizado sobre 18 productos, observando la expansión natural que experimentan durante un periodo de tiempo dilatado (de tres años y medio a cinco años, según casos) en distintas condiciones de exposición a la humedad. En el artículo se muestran los valores obtenidos en expansión natural y los obtenidos con métodos de expansión acelerada (autoclave, agua hirviendo y vapor de agua). También se analizan posibles correlaciones entre los ensayos de expansión natural y acelerada a efectos de predecir con cierta aproximación la expansión que puede tener un material cerámico a largo plazo. Se discute la influencia que tiene la exposición del material a la humedad ambiental.

Se ha analizado también el comportamiento de muros de ladrillo para obtener una relación entre la expansión de los elementos de muro y las piezas que lo constituyen. A partir de estos datos se propone una forma de interpretar los resultados de los ensayos de expansión para determinar los movimientos que experimentan los muros entre juntas de dilatación.

1.- INTRODUCCIÓN

El estudio de la expansión por humedad en los productos cerámicos españoles de uso estructural (ladrillos y bovedillas) es relativamente reciente y escasa. La determinación de sus valores de expansión es de suma importancia y ha sido demandada por los trabajos de otros investigadores y ceramistas de nuestro país. El conocimiento de dichos valores permite en muchos casos la adecuada colocación de las piezas de arcilla cocida, evitando la aparición de patologías derivadas de este fenómeno ¹.

En el número 1 de la revista Nueva Arquitectura con Arcilla Cocida ² se presentaban los primeros resultados de una campaña de ensayos para la determinación de los parámetros más relevantes relacionados con la expansión por humedad de los productos cerámicos españoles. En ese momento, el análisis de resultados se hacía sobre 18 probetas que se encontraban en crecimiento después de un lapso de tiempo que oscilaba entre el año y los dos años y medio.

Los valores expuestos permitían establecer un primer grupo de conclusiones de sumo interés:

No existe un modelo de comportamiento genérico que pueda ser aplicado a la expansión de los productos cerámicos, independientemente del fabricante o del tipo de pieza.

El crecimiento del material presenta valores mayores en las primeras semanas tendiendo progresivamente a la estabilización. Ésta puede producirse en semanas, meses o incluso a muy largo plazo, dependiendo de diversas circunstancias, entre las cuales aparece la composición de la cerámica como la más relevante.

El valor máximo de la expansión depende también de la composición de la cerámica y parece estar relacionada con la capacidad de hidratarse de algunas de las fases que constituyen el cuerpo cerámico ³.

No existe una relación directa entre la velocidad de expansión, el lapso de tiempo que tarda el material en estabilizar, y el máximo valor de expansión que puede encontrarse a lo largo de la vida del material.

Puede admitirse que ambientes más húmedos provocan valores de expansión mayores, aunque este extremo no es generalizable a todos los materiales.

Los únicos ensayos que pueden arrojar valores fiables sobre forma de crecimiento, valor máximo de la expansión y velocidad de crecimiento son los de expansión natural a largo plazo. Los procedimientos acelerados pueden dar idea de la tendencia a la expansión de los materiales pero solamente se obtienen correlaciones aceptables entre los datos obtenidos en ensayos a largo plazo, y ensayos en agua hirviendo (UNE 67036-94) y vapor de agua.

En este artículo se exponen los datos obtenidos en un lapso de tiempo mayor, y en un momento en el que un 25% de los materiales prácticamente han estabilizado su crecimiento y otro 25% está en vías de hacerlo. Todas las probetas superan los 1300 días en observación y algunas de ellas han llegado a los 1850 días.

En estas condiciones pueden estimarse, con una cierta aproximación, los parámetros más relevantes que intervienen en el fenómeno, pudiendo obtener coeficientes de correlación entre los valores encontrados en los ensayos de expansión natural y los de expansión acelerada en agua hirviendo (UNE 67036-94) y en autoclave a 10 kp/cm² (UNE 67036-86)

2.- ENSAYOS SOBRE PROBETAS

2.1- Algunos aspectos sobre el procedimiento experimental.

La forma en que se preparan las probetas, el procedimiento para obtener las variaciones de medida de éstas, la optimización de los ciclos de recocido, y los criterios para la corrección de los valores encontrados debido a la influencia de la temperatura y el desgaste del equipo de medida han sido descritos en el artículo aparecido en el número 1 de esta revista ².

En la Tabla 1 se especifican las características de la campaña de ensayos que se han efectuado hasta el momento.

¹ Las piezas cerámicas que se colocan de forma repetitiva en elementos de gran extensión, como ladrillos, bloques y revestimientos, requieren la colocación de juntas de dilatación. Otras, como las bovedillas para forjados, se encuentran muy coartadas y sin posibilidad de acomodación en sus movimientos, requiriendo un control de la magnitud de expansión propia del material. Por ello, los ladrillos y las bovedillas han sido los materiales elegidos para el estudio de la expansión en el presente trabajo.

² DE ISIDRO GORDEJUELA, F., "Expansión por humedad de los productos cerámicos españoles: revisión de la normativa", NA Nueva arquitectura con arcilla cocida, 1, 67, Marzo, 1995

³ 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.

⁴ GARCÍA VERDUCH, A., "Expansión por humedad de los productos cerámicos", Bol. Soc. Esp. Ceram., 4, (3), 259, 1965.

TABLA 1: CARÁCTERÍSTICAS DE LA CAMPAÑA DE ENSAYOS

ENSAYOS EFECTUADOS		C.M.A.	Nº P.	N.A.	D.E.	C.D.T.	C.D.P.
EXPANSIÓN NATURAL	EN	Exp. natural a largo plazo	Expuestas ⁽¹⁾	6 probetas por fabricante	--	De 3.6 a 5.2 años	Si Si
	EN	Exp. natural a largo plazo	Laboratorio ⁽²⁾	6 probetas por fabricante	--	De 3.6 a 5.2 años	Si Si
	EN	Exp. natural a largo plazo	100% humedad ⁽³⁾	6 probetas por fabricante	--	De 3.6 a 5.2 años	Si Si
EXPANSIÓN ACELERADA	AA	Autoclave alta presión (10kp/cm ² .)	--	6 probetas por fabricante	UNE 67036/86	3 días	Si No
	AH	Agua hirviendo	--	6 probetas por fabricante	UNE 67036/94	3 días	Si No
C.M.A.: Condiciones medioambientales en las que se mantienen las probetas Nº P.: Número de probetas tomado en cada ensayo N.A.: Normativa española de aplicación específica (si existe) D.E.: Duración del ensayo C.D.T.: Corrección de la dilatación térmica en el ensayo C.D.P.: Corrección del desgaste del palpador en la medida (si procede)							
CONDICIONES	TEMPERATURA	HUMEDAD					
(1) Expuestas	Variable (ambiental)	Variable (ambiental)					
(2) Laboratorio	Aprox. 20°C	Aprox. 65% HR					
(3) 100% humedad	Aprox. 20°C	Aprox. 100% HR					

En la Tabla 2 se recogen los ensayos previos y los procedimientos de control que se han realizado para tener la mayor precisión posible durante el experimento. Dichos procedimientos merecen los siguientes comentarios:

Debido a que la expansión se produce de manera natural a partir de la salida del horno, y que la mayoría de las piezas que llegan al laboratorio ya están parcialmente hidratadas, se hacía necesario comprobar la reversibilidad del proceso al aplicar un ciclo de recocido. Se comprobaron nueve ciclos de recocido sobre el material de tres ceramistas diferentes (un ladrillo y dos bovedillas), encontrando que los ciclos que conseguían mayores retracciones eran el de 600°C durante 9 horas y el de 700°C durante 6 horas. Se optó por elegir el primero para la realización de los ciclos de recocido.

Se estudió la reversibilidad del proceso sometiendo al material de un ceramista a tres ciclos de recocido consecutivos. Se encontró que tras ser expandido el material en agua hirviendo y en autoclave (trabajando a una presión de 10 kp/cm²), el proceso era sensiblemente reversible, siendo la máxima desviación encontrada en un caso ligeramente superior a un 10%. Se asumió la precisión en los ciclos de recocido como suficiente, y se aplicó a todos los materiales del ensayo con generalidad ⁵⁻⁶.

Se realizaron ensayos de dilatación térmica sobre tres materiales diferentes obteniéndose un valor medio para el coeficiente de dilatación térmica próximo a los 4.5×10^{-6} m/m°C. Este valor se ha utilizado para corregir todas las medidas efectuadas sobre las probetas de los distintos materiales cerámicos. En la práctica y debido a que la temperatura del laboratorio no tiene grandes oscilaciones, las medidas obtenidas difieren muy poco de las corregidas. Las probetas que se almacenan en condiciones expuestas se mantienen al menos una hora y media en laboratorio antes de efectuar la medida para regularizar su temperatura.

El procedimiento de control más delicado es el relativo al desgaste del palpador. Para efectuar la medida se sitúa el material en el micrómetro haciendo coincidir las puntas semies-

⁵ WEST, H.W.H., "Moisture movement of bricks and brickwork", Trans. Brit. Ceram. Soc., 66, 137, 1967.

⁶ LOMAX, J., FORD, R.W., "Investigations into a method for assessing the long term moisture expansion of clay bricks", Trans. J. Brit. Ceram. Soc., 82, 14, 1983.

féricas del palpador con los orificios semiesféricos practicados en los extremos de la probeta. Para conseguir una medida correcta se hace girar a la probeta sobre su eje. La fuerza de la gravedad y la ligera presión del palpador superior consiguen un buen posicionamiento. En esta operación la probeta da una o dos vueltas sobre sí misma. Esto supone una acumulación de cuarenta o cincuenta vueltas a lo largo de la vida de la probeta, y unas 40.000 sobre cada uno de los palpadores del medidor, en toda la campaña de ensayos. Se estima que el desgaste sobre la probeta es muy pequeño, siendo importante en el caso de los palpadores. Se ha preferido, antes que utilizar materiales tenaces o lubricantes, realizar el control de dicho desgaste a través de una barra INVAR y un segundo comparador dedicado exclusivamente a esta función, donde el desgaste es nulo.

El valor medio obtenido es de 0,05 micras/día a lo largo de todo el proceso, y se aplica como una constante de corrección a las medidas de todas las probetas. Como puede verse en la figura 1, y debido a que la velocidad de desgaste es aproximadamente constante a lo largo del tiempo, se asume este procedimiento como suficientemente preciso.

⁷ El parámetro estabilidad es subjetivo. Algunas cerámicas estabilizan su crecimiento en pocos días (estabilización rápida), otras tardan en adquirir una parte importante de la expansión total en periodos que están por encima de un año (estabilización lenta). La potencial peligrosidad de un producto muy expansivo puede desaparecer si permanece almacenado un tiempo suficiente antes de su colocación; por el contrario, si la estabilización se pospone en el tiempo y los mayores incrementos se dan después de varios meses de su fabricación, el producto puede causar daños si no se prevé un diseño de juntas de dilatación dispuestas adecuadamente. Esta peligrosidad es independiente del valor máximo de expansión que se considere en cada caso.

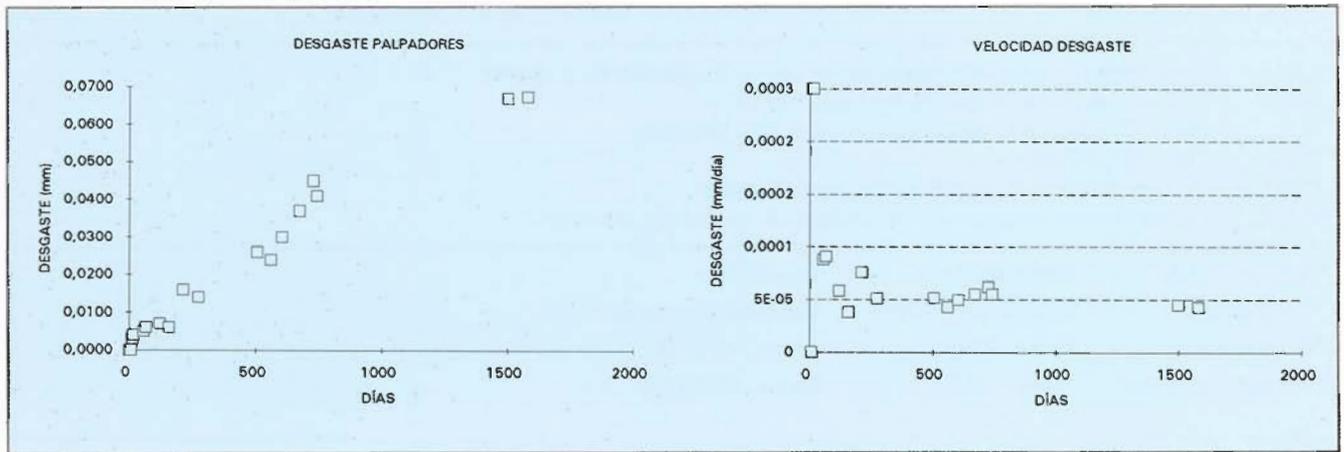


TABLA 2: ENSAYOS PREVIOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL

ENSAYOS Y PROCEDIMIENTOS		C.M.A.	Nº P.	C.D.T.	C.D.P.	V.M.E.
RECOCIDO	Optimización ciclo recocido	Laboratorio ⁽¹⁾	81 probetas (3 fabricantes)	Si	No	600°C / 9 horas ⁽²⁾ 700°C / 6 horas
	Reversibilidad del proceso	Laboratorio ⁽¹⁾	12 probetas (1 fabricante)	Si	No	Aprox. reversible ⁽³⁾ (desviación máx.10%)
DILATACIÓN TÉRMICA	Dilatación térmica	Laboratorio ⁽¹⁾	3 probetas (3 fabricantes)	Si	No	4.5X10 ⁻⁶ m/m°C
DESGASTE MEDIDOR	Doble comparador	Laboratorio ⁽¹⁾	1barra INVAR	--	--	0.050 micras/día ⁽⁴⁾

C.M.A.:	Condiciones medioambientales en las que se mantienen las probetas	(1) Condiciones de Laboratorio: 20°C y 65% HR.
Nº P.:	Número de probetas tomado en cada ensayo	(2) Se ha adoptado el ciclo de 600°C / 9 horas para los experimentos.
C.D.T.:	Corrección de la dilatación térmica en el ensayo	(3) Para los ensayos se ha aceptado el proceso de recocido como reversible.
C.D.P.:	Corrección del desgaste del palpador en la medida (si procede)	(4) Se toma este valor de desgaste en Agosto de 1997.
V.M.E.:	Valores medios encontrados	

2.2. Valores obtenidos en ensayos de expansión natural

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3 para cada fabricante, que se identifica con un número clave en la primera columna. Los datos corresponden al estado de la campaña de ensayos en Agosto de 1997.

TABLA 3: ENSAYOS DE EXPANSIÓN NATURAL

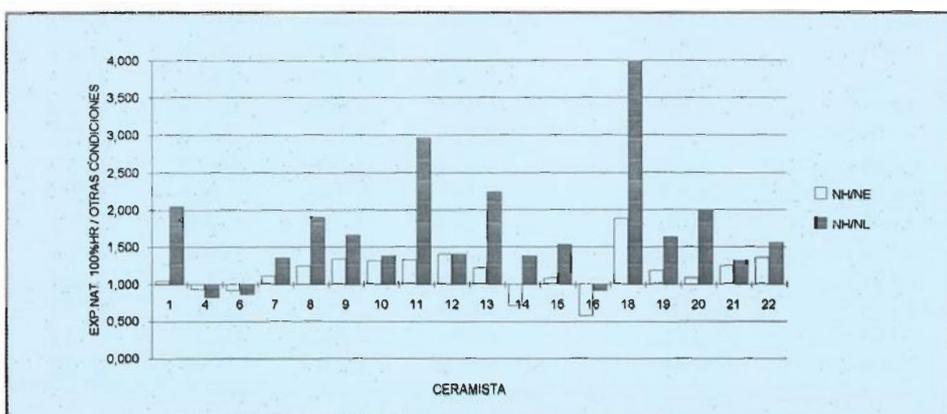
SERIE	TIPO (1)	EDAD (días)	COND. EXPUESTAS (mm/m)	COND. LABORAT. (mm/m)	100% HUMEDAD (mm/m)	ESTAB. (2)	EXPAN. (3)	ESTADO ACTUAL
1	L	1.520	0.701	0.359	<i>0.734</i>	M	M	Tiende a estabilizar
4	B	1.890	0.385	<i>0.431</i>	0.357	R*	M	Estabilizada
6	B	1.878	0.649	<i>0.683</i>	0.592	R*	M	Estabilizada
7	B	1.870	0.230	0.189	<i>0.257</i>	R*	B	Estabilizada
8	L	1.854	0.427	0.280	<i>0.533</i>	M	M	Tiende a estabilizar
9	L	1.746	0.637	0.514	<i>0.855</i>	L	A	En crecimiento
10	L	1.712	0.456	0.434	<i>0.601</i>	M	M	En crecimiento
11	B	1.710	0.420	0.189	<i>0.560</i>	L	M	Tiende a estabilizar
12	L	1.703	0.599	0.600	<i>0.843</i>	M	A	Tiende a estabilizar
13	L	1.599	0.966	0.524	<i>1.176</i>	L	A	En crecimiento
14	L	1.583	<i>0.284</i>	0.146	0.202	R*	B	Estabilizada
15	L	1.538	0.777	0.550	<i>0.844</i>	M	A	En crecimiento
16	B	1.531	0.245	0.152	0.139	R*	B	Estabilizada
18	B	1.393	0.303	-	<i>0.573</i>	-	M	Anómala
19	L	1.374	0.974	0.701	<i>1.152</i>	M	A	En crecimiento
20	B	1.324	0.665	0.362	<i>0.724</i>	L	M	En crecimiento
21	B	1.317	0.901	0.852	<i>1.124</i>	L	A	En crecimiento
22	B	1.317	0.592	0.516	<i>0.806</i>	L	A	En crecimiento

Se recogen datos sobre el tipo de material (ladrillo o bovedilla), forma de crecimiento y tendencia a la estabilización, grado de expansión y valores de expansión natural encontrados relativos a las tres condiciones de conservación ensayadas. También se han señalado las series que sensiblemente han estabilizado y las que parecen estar próximas a conseguirlo. La información correspondiente al grado de expansión y a la estabilización de las probetas es meramente orientativa ⁷.

Los valores señalados en cursiva indican el valor máximo de expansión obtenido para cada fabricante. Puede apreciarse que en la mayoría de los casos, las condiciones que inducen un mayor grado de expansión son las correspondientes a una atmósfera saturada de humedad.

En la tabla 4 se recogen los cocientes entre las expansiones encontradas en las tres condiciones de almacenamiento ⁸. En la figura 2 se muestran dichos valores.

- (1) TIPO:
L (Ladrillo), B (Bovedilla)
- (2) FORMA DE CRECIMIENTO Y TENDENCIA A LA ESTABILIZACIÓN:
R (Rápida), M (Media), L (Lenta)
* Series con crecimientos muy pequeños o estabilizadas.
- (3) GRADO DE EXPANSIÓN ⁸:
B (Baja) < 0.40mm/m
M (Media) 0.40mm/m
< exp < 0.80mm/m
A (Alta) > 0.80 mm/m



⁸ Para el análisis no se han considerado los valores de la serie 18 correspondientes a expansión natural en condiciones de laboratorio. El comportamiento de esta serie ha sido anómalo debido al carácter pulverulento de la superficie del material. Tanto en condiciones de exposición a la intemperie como en atmósfera saturada de humedad el comportamiento sin embargo ha sido aceptable. En cualquier caso, los valores correspondientes a los ensayos de expansión natural de esta serie deben tomarse con reservas.

TABLA 4: RELACIONES ENTRE EXPANSIONES ENCONTRADAS EN LAS DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

SERIE	NH/NE (1)	NH/NL (2)	SERIE	NH/NE (1)	NH/NL (2)	SERIE	NH/NE (1)	NH/NL (2)
1	1.047	2.045	10	1.318	1.385	16	0.567	1.914
4	0.927	0.828	11	1.333	2.963	18	1.891	--
6	0.912	0.867	12	1.407	1.405	19	1.183	1.643
7	1.117	1.360	13	1.217	2.244	20	1.089	2.000
8	1.248	1.904	14	0.711	1.384	21	1.248	1.319
9	1.342	1.663	15	1.086	1.535	22	1.361	1.562

2.3- Valores obtenidos en ensayos de expansión acelerada.

Los resultados obtenidos en los ensayos acelerados de autoclave ⁹ y agua hirviendo ¹⁰ se presentan en la tabla 5 para cada fabricante y tipo de pieza. Se han obtenido también las relaciones que existen entre los ensayos en expansión natural y acelerados.

NOTA. En cursiva, valores de las series más estables.

(1) NH/NE:
Cociente entre expansión natural en saturación de humedad y en condiciones de exposición a la intemperie.

(2) NH/NL:
Cociente entre expansión natural en saturación de humedad y en condiciones de laboratorio.

TABLA 5: ENSAYOS DE EXPANSIÓN ACCELERADA

SERIE	TIPO	EDAD (días)	EXPANSIÓN NATURAL (mm/m) EN	AUTOCLAVE 10 kp/cm ² (mm/m) AA	AGUA HIRVIENDO (mm/m) AH	AA/EN	AH/EN	AA/AH
1	L	1.520	0.734	--	0.660	--	0.899	--
4	B	1.890	0.431	0.862	--	2.000	--	--
6	B	1.878	0.645	0.649	0.538	0.950	0.788	1.206
7	B	1.870	0.257	0.534	0.196	2.078	0.763	2.724
8	L	1.854	0.533	1.111	0.415	2.084	0.779	2.677
9	L	1.746	0.855	1.737	0.631	2.032	0.738	2.753
10	L	1.712	0.601	0.869	0.552	1.446	0.918	1.574
11	B	1.710	0.560	1.441	0.384	2.573	0.686	3.753
12	L	1.703	0.843	1.306	0.661	1.549	0.784	1.976
13	L	1.599	1.176	1.789	0.728	1.521	0.619	2.457
14	L	1.583	0.284	1.081	0.173	3.806	0.609	6.249
15	L	1.538	0.844	1.939	0.845	2.297	1.001	2.295
16	B	1.531	0.245	0.863	0.228	3.522	0.931	3.785
18	B	1.393	0.573	1.355	0.378	2.365	0.660	3.585
19	L	1.374	1.152	1.940	0.872	1.684	0.757	2.225
20	B	1.324	0.724	1.564	0.653	2.160	0.902	2.395
21	B	1.317	1.124	2.122	0.915	1.888	0.814	2.319
22	B	1.317	0.806	1.947	0.602	2.416	0.747	3.234

3.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS SOBRE PROBETAS

En esta campaña de ensayos se ha trabajado sobre un número de probetas elevado (en total 636) procedente de material cerámico de toda la península, y se han realizado unas 17.000 medidas. Aunque el ensayo no puede considerarse finalizado, se está en condiciones de avanzar una serie de datos muy fiables sobre el comportamiento de las cerámicas españolas ante el fenómeno de la expansión por humedad.

Asumiendo que no existe un modelo de comportamiento genérico aplicable al fenómeno de la expansión, los datos obtenidos sirven para determinar los órdenes de magnitud de las expansiones y la forma de crecimiento, fabricante a fabricante.

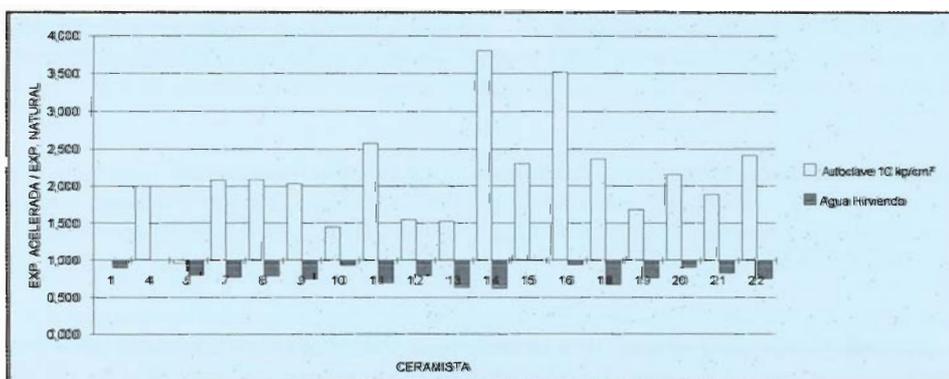
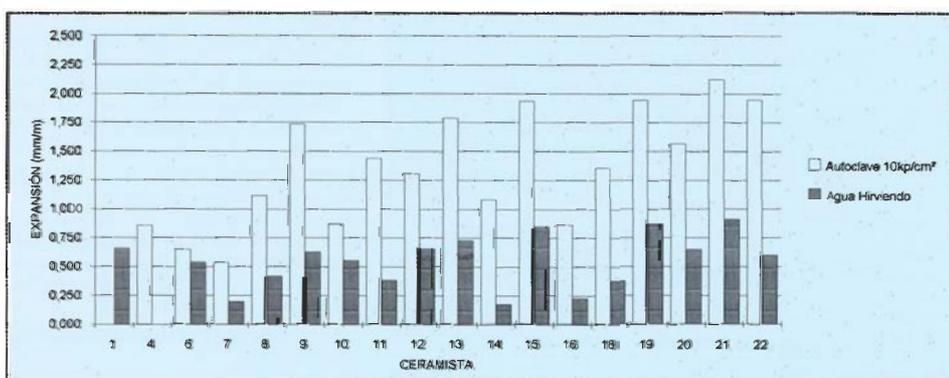
Se ha optado por clasificar las cerámicas en tres grados de expansión, siguiendo los criterios de otros autores⁶ basados en la experiencia obtenida para las arcillas inglesas. En la actualidad pueden encontrarse 3 cerámicas consideradas como de expansión baja, 8 de expansión media y 7 de alta expansión. Casi un 50% de las cerámicas analizadas sitúan sus expansiones entre 0.4 y 0.8 mm/m.

El valor medio de las expansiones en ladrillos (0,78 mm/m) es algo superior al encontrado en bovedillas (0,60 mm/m). Los valores medios de expansión para los 18 fabricantes son: 0.416 mm/m en condiciones de laboratorio, 0.550 mm/m en intemperie y 0.639 mm/m en ambiente saturado de humedad.

Dichos valores parecen ser suficientemente elevados como para reconsiderar las distancias entre juntas de dilatación que se especifican en la norma NBE FL-90¹¹. Las distancias máximas entre juntas de dilatación que se especifican en el Eurocódigo EC6¹² parecen más adecuadas y se ajustan a la situación de nuestro país. Asimismo, los datos obtenidos en esta campaña están dentro de los valores a considerar en el cálculo de muros previstos por el Eurocódigo.

Los valores encontrados en los ensayos de expansión acelerada en agua hirviendo y en autoclave se recogen en la tabla 5 y la figura 3.

Uno de los objetivos más importantes a cubrir por la presente campaña ha sido obtener una correlación entre ensayos de expansión natural a largo plazo y ensayos acelerados. En la figura 4 se muestran las correlaciones obtenidas entre los ensayos acelerados y el de expansión natural. Puede apreciarse que en el ensayo de agua hirviendo durante 24 horas la



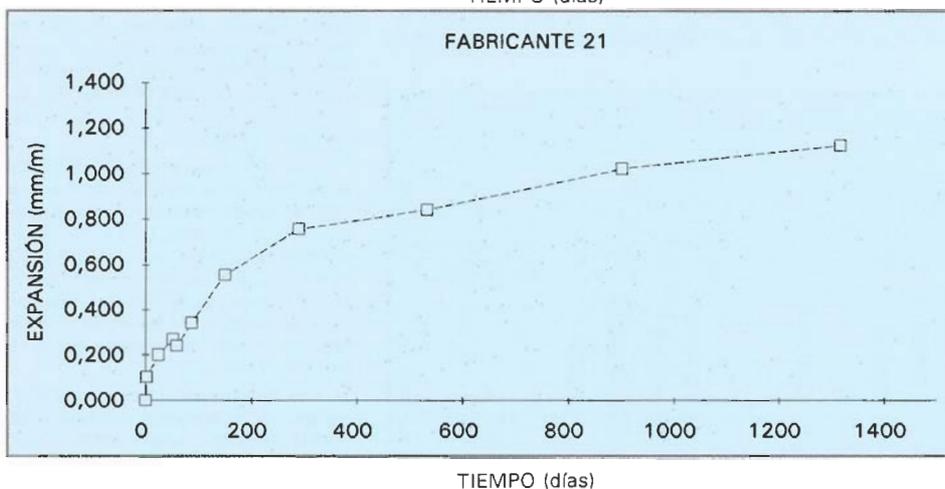
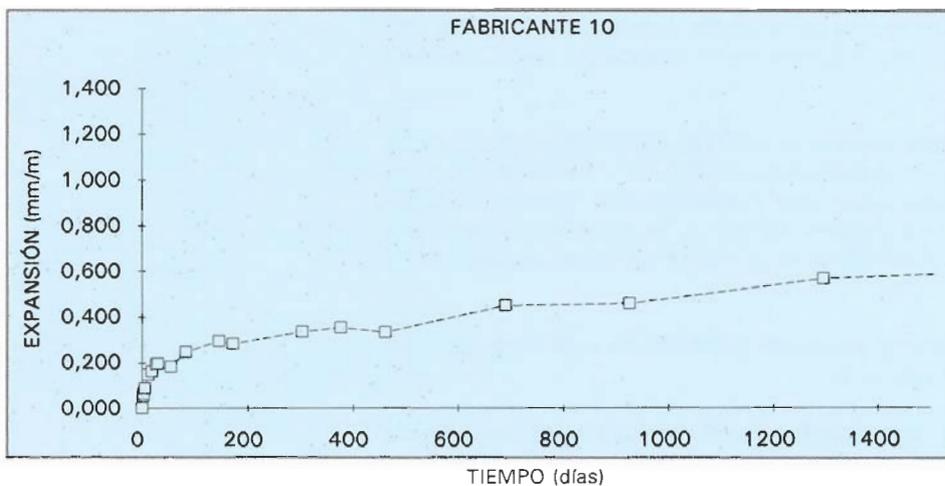
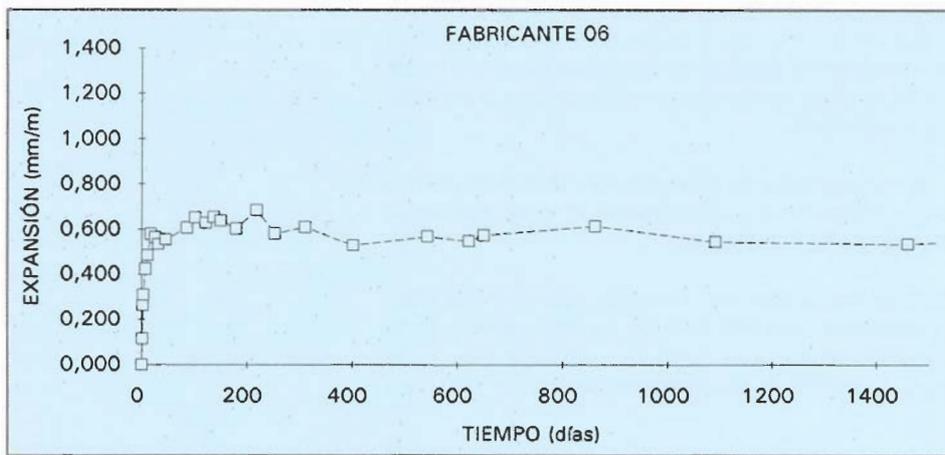
⁹ El procedimiento empleado en el ensayo de autoclave está basado en la norma UNE 67036-86, utilizando un ciclo de desecado de 24 horas a 110°C, un ciclo de recocido de 9 horas a 600°C (velocidad para alcanzar la temperatura de régimen de 100°C/hora) y un ciclo de autoclave de 5 horas a 10 kp/cm².

¹⁰ El procedimiento empleado en el ensayo de autoclave está basado en la norma UNE 67036-86, utilizando un ciclo de desecado de 24 horas a 110°C, un ciclo de recocido de 9 horas a 600°C (velocidad para alcanzar la temperatura de régimen de 100°C/hora) y un tiempo en cubeta con agua hirviendo de 24 horas. La presente campaña de ensayos sirvió para el diseño de dicha norma.

¹¹ NBE FL-90. "Norma básica de la edificación. Muros resistentes de fábrica de ladrillo", M.O.P.U., Madrid, 1991

¹² Eurocódigo 6. "Proyecto de estructuras de fábrica", AENOR, Madrid, 1995

¹³ CERAM BUILDING TECHNOLOGY, "Movement in Masonry". En este informe se propone un factor aproximado a 0.65 para la relación entre expansión natural después de 5 años y la expansión obtenida en ensayos acelerado de vapor de agua durante 4 horas. En el Laboratorio de Materiales de Construcción del C.U. CEU-Arquitectura se han hecho experiencias para determinar la expansión en vapor de agua, en ensayos de 24 horas, encontrando que los valores obtenidos se aproximan a los de la norma UNE 67036-94 de agua hirviendo. A la vista de estos resultados, el factor 0.65 del informe inglés está bastante en acuerdo con nuestra experiencia.



¹⁴ Tanto los muretes como los medidores se apoyan en el suelo. Garantizar que éste es estable y que no tiene movimientos en horizontal ni en vertical es condición previa para asegurar que la medida se hace correctamente; los medidores de ambos extremos se fijan al suelo, y cualquier alteración en las características de éste invalida el ensayo. Se escogió una solera de hormigón del interior de un local, construida hace más de 30 años. Se han inspeccionado tanto su temperatura y la humedad relativa del ambiente, encontrándose valores bastante estables a lo largo de la campaña (las oscilaciones de temperatura encontradas son inferiores a los 4°C).

¹⁵ La resistencia esperada del mortero es de 100 kp/cm².

mayoría de los valores obtenidos se sitúa entre 0.7 y 0.9, bastante próximos a los que se encuentran de manera natural. A fecha de Agosto de 1997, el valor medio de correlación entre expansión natural y acelerada en agua hirviendo se sitúa próximo a 0.75, previéndose una ligera disminución en los próximos dos años a medida que se produzca el crecimiento de parte de las cerámicas analizadas ¹¹.

En el ensayo de autoclave no se encuentra una aparente correlación. El valor medio de expansión encontrado para todas las series es de 1.280 mm/m. El valor del cociente AA/EN se sitúa en 2.00 y el del cociente AA/AH en 2.60 (para la obtención de estos valores no se ha considerado la serie 18, que presenta un comportamiento anómalo). Estos valores pueden aplicarse, sin reservas, a los ensayos de la norma UNE 67036-86.

Se constata que un ambiente muy húmedo no implica que las expansiones que se esperan deban ser mayores, aunque existe una abundancia de casos (un 78% del total) en los que esta tendencia se manifiesta claramente. Existen cuatro casos (un 22% del total) en los que la expansión en condiciones de saturación de humedad ha sido menor que en cualquiera de las

demás condiciones. También puede apreciarse que los cuatro materiales citados son los que con una mayor rapidez estabilizan su crecimiento.

En general puede afirmarse que los ambientes muy húmedos favorecen la aparición de valores más elevados de expansión. Ésta puede llegar a ser hasta un 20% mayor que en condiciones de humedad variable (en el caso de piezas expuestas), y un 70% o un 80% mayor que en condiciones de humedad constante de ambientes interiores. La relación entre los valores obtenidos para la expansión natural en atmósfera saturada de humedad y para el resto de las condiciones de almacenaje de las probetas se muestra en la tabla 4.

Cabe comentar también que la posible peligrosidad de una cerámica está ligada a la forma en la que se produce la expansión, además del valor neto de crecimiento que ésta pueda tener. Las cerámicas que muestran crecimientos con estabilizaciones rápidas (2-3 semanas) son potencialmente inertes si el material se mantiene a la intemperie un tiempo prudencial, después de haber sido fabricado. En las cerámicas con crecimientos prolongados y a largo plazo, el material puede ser colocado al poco tiempo de ser fabricado pudiendo tener crecimientos potenciales del 80 o el 90% de su valor máximo de expansión. El material cerámico no debe ser colocado inmediatamente después de su fabricación. Se recomienda un acopio del mismo durante un tiempo razonable, favoreciendo su aireación y humectación y desprotegiéndolo de envoltorios plásticos o similares. En la figura 5 se muestran las curvas de crecimiento correspondientes a cerámicas con procesos de estabilización rápidos (5a), medios (5b) y a largo plazo (5c).

4.- ENSAYOS SOBRE MURETES

4.1.- Algunos aspectos sobre el procedimiento experimental.

Con el fin de determinar la relación que existe entre la expansión en muros y piezas cerámicas se han construido tres muretes, para poner a punto un ensayo que permita una adecuada medida de expansiones en fábricas. Se ha optado por ubicarlos en un espacio interior con el fin de minimizar la influencia que sobre las medidas pueden tener otros factores, como las variaciones de temperatura, de humedad, la acción de la lluvia o el viento, o la exposición al sol de muretes y medidores. Las características de los muretes se recogen en la tabla 6.

Se han empleado medidores analógicos de precisión 0.002 y 0.01 mm, según los casos. En el caso del murete A, de longitud 2.5 m, se procedió a fijar uno de los extremos, midiendo variaciones de longitud con un solo micrómetro de precisión 0.002 mm. En el caso de los muretes B y C, de longitud 2 m, se optó por medir en ambos extremos con micrómetros de precisión 0.01 mm. En todos los casos, los muretes tenían pocas hiladas (de 5 a 8), midiéndose siempre en la cuarta hilada. Con el fin de evitar que los muretes tuvieran algún tipo de coacción por adherencia al suelo, se procedió en todos los casos a apoyar la primera hilada sobre una doble lámina de plástico y papel. El suelo que ha servido de apoyo al murete ha sido inspeccionado a lo largo de todo el ensayo¹⁴, no encontrando cambios apreciables en el mismo. Los morteros empleados se han dosificado en peso para obtener un M10¹⁵.

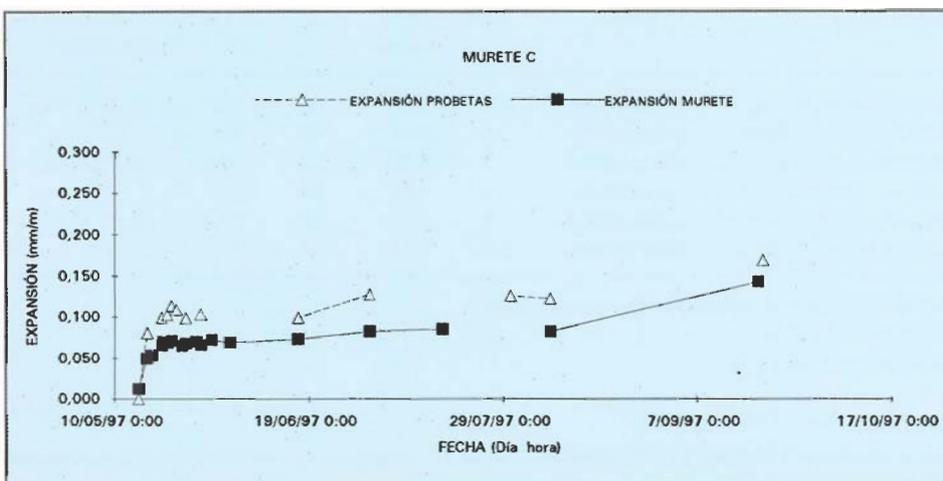
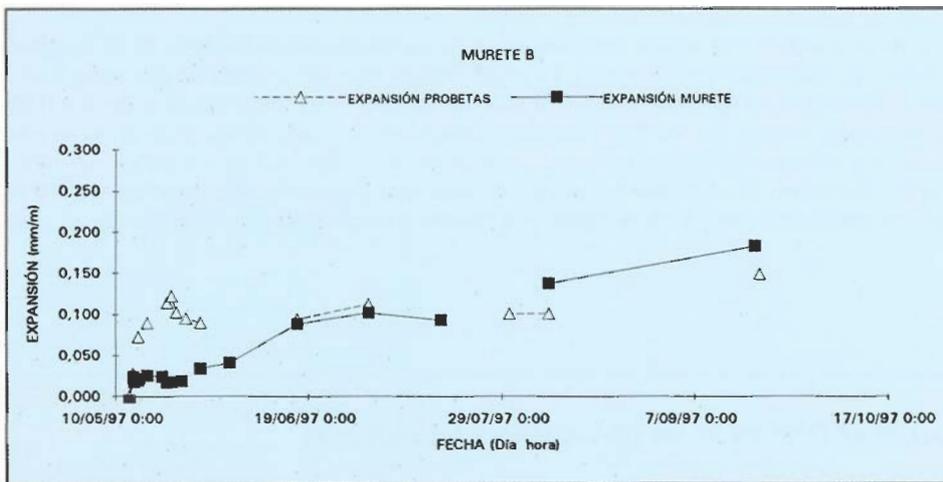
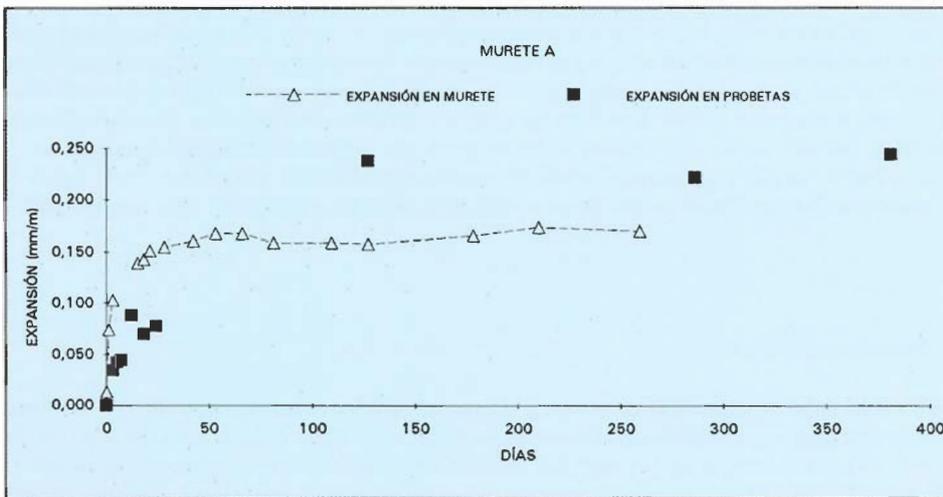
TABLA 6: CARACTERÍSTICAS DE LA CAMPAÑA DE ENSAYOS

ENSAYOS EFECTUADOS	TIPO	C.M.A.	Nº P.	D.E. (días)	C.D.T.	C.D.P.	LONGITUD (sogas/dist.)	
M15A	MURETE EN	Exp. natural a largo plazo	Laboratorio	1	259	SI	NO	10 / 2.5 m.
	PROBETAS EN	Exp. natural a largo plazo	Laboratorio	6	1.538	SI	SI	--
M15B	MURETE EN	Exp. natural a largo plazo	Laboratorio	1	128	SI	NO	8 / 2.0 m.
	PROBETAS EN	Exp. natural a largo plazo	Laboratorio	6	129	SI	SI	--
M15C	MURETE EN	Exp. natural a largo plazo	Laboratorio	1	130	SI	NO	8 / 2.0 m.
	PROBETAS EN	Exp. natural a largo plazo	Laboratorio	6	131	SI	SI	--

C.M.A.: Condiciones medioambientales en las que se mantienen las probetas
Laboratorio: aprox. 20°C / aprox. 65% HR
Nº P.: Número de probetas tomado en cada ensayo
D.E.: Duración del ensayo
C.D.T.: Corrección de la dilatación térmica en el ensayo
C.D.P.: Corrección del desgaste del palpador en la medida (si procede)

Los muretes A, B y C se fabricaron a partir de material del fabricante número 15. Dicho material había sido analizado en la campaña de ensayos de expansión natural. Sus parámetros más importantes pueden encontrarse en las tablas 3, 4 y 5. El comportamiento del murete A se estudió durante 8 meses, encontrándose valores prácticamente constantes a partir del segundo mes. En la figura 6 puede apreciarse el comportamiento del muro y el de las probetas del mismo fabricante.

Paralelamente a la construcción de los muretes B y C se han extraído por corte dos grupos de 6 probetas procedentes de los ladrillos empleados. De esta manera pueden compararse los valores que se obtienen en ambos casos. En la actualidad, ambos muros llevan 4 meses en análisis. Los valores de expansión encontrados en los muretes B y C, y sus correspondiente probetas se representan en las figuras 7 y 8.



16 En condiciones de ausencia de coacción en el material cerámico por parte de los morteros, la tendencia de crecimiento del murete debería ser mayor incluso que la de las probetas testigo. Debe tenerse en cuenta que el muro se encuentra en un entorno de humedad abundante aportada por los morteros, que acentúa el crecimiento del material cerámico. Las probetas se encuentran en el ambiente del local, y por lo tanto en presencia de menor humedad.

17 CERAM BUILDING TECHNOLOGY, "Design for Movement", Informe para la Brick Development Association, Febrero, 1993. En este informe se analiza el comportamiento de varias cerámicas ante la expansión. Los valores encontrados para la relación fábrica/cerámica oscilan entre 0.5 y 3, según materiales, abundando los valores próximos a la unidad. El informe propone este valor como correlación más plausible

18 FISHER, K., "Moisture Movement in Brickwork: A Further Review", Trans. J. Br. Ceram. Soc., 82, (2), 57, 1983. A partir de mediciones en muretes de 4 metros fijos en un extremo, el autor propone para la relación fábrica/cerámica un valor de 0,83.

4.2.- Resultados obtenidos en los ensayos.

Los resultados se encuentran recogidos en la tabla 7, para cada ensayo y material. Los datos corresponden al estado de la campaña de ensayos en Agosto de 1997.

TABLA 7: ENSAYOS DE EXPANSIÓN NATURAL Y ACELERADA SOBRE MURETES Y SUS PIEZAS

ENSAYOS EFECTUADOS	TIEMPO EN ANÁLISIS (días)	ESTADO	EXPANSIÓN NATURAL (1) (mm/m) EN	EN Muro EN Probetas	
A	MURETE	259	Estabilizado	0.170	--
	PROBETAS	259	En crecimiento	0.222	0.766
B	MURETE	128	En crecimiento	0.183	--
	PROBETAS	128	En crecimiento	0.149	1.228
C	MURETE	130	En crecimiento	0.144	--
	PROBETAS	130	En crecimiento	0.170	0.847

(1) El dato de esta columna está referido al tiempo en análisis dado en la tabla. Como puede apreciarse por la relación existente entre el dato de expansión natural y el del ensayo de agua hirviendo, las probetas están todavía en fase de crecimiento, y se espera una tendencia al crecimiento.

5.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN MURETES

La campaña de ensayos sobre muretes se encuentra todavía en desarrollo, aunque ya se dispone de datos relativos al comportamiento de una fábrica que ha entrado en fase de estabilización aparente.

Respecto al procedimiento de ensayo se ha conseguido obtener medidas fiables de precisión suficiente, con un control eficaz sobre los parámetros que pueden dificultar la toma de datos: temperatura, reología de los materiales de apoyo, cambios de humedad, etc..En el muro A puede apreciarse que la tendencia a la expansión de las fábricas es menor que la de la propia cerámica. El muro estabiliza el crecimiento más rápidamente, con tendencia a presentar valores más bajos.

Los muros B y C presentan una fase situada en las primeras dos semanas en la que la su expansión es menor que la del material cerámico, como puede apreciarse en las figuras 7 y 8. Esta disminución en los valores de expansión puede estar provocada por el fraguado y retracción del mortero ¹⁶. A partir de ese momento, la tendencia a la expansión de murete y probetas es muy similar. Los valores para la correlación entre la expansión en muro y la expansión del material cerámico se encuentran en la tabla 7. El valor más fiable corresponde al muro A, que ya se ha estabilizado, encontrándose una correlación de 0,766 en el octavo mes de ensayo. Los muros B y C muestran comportamientos similares a los del material cerámico encontrando valores de correlación próximos a la unidad después de 4 meses de ensayo. Debido a que los muretes se encuentran aún en crecimiento es prematuro avanzar un valor definitivo para dicha correlación a medio o largo plazo, aunque los valores a largo plazo obtenidos por otros autores en ensayos similares muestran correlaciones parecidas ¹⁷⁻¹⁸.

6.- MEDIDAS CORRECTORAS ESTUDIADAS

Además de los estudios dedicados a la determinación de la expansión en cerámicas y fábricas, se han realizado numerosas experiencias para determinar la influencia del tipo de ciclo de cocción y el uso de aditivos en los valores finales de expansión.

Se constata que la expansión por humedad es máxima para una temperatura de cocción, tomando valores menores cuando la cocción se realiza por encima o debajo de ésta.

Además, los valores de expansión acelerada obtenidos son menores a medida que el tiempo de estancia en la temperatura máxima del ciclo es mayor.

También se constata que la adición de carbonato cálcico disminuye la expansión por humedad, siendo esta medida particularmente eficaz en temperaturas de cocción elevadas. Recientemente se ha realizado una ambiciosa campaña de ensayos en el Centro Tecnológico de la Arcilla Cocida de Toledo (AITEMIN) encaminada a cuantificar la influencia de este aditivo en la expansión. Entre sus conclusiones cabe destacar las siguientes:

- En un 82% de los casos, el empleo del carbonato cálcico supone una reducción en los valores que se obtienen en ensayos de expansión acelerada.
- La adición de un 1% carbonato cálcico no supone una reducción efectiva de la expansión, encontrándose en algunos casos un ligero crecimiento. La efectividad es mayor con adiciones del 5% y del 10% de carbonato, situándose en este último caso la mayor reducción encontrada.
- Después de un análisis sobre 11 arcillas diferentes, la adición de un 10% de CO₂Ca ha supuesto una reducción media de un 30% en la expansión obtenida en ensayos acelerados, llegando a ser en los nueve casos más favorables del 55%.
- En general, las mejoras obtenidas en la expansión forzada no comprometen las características mecánicas de las piezas que se obtienen, ya que las resistencias mecánicas a flexión no sufren disminuciones importantes que invaliden las piezas obtenidas.

7.- CONCLUSIONES

El fenómeno de la expansión por humedad no responde a un modelo de comportamiento que pueda generalizarse a todas las cerámicas. El presente estudio cuenta con numerosos datos sobre 18 cerámicas representativas de nuestro país, donde se han podido encontrar muy distintos órdenes de magnitud en las expansiones y varias formas de comportamiento en el crecimiento.

La **expansión natural media** encontrada en las condiciones más desfavorables (saturación de humedad) es del orden de 0.65 mm/m, situándose **un 60% de las cerámicas en valores inferiores a 0.8 mm/m**. Puede calificarse la expansión encontrada en las cerámicas españolas estudiadas como "**media**". Se constata igualmente que el grado de expansión es ligeramente superior en ladrillos que en bovedillas.

A la vista de los valores encontrados, se recomienda una **revisión de las distancias entre juntas de dilatación** de fábricas recogidos en la NBE-FL-90. Por otro lado, dichos valores se encuentran en los previstos por el Eurocódigo EC6, aconsejándose el uso del mismo para la determinación de distancias entre juntas.

Un **ambiente húmedo** suele suponer **mayores expansiones**. En un número de casos importante la expansión en ambiente muy húmedo es un **20% mayor** que en atmósferas con humedad variable (ambientes exteriores), y entre un 70 y un 80% mayor que en ambientes secos (ambientes interiores).

La potencial peligrosidad de una cerámica debe asociarse, tanto al **valor de expansión máximo** que pueda alcanzar como a la **velocidad de crecimiento**. Si la cerámica alcanza un porcentaje elevado de su expansión máxima en pocos días, es muy poco probable la aparición de patologías, incluso si el valor de expansión obtenido en ensayos es elevado. En ese sentido, deben extremarse las precauciones en cerámicas con crecimientos muy lentos y a largo plazo, dimensionándose holgadamente las juntas de dilatación.

El ensayo previsto en la UNE 67036-94 para la determinación de la expansión de forma acelerada parece bastante adecuado a la vista de los resultados obtenidos. Puede considerarse que **la expansión obtenida en el ensayo de agua hirviendo supone el 70% de la expansión máxima que puede tomar el material de forma natural**.

A partir de los resultados obtenidos en muretes, puede considerarse que **la expansión obtenida en fábrica supone aproximadamente un 80% de la encontrada en piezas cerámicas**, para lapsos de tiempo superiores a 8 o 9 meses. **En intervalos cortos de tiempo, puede suponerse que la expansión en fábricas y en piezas cerámicas es similar**. Estos resultados deben completarse con más ensayos, aumentando los plazos de seguimiento de los muretes y utilizando materiales de varios ceramistas con distintos morteros.

Por último cabe resaltar la posibilidad de emplear en las arcillas una **adición de CO₂Ca finamente molido**, como procedimiento para rebajar la expansión del material cerámico.

AGRADECIMIENTOS

HISPALYT (Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas) ha financiado una buena parte de la experimentación que ha permitido la realización del trabajo expuesto. Toda la campaña de ensayos ha sido llevada a cabo en el Laboratorio de Materiales de Construcción del Colegio Universitario CEU-Arquitectura.