

614-2 ESTUDIO DE LOS CAMBIOS VOLUMETRICOS DEL YESO DURANTE Y DESPUES DEL FRAGUADO.

L. Chassevent.

De: "REVUE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION", 188, junio; 219, Julio; 267, agosto y 304, septiembre 1949.

Las pastas de yeso, al igual que todos los aglomerantes hidráulicos, sufren cambios de volumen durante el proceso de fraguado. Todo el mundo sabe que las masas de yeso, en el fraguado y después de él, no mantienen constante su volumen, pero es muy frecuente observar en diversos trabajos, profundas contradicciones en cuanto a la magnitud de las variaciones e incluso en el signo de las mismas.

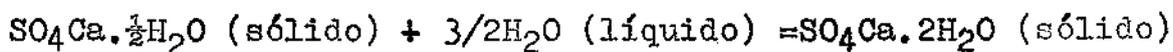
Para hacer un estudio crítico de la cuestión, hay que diferenciar netamente los cambios volumétricos debidos a la reacción química del aglomerante con el agua, de aquellos otros, comunes a todas las materias, tales como los provocados por la humedad, temperatura, secado etc. Entre las variaciones de origen químico, tenemos, para el yeso, los cambios de volumen absoluto del sulfato de calcio y del agua, - por una parte y las variaciones de volumen aparente de la masa cuando se hace coherente.

En el curso de la reacción del yeso con el agua de amasado se producen:

a) Variación del volumen absoluto del sólido por el hecho

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

de que las moléculas de yeso dihidratado no tienen el mismo tamaño que las de $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$: Esta variación puede calcularse fácilmente a partir de la reacción estequiométrica:



Conociendo los volúmenes absolutos de los cuerpos que intervienen en la reacción, puede verse que:

52,7 c.c. de yeso cocido + 27 c.c. de agua = 74,1 c.c. de yeso dihidratado.

Vemos que la suma de los volúmenes de los cuerpos reaccionantes es mayor (3,9 c.c. para 100 gr. de yeso semihidratado de densidad 2,75), pero el volumen absoluto del hemihidrato (52,7 c.c.) se convierte en 74,1 c.c. Hay, por tanto un aumento del 40 % con respecto al volumen inicial. Las densidades son:

Hemihidrato: 2,75 Dihidrato: 2,32

Resulta, por tanto, que la masa obtenida por hidratación del yeso es muy porosa, aún en el caso de que se utilizase para amasarlo la cantidad de agua estequiométricamente necesaria (en la práctica es mucho mayor). Así, cuando se amasan 100 gr. de yeso con 60 c.c. de agua se forman 3,9 c.c. de poros resultantes de la disminución de los volúmenes absolutos, y 41,4 c.c. de poros que resultan del exceso de agua de amasado.

Para medir la marcha de la reacción de hidratación, se puede seguir un método que consiste en observar la disminución del volumen absoluto resultante del yeso + agua. Esto puede hacerse con el dilatómetro, tal como describe el autor.

b) Variaciones del volúmen aparente en el curso de la hidratación.- En la reacción del hemihidrato con el agua, hay un aumento en el volúmen aparente de la masa, puesto que el crecimiento de los cristales de yeso, cuando la pasta se vá endureciendo, provoca la dilatación del esqueleto de la masa porosa. El hinchamiento es del orden de 0,3-1,5 % y, desde luego, mucho más pequeño que las variaciones absolutas del volúmen del sólido.

Para la medida de las variaciones de volúmen aparente pueden utilizarse varios aparatos. M. Chassevent critica y comenta el empleo de los dilatómetros de Amsler y Gibson-Johnston (éste último oficial en Inglaterra, para los yesos), y describe finalmente al aparato de su invención cuya fotografía se dá en la fig. 8. A la izquierda puede verse una sección del mismo. La pasta de yeso se vierte en un cilindro vertical de caucho de 20 mm. de diámetro y 100 de altura (neumático de bicicleta), cerrado por su parte inferior con un tapón de goma, atravesado por una varilla de vidrio que lleva soldado un disco, también de vidrio, de 20 mm. de diámetro. En la parte superior del cilindro de pasta hay un pequeño disco de latón, soldado a un alambre que, por un sistema de balancín, hace mover un pequeño espejo, cuando sube o baja. Pueden medirse así las variaciones de longitud de una probeta de 100 mm. de largo, con una precisión de dos milésimas de mm. Sobre el espejo incide un rayo de luz, de forma análoga a como se hace con un galvanómetro. La probeta vá sumergida en agua y el aparato está tapado, en conjunto, para evitar evaporaciones.

Tomando como patrón un mismo yeso, perfectamente cocido (sin anhídrita ni dihidrato), con 94 % de yeso y pequeñas cantidades de CO_3Ca y arena como impurezas, puede constatarse, que las variaciones de volúmen son distintas, según haya o no una capa de agua en la superficie superior de la probeta, según la proporción de agua de amasado y con arreglo a diversas adiciones. Vamos a resumir, brevemente, por separado, cada una de estas experiencias.

Presencia de agua

Es sorprendente que un mismo yeso, amasado con la misma cantidad de agua, dé resultados dispares en cuanto a su expansión. Puede comprobarse fácilmente, que estas variaciones dependen de la presencia de una capa o película de agua sobre la superficie de la probeta. Si se vierte la pasta en el molde, justamente antes del comienzo de la hidratación, evitando que, por segregación, se forme la capa de agua, se observa una pequeña contracción durante los primeros minutos, (disminución de volúmenes absolutos). La pasta, que al principio es flúida o blanda, se asienta. Después, el espesamiento se opone al asentamiento, y se forman huecos que provocan la succión de aire. Luego viene el hinchamiento.

Si se hace la misma experiencia, procurando que las probetas tengan siempre en su base superior una capa de agua, (de segregación o añadida), la contracción inicial es muy débil. El agua penetra por los poros de la pasta para rellenar huecos.

El hinchamiento aparece después del comienzo del fraguado y es mayor que el caso precedente. Ambos resultados pueden verse en la fig. 9 en la que se da la expansión en mm/m. en función del tiempo en minutos para pastas no recubiertas (I) y recubiertas (II). Puede verse que, en las pastas al aire, la expansión no pasa de 3 mm/m.

Hay que hacer notar, que la influencia de esta capa de agua sobre las probetas no ha sido tomada muy en cuenta en los ensayos, no sólo de yesos sino también de cementos. Esto podría ser la causa de los resultados dispares obtenidos, tal como hace notar M. L'Hermite ("Retracción de cementos, morteros y hormigones".- Circular serie F del Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics.- nº 37, junio 1947).

Influencia de la relación agua-yeso

Se han preparado probetas conteniendo 50 a 260 gr. de yeso para 100 gr. de agua. Como puede verse en la fig. 10, cuando la relación yeso: agua aumenta, las expansiones máximas aumentan también. Una elevación en la relación yeso-agua de 1,2 a 1,4 hace incrementar la expansión de 3 a 4,5 mm/m. para las pastas con agua (curva A) y de 1,3 a 3,5 mm/m. para las pastas secas. (B). También puede verse que, para las pastas recubiertas de agua, la expansión máxima es sensiblemente proporcional, después de la hidratación completa, a la cantidad de yeso hidratado por unidad de volumen de la masa endurecida. Esta expansión es de 3 mm/m. para una pasta que contenga, después de

seca, 1.000 gr. de yeso por litro.

Efecto de aditivos

1) Yeso crudo.- Muchos yesos de construcción contienen yeso sin cocer (dihidratado), bien sea por mala fabricación o porque ha sido añadido posteriormente, para activar el fraguado. El autor ha realizado experiencias con cantidades crecientes de yeso, entre 0,0 y 0,3%, comprobando que la expansión aumenta cuando se añade yeso, si bien el aumento no es proporcional. Así, cuando se añade la cantidad necesaria para reducir el tiempo de fraguado de 29 a 5 minutos, las expansiones crecen en un 50%.

La influencia del yeso natural sobre la expansión, puede explicarse de la forma siguiente: Cuando las pastas no contienen yeso, los cristales formados por hidratación se depositan en los poros de la pasta. Por el contrario, cuando hay dihidrato, la cristalización se hace alrededor de estos gérmenes, cuya posición en el seno de la masa tiene como consecuencia incrementar la expansión.

2) Otras adiciones.- Es corriente añadir numerosos productos químicos, bien sea al yeso en polvo o al agua de amasado, con objeto de acelerar o retardar el fraguado del mismo. Entre los acelerantes, el más utilizado, aparte del yeso crudo, ya citado, es el sulfato potásico. Los retardadores más comunes son: bórax, citrato potásico, hexametáfosfato sódico y colas.

El empleo de 2% de sulfato potásico, acelera el comienzo del fraguado de 29 a 4,5 minutos, pero disminuye la expansión (50 %) y la resistencia a la flexión (20 %). En cuanto a los retrasadores de fraguado, todos ellos disminuyen las resistencias mecánicas si no se compensa su efecto aumentando la relación yeso:agua. En general, las expansiones resultan disminuidas (10-25 % del valor primitivo), si se estudian mezclas convenientes de aditivos. En la tabla siguiente pueden verse algunos resultados:

Yeso	Adición	Comienzo del fraguado (minutos)	Expansión a las 2 h. (pasta no recubierta)
Yeso cocido al aire. (150/100)	Ninguna	17	1,8 mm/m.
Id. Id.	3 % SO_4K_2 y bórax (12 g/l)	19	0,11 "
Yeso cocido al autoclave (260/100)	Ninguna	12	3,7 "
Id. Id. (240/100)	3 % SO_4K_2 y bórax (0,5 %)	20	0,26 "
Id. Id. (240/100)	3 % SO_4K_2 y bórax (12 g/l).	20	0,44 "
Id. Id. (260/100)	3 % SO_4K_2 y 0,1% citrato potásico	16	0,53 "
Id. Id. (240/100)	3 % SO_4K_2 y ceta	23	0,90 "

(Las cifras indicadas entre paréntesis, en la primera columna expresan la relación yeso:agua de amasado). También se indican, en el original, los resultados correspondientes a otros aditivos tales como tartrato de sodio y potasio, alum-

bre potásico, cola de pescado y mezclas de los anteriores.

3) Materias arcillosas.- Las arcillas tienen un efecto notable sobre los cambios de volúmen aparente de los yesos. Los resultados de los ensayos (fig. 11) indican, que la presencia de arcilla (hasta 10 %) en un yeso, no altera mucho la velocidad de hidratación, y las expansiones resultan considerablemente aumentadas. (En la fig. 11 las curvas de puntos corresponden a muestras no recubiertas de agua; las llenas, a probetas con capa de agua).

Las resistencias mecánicas resultan muy disminuidas y, por otra parte, el amasado se hace difícil por la formación de grumos. Una ventaja -que puede ser importante en ciertas aplicaciones- es que la presencia de arcilla, reduce bastante la ascensión de agua por capilaridad, en las masas de yeso.

Morteros de yeso

En Francia el yeso es muy abundante y barato, por lo que no se utilizan casi los morteros de yeso-arena. En Bélgica, por el contrario, es costumbre emplear mezclas cal-arena-yeso en partes iguales. En Inglaterra se utilizan morteros yeso-arena y a veces yeso-caliza, y, en Estados Unidos, es bastante frecuente el empleo de yeso-arena, yeso-fibras y otras mezclas.

Un examen superficial de los morteros de yeso, conduce a conclusiones extrañas. En efecto, al parecer, las resistencias a la tracción y a la compresión de los morteros de yeso 1:1 son superiores a las de la pasta pura. Las expan-

siones son también mayores. Esto está en contradicción con los demás aglomerantes puesto que, como es sabido, el cemento solo, da resistencias superiores a morteros y hormigones. En realidad, la explicación estriba en la influencia de la relación yeso:agua de amasado. Los morteros de yeso pueden prepararse con menos agua que el yeso puro, de donde resulta que es posible obtener materiales de resistencia superior a la pasta pura. Es interesante la gráfica de la fig. 12 que indica las resistencias a la compresión de las probetas de yeso puro (curva superior) y de las de mortero de yeso-arena 1:1 (curva inferior), en función de la relación yeso:agua. Puede verse que un aumento en esta relación de 1,2 a 2,2 hace cuadruplicar la resistencia a la compresión.

En cuanto a la expansión, puede decirse que es muy análoga en los morteros que en la pasta pura. Depende esencialmente de la relación yeso:agua. La arena no tiene efecto directo sobre la expansión.

El empleo de morteros de yeso puede conducir al ahorro de un 10 a 30 % de este aglomerante, pero hay que tener en cuenta que estos morteros son más densos que el yeso solo, lo que puede influir sobre los gastos de transporte de elementos prefabricados. Igualmente, hay que considerar el precio de la arena, en relación con el del yeso.

Yesos de construcción

Las experiencias antes citadas corresponden a yesos puros, preparados en el laboratorio. Los productos técnicos, bien se

trate de yeso semihidratado o de anhidrita obtenida por cocción de la piedra de yeso a 800°, difieren algo de los materiales puros. Contienen pequeñas cantidades de yeso sin cocer, arcilla, caliza, arena y otras impurezas. No obstante los resultados son muy similares a los que quedan consignados y no difieren demasiado de aquellos.

En lo que respecta a la forma de empleo, hay que hacer constar que, en Francia, el obrero sigue una técnica algo diferente de la que se emplea en otros países. Amasa generalmente el yeso con un exceso de agua y lo empieza a aplicar al muro cuando comienza el espesamiento. Después lo trabaja y alisa antes de que el enlucido esté duro. Es necesario, por tanto, que el producto frague bastante aprisa pero que su endurecimiento sea lento. Esto solo puede conseguirse, si el yeso contiene algo de anhidrita insoluble. En otros países, el yeso se aplica inmediatamente después de amasado (con poco agua), antes de comenzar el fraguado; interesa un fraguado lento y no importa mucho la velocidad de endurecimiento.

El autor relata sus experiencias con yeso y con anhidrita que, en lo que se refiere a resultados, no difieren, como queda dicho, de los normales. En la práctica, los enlucidos de anhidrita (poco empleados en España) quedan secos antes de que la hidratación sea completa. Por ello, cuando están expuestos a la intemperie o a la humedad, se hidratan de nuevo y se hinchan.

Cada día se utilizan más los yesos de anhidrita insolu-

ble mezclados con alumbre (cemento Keene). Este compuesto acelera la hidratación de la anhidrita y, al mismo tiempo, reduce la expansión.

Variaciones de volumen aparente de origen físico

La dilatación térmica, la retracción por secado y el hinchamiento por rehumidificación, son otros tantos cambios volumétricos que pueden originarse en las masas de yeso fraguado, endurecido y completamente hidratado, es decir, cuando ya no hay que temer ninguna acción química.

La dilatación térmica, común a todos los materiales, actúa también sobre el yeso. Para una elevación de temperatura de 38°, se observa una expansión de 0,8 mm/m. para una probeta de densidad 1,12. En algunos casos (empleo del yeso en grandes masas), esta dilatación se superpone a la expansión debida a la hidratación y, por ello, deberá tenerse en cuenta.

Todas las masas obtenidas por hidratación de aglomerantes hidráulicos, se retraen por secado y se expansionan por rehumidificación. Para el yeso, no obstante, estos efectos son poco importantes (0,2 mm/m.) y equivalen a la décima parte de los que se experimentan en los cementos. No obstante, las experiencias de rehumidificación son muy difíciles de realizar por la casi imposibilidad de eliminar el aire de los poros de la masa y relleno de los huecos con agua.

En los yesos que contienen arcilla (hasta 25 %), las cosas no ocurren de la misma manera. La retracción por secado y la expansión por humectación aumentan mucho con respecto a

las masas de yeso puro. La acción de la arcilla es nefasta, por tanto, desde varios puntos de vista: disminución de resistencias, aumento de la expansión durante el fraguado y endurecimiento, dificultad de amasado, y aumento del hinchamiento y retracción por mojado y secado ulteriores de las piezas. En ciertos aspectos, los yesos con arcilla recuerdan mucho a los cementos.

Intentaremos resumir, en unas cuantas conclusiones, las partes más salientes del completísimo trabajo de M. Chassevent, uno de los más concienzudos de los hasta la fecha publicados:

- I.- La reacción química de hidratación del yeso semihidratado, origina un aumento en el volumen absoluto de las moléculas del orden de 40%.
- II.- La reacción: hemihidrato + agua = dihidrato, tiene lugar con una ligera contracción de volumen (absoluto).
- III.- En la reacción de hidratación hay un aumento en el volumen aparente de la masa de 0,3-1,5 %.
- IV.- La presencia de una capa de agua sobre la superficie de la probeta que se está ensayando, tiene una enorme influencia sobre el hinchamiento, en el sentido de que las probetas secas tienen menor expansión.
- V.- La expansión aumenta cuando lo hace la relación yeso: agua de amasado.
- VI.- Pequeñas cantidades de yeso crudo en el yeso hemihidratado, actúan incrementando la expansión. El fra-

guado se acelera.

- VII.- Los aditivos químicos (sulfato potásico, bórax, citratos, colas etc.) disminuyen la expansión, siempre que se utilicen en mezclas y cantidades bien dosificadas.
- VIII.- La arcilla en el yeso, aumenta la expansión y disminuye las resistencias mecánicas. Es perjudicial desde todos los puntos de vista.
- IX.- La expansión de los morteros de yeso es muy análoga a la de la pasta pura y depende exclusivamente de la relación yeso-agua.
- X.- Los cementos de anhidrita (tipo Keene) se hidratan más rápidamente que la anhidrita pura y son menos expansivos.
- XI.- El calor desprendido en la reacción de hidratación (exotérmica) puede tener cierta importancia en la expansión térmica, en obras masivas de yeso.
- XII.- Los efectos de retracción y expansión, por secado y humidificación de las piezas de yeso endurecido, son poco importantes, siempre y cuando el material no contenga arcilla.

En el original se dan referencias bibliográficas, figuras, gráficos y tablas de resultados.