

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

614-18 ESTUDIOS SOBRE YESO: RETRASO DE FRAGUADO, IMPERMEABILIZA-  
CIÓN Y AIREADO

J. M. Tobio

-----

Dada la abundancia de yeso en nuestro país y su bajo precio -una tercera parte aproximadamente del correspondiente al cemento, haciendo la comparación en peso- se ha creído interesante iniciar unos estudios y experiencias encaminados al mejor aprovechamiento de este material.

Sin perjuicio de que tales trabajos, comenzados a primeros de Octubre de 1951, continúen en la actualidad y puedan proseguirse en el futuro, hemos considerado de interés exponer los resultados logrados en el transcurso de cuatro meses de ensayos y experiencias realizados en los laboratorios del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento.

Las cuestiones tratadas: retraso de fraguado, impermeabilización y aireado, han sido ejecutadas casi simultáneamente y, en lo que respecta a las dos primeras, con una finalidad común: lograr masas más compactas, resistentes y de fácil trabajabilidad.

-----

I - Retraso del fraguado

I-1 - PRELIMINAR:

Son bien conocidas las características de empleo del yeso en obra, entre las cuales cabe señalar, en lo que se refiere a las cualidades desventajosas: fraguado demasiado rápido, necesidad de emplear en el amasado mucho más agua de la teóricamente necesaria, susceptibilidad al agua y a la humedad y considerable pérdida de resistencias que experimentan los yesos endureci-

dos cuando se humedecen.

El tiempo de fraguado de un yeso (escayola de construcción, por ejemplo), amasado hasta consistencia normal, suele oscilar entre 5 y 15 minutos, dependiendo de la relación agua/yeso y aumentando con ésta. Para el yeso empleado en estas experiencias las cifras encontradas han sido (determinado el tiempo de fraguado con aguja de Vicat):

Principio de fraguado. . . . .	5 - 10 minutos
Final " " . . . . .	10 - 15 "

en las condiciones que luego se especificarán.

Ya se comprende que las dificultades para amasar y utilizar en una sola vez grandes cantidades de yeso serán considerables. De aquí que se hayan buscado, desde hace tiempo, productos que, adicionados al yeso, hagan más lento este fraguado, con objeto de obtener pastas que puedan ponerse en obra con relativa comodidad.

La lista de retrasadores de fraguado es casi interminable y abarca los productos más dispares y variados: inorgánicos, principalmente sales, y orgánicos, todos ellos utilizados con mayor ó menor éxito, de los cuales se tratará con mayor extensión en otra publicación del Instituto, próxima a aparecer.

#### I-2 - EMPLEO DEL ACIDO ALGINICO COMO RETARDADOR DE FRAGUADO:

El hecho de que en algunos países, especialmente Inglaterra, se utilizó como retardador más común la queratina y la circunstancia de haber sido realizadas por nosotros diversas investigaciones sobre el ácido alginico y derivados (cursos de doctorado, año 1942), nos hizo pensar en la posibilidad de sustituir

dicha queratina, de la que no se disponía en el mercado nacional, por el ácido alginico, cuyas propiedades químicas y físicas parecían aptas para su empleo como retardador. En efecto, por ser el ácido alginico un compuesto orgánico de elevado peso molecular - (alrededor de 100.000), dar con facilidad soluciones muy viscosas (las sales solubles) ó geles, y por su fórmula química (Fig. 1) - puesta de manifiesto según las últimas investigaciones del año - 1943, parecía dable esperar que el ácido alginico había de comportarse de modo muy análogo a la queratina en su mezcla con el yeso

Químicamente el ácido alginico es un polímero en cadena del ácido d-manurónico, con un grado de polimerización muy variable y que depende del método seguido en la extracción, clase y - edad de las algas empleadas, etc.

El ácido alginico existe en cantidad ilimitada en las algas pardas (feofíceas), abundantísimas en nuestras costas, especialmente en las zonas atlántica y cantábrica. En diversas naciones, Inglaterra, Francia, Estados Unidos, Japón y Noruega, la industria de las algas está altamente desarrollada y se obtienen al año muchos miles de toneladas de ácido alginico y derivados.

El ácido alginico es casi insoluble en agua, insoluble en los disolventes orgánicos ordinarios y con una acidez comprendida entre la del ácido acético y la del monocloracético ( $k=20 \cdot 10^{-5}$ ). Las sales de sodio, potasio, amonio y magnesio son solubles en - agua dando soluciones de extremada viscosidad (unas 36 veces mas elevada que la de la goma arábica). Las sales de los demás meta - les no señalados, son insolubles en agua y especialmente los alginatos de calcio, bario, aluminio, hierro y plomo. Esta circunstan - cia hizo pensar en la posibilidad de utilizar el ácido alginico - como agente impermeabilizante, como se detallará en la segunda par

te de este trabajo.

### I-3 - PARTE EXPERIMENTAL:

Como se indica en párrafos anteriores, los ensayos de retraso de fraguado del yeso se han concretado al empleo del ácido alginico como sustituyente de la queratina.

Partiendo de dos lotes de algas pardas ("laminarias y fucus") recogidos durante el mes de Agosto de 1951 en la costa - Noroeste de España, secadas al sol y vueltas a secar en el laboratorio, se obtuvieron los productos reseñados a continuación:

- 1 - Solución de alginato sódico, neutra, sin decolorar, al 7%.
- 2 - Solución de alginato sódico, neutra, decolorada, - al 5%.
- 3 - Solución de alginato amónico, ligeramente alcalina, al 1,5%.
- 4 - Alginato sódico sólido, impuro (obtenido por evaporación de 1).
- 5 - Alginato sódico sólido, purificado (obtenido de la solución 2).
- 6 - Alginato sódico en polvo, purísimo, obtenido por precipitación de la solución 2, con alcohol.
- 7 - Alginato cálcico sólido, impuro.
- 8 - Alginato cálcico sólido, purificado.
- 9 - Alginato bórico sólido, impuro.
- 10 - Alginato complejo de cinc y amonio, en solución.
- 11 - Alginato complejo de cobre y amonio, en solución.
- 12 - Acido alginico decolorado, en forma de papilla ó gel.
- 13 - Acido alginico en polvo, impuro.
- 14 - Acido alginico en polvo, purificado (obtenido por precipitación de solución 2 con ácido clorhídrico)

La preparación del ácido alginico y sus derivados se efectuó siguiendo las técnicas usuales (ver Bibliografía), modificadas convenientemente en algún caso y cuya descripción no es necesario señalar aquí.

#### I-4 - RESULTADOS:

Las primeras experiencias realizadas con los productos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11, mostraron que estos compuestos no ejercían acción alguna apreciable como retrasadores de fraguado del yeso, por lo que fueron inmediatamente descartados.

En una primera serie de ensayos con papillas nº 12 se comprobó que existía algún efecto retrasador pero, sin embargo, el amasado se hacía muy dificultoso debido al empleo de cantidades grandes de una masa gelatinosa, muy difícil de incorporar al polvo de yeso.

Finalmente, se hicieron experiencias con los ácidos alginicos en polvo numeros 13 y 14, obteniéndose en ambos casos resultados plenamente satisfactorios.

La incorporación del ácido alginico se hace por simple mezcla del polvo con el yeso, removiendo con una espátula para homogeneizar bien el conjunto. Luego se añade el agua de amasado y se hace éste como de ordinario. La influencia del ácido alginico como retrasador puede verse claramente en la tabla I y en la gráfica de la fig. 2:

Tabla I

Acido alginico (%)	Agua de amasado (%)	Comienzo de fraguado.	Final de fraguado.
0,0	50	10 min.	18 min.
0,25	50	21 "	31 "
0,50	50	41 "	50 "
0,75	50	65 "	73 "

Los retrasos obtenidos aumentan con la concentración en ácido alginico y son del mismo orden que los logrados utilizando queratina, aunque ligeramente superiores.

Se trató de comprobar, en otra serie de ensayos, el efecto de la presencia del ácido alginico sobre la resistencia mecánica del yeso fraguado. La tabla II muestra como, para cantidades crecientes de ácido alginico, la resistencia a tracción disminuye (ver fig. 3):

Tabla II

Acido alginico (%)	Agua de amasado (%)	Resistencia a tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,0	50	30
0,25	50	26,5
0,50	50	23
0,75	50	17

I-5 - CONCLUSIONES:

- a) El ácido alginico en polvo actúa como retardador del fraguado del yeso, en una proporción aproximada de 10 minutos por cada 0,1 % de ácido añadido.
- b) Las sales simples ó complejas del ácido alginico no parecen tener efecto retrasador sobre el fraguado del yeso.
- c) La presencia de ácido alginico en el yeso fraguado hace disminuir la resistencia mecánica de las probetas en una proporción aproximada de 2 Kg/cm<sup>2</sup> (a tracción) por cada 0,1 % de ácido añadido.

II - Impermeabilización

II-1 - PRELIMINAR:

Como ya ha sido señalado anteriormente, uno de los mas graves inconvenientes del yeso ordinario es su susceptibilidad frente al agua. Esta susceptibilidad se manifiesta principalmente por dos características fundamentales. Por una parte, las masas porosas de yeso absorben con gran facilidad el agua y en una proporción muy elevada, dando lugar a la aparición de manchas y humedades en las estructuras. En segundo lugar, el yeso húmedo pierde resistencia en una proporción asombrosa, como puede verse por la tabla siguiente tomada de un trabajo de Andrews:

Tabla III

‰ de agua	Pérdida de resistencia (%)
0,0 (1)	0,0
1,0	42
5,0	49
10,0	71
20,0	76
30,0	76
Saturación (2)	82

(1) Muestras secadas en estufa a 40-50 °C.

(2) Corresponde aproximadamente a 40% de humedad.

La observación de la tabla anterior nos indica que frente a este importante defecto del yeso, pérdida de resistencia por efecto de la humedad, todos los demás pueden no tomarse en consideración.

Los dos defectos señalados en párrafos anteriores son los que principalmente limitan y hasta prohíben el empleo del yeso en obras exteriores. Esto ha dado ocasión a una prolífica investigación en busca de agentes impermeabilizantes para el yeso, que queda reflejada en la infinidad de patentes, trabajos y "recetas" que aparecen cada año en la literatura química, algunos de los cuales se citan en la Bibliografía incluida al final de estas notas.

La impermeabilización del yeso es una cuestión sumamente difícil. La dificultad surge de que no es suficiente "disminuir" el poder absorbente del yeso para el agua. Ya hemos visto por la

tabla III los efectos perniciosos de la humedad sobre el yeso, aún en proporciones de agua muy bajas. Es preciso pues llegar a una impermeabilización "integral" mediante la cual la capacidad de absorción de humedad por el yeso sea prácticamente nula.

Sin tratar de hacer una exposición de conjunto, ni mucho menos exhaustiva sobre los trabajos realizados hasta la fecha, la consulta de numerosos artículos sobre el tema nos ha hecho ver que, en este campo, se han seguido cuatro direcciones principales:

- a) Impermeabilización por adición de sustancias inorgánicas.
- b) Impermeabilización por adición de sustancias orgánicas.
- c) Impregnación de las piezas de yeso, ya fabricadas, con diversos agentes.
- d) Recubrimientos externos de los objetos de yeso.

En el apartado a) pueden incluirse:

Cal ordinaria	Cloruro cálcico
Cal hidráulica	Oxido de cromo
Dolomitas calcinadas	Bentonita
Caliza	Silicato sódico
Tierra de diatomeas	Sales de aluminio, especialmente alumbre
Pómez	Barita cáustica
Cenizas volantes	Sales diversas
Cemento	

Entre los impermeabilizantes del grupo b) se cuentan:

Estearato de calcio	Resinatos
Acido oleico y sus sales	Betunes
Jabón	Asfaltos
Dextrina	Parafina
Colofonia	Ceras diversas

Los impermeabilizantes de los grupos a) y b) se emplean como ya se ha indicado, en mezcla con el polvo de yeso ó bien adicionándolos al agua de amasado. Los resultados obtenidos con ellos son, por lo que luego veremos, mediocres.

Las piezas de yeso fraguado, unas veces en húmedo y otras después de secas, pueden sumergirse en líquidos o soluciones diversas (grupo c), tales como:

- Soluciones acuosas de sales amónicas
- Soluciones acuosas de sales de sodio
- Soluciones acuosas de sales de potasio
- Acido fosfórico diluido
- Acido oxálico diluido
- Solución de vidrio soluble (silicato sódico)
- Soluciones de bórax, alumbre o cloruro bórico
- Soluciones de sales de magnesio, aluminio y cinc
- Soluciones orgánicas de parafina
- Resinas sintéticas

Finalmente, también puede ser posible impermeabilizar el yeso mediante el simple expediente de "pintarlo", después de fraguado y seco, con diversas sustancias, entre las que se citan:

- Soluciones acuosas de vidrio soluble
- Soluciones acuosas de fluosilicato sódico
- Empastes a base de polvo de cemento, un pigmento, estearato cálcico y cloruro cálcico
- Empastes a base de cemento-caseína
- Pinturas compuestas de polvo de cinc, arcilla, talco, y cloruro cálcico
- Pinturas de aceite de linaza
- Emulsiones colofonia-caseína
- "Cementos impermeabilizantes" portland-caseína, en forma de papillas muy fluidas
- Soluciones de jabón

El hecho de que exista una gama tan extensa y variada de impermeabilizantes para yeso indica, primero, la gran atención que se ha dado a este tema en todos los tiempos y, segundo, que

la solución final está muy lejos de haberse conseguido.

## II-2 - PARTE EXPERIMENTAL:

Los primeros ensayos de impermeabilización del yeso se verificaron en nuestro laboratorio utilizando como aditivos diversos derivados del ácido algínico mencionados en la primera parte de este trabajo. La posibilidad de formar, en la masa del yeso, un alginato cálcico insoluble en agua, denso y compacto; parecía sugestiva a primera vista, en relación con la impermeabilización.

## II-3 - ENSAYOS PREVIOS:

Se realizó una primera serie de experiencias con diversos derivados del ácido algínico y proporciones variables de sales inorgánicas, sobre probetas de yeso -escayola- amasadas con la proporción de agua que se indica. En primera aproximación, los ensayos de impermeabilización se llevaron a cabo fabricando probetas, dejándolas dos o tres días en el ambiente de laboratorio y luego desecándolas en estufa, a 40-50 °C hasta peso sensiblemente constante. A continuación se introducían 24 horas en agua, se escurrían, secaban externamente con papel de filtro y se volvían a pesar. La absorción de agua se expresa en porcentajes. La tabla IV da algunos de los resultados logrados.

Como puede apreciarse por los valores de la tabla IV, tomados como representativos de prolijos ensayos realizados en el laboratorio, tanto el ácido algínico como sus sales no constituyen verdaderos impermeabilizantes. A lo más actúan, en ciertas condiciones, como "retrasadores" de la absorción de humedad.

Tabla IV

Aditivo, %	Agua de amasado (%)	Absorción de agua (%)
Ninguno	50	27
25 c.c. sol. de alginato sodico 3 %	25	19
1 alginato sódico + 0,3 $Cl_2Ca$	50	22
2 ácido algínico + 0,6 $Cl_2Ca$	50	17
0,5 ácido algínico + 2 alginato sódico + 0,6 ZnO	50	18
0,5 ácido algínico + 2 CaO	40	10
0,5 ácido algínico + 4 CaO	40	10
1,0 ácido algínico + 0,3 CaO	50	13
0,4 ácido algínico + 3 $Ca(OH)_2$	40	9

II-4 - ENSAYOS CON CEMENTO:

La preparación y ensayo de algunas probetas de pasta pura y mortero de portland, con y sin ácido algínico (ó alginato sódico) demostró que estos derivados alginicos actúan como impermeabilizantes relativos del portland. La tabla V indica los resultados logrados sobre probetas de pasta pura y mortero de portland.

Tabla V

Composición de las mezclas	Agua de amasado (%)	Absorción de agua (%)
100 g. portland	26	15
100 g. portland + 6 c.c. alginato sódico al 1,7 %	20	14
Mortero: 25 portland + 75 arena Leucate	13,6	7
Mortero: 25 portland + 75 arena Leucate + 0,5 alginato sódico	14	5,5
Mortero seco: 25 portland + 75 arena Leucate + 0,25 alginato sódico	10	5
Mortero plástico: 25 portland + 75 arena + 0,25 alginato sódico	15	6
Mortero: 25 portland + 75 arena + 1 alginato sódico + 2 Cl <sub>2</sub> Ca	13,5	2,7

Puede observarse que el alginato sódico, en proporción equivalente al 1% del peso de la mezcla, es un impermeabilizador bastante activo sobre morteros arena-cemento. En especial, la mezcla alginato sódico-cloruro cálcico constituye un impermeabilizante útil.

#### II-5 - IMPERMEABILIZACION DEL YESO CON CEMENTO:

Los resultados de la experiencia anterior nos sugirieron el empleo de mezclas cemento-algínico, para impermeabilizar el yeso en masa. Los resultados logrados, aunque no son definitivos, muestran que tanto las mezclas cemento-algínico como el port

land solo, impermeabilizan, en parte, al yeso. (Ver tabla VI):

Tabla VI

Composición de las mezclas				Agua de amasado (%)	Absorción (%)
Yeso	Cemento	Ac. algínico	Alg. sódico		
50	2	0	0	53	10
50	4	0	0	53	8
50	2	0,2	0	51	7
50	2	0	1	53	6,3
50	3	0	1	53	5,2

II-6 - MORTEROS DE YESO:

Los morteros de arena-yeso absorben, en general, menos agua que las probetas de yeso solo. Los ensayos realizados permiten afirmar que el ácido algínico actúa, en este caso, como un retardador de humectación. (Tabla VII)

Tabla VII

Yeso (gr.)	Arena (gr.)	Ac. algínico (gr.)	Agua de amasado (%)	Humedad absorbida (%)
100	66	0,0	70	14
100	66	0,5	70	8,1
100	80	0,5	76	8,0

Es de suponer que, dados los efectos beneficiosos del ácido alginico sobre la impermeabilización de los morteros de cemento, las mezclas yeso-cemento-arena-ácido alginico poseerán una impermeabilidad superior a la de los morteros arena-yeso. - Este extremo no ha sido comprobado.

#### II-7 - EMPLEO DEL RESINATO CALCICO COMO IMPERMEABILIZANTE:

Algunos trabajos y patentes mencionan el abietato o resinato de cal como agente impermeabilizante para materiales de construcción. Los ensayos realizados por nosotros permiten afirmar que este compuesto, utilizado "en la masa" del yeso actúa como retardador de humectación bastante eficaz. No obstante, una inmersión prolongada tiene como consecuencia la absorción de grandes cantidades de agua por parte de las probetas (véase Tabla - VIII).

Tabla VIII

Resinato cálcico (%)	Absorción de humedad (%)		
	En 15 segundos	30 segundos	24 horas
0	12	21	28
1	7,5	12	22,5
2	6,8	11,1	21,6
(*) 5	3,6	7,3	20,0
7,5	5,8	10,5	21
10	6,3	11,5	23

(\*) Parece existir un óptimo de resinato cálcico retardador de humedad, alrededor de 5%.

## II-8 - OTROS ENSAYOS DE IMPERMEABILIZACION:

Siguiendo las consideraciones enunciadas en II-1 se ve rificaron algunos ensayos de impermeabilización de probetas de y eso fraguado, con arreglo a las normas dadas en los apartados c) y d), es decir, por inmersión y "pintado" de las piezas de yeso.

Se sumergieron probetas de yeso, desecadas en estufa a 50°, en soluciones de: alginato sódico, alginato amónico, alginato doble complejo de cinc-amonio y mezclas diversas de alginato sódico-fosfato disódico. El tiempo de inmersión osciló entre 1 y 10 horas. Los resultados logrados con esta técnica, puestos de manifiesto por inmersión en agua de las probetas tratadas, durante un período de 24 horas, no fueron muy alentadores. En ningún caso pudo descenderse de porcentajes de humedad absorbida inferiores a 18%.

Fueron probados otros agentes de inmersión distintos de los alginatos, tales como: solución de vidrio soluble ( $\text{SiO}_3\text{Na}_2$ ), bórax, ácidos fosfórico y oxálico etc., todos ellos con resultado negativo.

Ya se comprende de lo dicho anteriormente que las expe riencias de recubrimiento ó pintado con cualquiera de los agen - tes citados, habrían de dar resultados análogos. La práctica con firmó este extremo.

Es digno de notarse que cuando una probeta seca de y eso se pinta con disolución de un alginato soluble, se forma casi inmediatamente una película "insoluble" de alginato cálcico sobre las caras de la pieza. La probeta, sin embargo, no se impermeabi liza debido a la falta de adherencia de la película. Sugerimos, como posible explicación, que las macromoléculas de alginato cá l

cico, (no debemos olvidar que el ácido algínico tiene un elevado peso molecular) formadas en el instante de ponerse en contacto - la pieza de yeso con la disolución algínica, impiden la invasión del alginato hacia los poros del yeso. Se forma así una gruesa - capa de alginato cálcico bajo la forma de un coloide hidrófilo - que, una vez seco, produce una especie de cascarilla ó envoltura de la probeta de yeso, cuya adherencia por éste es prácticamente nula. Pudiera resultar interesante efectuar ensayos con deriva - dos algínicos parcialmente despolimerizados, de molécula pequeña, en solución muy diluida, para favorecer la penetración en la ma - sa del yeso hasta un cierto límite de seguridad.

Un trabajo de J. Delmonte (ver Bibliografía) nos sugi - rió hacer una experiencia de impermeabilización con resinas. Por carecer de los productos citados por dicho autor (resinas de fur - furol), ensayamos la impregnación con resina fenol-formol. Las - probetas de yeso seco se sumergieron en una mezcla de:

Fenol . . . . .	20 gr.
Formaldehido 40% . . . . .	20 c.c.
Sosa al 50% . . . . .	35 c.c.

Luego se colocaron en estufa a 50 °C durante 5 horas y se deja - ron enfriar.

Se obtienen así piezas de yeso, fuertemente coloreadas en rojo-sangre que son prácticamente impermeables al agua. La so - lución no se tomó en consideración por antieconómica.

Mencionaremos, finalmente, como resultado interesante el obtenido con uno de los ingredientes mencionados en el aparta - do d), párrafo II-1. Nos referimos a las pastas cemento-caseína.

Se obtuvieron mezclas de caseína al ácido, industrial,

y cemento portland finamente molidos -en proporciones de 10-30% de caseína y 90-70% de cemento- que, una vez amasadas con agua, se aplicaban, a la manera de un enlucido, sobre las probetas de yeso. La impermeabilización lograda con este producto es prácticamente perfecta. Una probeta recubierta por todas sus caras con el producto mencionado, resiste varios días sumergida en agua, sin aumento apreciable de peso. Un inconveniente de este tipo -de impermeabilizante -aparte de su precio elevado- es que la adherencia: yeso-pasta de caseína y cemento, no es demasiado buena. Las mezclas caseína-cemento, por otra parte, poseen una retracción elevada que puede dar lugar a cualquier pequeña grieta o fisura, lo cual dá al traste con la protección impermeable.

II-9 - CONCLUSIONES:

- a) El ácido alginico y sus derivados no pueden ser considerados como impermeabilizantes para el yeso, aunque sí como "rebajadores" de la capacidad de absorción de humedad. Este rebajamiento puede alcanzar a un 50%.
- b) Proporciones de 1% en peso de alginato sodico, añadidas a morteros ú hormigones de portland, constituyen impermeabilizantes dignos de tenerse en cuenta, (absorción máxima de humedad, 2-3 %).
- c) Adiciones de portland y alginato sódico o de portland solo, rebajan considerablemente la capacidad de absorción de agua por el yeso, en la proporción siguiente:  

Portland . . . . .	.65 %
Portland + alginato sodico	.80 "
- d) La impermeabilización absoluta del yeso por inmersión

o recubrimiento de piezas prefabricadas no parece factible, al menos siguiendo sistemas económicamente interesantes.

### III - Aireado

#### III-1 - PRELIMINAR:

Aunque el peso específico aparente del yeso fraguado y seco no es exagerado (p.e. = 1,5 - 1,6), pueden existir ocasiones en que sea interesante rebajar la densidad aparente de las piezas, mediante un proceso de aireado ó creación de poros, tal como se hace en la técnica de los hormigones ligeros. En nuestro caso, la causa determinante no fué otra que la obtención de un material barato, ligero y que poseyese cierto poder aislante térmico. En cierto modo, un material así pudiera servir como sustitutivo de los aglomerados de corcho.

La bibliografía sobre yesos ligeros no es, ni con mucho, tan abundante como la existente sobre morteros y hormigones de cemento aireados.

En nuestras experiencias se siguieron dos caminos principales: el aireado con ingredientes químicos productores de gas y el aireado con espumas. Ambos serán tratados separadamente.

#### III-2 - PARTE EXPERIMENTAL -- AIREADO CON SUSTANCIAS QUIMICAS:

El ensayo de algunos de los materiales aireantes (o mejor gasificantes) utilizados en la técnica del hormigón ligero, tales como polvo de aluminio, carburo cálcico y otros, dió resul

tados francamente desalentadores, cuando se aplicaban dichos productos a las pastas de yeso.

Se buscaron entonces otras sustancias que, bien por reacción con el propio yeso, ó por doble descomposición, diesen lugar al desprendimiento de burbujas gaseosas capaces de esponjar o airear la masa antes del fraguado.

Un ensayo previo con mezclas de urea + hipoclorito sódico, proporcionó una primera indicación de la posibilidad práctica de airear el yeso, si bien las probetas resultantes poseían un insoportable olor a cloro, una coloración amarillenta y se cubrían de eflorescencias después del secado.

Después de diversos estudios y experiencias se llegaron a poner a punto dos técnicas de aireado muy sencillas y prácticas, basadas en el empleo de dos agentes químicos: el carbonato amónico y el "aireante 208".

La técnica de empleo de ambos es sumamente simple. Se utiliza, en el primer caso, carbonato amónico comercial (que contiene probablemente una cantidad apreciable de carbamato), que se mezcla íntimamente con el yeso en polvo, amasando el sólido resultante como de ordinario. Una variante de este caso consiste en disolver previamente el carbonato en el agua que se va a utilizar en el amasado. Los resultados son buenos en ambos casos.

El "aireante 208" es una mezcla sólida, cuya composición es la siguiente:

Sulfato de aluminio. . . . .	60 %
Carbonato cálcico (caliza) . . . . .	30 "
Talco. . . . .	7 "
Jabón industrial en polvo. . . . .	3 "

Los componentes se trituran y mezclan bien en molino - de bolas hasta obtener una harina muy fina. El producto puede - guardarse indefinidamente, bien seco, sin detrimento de sus propiedades aireantes. La proporción deseada de aireante se mezcla, en seco, con el yeso. Luego se amasa. Las piezas se airean y fraguan en unos 15-20 minutos. Al cabo de 1-2 horas, o antes si fue preciso, puede efectuarse el desmolde, tomando las debidas precauciones.

Los pesos específicos aparentes logrados son función - de la cantidad de agente aireante empleado, dentro de ciertos límites. La proporción óptima de agua de amasado puede variar algo según la calidad del yeso empleado -negro, blanco ó escayola- y según la proporción de aireante.

En la tabla IX pueden verse algunos de los resultados logrados. En todos los casos, se emplearon para los ensayos 100 gr. de escayola de mediana calidad. Las demás circunstancias del ensayo se mencionan en la tabla.

Como puede apreciarse por los ensayos 3 a 8, los yesos aireados con carbonato amónico poseen, en general, una resistencia notable; sin embargo, las células o poros provocados por el carbonato son de tamaño bastante grande (1-2 mm.) lo cual, para fines de aislamiento térmico, no es conveniente. La modalidad de disolver el aireante (carbonato) en el agua de amasado, aparte - de suponer ventaja en la fabricación, proporciona masas aireadas con poros finos. No obstante, hay una limitación en cuanto al peso específico puesto que, con carbonato, se hace difícil descender por debajo de 0,7 de densidad aparente, aún empleando cantidades relativamente grandes de aireante (ensayos 9, 10 y 11).

Tabla IX: Ensayos de aireado

Nº	Aireante (gr.)	Agua de amasado (c.c.)	P.e. aparente	Observaciones
1	Ninguno	50	1,5 - 1,6	Probeta testigo.
2	(Hipoclorito -4) (Urea -1)	50	1,00	Mal aspecto.
3	Carbonato amónico -0,7	50	0,93	Poros grandes. Buena resistencia.
4	Carbonato amónico -0,85	50	0,88	Poros grandes. Buena resistencia.
5	Carbonato amónico -1,0	50	0,82	Poros grandes. Buena resistencia.
6	Carbonato amónico -1,5	50	0,78	Poros grandes. Buena resistencia.
7	Carbonato amónico -1,9	50	0,76	Poros grandes. Buena resistencia.
8	Carbonato amónico -3,0	50	0,63	Poros grandes. Resistencia moderada.
9	Carbonato amónico -1,0	50	0,83	En el agua de amasado. Poros grandes. Buena resistencia.
10	Carbonato amónico -1,15	50	0,80	En el agua de amasado. Poros grandes. Buena resistencia.
11	Carbonato amónico -1,40	50	0,80	En el agua de amasado. Poros grandes. Buena resistencia.
12	"Aireante 208" -2,5	72	0,75	Poros muy pequeño. Buena resistencia.
13	"Aireante 208" -5,0	80	0,46	Poros muy pequeño. Buena resistencia.
14	"Aireante 208" -6,66	80	0,39	Poros muy pequeño. Resistencia moderada.
15	"Aireante 208" -10,0	80	0,35	Poros muy pequeño. Resistencia moderada.
16	"Aireante 208" -15,0	85	0,29	Poros muy pequeño. Resistencia baja.
17	Carbonato amónico -2,4	63	0,64	60 % yeso + 40 % caliza.

Se hizo un intento de airear mezclas yeso-caliza (ensayo 17), utilizando carbonato. Las masas resultantes poseen una densidad bastante baja, pero su resistencia es muy inferior a la de las probetas de yeso solo.

Es curioso hacer constar el hecho de que la descomposición del carbonato amónico, por reacción con el yeso, se produce en frío y en forma inmediata, aún con yesos totalmente neutros, es decir, en los cuales no podía detectarse la presencia de  $\text{SO}_3$  ni de  $\text{CaO}$  libres. Conviene hacer notar que, en la práctica industrial, la reacción entre el yeso y el carbonato amónico es el fundamento de la preparación del sulfato amónico, según la ecuación:



sin tener lugar desprendimiento alguno de gases. El calor desprendido en el fraguado del yeso pudiera achacarse como causa de la descomposición del carbonato amónico. Sin embargo, se ha comprobado que dicho desprendimiento de calor se produce en el tiempo bastante después del hinchamiento de la masa por producción de gases. No se han efectuado investigaciones conducentes a una explicación verosímil de la reacción por la cual tiene lugar el aireado del yeso con carbonato.

El aireante 208 (ensayos 12 á 16) permite obtener yesos de peso específico aparente muy bajo. La gráfica de la fig. 4 muestra la dependencia entre la densidad aparente y la proporción de aireante. Puede verse que la curva tiende a hacerse asintótica, o lo que es lo mismo, para bajar de densidades inferiores a 0,4 el porcentaje de aireante se hace relativamente elevado.

Las pastas obtenidas con el aireante 208 son, recién amasadas, muy fluidas y se vierten con toda facilidad, razón por la cual se prestan muy bien a la obtención de toda clase de moldeados.

El fraguado se produce normalmente en todos los casos. La porosidad es muy buena: cavidades prácticamente esféricas, de muy pequeño tamaño (0,1 á 0,5 mm.) y perfectamente distribuidas.

### III-3 - AIREADO CON ESPUMAS:

En la técnica del hormigón poroso es costumbre utilizar espumas obtenidas mecánicamente, para provocar el aireado. Las espumas preparadas por agitación y "soplado" de resيناتos alcalinos, estabilizados con cola, resultaron totalmente inadecuadas para trabajar con yeso. Este aglomerante "mataba" las espumas al ponerse en contacto con las mismas, haciendo que el aireado fuese prácticamente nulo.

Se investigaron otras espumas mas estables y resistentes, lo que condujo a la preparación de mezclas a base de sulfato de aluminio y bicarbonato sódico, con adición de extracto de palo de jabón como emulsionante-estabilizador.

La técnica de empleo de estas espumas es la siguiente: Se prepara una disolución (A) que contenga 130 gr. de sulfato de aluminio en un litro de agua. La solución (B) se obtiene con 80 gr. de bicarbonato sódico y 100 c.c. de extracto de palo de jabón, completando con agua hasta 1.000 c.c. El extracto de palo de jabón se prepara hirviendo 100 gr. de dicho palo triturado, en un litro de agua, durante una hora. Se filtra y el extracto filtrado se deja enfriar.

Para el aireado se toman volúmenes de A y B en la proporción 4:5 y se mezclan. Inmediatamente se forma una gran cantidad de espuma densa, compacta y resistente, desapareciendo el líquido en su totalidad. Es posible invertir el recipiente en que

se ha hecho la operación sin que gotee la espuma. Esta espuma se incorpora a las pastas de yeso recién amasadas y el conjunto se bate bien para distribuir la espuma.

Se hicieron algunas experiencias --todas con excelente resultado-- de las que mencionaremos las siguientes: (Tabla X)

Tabla X

Ensayo nº	Yeso (gr)	Agua de amasado (c.c.)	Licor A (c.c.)	Licor B (c.c.)	P.e. aparente	Observaciones
1	100	40	15	20	0,57	Poros finos.
2	100	40	20	25	0,38	Id. id.
3	100	35	24	30	0,36	Id. id.

Las probetas obtenidas presentaban muy buen aspecto y las células ó huecos eran de pequeño tamaño, perfectamente esféricas y homogéneamente distribuidas. Las resistencias, especialmente para los ensayos 2 y 3 fueron mediocres.

La fabricación de las probetas de yeso "a la espuma" -- es bastante engorrosa, por la dificultad de efectuar el mezclado de la espuma con la pasta de yeso recién amasada. Por otra parte, la preparación de los ingredientes A y B es también mas molesta que la del aireante sólido 208. Por estas y otras razones, recomendamos la adopción de los métodos dados en III-2.

#### III-4 -- EL YESO POROSO COMO MATERIAL AISLANTE:

Como ya se indicó en III-1, la finalidad principal de la obtención de yesos ligeros era la de hallar un material aislan

te (térmico) que pudiese sustituir al corcho en algunas de sus aplicaciones.

Con objeto de comprobar este extremo se prepararon placas de yeso aireado, de diferentes densidades aparentes, y se sometieron a sendos ensayos de conductividad térmica.

Son bien conocidas las dificultades que se ofrecen en la determinación del poder aislante (térmico) de un material sólido. El método ASTM (Norma C-177-45) especifica el empleo de grandes placas de ensayo, entre las cuales se coloca una resistencia eléctrica calefactora, devanada en forma especial. El conjunto se cierra con dos cajas de enfriamiento, en contacto con las láminas de prueba, que absorben el calor transmitido a través del problema y producido en el elemento calefactor. Cuando se ha alcanzado el régimen térmico estacionario, lo cual puede tardar muchas horas y aun días, unos pares termoelectrónicos dan las temperaturas de las caras caliente y fría de la lámina problema. Con estos datos y los de cantidad de calor transmitido por unidad de superficie, espesor de la lámina etc., es posible calcular el coeficiente de conductividad térmica ( $k$ ).

Para nuestros fines y para medidas rápidas y aproximadas hemos adoptado un método simplificado que permite trabajar con láminas-muestra relativamente pequeñas y en el cual no es preciso esperar a que se produzca el régimen térmico estacionario. El dispositivo adoptado y un extracto de la teoría del procedimiento, pueden verse en el "Apéndice" de este trabajo.

Los ensayos realizados con el aparato, después de haber sido comprobado su buen funcionamiento con láminas de corcho de diferentes espesores, conducen a los siguientes valores de  $k$  pa-

ra algunas muestras investigadas. (Tabla XI):

Tabla XI

Muestra nº	P.e. aparente	k (kcal/m/h/°C)
9	0,83	0,093
13	0,46	0,070
15	0,35	0,050
Corcho	0,24	0,033

Las muestras nº 15 y 13 (Tabla IX), especialmente esta última, de resistencia mecánica muy apreciable, pueden servir muy bien como recubrimientos aislantes térmicos (y tal vez sonoros) utilizando espesores aproximadamente dobles a los que se acostumbra a colocar de corcho aglomerado en aplicaciones similares.

Como complemento a estas experiencias se fabricaron elementos de construcción compuestos, formados por "emparedados" de dos ó tres capas, una de ellas de yeso poroso aislante, dispuestas en la forma siguiente: Yeso denso-yeso poroso; yeso denso-yeso poroso-yeso denso; yeso denso-yeso poroso-mortero de cemento; mortero de cemento-yeso poroso. En algunos casos, las distintas capas del "sandwich" se separaron con impermeabilizante a base de cascina-cemento (ver II-8).

### III-5 - CONCLUSIONES:

- a) El aireado del yeso, para obtener masas fraguadas, porosas, de peso específico aparente comprendido entre

- 0,30 y 1,00, es factible, tanto por métodos químicos (agentes gasificantes) como físicos (espumas).
- b) El carbonato amónico comercial ha demostrado ser un buen agente aireante para el yeso, de empleo cómodo y resultados seguros.
  - c) Los yesos mas ligeros (p.e. 0,29) se consiguen con mezclas aireantes, sólidas, a base de caliza y sulfato de aluminio. Los huecos formados con este aireante son casi esféricos, homogeneamente distribuidos y de muy pequeño tamaño.
  - d) Es posible preparar buenos yesos ligeros utilizando espumas de tipo análogo a las empleadas en los extintores de incendios (sulfato de aluminio + bicarbonato sódico).
  - e) Los yesos aireados de p.e. aparente próximo a 0,5 poseen un poder aislante térmico mitad del corcho aglomerado ordinario.
-

A P E N D I C E

En el trabajo que antecede, párrafo III-4, se mencionó un procedimiento para la determinación de valores de  $k$  (coeficiente de conductividad térmica), en placas de materiales sólidos, según el cual las medidas se hacen en régimen no estacionario y en un corto período de tiempo.

El fundamento del método seguido se basa en suponer que cuando afluye calor a una masa de cuerpo muy conductor, las calorías se absorben inmediatamente por dicha masa y este calor se emplea en elevar la temperatura de la misma. El material elegido para esta función es un bloque de cobre puro electrolítico, como luego se verá.

Si suponemos un "sandwich" (fig. 5) formado por un bloque de cobre (Cu), con una de sus caras aislada, una lámina del material problema (M) a la temperatura inicial  $T_0$  y una superficie caliente (C), a temperatura constante  $T_1$ , es evidente que, en el instante  $t = 0$ , la cara (A) de la muestra (M) se encuentra a la temperatura  $T_1$ . En cada instante, la temperatura del bloque de cobre (Cu), que suponemos uniforme, es idéntica a la temperatura de la cara (B), es decir, cuando  $x = L$  en la muestra (ver fig.).  $T$  es la temperatura, en un instante dado, de un punto de una superficie de la muestra colocada a una distancia  $x$  de A.

Tendremos (Ingersoll: Heat Conduction, pag. 86):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

cuando  $\alpha = \text{difusividad térmica} = \frac{k}{d \cdot c} \quad (2)$

siendo  $d$  la densidad del material y  $c$  su calor específico.

Tendremos:

$$T(x,0) = T_0, \text{ para cualquier valor de } x.$$

$$T(0,t) = T_1, = \text{Constante, cuando } t > 0.$$

Si llamamos:

$S$ , al área normal al flujo de calor  
 $k$ , al coeficiente de conductividad térmica  
 $m'$ , al peso (masa) del bloque de cobre  
 $c'$ , calor específico del cobre  
 $T'$ , temperatura del cobre en el instante  $t$

Es evidente que será:

$$-kS \frac{\partial T}{\partial x} = m'c' \frac{\partial T'}{\partial t} \quad (3)$$

para  $x = L, t > 0$ .

La ecuación (3) puede ponerse también:

$$-k \frac{S}{m'c'} \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T'}{\partial t} \quad (4)$$

puesto que la temperatura del cobre  $T'$  es, en todo momento, igual a la de la cara B de la muestra, es decir, a  $T$ , cuando  $x = L$ .

De las ecuaciones (1) y (4) resulta:

$$-\frac{\alpha d c}{m'c'} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (5)$$

y llamando  $m$  a la masa de la muestra:

$$d = \frac{m}{v} = \frac{m}{LS} = \frac{m}{L} \quad (\text{para } S = 1) \quad (6)$$

De (5) y (6) se deduce:

$$\frac{\alpha \frac{m}{L} c}{m'c'} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{o sea: } -\frac{\alpha}{L} \frac{m.c}{m'c'} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (7)$$

$$\text{Haciendo: } \frac{mc}{m'c'} = B = \frac{L.d.c}{L'd'c'} \quad (8)$$

la ecuación (7) puede escribirse:

$$\frac{\alpha B}{L} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

para  $x = L, t > 0$ .

La solución de la ecuación (1) en las condiciones límites dadas (ecuación 9), puede hacerse por los varios procedimientos empleados para resolver la ecuación de Laplace, tal como se describe en los distintos tratados sobre transmisión de calor. - Una solución general de la ecuación es:

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\beta_n^2 + B^2)}{\beta_n(\beta_n^2 + B^2 + B)} \cdot e^{-\frac{\alpha \beta_n^2}{L^2} t} \operatorname{sen} \frac{\beta_n x}{L} \quad (10)$$

en la que  $\beta_n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) son las raíces positivas de la ecuación logarítmica:

$$\beta \operatorname{tg} \beta = B \quad (11)$$

Introduciendo un parámetro:

$$Y_n = \frac{\beta_n^2}{B}; \quad \beta_n = \sqrt{Y_n B} \quad (12)$$

que es función de B, conforme muestran las ecuaciones (11) y (12), y sustituyendo valores en (10), se llega a:

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(Y_n B + B^2)}{\sqrt{Y_n B}(Y_n B + B^2 + B)} \cdot e^{-\frac{\alpha Y_n B}{L^2} t} \operatorname{sen} \frac{x \sqrt{Y_n B}}{L} \quad (13)$$

que simplificada y agrupando términos se convierte en:

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{2(Y_n + B)}{Y_n + B + 1} \right) \left( \frac{1}{\sqrt{Y_n B}} \operatorname{sen} \frac{\sqrt{Y_n B} x}{L} \right) \left( e^{-\frac{\alpha Y_n B}{L^2} t} \right) \quad (14)$$

El estudio de la ecuación (14) indica que cuando  $t$  aumenta, los términos de la  $\sum$  de orden superior al primero se hacen cada vez menores. Aplicando el criterio de convergencia y  $t_0$

niendo en cuenta los signos de la expresión (11), se demuestra -- que el error cometido en la suma, considerando solamente el primer término, es igual ó menor que el valor absoluto del segundo término. La ecuación (14) queda:

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \left[ \frac{2(Y_1 + B)}{Y_1 + B + 1} \cdot \frac{1}{\sqrt{Y_1 B}} \operatorname{sen} \frac{\sqrt{Y_1 B}}{L} x \right] \left[ e^{-\frac{\alpha Y_1 B}{L^2} t} \right] \quad (15)$$

Tomando logaritmos neperianos en (15):

$$\ln \frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \ln \left[ \frac{2(Y_1 + B)}{Y_1 + B + 1} \cdot \frac{1}{\sqrt{Y_1 B}} \operatorname{sen} \frac{\sqrt{Y_1 B}}{L} \right] - \frac{\alpha Y_1 B}{L^2} t \quad (16)$$

Es decir, estamos en presencia de una ecuación de la forma:

$$X = A - C.t \quad (17)$$

Si representamos en papel semilogarítmico los valores de  $\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0}$  en función del tiempo  $t$ , obtendremos una línea recta con pendiente negativa.

Hay una fuente de error que luego consideraremos, derivada del establecimiento de las condiciones iniciales. En efecto, la superficie de la muestra en contacto con la placa calentadora ( $x = 0$ ), no se pone inmediatamente a la temperatura  $T_1$ . Hay un pequeño desfase para  $t = 0$ , que desplaza un poco la escala de tiempos.

Si volvemos a las ecuaciones (16) y (17), la pendiente de la recta representada por (17) será:

$$\text{Pendiente} = - \frac{\alpha Y B}{L^2} = p' \quad (18)$$

o bien:

$$p = - \frac{1}{2.3} \frac{\alpha Y B}{L^2} \quad (19)$$

en logaritmos decimales, lo que permite hacer la representación en papel semilogarítmico ordinario.

Sustituyendo en (19) los valores de B y  $\alpha$  dados por (8) y (2), resulta:

$$p = -\frac{1}{2,3} \cdot \frac{\frac{k}{dc} Y \frac{Ldc}{L'd'c'}}{L^2} = -\frac{1}{2,3} k \frac{\bar{Y}Ldc}{dcL'd'c'L^2} = -\frac{1}{2,3} k \frac{Y}{(L'd'c')L}$$

de donde:

$$k = -\frac{2,3(L'd'c')}{Y} p \cdot L \quad (20)$$

En la fórmula (20), (L'd'c') son respectivamente el espesor, densidad y calor específico del bloque de cobre, es decir, una constante del aparato; p es la pendiente de la recta representada por (17), é Y un parámetro del que trataremos a continuación

Si volvemos a la ecuación (16) vemos que la intersección de la recta obtenida llevando  $\frac{T_1 - T_0}{T_1 - T_0}$ , respecto del tiempo t, a papel semilogarítmico, para la condición x = L (ver fig. 5) viene dada por:

$$I \text{ (intersección)} = \frac{2(Y+B)}{Y+B+1} \cdot \frac{1}{\sqrt{YB}} \operatorname{sen} \frac{\sqrt{YB}}{L} L \quad (21)$$

que no es más que la ordenada en el origen (t = 0).

Para conocer la relación entre Y y B es preciso acudir a las ecuaciones (11) y (12), y tendremos:

$$\left. \begin{array}{l} \beta \operatorname{tg} \beta = B \\ \beta = \sqrt{YB} \end{array} \right\} \sqrt{YB} \operatorname{tg} \sqrt{YB} = B \quad (22)$$

fórmula que nos permite tabular los valores de Y y B. Se puede formar una tabla, dando valores a B, llevándolos a (22) y obteniendo los correspondientes de YB y los de Y. Con estos, la ecuación (21) permite calcular las ordenadas I. La tabla puede formar

se así:

B	YB	Y	I
0,1	0,096	0,967	1,016
0,2	0,187	0,936	1,030
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Para las aplicaciones estudiadas por nosotros hemos hecho uso de la tabla I, que dá los valores del factor Y, en función de las intersecciones u ordenadas en el origen, determinadas experimentalmente:

Tabla I

I	Y
1,016	0,967
1,030	0,936
1,044	0,907
1,058	0,879
1,070	0,853
1,081	0,828
1,092	0,804
1,101	0,782
1,110	0,760
1,119	0,740
1,153	0,651
1,178	0,580
1,216	0,474

- DISPOSICION EXPERIMENTAL -

Al comienzo de este "Apéndice" se estableció que la cara libre del bloque de cobre debería estar aislada. La construcción de un conjunto simétrico permite obviar esta dificultad de

aislamiento. La fig. 6 da idea del esquema finalmente adoptado.

Con esta disposición simétrica, es claro que el espesor "útil" del bloque de cobre es la mitad del espesor real y lo mismo ocurre con la muestra. Las constantes del bloque son:

$$\begin{aligned} \text{Espesor } (2L') &= 8 \text{ mm.} = 0,008 \text{ metros, } L' = 0,004 \\ \text{Densidad } (d') &= 8.550 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Calor específico } (c') &= 0,0933 \text{ Kcal/kg/}^\circ\text{C} \\ L'd'c' &= 3,19 \text{ kcal/}^\circ\text{C/m}^2 \end{aligned} \quad (23)$$

El bloque tiene unas dimensiones de 70 x 70 x 8 milímetros y lleva un taladro en su interior en el que va el par termoelectrico  $h_1$ . El orificio se rellena con estaño fundido lo cual proporciona una gran solidez á la conexión del par. Hay otro par  $h_2$  que sirve para asegurarse de la constancia de la temperatura  $T_1$  de la caja de vapor. El espesor de las placas-muestra utilizadas osciló entre 1 y 10 m.m., según el material ensayado. Hay que procurar que las dos caras A y B de la muestra sean perfectamente planas y paralelas para asegurar un buen contacto térmico, tanto con la caja de vapor como con el bloque de cobre.

Las cajas de vapor, construidas en chapa de cobre de 1,4 mm. de espesor, tienen unas dimensiones de 88 x 88 x 14 mm. y van provistas en su interior de tabiques transversales en zigzag. En todos los ensayos se obtuvo una excelente constancia de temperatura para  $T_1$ , a cabo de unos minutos de funcionamiento del aparato.

El conjunto formado por el sandwich quintuple (fig. 6) se prensa, entre dos láminas de madera, con una morsa de carpintero. El aislante D está formado por cordón de amianto devanado sobre la garganta formada por el bloque y las dos láminas de ensayo.

Las temperaturas se midieron tomando las tensiones de los termopares  $h_1$  y  $h_2$  con un potenciómetro Cambridge y la correspondiente curva de calibrado. Los pares eran hilos de cobre-constantán de 0,5 mm. de diámetro.

Teniendo en cuenta (23), la fórmula final de cálculo es, (en valor absoluto):

$$K = \frac{7.35 \cdot \frac{L}{2}}{Y} \cdot p = 3.675 \frac{L \cdot p}{Y} \text{ Kcal/m}^2/\text{m/h/}^\circ\text{C}$$

en la que  $L$  es el espesor de la muestra en metros,  $p$  es la pendiente e  $Y$  el factor de corrección extraído de la Tabla I.

La técnica de las medidas es muy sencilla: Primeramente se hace una lectura "en vacío" de  $h_1$ , lo que nos dá el valor  $T_0$ . Una vez puesto en funcionamiento el generador de vapor, y cuando la salida de éste es abundante, se conecta con unos tubos cortos de goma a las entradas de las cajas de cobre. Se hacen lecturas de  $h_1$  y  $h_2$  cada 2 minutos, durante media hora; con ello se tienen valores de  $T$  y  $T_1$ . Se calcula la fracción  $\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0}$ , y los valores de la misma, para cada valor de  $t$ , (intervalos de 2 minutos) se llevan a una gráfica en papel semilogarítmico. De esta se deducen la pendiente  $p$  y la intersección  $I$ . La Tabla I nos da los valores de  $Y$ . Hallados  $p$  e  $Y$ , la aplicación de la fórmula (24) es inmediata.

Cada determinación no dura mas de 20-30 minutos.

En la fig. 7 pueden verse las gráficas correspondientes a los ensayos indicados en la tabla IX. La alineación de los puntos hallados experimentalmente es bastante buena para periodos de tiempo inferiores a 20-25 minutos. Si se prolonga la experiencia más allá de este tiempo, las gráficas se curvan en el senti-

do positivo del eje de ordenadas. Las pendientes habrán de tomarse, utilizando los trozos rectos de la gráfica.

- - -

### BIBLIOGRAFIA

#### Trabajos sobre ácido alginico y alginatos

- (1) La mayor parte de la Bibliografía sobre ácido alginico aparecida hasta el año 1933, puede encontrarse en el excelente trabajo del Sr. Lopez-Gomez: "Contribución al estudio químico de la algina ó ácido alginico" - Inst. Español de Oceanografía, Serie 2ª, Notas y Resúmenes, nº 74, 1935.
- (2) "Fabricación de ácido alginico y alginatos" - Tsimehc (Silk J. Rayon World, 17, nº 198, 13, 1940)
- (3) "Beneficio de Algas" - I. Mayor (Rev. Prod. Chim., 44, 167, 1941)
- (4) "Obtención de alginatos puros" - Watanabe (Pat. Japón, - 157.345; 1943)
- (5) "Producción de alginatos" - Alogre y Aldea - (Rev. Quim. - Farm., Chile, 35, 7, 1945)
- (6) "Acido alginico" - Moncrieff (Mfg. Chem., 16, 86, 1945)
- (7) "Obtención industrial de coloides de algas" - Tsong (Chem. Met. Eng., 52, 97, 1945)
- (8) "Obtención de alginatos solubles" - Rose (Pat. brit., - 573.589; 1945)
- (9) "Ficocoloides de las algas" - Tsong (Colloid Chem., 6, 629, 1946)
- (10) "Acido alginico y alginatos" - Janistyn (Seifonsiedor-Ztg., 73, 110, 1947)
- (11) "Algas marinas: Sus empleos presentes y aplicaciones futuras" - Gabron (Rev. Prod. Chim., 50, 41, 1947)
- (12) "Comentos dentales a base de alginatos" - Molnar (Pat. USA, 2.454.709; 1948)

- (13) "Investigaciones sobre algas marinas" - (Bol. Inst. Español Oceanografía, nº 13, 1949)
- (14) "Complejos de bórax con alginatos" -- Deucl (Makromol. Chem., 3, 13, 1949)
- (15) "Alginatos" - McDowell (Plásticos Ind., London, 17, 29, 62, 1949)
- (16) "Obtención de alginatos" - (Canadian Chem. Proc. Ind., 34, 748, 1950)
- (17) "Ácido alginico" - Tomiyasu (J. Agr. Chem. Soc. Japan, 23, 362, 1950)
- (18) "Las algas en la industria" - Wilkinson (Canadian Chem. Proc. Ind., 34, 747, 1950)
- (19) "Material para impresiones dentales a base de alginato potásico" - Parr (Pat. USA, 2.499.676; 1950)
- (20) "Manufactura de alginatos" - Bonnikson (Intern. Chem. Eng., 230, Marzo 1951)
- (21) "El ácido alginico y los alginatos" - Richard (Chim. Ind., 793, Junio 1951)
- (22) "Fibras textiles a partir de alginatos cálcico y alúminico" (Tex. Ind. and Fibres, 180, Junio 1952)
- (23) "Procedimiento para la extracción de ácido alginico y alginatos a partir de las algas" - Tobio y Manovel (Pat. española, 160.249; 1943)

Modificadores de fraguado del yeso - Consistencia de pastas

- (24) "Retraso del fraguado con bórax" - Gibson y Johnson (J. Soc. Chem. Ind., 51, 25, 1932)
- (25) "Yeso de París de baja consistencia" - Randel y Dailey (Pat. USA, 1.901.051 y 1.931.240; 1933)
- (26) "Investigaciones sobre el empleo del bórax con el yeso" - Dunn (J. Soc. Chem. Ind., 16, 144, 1938)
- (27) "El ácido nitrilo-acético como retardador de fraguado" - Graf y Chorbacher (Pat. alem., 742.023; 1943)
- (28) "Retraso del fraguado del yeso con queratina" - Liberman - (Pat. URSS, 64.561; 1945)
- (29) "Estudio del bórax como retrasador de fraguado del yeso" - Buchanan (J. Soc. Chem. Ind., 65, nº 1, 23, 1946)

- (30) "Fabricación de yeso de París de alta resistencia y baja consistencia" - Eberl e Ingram (Ind. Eng. Chem., 1061, Mayo, 1949)
- (31) "Yeso de París de alta resistencia" - Haddon (Pat. USA, - 2.448.218)
- (32) "Retraso del fraguado del yeso con dolomita calcinada" - (Pat. URSS, 66.239)
- (33) "Retrasador del fraguado del yeso a base de harina de soja". Huntzicker (Pat. USA, 2.382.252)
- (34) "La magnesita cáustica como retrasador de fraguado" - Kudryashev (Pat. URSS, 64.569)

#### Impermeabilización del yeso

- (35) "Recubrimiento impermeabilizante para yeso a base de resina-caseína-aguarrás" - Maslennikov (Tekh. Otkraski, 2, 3, 1940)
- (36) "Recubrimiento impermeabilizante a base de cloruro cálcico-cemento-óxido de cromo-estearato cálcico-agua" - Ellis (Pat. canadiense, 395.685; 1941)
- (37) "Impermeabilización del yeso por inmersión en soluciones de sales amónicas, sódicas, potásicas, ácido fosfórico ó ácido oxálico" - Cafferata (Pat. Brit., 545.805; 1942)
- (38) "Impermeabilización del yeso con tierra de diatomeas, cenizas etc.," - Palagin y Kurotsapov (Chem. Zentr., II-2073; - 1942)
- (39) "Impermeabilización del yeso por adición de escorias de alto horno" - Budnikov (Pat. URSS, 64.805; 1945)
- (40) "Impermeabilización del yeso con resinas sintéticas" - J. - Delmonte (Ind. Plastics, 1, nº 5, 14, 1945; y Mat. & Methods, 23, 1011, 15, 1946)
- (41) "Efecto de la humedad sobre la resistencia de los yesos" - Andrews (J. Soc. Chem. Ind., 65, nº 5, 125, 1946)
- (42) "Impermeabilización del yeso con cal y silicato sódico" - (Rev. Mat. Constr., 374, 92, 1946)
- (43) "Adición de arena al yeso como impermeabilizante" - (Rev. - Mat. Const., Q, 375, 118, 1946)
- (44) "Impermeabilización de morteros de yeso con parafina, resinas vinílicas o alquitrán - Cocagne y Manlay (Chim. Ind., - 57, 54, 1947)

- (45) "Emulsiones parafina-asfalto como impermeabilizantes para yeso" - Camp (Pat. USA, 2.432.963; 1947)
- (46) "Impermeabilización con silicato sódico" - Wendland (Pharm. Zentralhalle, 86, 139, 1947)
- (47) "Recubrimientos impermeables para yeso a base de polvo de cinc, arcilla, talco y cloruro cálcico" - Pat. URSS, 68.815)
- (48) "Impermeabilización con emulsiones parafina-asfalto" (Pat. USA. 2.432.963)
- (49) "Impermeabilizantes para yeso a base de dextrina, urea y formaldehído" - (Pat. USA, 2.487.036)
- (50) "Suspensiones de bentonita en betún como impermeabilizante para yeso" - Swenarton (Pat. USA, 2.239.126)
- (51) "Composición impermeabilizante para yeso (a base de cemento-pigmento-estearato cálcico-cloruro cálcico)" - Ellis (Pat. USA, 2.244.449)

#### Aireado del yeso

- (52) "Yeso-escorias aireado" - (Chem. Form., I-337, 1933)
- (53) "Aumento de la porosidad del yeso por adición de carbonato cálcico precipitado" - Carpenter (Pat. Brit., 514.942; 1939)
- (54) "El yeso poroso" - Frenkel (Rev. Mat. Const., 390, Noviembre, 1949; ref. en Últimos Avances en Materiales de Construcción, nº 8, pag. 28)
- (55) "Empleo de sulfonatos como plastificantes para yeso aireado" Gregory (Pat. USA, 2.426.147)
- (56) "Yeso poroso a base de anhídrita" - (Pat. USA, 1.951.691)
- (57) "Aireado del yeso con sulfato de aluminio" - (Pat. brit., - 402.101)
- (58) "Aireado del yeso con urea-hipoclorito" - McKee (Pat. USA., 2.239.925)

#### Transmisión de calor (Apéndice)

- (59) "Transmisión del calor" - McAdams (McGraw-Hill Co., Nueva York, 1942)
- (60) "Conducción del calor en sólidos" - Carslaw y Jaeger (Oxford University Press, London, 1947)

- (61) "Conducción del calor" - Ingersoll y Zobel (McGraw-Hill Co., Nueva York, 1948)
- (62) "Conductividad térmica de sustancias homogéneas" - Beatty, Armstrong y Schoeborn (Ind. Eng. Chem., 1527, Agosto, 1950)
- (63) "Errores en los termopares" - Rizika y Rohsenow (Ind. Eng. Chem., 1168, Mayo 1952)

- - - - -

Nota: Como complemento a lo señalado, pueden consultarse los siguientes trabajos sobre yeso, aparecidos en otros números de este Boletín.

- (64) "Nuevo método para regenerar el yeso" - Hedvall, Sandford y Ahlberg (Ult. Av. Mat. Const., nº 2, pag. 40)
- (65) "Propiedades físicas del yeso impregnado con resinas sintéticas" - Delmonte (Ult. Av. Mat. Const., nº 3, pag. 4)
- (66) "Instalación moderna para la fabricación de yeso" - Lenhart (Ult. Av. Mat. Const., nº 4, pag. 23)
- (67) "Utilización del yeso en la industria tejera" - Uytvanck - (Ult. Av. Mat. Const., nº 7, pag. 37)
- (68) "El yeso poroso" - Frenkel (Ult. Av. Mat. Const., nº 8, pag. 28)
- (69) "Ensayos al fuego con yesos de vermiculita" - (Ult. Av. Mat. Const., nº 9, pag. 9)
- (70) "La murita, nuevo material para enlucidos" - (Ult. Av. Mat. Const., nº 9, pag. 10)
- (71) "Fabricación de yeso y derivados" - Nordberg (Ult. Av. Mat. Const., nº 11, pag. 47)
- (72) "La fábrica de yeso de la National Gypsum Co." - Avery (Ult. Av. Mat. Const., nº 13, pag. 43)
- (73) "Un nuevo material de construcción: el Placoplatre" - (Ult. Av. Mat. Const., nº 14, pag. 47)
- (74) "Propiedades físicas del yeso calcinado" - Riddel (Ult. Av. Mat. Const., nº 16, pag. 43)
- (75) "Nuevo tipo de cemento de yeso" - (Ult. Av. Mat. Const., nº 16, pag. 42)

- (76) "Una fábrica moderna de yeso en el Weser" - Aichiniger y Wandser (Ult. Av. Mat. Const., nº 16, pag. 41)
- (77) "Instalación de una fábrica moderna de yeso" - Utley (Ult. Av. Mat. Const., nº 18, pag. 31)
- (78) "Trabajos sobre yeso" - Nordberg (Ult. Av. Mat. Const., - nº 20, pag. 25)
- (79) "Influencia de la temperatura y la humedad del aire sobre el comportamiento de los recubrimientos a base de yeso" - Kaufmann (Ult. Av. Mat. Const., nº 22, pag. 33)
- (80) "Defectos en los recubrimientos con yeso" - (Ult. Av. Mat. Const., nº 26, pag. 35)
- (81) "Nuevo calcinador para yeso" - Utley (Ult. Av. Mat. Const., nº 32, pag. 43)
- (82) "La fabricación, propiedades y empleos del yeso de Paris". Andrews (Ult. Av. Mat. Const., nº 32, pag. 44)

- - - - -

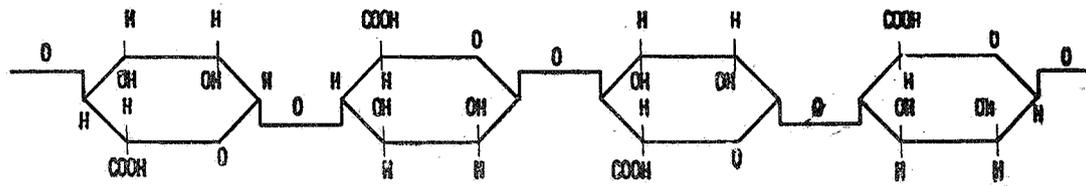


Fig. 1.

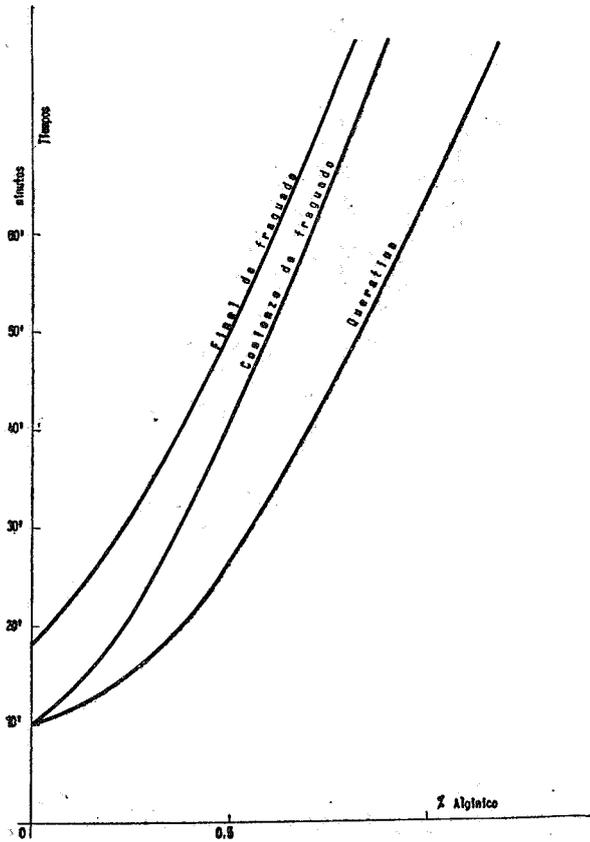


Fig. 2.

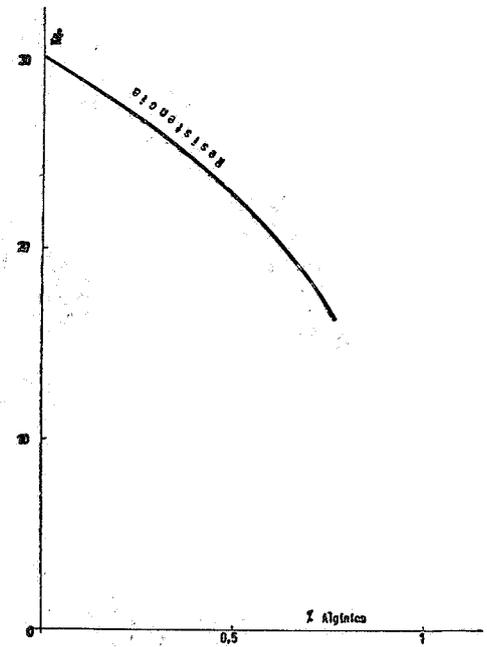


Fig. 3.

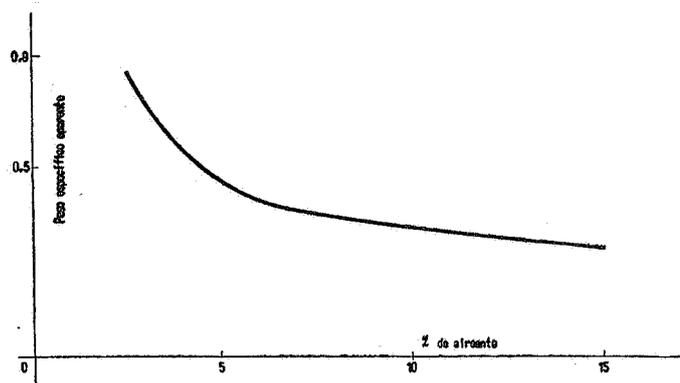


Fig. 4.

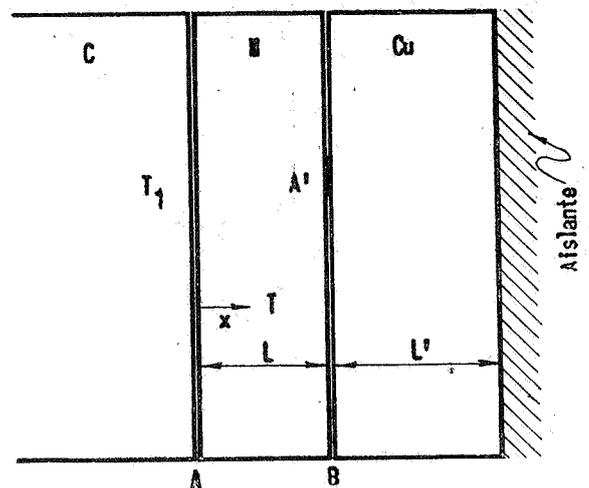


Fig. 5.

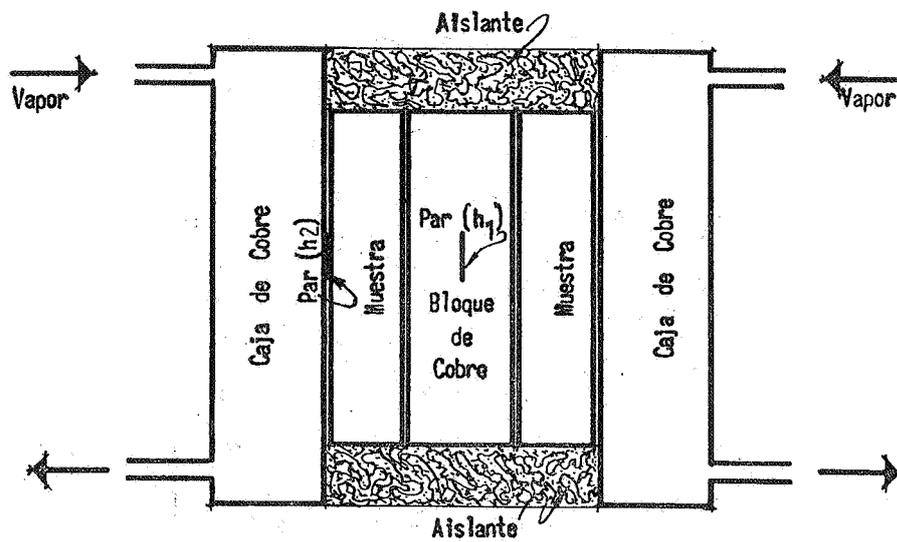


Fig. 6.

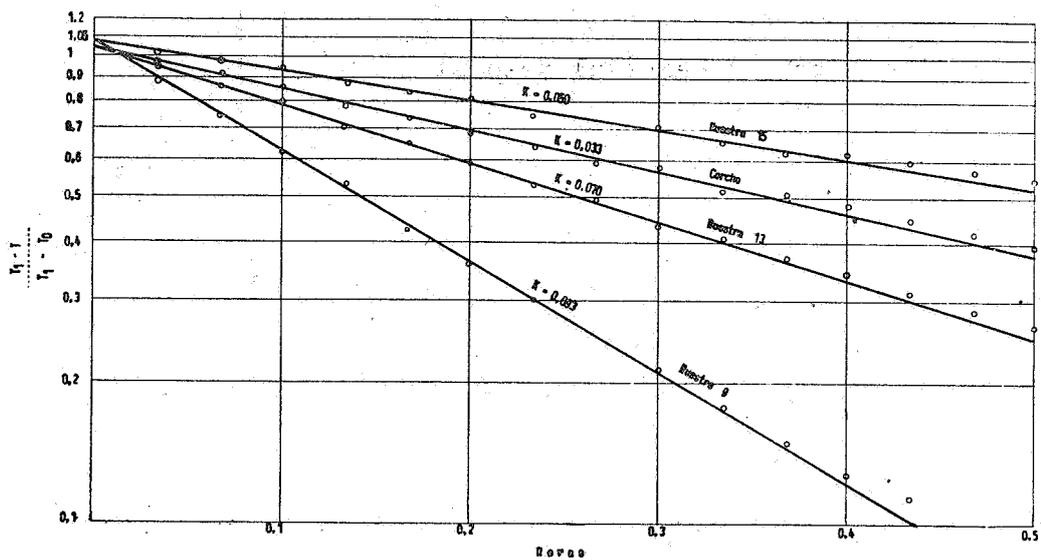


Fig. 7.