

Escayola aligerada: propuestas alternativas a la adición de sólidos celulares

Lightened plaster: alternative solutions to cellular solids addition

M. DEL RÍO^(*), F. FERNÁNDEZ OLIVARES^(**)

^(*)Dpto. de Construcciones Arquitectónicas y su Control, E. U. Arquitectura Técnica. U. Politécnica

^(**)Dpto. de Construcción y Tecnología Arquitectónica, E. T. S. Arquitectura. U. Politécnica

Persona de contacto/*Corresponding author*: rio.merino@euatm.upm.es

Fecha de recepción: 26-V-03
Fecha de aceptación: 9-XI-03

ESPAÑA

RESUMEN

En este artículo se presenta el análisis de diferentes procedimientos para aligerar la escayola, como alternativas a la adición de sólidos celulares, determinando los más adecuados para la realización de prefabricados.

Dentro de estos procedimientos cabe destacar la adición de espumantes, hasta ahora sólo utilizados para la fabricación de hormigones celulares.

SUMMARY

The following paper pretends to analyze different processes in order to lighten gypsum as an alternative way at the cellular fillers addition, in order to establish the most suitable ones for the manufacture of plasterboard.

Outstanding the process which use foamings addition to lighten gypsum, uses nowadays only to manufacture cellular concrete.

PALABRAS CLAVE: escayola, aligerantes, adición de espumantes.

KEYWORDS: plaster, lightweights, foamings addition.

1. INTRODUCCIÓN

Un material aligerado es aquel que en su origen tiene una densidad normal y mediante algún procedimiento se ocupa parte de su volumen con algún material de mucha menor densidad (sólidos celulares como los

1. INTRODUCTION

A lightened material is one which has originally, a normal density and which part of its volume has been filled with a much smaller density (cellular solids such

áridos ligeros, aire o gas), convirtiéndose en un material celular (Figura 1).

Los materiales aligerados se utilizan en la construcción de edificios por las siguientes ventajas (1):

- Facilitan la puesta en obra, mejorando el rendimiento de la misma.

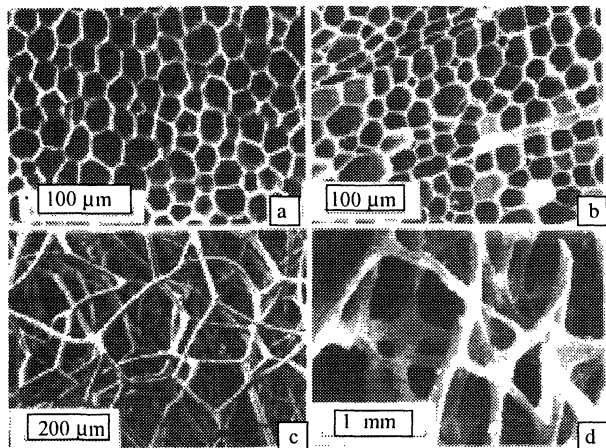


Figura 1.- Materiales celulares naturales: a) corcho; b) madera de balsa; c) esponja; d) hueso; e) coral; f) espina de pescado; g) hoja; h) tallo de una planta (1).

Figure 1.- Natural cellular material: a) cork; b) balsa wood; c) sponge; d) bone; e) coral; f) fish bone; g) leaf; h) plant stalk (1).

- Al ser más manejables se minimizan las roturas y desconchones en el transporte.

- Mejora del aislamiento térmico, la absorción de la energía de impacto e incluso, en ocasiones, la resistencia al fuego por la inclusión de celdillas de aire en reposo.

- El inconveniente es que, en ocasiones, la mejora de alguna de estas características supone una reducción de la resistencia mecánica del material o de su dureza superficial.

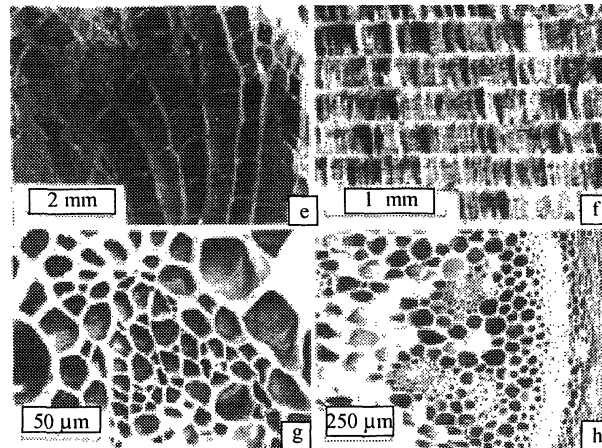
- Su aplicación más frecuente es la realización de rellenos, evitando el colapso por sobrecargas debido al peso propio, principalmente en la rehabilitación de edificios y la fabricación de prefabricados de gran tamaño.

En este artículo se presentan los resultados del estudio realizado para determinar la viabilidad de diferentes procedimientos que se proponen para aligerar la escayola, introduciendo aire o gas en su interior como posibles alternativas a la adición de sólidos celulares (2, 3). Estos procedimientos estudiados son: *aumento de la relación agua/escayola A/E; realización de la escayola mediante agua carbonatada; adición de aireantes en la mezcla e incorporación de espumantes en la mezcla.* Con ello se pretende determinar cuál de estos procedimientos es el más adecuado para aligerar la escayola y utilizarla en la elaboración de productos

as light aggregates, air or gas) becoming a cellular material (Figure 1).

Lightened materials are used in building construction because of their advantages (1) such as:

- Easy placing increasing the work output.



- Easy handling which minimizes the fractures and cracks during transportation.

- Thermal insulation improvement, energy absorption and even sometimes, fire resistance increase due to the inclusion of cells at rest.

- The disadvantage, nevertheless, is that in some occasions, the improvements of some of these properties are followed by a reduction of the mechanical strength of the material or of the superficial hardness.

- The most common use of lightened materials is as fillings, preventing the collapse caused by overloaded dead weight. They are mainly used in building rehabilitations and in the construction of large prefabricated products.

In this article, the results of the study accomplished are presented. The analysis determines the viability of the different procedures to lighten plaster, introducing either air or gas as possible alternatives to the addition of cellular solids (2, 3). The procedures studied are: "increase of water to plaster ratio A/E, plaster manufacturing with carbonated water, airings addition to the batch and foaming inclusion in the mixing". All these procedures have been studied in order to determine the most suitable solutions to lighten plaster so as to use it in the manufacturing of lightweight construction products, panel or planks which in turn

prefabricados más ligeros para la construcción, en forma de placas o paneles que sustituyan los similares ya existentes de escayola sin aligerar (4-7).

1.1. Antecedentes

En general los fabricantes de elementos prefabricados a base de yeso han conseguido reducir el peso de los mismos en base únicamente a definir, en la forma del producto final, alveolos, perforaciones, etc.

Actualmente, además de utilizar este procedimiento para disminuir el peso, algunos fabricantes en España están utilizando procesos complementarios como la adición en la pasta de cargas ligeras como la perlita y la vermiculita. El problema es que estos áridos son muy costosos, por lo que se hace necesario el estudio de soluciones alternativas a las actualmente utilizadas, como las que se proponen en este artículo.

No se ha encontrado ninguna referencia sobre patentes en España que incorporen aditivos inclusores de aire en el yeso/escayola, pero en patentes americanas y japonesas se han encontrado referencias sobre yesos aligerados mediante espumantes.

2. MATERIALES UTILIZADOS

Escayola

Se realiza un estudio previo sobre la escayola, como matriz principal para que nos sirva de referencia comparativa en el análisis de los distintos materiales aligerados que se estudian.

La escayola que se utiliza es escayola especial (E-35), constituida fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato, con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado, con una resistencia mínima a flexotracción de 35 Kp/cm² (3,5 MPa) (8).

Agua carbonatada

Se propone para introducir aire en la escayola, sustituir el agua corriente de amasado por agua carbonatada de mesa de las siguientes características:

ANÁLISIS QUÍMICO (mg/l): Bicarbonato, 135; Sulfatos, 18; Nitratos, 2; Cloruros, 47; Calcio, 37; Magnesio, 10; Sodio, 24; Residuo seco, 211.

Aditivos inclusores de aire y espumantes

Son sustancias o productos cuya función principal es modificar, en uno u otro sentido, el contenido de aire o de gas ocluido en los hormigones, morteros o pastas testigo (9-11).

would substitute the non-lightweight products in the market (4-7).

1.1. Background

In general the manufacturers of plaster based prefabricated products have reduced their weight just by adding cells or holes into the final product.

Nowadays, not only do they do this in order to diminish the weight, but some manufacturers are also using complementary processes such as the addition within the paste, of light loads such as the perlite and vermiculite. Due to their high cost, it is necessary to study alternative solutions to the ones already being put into practice, such as the ones offered in this article.

No references have been found about patents in Spain which incorporate air including additives in gypsum/plaster, nevertheless, in american and japanese patents references have been found about lightly additioned gypsum with foams.

2. MATERIALS USED

Plaster

A previous analysis of plaster as main matrix has been performed so as to compare it later with the light materials studied.

The plaster being used is a special plaster (E-35) formed by semihydrated calcium sulphate, where the addition of regular additives for setting is possible. It has a minimum flexotraction of 35 Kp/cm² (3.5Mpa) (8).

Carbonated water

Instead of using plain water, carbonated water, such as the one used for drinking, has been used to introduce air in the plaster.

CHEMICAL ANALYSIS: (mg/l) Bicarbonate 135, Sulphates 18, Nitrates 2, Chloride 2, Calcium 37, Magnesium 10, Sodium 24, Dry waste 211.

Air including additives and airings

They are substances or products with the main function of modifying, in one way or another, the occluded air or gas content in concrete, mortar or pastes of reference (9-11).

Inclusores de aire o aireantes: aditivos cuya función principal es producir un número elevado de finas burbujas de aire (de 10 a 500 micras de diámetro), de distribución continua de tamaños, separadas y repartidas uniformemente. Se utilizan Estados Unidos desde 1933 (12).

Están formados por moléculas orgánicas que en disolución acuosa, se disocian en iones complejos que son adsorbidos por las partículas finas del cemento y de los áridos por su grupo polar (Figura 2).

El grupo polar tiene un efecto tensoactivo fuerte y da lugar durante la mezcla de la pasta a las pequeñas burbujas de aire que quedan ocluidas entre las partículas finas del cemento y los áridos. En general, aunque se introduce algo de aire, éste suele conseguir reducciones de peso del 15% aproximadamente.

Son derivados de resinas naturales de la madera, detergentes sintéticos, sales lignosulfonadas, grasas y aceites animales o vegetales, materiales proteínicos, ácidos derivados del petróleo, etcétera.

”Como efecto secundario, determinados aditivos de este grupo pueden producir una disminución de la resistencias mecánicas, que estan en función del contenido de aire”.

Se utiliza un aireante-plastificante de la casa Sika con el nombre comercial de SIKAMOR G (Tabla 1).

Según la empresa fabricante del producto, no existian referencias sobre el comportamiento de este compuesto al añadirse a una pasta de yeso o escayola.

Espumantes: aditivos cuya función principal es la de generar espuma por batido manual o mecánico. La espuma supone la oclusión de pequeñas burbujas de aire distribuidas homogéneamente, dotando al material de una estructura alveolar y consiguiendo disminuciones de peso de hasta cuatro o cinco veces el peso inicial.

TABLA 1/TABLE 1
Aireante-plastificante (SIKAMOR)
Plastifier-airing (SIKAMOR)

SIKAMOR G (Prontuario Sika)	
Aspecto <i>Appearance</i>	Líquido castaño <i>Brown liquid</i>
Densidad/ <i>Density</i>	1,02 kg/l
Contenido de sólidos <i>Solid content</i>	Aprox. 9%
pH	Aprox. 11
Condiciones de almacenamiento <i>Storage conditions</i>	En lugar fresco <i>Cool place</i>

Air including additives or airings: They are additives with the function of producing a great number of fine bubbles (10 to 500 microns), in a continuous distribution of sizes, separated and spread evenly. They have been used in the USA since 1993 (12).

They are formed by organic molecules which, in a water solution, are separated into complex ions absorbed into the fine particules of cement and aggregate by their polar group (Figure 2).

The non-polar group has a strong tenseactiv effect which generates small bubbles during the batch mixture. These bubbles stay occluded in between the fine particules of cement and aggregate. In general, although a small quantity of air is introduced, weight reductions of up to 15% are achieved.

They are derivatives of wooden natural resins, synthetic detergents, lignosulphonated salts, grease and animal or vegetable fats, protein materials, petroleum derived acids etc.

”As a secondary effect, certain additives of this group can produce a mechanical strength diminishment, as a result of the occluded air”.

Plastifier-airing of Sika brand, with the commercial name of SIKAMOR G (Table 1) has been used.

According to the manufacturing company of the product, ther were no references of the behaviour of this compound when added to a plaster paste or gypsum paste.

Foamings: They are additives which generate foam by mechanical or hand blending. The foam produces the occlusion of small air bubbles evenly distributed, giving the material a cell structure and a decrease in the weight of up to four or five times the initial weight.

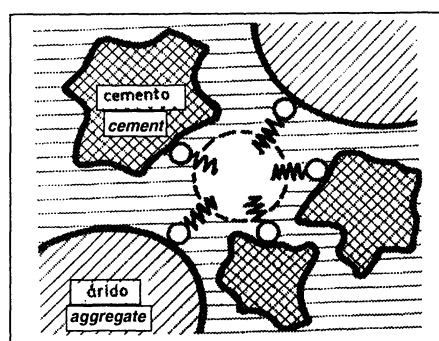


Figura 2.- Acción de moléculas aireantes sobre las partículas de cemento y árido fino (13).

Figure 2.- Action of airing molecules on cement and fine aggregate particules (13).

Con los espumantes se consiguen morteros y hormigones celulares .

Como efecto secundario se suele producir una disminución de las resistencias mecánicas y, en especial, de la dureza superficial del material.

Para el estudio de la escayola aligerada mediante espumantes se utilizan dos tipos: el espumante de la casa Texa, ESPUMOGEN R (Tabla 2), con base proteína y el espumante SKW 2 (Tabla 3), de la casa Bettor, con base resina.

La espuma se genera mediante agitación con batidora, durante cinco minutos y se acelera el fraguado, que se observa se ralentiza excesivamente (llegando en ocasiones a no fraguar en 24 horas), incorporando polvo de yeso fraguado en un porcentaje del 0,5%-1% sobre el peso de la escayola, mejorando, de este modo, la estabilidad de la espuma.

TABLA 2/TABLE 2

Espumante con base proteína (ESPUMOGEN)
Foaming with protein based (ESPUMOGEN)

ESPUMOGEN R (Manual Texsa)	
Olor	Amoniacal fuerte
Smell	Strong ammoniac
% Sólidos/% Solids	19±1%
Peso específico	1.09±0.05 g/cm ³
Specific weight	
Viscosidad/Viscosity	20±1cps (Brookfield)
pH	10±0.5

Según las empresas fabricantes de ambos productos, no existen datos sobre el comportamiento de estos al añadirse a una pasta de yeso o escayola.

3. PLAN DE ENSAYOS

Se realizan series de tres probetas prismáticas cada una de 4x4x16 cm de escayola aligerada mediante los procedimientos enumerados en el punto anterior y se les someten, según el Pliego de Recepción de yesos del año 1985, a ensayos de resistencia mecánica (flexotracción, compresión), dureza Shore C y determinación de pesos, a efectos de definir comparativamente a la serie de referencia (serie 1, escayola realizada con una relación A/E de 0,8) la cual aporta una mejor relación densidad/resistencia mecánica.

Por último, se realiza un análisis comparativo con probetas de escayola aligeradas mediante la adición de sólidos celulares, para concluir en la posible validez de estos procedimientos.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS

4.1. Serie de referencia

En la Tabla 4, se presentan los resultados medios obtenidos en los ensayos realizados sobre la serie de

Cellular concrete and mortars are produced using foamings.

A decrease in mechanical strength can occur as well as a reduction in the superficial hardness of the material.

For the study of lightened plaster with foamings, two types have been tested: foaming produced by Texa, ESPUMOGEN R (Tabla 2), protein based, and SKW 2 (Table 3), foaming of Bettor brand, resin based.

The foam is produced by agitating the mix with a blender during five minutes and accelerating the setting, which normally slows down (sometimes lasting 24 hrs.), adding set gypsum powder in a 0.5%-1% in relation to the plaster weight. This greatly improves the foam stability.

TABLA 3/TABLE 3

Espumante con base resina (SKW 2)
Foaming with resin based (SKW 2)

SKW 2 (Manual Bettor)	
Peso específico (20 °C)	1,03± 0,02 g/cm ³ .
Specific weight (20 °C)	
Residuo seco/Dry waste	20± 2%.
Valor pH/ PH Value	7± 1.
Viscosidad (20 °C)	< 30 cps
Viscosity (20 °C)	
Contenido en cloruros	Exento/Not present
Chloride content	

According to the manufacturing companies of both products, there are no data about the behaviour of these additives when added to plaster or gypsum paste.

3. TEST PLAN

Series of three 4x4x16 prismatic test pieces are produced, with light plaster according to the procedures stated before. The series are tested according to the gypsum reception conditions from 1985 for mechanical strength (flexotraction, compression) Shore C hardness and weight determination, in order to define the best mechanical/density relation, in comparison to the reference series (series 1, plaster made with an A/E of 0.8).

Finally, a comparative analysis between the test pieces lightened through the addition of cellular solids is carried out, so as to conclude on the validity of these procedures.

4. RESULTS AND TEST CONCLUSIONS

4.1. Reference series

On Table 4, the average results obtained in the tests with the reference series are shown (three prismatic

TABLA 4/TABLE 4

Valores medios de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre la serie de referencia
Average values of the results obtained in the test performed on the reference series.

Serie	A/E	Peso 7º día (g) <i>Weight on 7 th day (g)</i>	R.flexión (MPa) <i>Flexión strength (MPa)</i>	R.compresión (MPa) <i>Compressive strength (MPa)</i>	Shore C
1	0.8	243.5	3.3	5.8	67.5

TABLA 5/TABLE 5

Valores medios de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre las series de escayola con distintas relaciones A/E..
Average values of the results obtained in the tests performed on plaster series with different A/E ratio.

Serie	A/E	Peso 7º día (g) <i>Weight on 7th day (g)</i>	R.flexión (MPa) <i>Flexión strength (MPa)</i>	R.compresión (MPa) <i>Compressive strength (MPa)</i>	Shore C
2	1	210.4	2.2	4.5	50
3	2	122.3	0.58	0.76	15

referencia, serie de tres probetas prismáticas de escayola realizada con una relación A/E de 0,8.

4.2. Escayola aligerada por un aumento de la relación A/E

En la Tabla 5, se presentan los resultados medios obtenidos en los ensayos realizados sobre las series 2 y 3, series de probetas prismáticas de escayola realizadas con una relación A/E de 1 y 2.

Conclusiones sobre los ensayos realizados:

Al ir aumentando la cantidad de agua para realizar la pasta se consiguen importantes reducciones de peso por el incremento de la porosidad de la escayola. El inconveniente es que estas reducciones de peso están asociadas a importantes reducciones de la resistencia mecánica y la dureza superficial. Por ejemplo, en la serie 3, la realizada con más agua, se consigue una reducción de peso de más del 50% sobre la serie de referencia pero esta disminución de peso está asociada a una disminución de la resistencia a flexión de un 80%, un 85% de la resistencia a compresión y un 78% de la dureza superficial. Pudiendo concluir en que el material resultante es poco apto para la realización de prefabricados.

4.3. Escayola aligerada mediante la utilización de agua carbonatada

En la Tabla 6, se presentan los resultados medios obtenidos en los ensayos realizados sobre probetas

plaster test pieces made with a ratio of A/E of 0.8).

4.2. Lightened plaster by means of the A/E ratio

On Table 5, average value results obtained for the tests with series 2 and 3 are presented (prismatic plaster test pieces with an A/E ratio of 1 and 2).

Conclusions of the tests performed:

As the amount of water to produce the paste is increased, significant weight reductions are achieved due to the plaster porosity. The disadvantage is that these reductions are associated to important mechanical strength and superficial hardness reductions. For example, in series 3, the one with more water, a weight reduction of 50% is achieved in comparison to the reference series, but this weight reduction is associated to a diminishment in flexion resistance of up to 80%, as well as a 85% in compressive strength and a 78% reduction in superficial hardness. Therefore we can conclude that the resulting material is not suitable for the production of prefabricated components.

4.3. Lightened plastered by means of carbonated water

On Table 6, average value results obtained in the tests performed with prismatic plaster test pieces with

TABLA 6/TABLE 6

Valores medios de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre la serie de probetas de escayola confeccionadas con agua carbonatada.
Average values of the results obtained in the tests performed with plaster test pieces with carbonated water.

Serie	A/E	Peso 7º día (g) <i>Weight on 7th day (g)</i>	R.flexión (MPa) <i>Flexión strength (MPa)</i>	R.compresión (MPa) <i>Compressive strength (MPa)</i>	Shore C
4	0.8	292.6	3.2	7.5	80

TABLA 7/TABLE 7

Valores medios de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre las series de probetas de escayola confeccionadas con plastificante Sikamor G.
Average values of the results obtained in the tests performed with plaster test pieces with Sikamor G plastifier

Serie	A/E	% Sikamor G	Peso 7º día (g) <i>Weight on 7th day (g)</i>	R.flexión (MPa) <i>Flexión strength (MPa)</i>	R.compresión (MPa) <i>Compressive strength (MPa)</i>	Shore C
5	0.8	0.5	243.6	2.25	4.28	73
6	0.6	0.5	282	4.98	6.41	85
7	0.6	1	296.4	4.71	5.16	84

prismáticas de escayola amasada con agua carbonatada en vez de agua corriente.

Conclusiones sobre los ensayos realizados:

Al realizar la escayola con agua carbonatada no se consigue reducir la densidad del compuesto sino que éste aumenta de densidad, alcanzando la de la escayola amasada con una relación A/E de 0,6^(*).

Por otra parte, comentar que además, este incremento en la densidad, no se corresponde con los valores de resistencia mecánica aunque sí en los valores de dureza superficial que se obtienen en escayolas de similares densidades.

4.4. Escayola aligerada mediante la adición de aireantes-plastificantes

Se realizan tres series de probetas de escayola amasada con agua a la que se le añade el plastificante Sikamor G en un porcentaje del 0,5% sobre el peso del conglomerante, en las probetas realizadas con una relación A/E de 0,8 y se añade en porcentajes del 0,5% y 1% cuando se amasa la escayola con una relación A/E de 0,6. Los resultados de los ensayos realizados sobre estas series se presentan en la Tabla 7.

carbonated water instead of plain water are shown.

Conclusions of the tests performed:

When manufacturing plaster with carbonated water the compound density increases reaching the same density as the plaster batch with a A/E ratio of 0.6^(*).

On the other hand, this density increase, does not correspond to the mechanical strength values, although it does correspond to the superficial hardness values obtained with plaster of similar densities.

4.4. Lightened plaster by means of adding plastifier-airings

Three series of plaster test pieces are produced with water and Sikamor G plastifier in a proportion of 0.5% in relation to the conglomerate weight, in the test pieces with a A/E ratio of 0.8. When mixing plaster with a A/E ratio of 0.6, the adding percentages is of 0.5% and 1%. Results of the tests performed with these series are shown on Table 7.

Conclusiones sobre los ensayos realizados:

A pesar de la formación de microburbujas al añadir el aireante, no se produce una reducción de los pesos, de manera que estos son similares a los pesos de las probetas realizadas con escayola sin aditivar con la misma relación A/E (Tabla 8). No hay, por tanto, influencia en el peso debido al Sikamor G, pero se consigue mejorar la trabajabilidad de la mezcla a menor relación A/E y aumentar la dureza superficial, aunque se produce una disminución de la resistencia mecánica.

Conclusions of the tests performed:

Although microbubbles are formed when adding the airing, there is no weight reduction, on the contrary it stays similar to that of the test pieces produced with plaster with no additives and the same A/E (Table 8) ratio. There is, therefore, no influence on the weight due to the use of Sikamor G, but its workability is improved when the relation A/E is smaller. There is also an increase in the superficial hardness, although there is a decrease in the mechanical strength.

TABLA 8/TABLE 8

Escayola sin aditivar con la misma relación A/E
Plaster with no additives and the same A/E ratio

A/E	Peso 7º día (g) <i>Weight on 7 th day (g)</i>	R.flexión (MPa) <i>Flexión strength (MPa)</i>	R.compresión (MPa) <i>Compressive strength (MPa)</i>	Shore C
0.6	289	5.2	9.8	80

4.5. Escayola aligerada mediante la adición de espumantes

Se realizan series de probetas de escayola amasada con agua a la que se le añaden dos tipos de espumantes: SKW2 y ESPUMOGEN.

4.5.1. Escayola aligerada mediante la adición de espumante SKW2

El espumante SKW2 se añade sobre una escayola realizada con una relación A/E de 0,8 y en porcentajes de adición del 0,5, 1, 2 y 3% sobre el peso del conglomerante (series 8, 9, 10 y 11).

El porcentaje de espumante añadido se determina en función de la consistencia adquirida y según recomendaciones del fabricante. Los resultados de los ensayos realizados sobre estas series se presentan en la Tabla 9.

4.5. Lightened plaster by means of adding foamings

Series of plaster test pieces are produced with water and the addition of two different types of foamings: SK W2 and ESPUMOGEN.

4.5.1. Lightened plaster by means of adding foaming SKW2

The SK 2 foaming is added to plaster produced with a A/E ratio of 0.8 and addition percentages of 0.5, 1, 2 and 3% in relation to the conglomerate weight (series 8, 9, 10 and 11).

The percentage of added foaming is determined according to the obtained consistency and according to the manufacturers specifications. Results of the tests performed with these series are shown on Table 9.

TABLA 9/TABLE 9

Valores medios de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre las series de probetas de escayola confeccionadas con espumante SKW2

Average values of the results obtained in the tests performed with plaster test pieces with SKW 2 foaming

Serie	A/E	% SKW2	Peso 7º día (g) <i>Weight on 7th day (g)</i>	R.flexión (MPa) <i>Flexión strength (MPa)</i>	R.compresión (MPa) <i>Compressive strength (MPa)</i>	Shore C
8	0.8	0.5	243.58	4.3	4.9	80
9	0.8	1	229.24	3.2	4.0	78
10	0.8	2	235.23	3.0	3.8	76
11	0.8	3	225.43	2.7	2.75	70

Conclusión sobre los ensayos realizados:

Al añadir este espumante no se consiguen reducciones de peso significativas, para ninguno de los porcentajes de adición analizados, y en cambio se reduce considerablemente la resistencia mecánica del compuesto. En el caso más favorable de reducción de peso (5%) disminuye la resistencia a flexión un 4,7% y un 30% la resistencia a compresión. También, en general, disminuyen los valores de dureza superficial conseguidos, aunque siempre están por encima de la serie de referencia. El caso más favorable un 18% sobre la escayola sin aditivar (para un porcentaje de adición del 0,5%).

4.5.2. Escayola aligerada mediante la adición del espumante Espumogen

El espumante Espumogen se añade sobre una escayola realizada con una relación A/E de 0,8 en porcentajes de adición del 1 y 2% sobre el peso del conglomerante (series 12 y 13) y sobre una escayola realizada con una relación A/E de 0,6 en porcentajes de adición del 1% sobre el peso del conglomerante (serie 14).

Estos porcentajes de adición utilizados se determinan en función de la consistencia adquirida y según recomendaciones del fabricante.

Los resultados de los ensayos realizados sobre estas series se dan en la Tabla 10.

Conclusiones sobre los ensayos realizados:

La mezcla realizada tiene una consistencia “tipo mousse” formándose más espuma que con el SKW2, pero se presentan problemas al desmoldar las probetas, pues el material resultante es muy frágil.

Se consiguen reducciones de peso significativas de hasta un 40% sobre la serie de referencia, pero estas

Conclusions of the tests performed:

When this foaming is added, there are no significant weight reductions, for none of the percentages analysed. Nevertheless, there is a considerable reduction of the mechanical strength of the compound. In the most favourable case of weight reduction (5%) the flexion resistance diminishes a 4.7%, and the compressive strength reduces up to a 30%. In general, values of superficial hardness also show a decrease, although they are always above the reference series. The most favourable case is that of an 18% over the non-additivated plaster (for a 0.5% addition)

4.5.2. Lightened plaster by means of adding Espumogen foaming

The Espumogen foaming is added to a plaster produced with a A/E relation of 0.8 and addition percentages of 1 and 2% in relation to the conglomerate weight (series 12 and 13). Later this additive is added to plaster produced with a A/E ratio of 0.6 and addition percentages of 1% in relation to the conglomerate weight (series 14).

The addition percentages are established according to the obtained consistency and following to the manufacturers specifications.

Results of the tests performed with these series are shown on Table 10.

Conclusions of the tests performed:

The batch produced has a “mousse type” consistency, in which more foam is produced than with the SK W2, but many difficulties arise when uncasting the test pieces, due to their fragile consistency.

Significant weight reductions are achieved of up to 40% over the reference series, but they are always

TABLA 10/TABLE 10

Valores medios de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre las series de probetas de escayola confeccionadas con espumante ESPUMOGEN.

Average values of the results obtained in the tests performed with plaster test pieces with ESPUMOGEN foaming.

Serie	A/E	% Espumogen	Peso 7º día (g) <i>Weight on 7th day (g)</i>	R. flexión (MPa) <i>Flexión strength (MPa)</i>	R. compresión (MPa) <i>Compressive strength (MPa)</i>	Shore C
12	0.8	1	179.78	0	6.25	40
13	0.8	2	150	0	0	20
14	0.6	1	250.3	11	13.75	50

reducciones de peso siempre se acompañan de disminuciones importantes en la resistencia mecánica del compuesto. En el caso más favorable, en cuanto a reducción de peso, las resistencias mecánicas son nulas. También la dureza superficial del compuesto disminuye hasta hacerse nula, por la formación de múltiples burbujas en la superficie.

5. CONCLUSIONES FINALES

Tomando como valor de referencia la serie 1 y comparando los mejores resultados obtenidos, al aligerar la escayola con aditivos (series señaladas sobre las tablas 2, 3, 4, 5 y 6 en negrita), con los resultados obtenidos en ensayos similares, realizados sobre probetas de escayola aligerada con sólidos celulares y la misma relación A/E 0,8, presentados en el artículo, referido en la introducción, titulado "Escayola aligerada con sólidos celulares", podemos sacar las siguientes conclusiones (Tabla 11).

Peso:

En todas las series analizadas, excepto la 4 y la 5, se obtienen reducciones de densidad en comparación a la serie de referencia. Obteniéndose la densidad menor cuando se aligera la escayola con el grupo de los corchos (natural y artificial), así como cuando se aumenta la relación A/E (serie 3).

accompanied by important diminishments in the product mechanical strength. In the most favourable case, looking at weight reduction, the mechanical strengths do not appear. The superficial hardness of the compound suffers a great diminishment almost to become 0, due to the multiple formation of bubbles on the surface.

5. FINAL CONCLUSIONS

Using as a reference series, series number 1, and comparing the best results obtained, when the plaster is lightened with additives, (series shown in bold numbers on tables 2, 3, 4,5, and 6), with those results obtained in similar tests performed on test pieces of lightened plaster with cellular solids and the same A/E 0.8 relation, we can conclude that (Table 11).

Weight:

In all the analysed series, except in numbers 4 and 5, reductions of the density are obtained if compared to the reference series. The smallest density is obtained when plaster is lightened with natural cork (natural and artificial) and when the A/E ratio is increased.

TABLA 11/TABLE 11

Valores medios de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre series de probetas de escayola aligerada con aditivos y sólidos celulares.

Average values of the results obtained in the tests performed with plaster test pieces with cellular solids and additives.

Denominación <i>Name</i>	Densidad <i>Density</i>	Peso/R. Flexión <i>Weight/Flexion S</i>	Peso/R. Compresión <i>Weight/Compressive St.</i>	Peso/Dureza Shore C <i>Weight/Shore C</i>
0.8E (serie 1)	0.95	73.78	41.98	3.6
1E (serie 2)	0.82	95.6	46.75	4.2
2E (serie 3)	0.47	210.8	160.9	8.15
A. carbonatada C. water (serie 4)	1.14	91.4	39	3.65
0.5 SKG (serie 5)	0.95	108.2	56.91	3.33
1% SKW2 (serie 9)	0.89	71.6	57.35	2.93
1% Espumogen (serie 12)	0.70	1797	289	4.49
60% Arcilla exp. 60% Expanded clay	0.75	113.9	28.48	2.76
20% Perlita 20% Perlite	0.82	83.6	42.66	3.25
20% Vermiculita 20% Vermiculite	0.82	86.09	55.80	4.21
3% Poliestireno 3% Polystyrene	0.52	131.13	64.35	9.26
20% Corcho natural 20% Natural cork	0.58	98.03	63.82	7.5

En general, la disminución de densidad siempre está asociada a una disminución de la resistencia mecánica y la dureza superficial.

Relacion entre el peso de los compuestos y su resistencia a flexion:

La mejor relación entre el peso y la resistencia a flexión se obtiene cuando se añade al agua de amasado un 1%, sobre el peso del conglomerante, del espumante SKW2 (serie 9). En el resto de las series analizadas se obtienen peores resultados que los obtenidos en la serie de referencia (Figura 3).

Relacion entre el peso de los compuestos y su resistencia a compresion:

La mejor relación entre el peso y la resistencia a compresión se obtiene cuando se añade arcilla expandida en un porcentaje del 60% con respecto al peso del conglomerante. En el resto de las series analizadas, donde se obtuvo una disminución de la densidad, se obtienen peores resultados que los obtenidos en la serie de referencia (Figura 4).

Relacion entre el peso de los compuestos y su dureza superficial:

La mejor relación entre el peso y la dureza superficial se obtiene cuando se añade un 60% de arcilla expandida, así como en las series realizadas con un 1% del espumante SKW2 (serie 9) y un 20% de perlita. En el resto de las series analizadas, donde se obtuvo una disminución de la densidad, se obtienen peores resultados que los obtenidos en la serie de referencia.

Generally speaking, the density decrease is always associated to a decrease in the mechanical strength and superficial hardness.

Relation between the compound weight and its flexion strength:

The best ratio between weight and flexion strength is obtained when 1% foaming SK W2 is added to the batch, in relation to the conglomerate weight (serie 9). In all the other series performed, worse results than those of he reference series are obtained (Figure 3).

Relation between the compound weight and its compressive strength:

The best ratio between weight and flexton strength is obtained when expanded clay is added in a percentage of 60%, in relation to the conglomerate weight. In all the other series performed, where a reduction of the density was achieved, worse results than those of he reference series are obtained (Figure 4).

Relation between the compound weight and its superficial hardness:

The best ratio between weight and superficial hardness is obtained when expanded clay is added in a percentage of 60%, as well as in the series with a 1% SK W2 foaming (serie 9) and a 20% perlite. In all the other series performed, where a reduction of the density was achieved, worse results than those of he reference series are obtained.

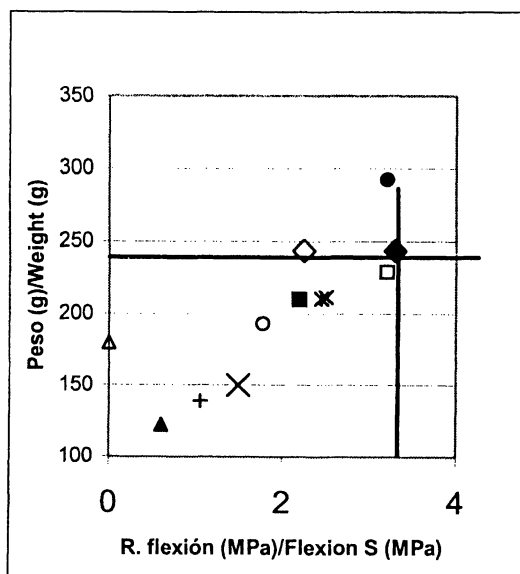


Figura 3.- Relación peso/resistencia a flexión.
Figure 3.- Relation weight/flexion strength.

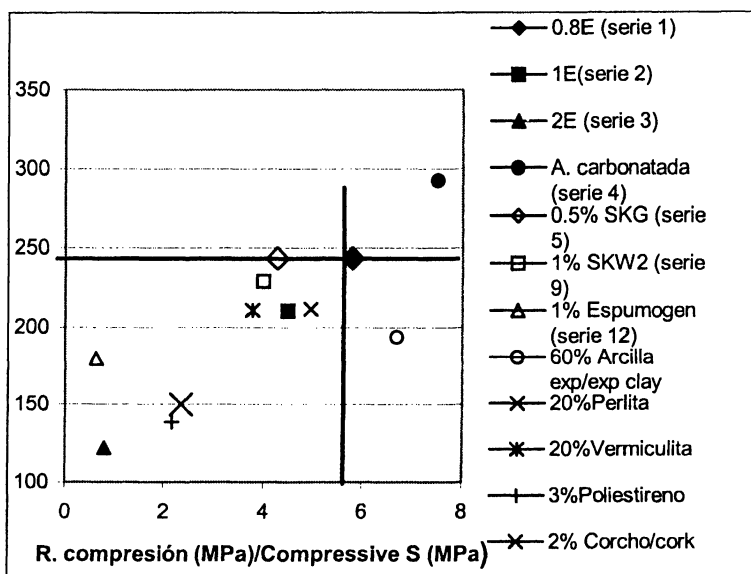


Figura 4.- Relación peso/resistencia a compresión.
Figure 4.- Relation weight/compressive strength.

Por todo ello se concluye en que de todas las propuestas analizadas para aligerar la escayola, la de añadir espumantes en base resina puede ser una buena alternativa a la adición de sólidos celulares como la perlita y la vermiculita, utilizados actualmente en el aligeramiento de elementos prefabricados de yeso/escayola.

Además, se puede considerar también como alternativa, el aumento de la relación A/E, si se va a utilizar la escayola aligerada de esta forma únicamente como relleno, pues, como se ha comentado, a medida que aumenta el agua de amasado, la escayola pierde resistencia y dureza superficial.

Therefore we can conclude that from all the proposals analysed to lighten plaster, adding resin based foaming can be a good alternative to the addition of cellular solids. Nowadays cellular solids such as perlite and vermiculite, are used in the manufacture of lightened plaster prefabricated products.

Also, as an alternative, the increase of the A/E ratio can be considered, when lightened plaster is going to be used only as fillings, because as it has been earlier explained, when water content increases, plaster loses strength and superficial harness.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Gibson L. J., Ashby, M. F.: "*Cellular solids. Structure and properties*". Edit: Cambridge University Press. 1997. Inglaterra.
- (2) Río Merino, M., Hernández Olivares, F.: "*Aplicaciones de los desechos de corcho como carga celular para prefabricados de yeso y escayola*". 5ª. Jornada nacional sobre aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivados. ETSAM, abril 1999.
- (3) Río Merino, M., Hernández Olivares, F.: "*Escayola aligerada con sólidos celulares*". Informes de la construcción nº 614-9. 1998. Instituto Eduardo Torroja. Págs 43-60.
- (4) Río Merino, M., Hernández Olivares, F.: "*Escayola reforzada por la acción sinérgica entre aditivos del hormigón (superfluidificantes, fluidificantes y aireantes-plastificantes) y fibras de vidrio E*". Mater Construcc, Vol. 50, nº 260 (2000), pp. 27-38.
- (5) Río Merino, M., Hernández Olivares, F.: "*Influencia del grado de dispersabilidad de la fibra de vidrio tipo E en el comportamiento mecánico y la trabajabilidad de la escayola*". Mater Construcc, Vol. 51, nº 261 (2001), pp. 33-44.
- (6) Río Merino, M., Comino, P.: "*Estudio de los refuerzos mixtos de vidrio E y fibras AR en la escayola., como alternativa a los refuerzos monofibras (homogéneos)*". Mater Construcc, Vol. 52, pp. 33-42 (2002).
- (7) Arrieta, L. Sánchez.: "*Comportamiento de edificaciones ligeras construidas sobre arcillas expansivas. Técnicas de diseño y rehabilitación*". Mater Construcc, Vol. 53, pp. 199-210 (2003).
- (8) B.O.E. RY-85: "*Pliego de recepción de yesos y escayolas en obras de construcción*". B. O. E, nº 135 (1985).
- (9) ACI 212: "*Guía para el empleo de aditivos en el hormigón*" (1963).
- (10) Bettor: "*Manual de aditivos para el hormigón*" (1998).
- (11) Sika: "*Manual de aditivos para el hormigón*" (1998).
- (12) UNE-83-200-84: "*Aditivos para hormigones, morteros y pastas*".
- (13) Texsa: "*Hormigón y aditivos*". Edit: Texsa. Barcelona (1974).
