

## **enlucidos y revestimientos en la lucha contra los incendios (el yeso)**

**J. Gíbaru,** *Ingeniero del Laboratorio de Poliet y Chausson*

El Sindicato Nacional Francés de Fabricantes de Yeso me ha designado para pronunciar esta conferencia que ha requerido el EUROGYPSUM con motivo de vuestra cuarta Asamblea General.

Se ha elegido como tema para esta charla la función que puede desempeñar el yeso en la protección contra el incendio, sobre cuyo tema su Comisión Técnica se ha visto obligada a trabajar en vista de su participación en el simposio nacional de la lucha contra el fuego en las ciudades modernas, que se ha organizado este verano en Nancy-Vittel.

Contestareé ante ustedes a algunas observaciones que se han hecho en el transcurso de este simposio donde tienen algo que ver con la comunicación del Sindicato de Fabricantes de Yeso y me excuso, pues, ante aquellos de ustedes que han seguido los trabajos de Vittel por las repeticiones, que no tendré más remedio de imponerles en el transcurso de mi charla.

Esta no tiene ninguna pretensión científica y sólo intento recordar aquellas propiedades fundamentales y características del yeso que le confieren un excepcional grado de protección contra el fuego, con objeto de crear el ambiente necesario sobre el gran interés que presenta este producto para su empleo en la construcción en lo que se refiere a la seguridad.

A este respecto, los temas tratados en esta conferencia se orientarán con la finalidad de establecer, subrayar y hacer patente esta importante función del yeso, pareciéndome ciertas por naturaleza, en particular por los argumentos promotores que ellos pueden dar lugar, para llamar nuestra atención.

Pero, por otra parte, yo espero que podrán considerarla, incluso por sus lagunas y sus insuficiencias, capaces de dar lugar a cambios de vista propios, a completarlos y, todavía mejor, a inspirar trabajos complementarios susceptibles de reforzar o perfeccionar nuestros argumentos, como poner en claro los puntos oscuros actualmente existentes. Yo he hecho el voto, al evocar de pasada las posibilidades, que, prolongándolas y complementándolas podría ofrecer este tema a la Comisión Técnica del EUROGYPSUM.

Vamos a patentizar la prueba de que el yeso presenta, por sus mismas propiedades intrínsecas, notables cualidades que le permiten frenar la propagación del fuego y, en particular, que su utilización como enlucido o revestimiento constituye uno de los medios más eficaces como protección contra los incendios.

Para de antemano entrar de lleno en el tema, recordemos que por naturaleza un incendio que aparece como una violenta disipación de energía no es otra cosa que una combustión que siempre corre el riesgo de incrementarse y acelerarse pero que, en el origen, como todo a lo largo de su evolución se analiza como una reacción exotérmica asociada a una combinación con oxígeno del aire,

que se manifiesta por una inflamación del gas procedente de la destilación de la materia que está bajo los efectos de un calentamiento. Este calentamiento puede ser exterior y localizado en principio, pero tiende a generalizarse cada vez más, pudiéndose propagar la inflamación espontáneamente si la temperatura es bastante alta o producirse al entrar en contacto con los residuos incandescentes siguiendo la descomposición de la materia, favorecida por una suficiente elevación de la temperatura.

La elevación de la temperatura constituye, por tanto, la condición esencial para la propagación del fuego, y la protección contra el incendio consiste, esencialmente, en adoptar todas las precauciones para evitarlo o retardarlo hasta que intervenga el que salvaguarda la elevación de temperatura de los elementos de la construcción para sustraerlos, según su naturaleza, de una destrucción completa o una alteración grave de sus propiedades mecánicas que puedan llegar a comprometer la estabilidad de la obra.

Estos razonamientos hacen patente la ayuda que los enlucidos y revestimientos son capaces de prestar en la lucha contra el fuego.

Un enlucido es, en efecto, un revestimiento superpuesto sobre la superficie de un objeto, de un elemento de construcción, mediante la aportación de un material, un producto determinado y elegido, puesto en obra en forma de una capa por aplicación directa (o también por proyección) y que siempre presenta un cierto cuerpo debido a la materia de que está constituido y del espesor en que ésta suele emplearse.

El revestimiento no difiere nada más que por su naturaleza: el nombre de enlucido se utiliza generalmente cuando se refiere al revestimiento de grandes superficies planas, muros, tabiques y techos o en superficies ampliamente dimensionadas en sus diversos elementos, reservándose la denominación de revestido para los materiales que cubren elementos en los que todas sus dimensiones son pequeñas o para los elementos alargados en los que una al menos de sus dimensiones es de cierta importancia con relación a las otras (vigas y pies derechos o columnas).

Esta distinción, puramente dimensional, no tiene gran importancia para el fin que constituye nuestro propósito. Por regla general emplearemos el término enlucido en nuestra disertación, bien entendido que lo que se diga será valedero también para los revestimientos.

Así un enlucido es susceptible de constituir en la superficie de los elementos sobre los cuales se aplica una verdadera pantalla capaz (bien sabido que la materia prima que lo compone es incombustible y todavía mejor si presenta características térmicas favorables) de aislar térmicamente lo que recubre de la acción del calor retardando su calentamiento y, por tanto, su inflamación al sustraerle de los efectos:

- de la radiación, delante de la cual se interpone,
- de la conductividad a la cual opone su resistencia térmica,
- y a la convección impidiendo su acción sobre la materia, y no permitiendo al oxígeno su acceso para una eventual combustión.

Para estar bien seguro son necesarias ciertas condiciones que ya hemos indicado de pasada, esencialmente que la materia del enlucido sea incombustible y además que la acción de la temperatura sobre ella salvaguarde, incluso a costa de ciertas precauciones, su aptitud para desempeñar las misiones enunciadas, es decir, mantener por lo menos su cohesión y la permanencia de su solidaridad con el soporte. A falta de tal adherencia y cohesión, efectivamente, la materialidad de la pantalla constituida por el enlucido desaparece y con ella la protección que era de esperar, pero es fácil, si el material del enlucido no reúne automáticamente las citadas condiciones, el suplirlas por la puesta en obra de una armadura, o por un sistema de anclaje o enganche.

Estas misiones de pantalla y, por tanto, de protección contra el incendio, pueden ciertamente exigirse a ciertos aglomerantes, asociados o no a determinadas materias, pero el yeso es perfectamente capaz de poseerlas y las tiene en mejor grado puesto que:

- a su incombustibilidad total, a su coeficiente de aislamiento térmico favorable, hay que añadir otro cierto número de ventajas que refuerzan sus propiedades físicas o físico-químicas y que vamos a recordar en primer lugar,
- una cualidad verdaderamente característica que se deriva de su composición y de sus propiedades químicas y sobre la cual nos ocuparemos seguidamente.

Pero ante todo, en el ámbito de las propiedades físicas y físico-químicas, es interesante recordar los siguientes puntos:

— El yeso se emplea en la forma de una pasta plástica adhesiva, cuya flexibilidad de aplicación y aptitud para adoptar todas las formas del soporte a proteger son garantías en favor de las soluciones de continuidad de la pantalla protectora que corre el riesgo de interrumpirse y comprometer la protección por la formación de puentes térmicos o puntos de encuentro —y, por tanto, de inflamación— del gas emitido por el soporte con el oxígeno del aire.

— Además el yeso tiene coloración blanca y, como consecuencia, se presta mejor para devolver, reflejándola, una parte de la energía térmica recibida, atenuando así al máximo los riesgos de calentamiento por radiación.

— En resumen, el yeso es muy ligero, e incluso, si no se le considera como un material que forma parte integrante de una construcción, o si se menosprecia el papel que él desempeña en este aspecto, no supone en ningún caso a las construcciones más que una sobrecarga insignificante.

La densidad aparente de un enlucido de yeso puro es, efectivamente, alrededor de 0,9, valor muy inferior al peso aparente de la materia. Esta diferencia se explica por la cantidad de agua relativamente importante utilizada en el amasado (sensiblemente superior a la estrictamente necesaria para su cristalización), y el efecto correspondiente en una estructura porosa por la cual el enlucido toma diversas propiedades, tanto más interesantes puesto que afectan las características mecánicas y en un nivel apreciable sobre su resistencia propia y sobre la estabilidad de las obras, o son capaces —incluso en el caso de simples enlucidos para techos— de contribuir eficazmente al monolitismo y rigidez de los elementos afectados.

En fin, el yeso adquiere su cohesión y sus resistencias por endurecimiento como consecuencia de una cristalización que se desarrolla después del principio del fraguado al contacto mismo del soporte. Se realiza así sobre éste —como consecuencia del crecimiento y entrecruzamiento de los cristales en las irregularidades de su superficie— un verdadero anclaje. Esto no le exime de recurrir a todos los sistemas de fijación o de armaduras de revestimiento, particularmente en el caso de revestimientos frecuentemente más expuestos a la acción de la temperatura y más sensibles que los enlucidos debido al papel que juega en la estabilidad de las construcciones por los órganos revestidos, pero este autoanclaje es todavía mejor en todos aquellos casos particularmente favorables a la adherencia.

Pero por muy reales que sean estas ventajas, pasan a segundo término al lado de las que confiere el yeso en la protección contra el fuego. Su aptitud para transformarse químicamente por la acción del calor y oponerse a la propagación del incendio como una verdadera barrera térmica que él llega a formar al absorber, mediante su transformación química por la liberación de una importante fracción de su agua de constitución y por la evaporación de ésta, representa una considerable cantidad de energía que en consecuencia hay que descartar de la acción de elevación de temperatura y la acción destructora resultante.

Son esta propiedad química intrínseca y característica del yeso y la aptitud que precisa para realizar esta función al oponerse a la propagación del fuego, las que confieren a este material las ventajas irremplazables de una eficacia incomparable colocándole en una posición privilegiada en este terreno.

Esta eficacia se hace patente también (vamos a verlo) por las consideraciones teóricas y ensayos de laboratorio, así como por los ensayos prácticos y la experiencia real.

Del primero de estos puntos de vista recordaremos únicamente que un enlucido de yeso puro está constituido exclusivamente por sulfato cálcico con dos moléculas de agua, teniendo la misma composición que el algez natural del cual se parte para la fabricación, por cocción del yeso en polvo, el cual se hace plástico en presencia de agua. Este polvo está constituido, esencialmente, por una mezcla de hemihidrato y sulfato cálcico anhidro.

Estos dos constituyentes, uno de los cuales, el hemihidrato, es francamente preponderante, son el resultado de la acción de deshidratación, más o menos intensa, y reversible del algez bajo la acción del calor siguiendo las reacciones de transformación endotérmica por todos conocida y que son la base de nuestra industria y de nuestra profesión.

Así, las reacciones que se producen en un enlucido durante un incendio son idénticas a las que tienen lugar durante la fabricación del yeso, y como aquéllas necesitan la aportación de calor. Estas reacciones, pues, absorben una cantidad apreciable de energía térmica y esta es la razón por la cual tienden a oponerse a la elevación de temperatura y a obstaculizar la propagación del fuego.

El revestimiento del yeso realiza, con toda perfección, la misión que nosotros hemos calificado de barrera térmica contra el incendio.

Con objeto de dar una idea sobre estas consideraciones hemos requerido a varios laboratorios para que efectúen algunos ensayos, de los cuales vamos ahora a examinar los resultados.

Tenemos primeramente un grupo de dos ensayos llevados a cabo por el Laboratorio de la Sociedad Etablissements Poliet & Chausson, a la cual pertenezco, uno estático, el otro dinámico, realizados los dos comparativamente sobre probetas de mortero de yeso, por una parte, y sobre probetas de mortero de cemento o (los resultados son equivalentes) de mortero bastardo de cal, por otra.

El ensayo estático se efectuó utilizando un horno de laboratorio construido especialmente para los ensayos de los ladrillos refractarios que se utilizan en los hornos industriales de la Sociedad.

Este ensayo ha consistido, primordialmente, en medir la distribución de temperaturas en el interior de una probeta que tiene uno de sus extremos directamente expuesto a la temperatura de un horno en el cual penetra 1 cm, alojándose el resto de la pieza en un manguito.

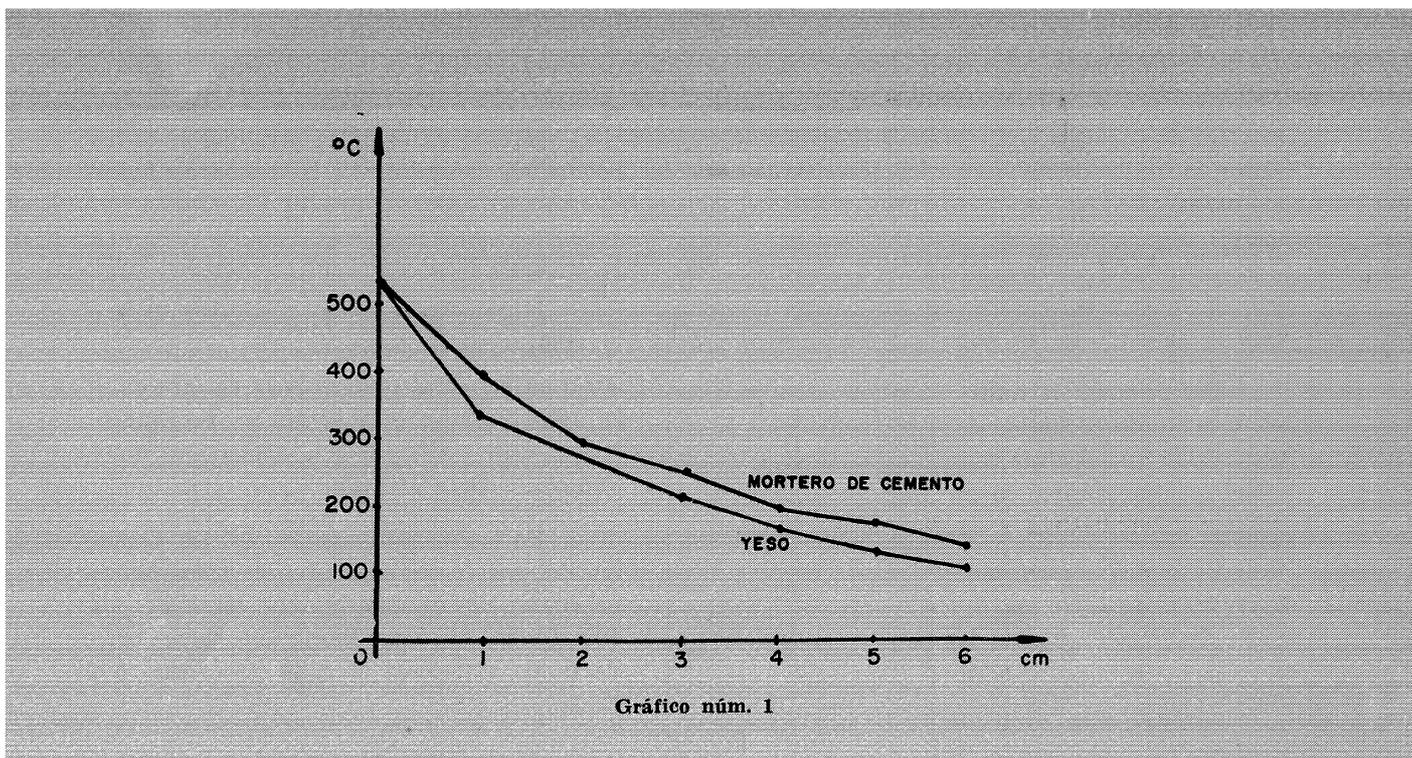
La temperatura del horno será de 530° C.

Debido a las características constructivas del horno, la probeta será cilíndrica.

Las temperaturas se miden cada centímetro en una longitud de 6 cm, mediante pares termoelectrónicos situados en el interior de la probeta. Sus indicaciones han sido registradas en curvas. A partir de estas curvas se han determinado las temperaturas.

En el gráfico núm. 1 se muestran, en forma de cuadro, con la representación correspondiente, las temperaturas alcanzadas en el interior de las probetas en función del alejamiento, llevadas sobre las abscisas y medidas a partir del extremo expuesto al horno.

Este nos da una idea del valor, para estos niveles de temperatura, de los coeficientes de conductividad calorífica del yeso y del mortero de cemento, y muestra que las temperaturas en el yeso



permanecen algo menos elevadas que en el mortero, siendo, por tanto, el coeficiente de transmisión del yeso algo más pequeño, es decir, un poco más favorable que el del mortero.

Ahora bien, si los gradientes de temperatura de nuestras probetas —una vez alcanzado el equilibrio— aparecen como próximos, debe tenerse cuidado en no interpretar esto como una equivalencia de las propiedades de los materiales.

En efecto, se observa directamente una considerable diferencia en los ensayos, sobre las curvas de temperatura registradas, que alcanzan su estabilización más o menos de prisa según el material de la probeta.

Es muy importante no menospreciar esta diferencia que concierne al factor tiempo, absolutamente esencial en la prevención de un incendio, puesto que esto está relacionado con las dificultades de evacuación y con los retrasos en la intervención de los medios de lucha contra el fuego.

Ahora bien, se ha podido comprobar que si se precisa esperar 6 hr para que las temperaturas permanezcan invariables en la probeta de mortero de cemento, se hace necesario en este caso un tiempo de 11 hr —o sea, casi el doble— para que suceda lo mismo en la probeta de yeso. El yeso se opone al establecimiento del equilibrio térmico y, por tanto, retrasa la transmisión de calor.

Así, antes de que los flujos térmicos que atraviesan las probetas llegen a ser próximos, se ha de continuar calentando el yeso durante mucho más tiempo que el mortero de cemento, permaneciendo el yeso durante todo este tiempo a una temperatura inferior a la del mortero.

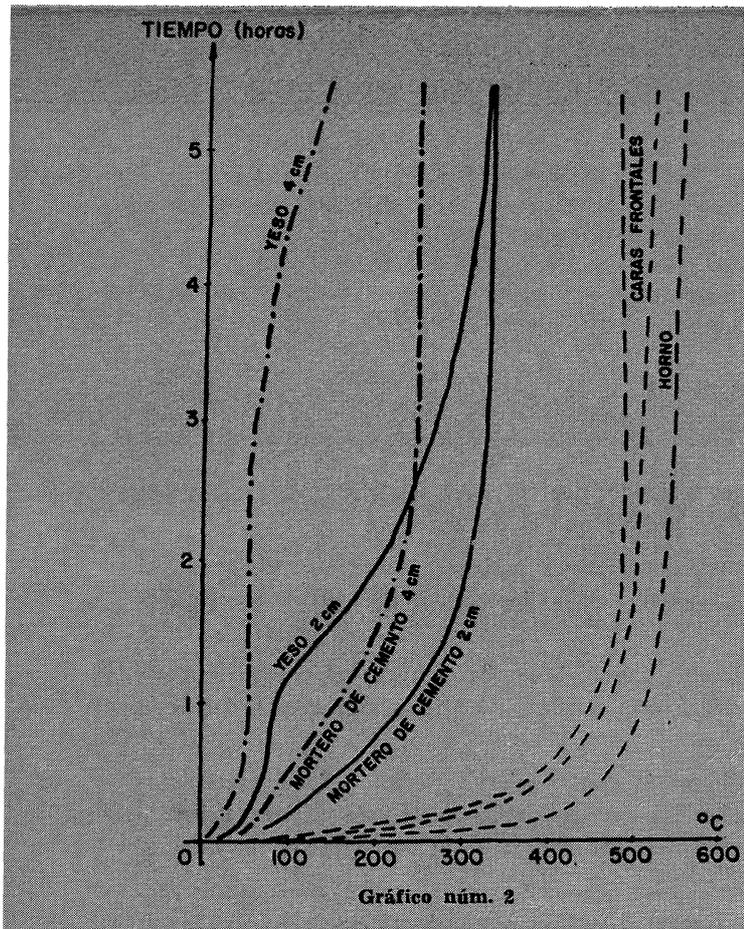
Es preciso, pues, suministrar al yeso más calor y gastar mucha más energía térmica antes de alcanzar finalmente temperaturas análogas y aun ligeramente inferiores a las del enlucido de cemento: esto es un ejemplo de la noción de barrera térmica de la cual trataremos a continuación.

El ensayo dinámico sirve para demostrar y medir lo que realmente pasa cuando se someten (comparativamente) los enlucidos de yeso y mortero de cemento, de diferentes espesores, a la acción de temperaturas relativamente elevadas.

Los ensayos se han efectuado con un horno de mufla de laboratorio, en el cual uno de los lados planos de la mufla estaba constituido por sucesivas placas de enlucidos de yeso, y después, de

mortero de cemento con espesores previamente elegidos. Los aparatos de medidas permitieron el registro de las temperaturas. La ley de calentamiento del horno fue, naturalmente, la misma en todos los casos.

El gráfico núm. 2 muestra los resultados obtenidos que permiten precisar las ventajas del yeso.



Con las probetas de mortero de 2 y 4 centímetros de espesor la temperatura de equilibrio en las caras exteriores se alcanza en 3 hr aproximadamente y se sitúan, respectivamente, a unos 350° y 250° C (estando las caras frontales a unos 500° C.)

En las mismas condiciones, las probetas de yeso —cuyas curvas de temperatura presentan un cambio brusco, cerca de los 100° C— no han estabilizado todavía sus temperaturas exteriores al cabo de cerca de 6 horas.

Al final de este período, la probeta de yeso de 2 cm se ha calentado en su cara externa a una temperatura próxima a la de estabilización de la cara correspondiente de la probeta de mortero, pero el plazo necesario para alcanzar esta temperatura es mayor (superior a 2 hr y próximo a 3 hr) que la de mortero de cemento.

Al cabo de 5 hr y 30 min, la cara exterior de la probeta de yeso de 4 cm no está todavía más que a 150° C, temperatura que la probeta de mortero de cemento de 4 cm alcanza en 1 hr, es decir, a este nivel de temperaturas mantiene una ganancia de 4 hr 30 minutos.

Desde otro punto de vista, se puede decir que para una duración del ensayo que no sobrepase de 2 hr y 30 min la temperatura de la probeta de yeso de 2 cm es inferior, por lo menos, en 100° C a la de mortero de 2 centímetros.

Igualmente, hasta una duración del ensayo de 4 hr aproximadamente, la probeta de yeso de 4 cm en su cara exterior tuvo una temperatura más baja de, por lo menos, 200° C que la de la probeta correspondiente de mortero.

Los siguientes ensayos, que ha tenido a bien efectuar el Laboratoire National d'Essais des Matériaux para la Comisión Técnica del Syndicat National des Fabricants de Plâtre, vienen a completar el ensayo precedente, realizándose sobre probetas de materiales más diversos y ampliándose a temperaturas de exposición notablemente más elevadas. Estas se han fijado en 1.000° C para estar dentro de la temperatura máxima del incendio normalizado, según una Orden Ministerial que define en Francia el programa térmico.

Este programa térmico es el que rige en la determinación del grado de resistencia al fuego de los elementos de construcción y para su clasificación a este respecto. Corresponde a una subida

hasta 800° C en unos 20/25 min, después hasta 1.000° C en los 90 min siguientes para alcanzar progresivamente alrededor de 1.200° C en el transcurso de las 4 hr ulteriores.

En los ensayos del Laboratoire National d'Essais se ha utilizado un horno calentado a una temperatura que se mantiene constante y próxima a los 1.000° C en el cual, una vez obtenido el equilibrio térmico, se sustituye la puerta por probetas de las mismas dimensiones y espesor uniforme de 5 cm del material a ensayar. La exposición violenta a esta temperatura constituye, pues, una prueba más rigurosa que la elevación de temperatura al mismo nivel del incendio normalizado.

Unos pares termoelectricos miden las temperaturas en contacto con la cara expuesta al calor del horno y con la cara exterior, registrándose ambas temperaturas.

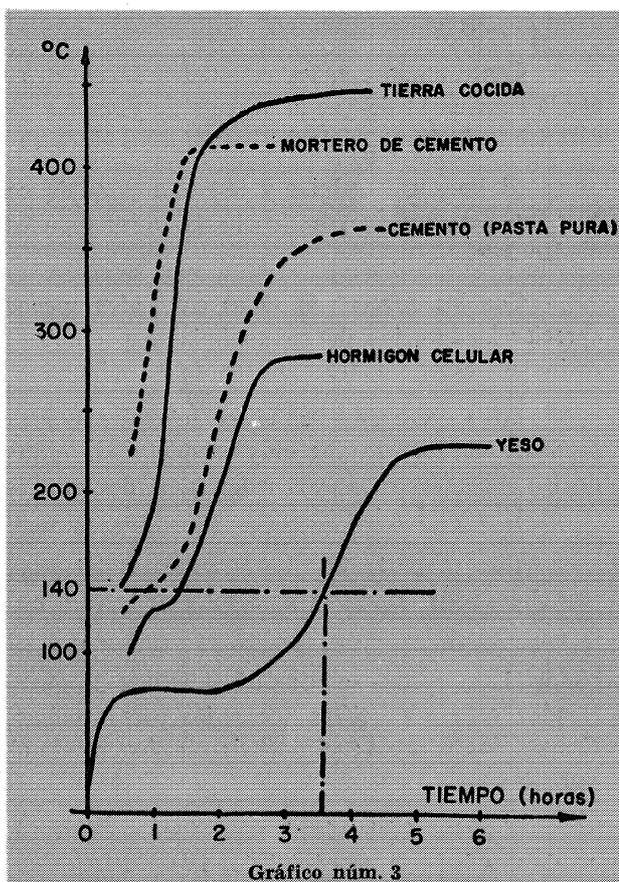
Las curvas del gráfico núm. 3 indican en función del tiempo, la temperatura de la cara externa de las probetas, representada aquí en abscisas. Se han efectuado correcciones para mantener siempre a 1.000° C la temperatura de la cara expuesta. Las curvas corresponden a este orden:

- el mortero de cemento con una parte de cemento y dos de arena,
- la tierra cocida,
- el cemento portland en pasta pura, secado previamente 10 días en el laboratorio y después 12 hr en estufa,
- el hormigón celular,
- y yeso amasado en consistencia normal, secado previamente 4 semanas en el laboratorio y 12 hr en estufa.

Se ha comprobado que cada una de estas curvas tienden, con el tiempo, a marcar un nivel horizontal a partir del cual, aunque se continúe calentando la cara expuesta de las probetas, no es posible elevar más la temperatura de la parte externa. Este nivel nos da una idea gráfica del equilibrio térmico que se establece a través de la probeta entre su recalentamiento por el horno y su enfriamiento por el ambiente del laboratorio que es alrededor de 20 grados centígrados.

Según los materiales ensayados, se observa que este nivel de equilibrio aparece al cabo de un tiempo más o menos largo (alrededor de 1 hr y 30 min para el mortero de cemento, 2 hr y 45 min para el hormigón celular y 4 hr y 30 min para el yeso), y se sitúa a un nivel más o menos elevado de temperatura (alrededor de 410° C para el mortero de cemento, 275° C para el hormigón celular y 225° C para el yeso).

El nivel de esta temperatura de equilibrio (la altura del nivel en el gráfico) es evidentemente más elevado para los materiales que se dejan atravesar fácilmente por el calor, es decir, cuyo coeficiente de conductividad térmica es relativamente grande.



El retraso en obtener el nivel de equilibrio considerado es, además, tanto más corto cuanto más fácilmente se deja calentar el material, es decir, cuando tiene un calor específico más bajo.

El gráfico núm. 3 nos da una perfecta idea de la situación privilegiada del yeso entre los materiales examinados, los que en primera aproximación, por el simple examen de su curva de elevación de temperatura, se pueden clasificar en tres grupos relativamente bien distintos:

- el mortero de cemento y la cerámica de construcción,
- el cemento empleado en pasta pura y el hormigón celular,
- y, por último, el yeso.

Para apreciar estos resultados a la luz de los textos que regulan los materiales en Francia, recordemos que el aislamiento térmico se considera como satisfactorio cuando el calentamiento medio de la parte no expuesta no pasa de los 140° C (ningún punto de esta cara tomado aisladamente no debe alcanzar los 180° C) y recordemos también que los elementos de construcción se clasifican con los grados correspondientes a las duraciones de las resistencias manifestadas en el curso de los ensayos, en tres categorías:

- estables al fuego, para aquellos a los que sólo se impone el criterio de resistencia mecánica (esta categoría concierne sobre todo a los pilares, vigas y elementos estructurales);
- cortallamas, son aquellos que, además de a este criterio, responden a las condiciones de estanquidad a las llamas y a la no emisión de gases inflamables;
- y de parafuegos, son los que reúnen las condiciones precedentes tratando de asegurar un aislamiento térmico satisfactorio en un sentido definido en todo momento.

Confrontado con los resultados de nuestro gráfico, el razonamiento precedente permite obtener la conclusión de que la probeta de yeso ensayada queda por debajo del punto crítico, de 140° C, definiendo la frontera de los cortafuegos durante un plazo de 3 hr y 30 minutos.

El hormigón celular y la pasta pura de cemento, cuyos resultados son relativamente próximos, no permanecen por debajo del mismo punto crítico, de 140° C, más que durante 1 hr, aproximadamente.

Con los demás materiales ensayados apenas es posible, en las condiciones de la experiencia, apreciar la duración de mantenimiento por debajo de la referida temperatura, aun cuando esta duración no excede aparentemente de 30 minutos.

Los valores de estas observaciones subrayan la situación característica del yeso cuya curva presenta en adelante un aire muy particular marcado por un palier inicial transitorio que se prolonga desde los 45 minutos, aproximadamente, después de iniciado el ensayo hasta el final de la 2.ª hora, es decir, 1 hr y 15 minutos.

Este palier indica que el calor suministrado por el horno durante estos 75 min es absorbido por el yeso sin que sirva para calentar la cara no expuesta.

De estos resultados —que no nos deberían sorprender después de las consideraciones teóricas citadas hace poco— se podría buscar una demostración científica en las experiencias siguientes que tienden a fijar las cifras necesarias para precisar exactamente el alcance del fenómeno y que constituyen dos ensayos: el análisis térmico ponderal, por una parte, y el análisis térmico diferencial, por otra.

En el análisis térmico ponderal se calentó una muestra del material en un crisol unido al brazo de una balanza en equilibrio, de tal manera que las transformaciones que experimenta tal materia

por la acción de la temperatura, aumentos o pérdidas de peso se traducen en un desequilibrio de la balanza.

Durante el ensayo se registran las variaciones de peso y de temperatura.

Se registra una importante pérdida de peso (superior al 19 %) a partir de los 115° C hasta cerca de los 220° C. Corresponde a la pérdida de agua del dihidrato al transformarse en hemihidrato y después en sulfato cálcico anhidro, sin que en el resto del termograma obtenido sea posible separar estas dos etapas sucesivas. Para efectuar esta separación es preciso recurrir al análisis térmico diferencial.

En este ensayo se dispone paralelamente al crisol que contiene una pequeña cantidad del enlucido de yeso, un segundo crisol con un material inerte. Se calientan simultáneamente los dos crisoles siguiendo la misma ley de calentamiento progresivo, y se miden con precisión las temperaturas.

Si no se produce ningún efecto térmico perturbador en el interior de la muestra examinada, la diferencia entre las cantidades de calor recibidas por el material de esta muestra y por la materia inerte del segundo crisol, tomado como referencia, será constante. Si, por el contrario, en la materia objeto del ensayo se produce un fenómeno térmico aparece una diferencia, positiva o negativa, entre estas cantidades de calor.

Si, por ejemplo, la materia objeto del ensayo sufre una transformación y absorbe calor, transformación endotérmica, la diferencia presenta un desvío negativo: en otros términos, la cantidad de calor recibido por la materia ha sido absorbida de alguna manera, neutralizándose por la reacción que se ha producido.

En el gráfico núm. 4, en el que vienen representadas las temperaturas en abscisas y en las ordenadas las diferencias entre las cantidades de calor aportado, aparecen las transformaciones endotérmicas del lado de las ordenadas negativas (diferencias de cantidades de calor negativas  $-\Delta Q$ ) y las reacciones exotérmicas que desprenden calor del lado de las ordenadas positivas.

Este gráfico establece que la muestra de enlucido de yeso sometida al análisis térmico diferencial sufre una primera transformación endotérmica hacia los 175° C (la primera singularidad endotérmica de la curva se presenta en forma de un pico invertido). La misma muestra sufre, a continuación, una transformación igualmente endotérmica, pero menos importante, hacia los 215° C (segundo pico invertido de la curva).

La primera transformación es la del paso del doble hidrato al estado de hemihidrato; la segunda es la del paso del hemihidrato a sulfato anhidro, y el conjunto de estas dos reacciones endotérmicas constituye, en algún modo, la réplica científica de esta noción de barrera térmica que se ha mencionado anteriormente.

Es preciso subrayar que las cantidades de calor absorbidas por el yeso endurecido durante sus transformaciones endotérmicas, vienen representadas gráficamente por el área comprendida entre el eje neutro y los picos invertidos de la curva registrada.

Este área representa la energía térmica que es preciso, durante su cocción, suministrar al yeso para convertirlo en sulfato anhidro, al mismo tiempo que, en un incendio por ejemplo, representa la pérdida de energía térmica liberada por el siniestro, que no se consume en elevar la temperatura de los elementos de construcción, sino que antes debe hacer sufrir a los enlucidos del yeso de protección una reacción química idéntica a esta cocción.

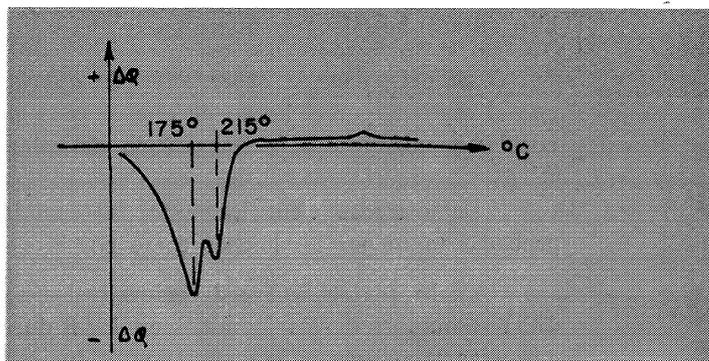


Gráfico núm. 4

Para dar una idea de la importancia relativa con un orden de magnitud indicativo, se puede decir: que si la energía necesaria para llevar un cierto enlucido de protección inerte desde la temperatura normal hasta la temperatura máxima del incendio normalizado es de unas 200 kcal, por ejemplo, se precisa casi el doble para alcanzar la misma temperatura en el caso de un enlucido activo del yeso del mismo orden de importancia en el cual solamente en la transformación química de estado se absorben, aparte de toda elevación de temperatura, más de 150 kilocalorías.

Estos son los mismos datos que M. CHASSEVENT, en una comunicación presentada al 14º Congreso de Química Industrial en donde comparaba sus propios resultados de laboratorio y los de la Oficina Nacional de Recherches et Inventions, resumía en estos términos:

«Mientras que el yeso no se ha recocido, los materiales que protege se mantienen a una temperatura inferior a 160° C. Los revestimientos de yeso aseguran así durante todo el tiempo necesario para su cocción, no solamente la protección del hierro, sino también la del hormigón armado y la madera.»

M. CHASSEVENT clasificaba, como a continuación se indica, los tiempos de cocción, es decir, de protección mínima en las condiciones más severas —placas de yeso sometidas por una de sus caras (caso de tabiques) a un fuego de 950/1.100° C, de una parte, y revestimientos de protección de vigas aisladas sometidas al fuego por todos los lados, por otra parte:

- para un espesor de 16 mm de yeso: protección mínima de 24 min para las placas, 14 para el revestimiento.
- para un espesor de 21 mm: 32 min y 20 min, respectivamente,
- y para 30 mm: 50 min y 43 minutos.

M. CHASSEVENT sacaba la conclusión de que en la mayoría de los casos prácticos, los revestimientos de yeso de 20 a 30 mm de espesor aseguran una protección de los materiales vulnerables durante un tiempo suficiente.

Además, hace la observación de que la duración de la protección aumenta más rápidamente que el espesor, por el hecho de que el yeso ya cocido continúa adhiriéndose a la parte todavía no cocida, oponiéndose a la transmisión de calor.

Demostradas científicamente, las cualidades ignífugas del yeso han sido muchas veces comprobadas tanto por los hechos como por la experiencia.

En lo que se refiere a hechos reales nos limitaremos a citar el famoso ejemplo del incendio de la techumbre de los inválidos en 1938, durante el cual se quemaron todas las vigas de madera desnudas y no fueron atacadas por el fuego las que estaban protegidas por el yeso. Entre los fuegos provocados recordemos solamente los ensayos de destrucción efectuados con la colaboración de los Bomberos de París sobre ciertos inmuebles insalubres y que han confirmado el valor de esta protección con yeso.

En lo que se refiere a comprobaciones experimentales, las más numerosas han sido las que ha efectuado en Francia el C.S.T.B., encaminadas a ilustrar a los usuarios sobre el valor de la protección que puede obtenerse en los elementos de construcción.

El C.S.T.B. dispone de hornos suficientemente dimensionados para probar los elementos en su verdadera magnitud y para obtener y mantener temperaturas de unos 1.200° C en las condiciones del incendio «normalizado».

De este modo se han podido obtener una serie de resultados muy interesantes referentes a los enlucidos y revestimientos de yeso efectuados con miras a proteger las maderas, las columnas metá-

licas, los tabiques, los techos y los diversos elementos de construcción, considerando interesante hacer una revisión de lo principal de estos resultados.

## protección de las maderas

Un pie derecho de roble (de  $15 \times 15 \times 230$  cm) con una carga de 10 t ha obtenido la clasificación de «Estable al Fuego» (S. F.), es decir, que ha conservado su resistencia mecánica durante 52 minutos, lo cual le ha valido el grado de resistencia al fuego de 30 minutos.

TABLA I.—Pie de roble de  $15 \times 15 \times 230$  cm cargado con 10 t.

Desnudo ... ..	S.F. 0 hr y 52 min
Revestimiento de yeso de 1 cm de espesor ... ..	S.F. 1 hr y 21 min
Revestimiento de yeso de 2 cm de espesor ... ..	S.F. 1 hr y 58 min

Con un revestido de yeso de 1 cm de espesor, un pie derecho idéntico ha resistido 1 hr y 21 min: se le ha clasificado S. F. con el grado de 1 hr (el revestimiento de 1 cm ha prolongado su estabilidad al fuego alrededor de 30 min). Con un revestimiento de yeso de 2 cm, un pie derecho idéntico conserva su resistencia mecánica durante 1 hr 58 min: se ha clasificado como S. F. con el grado de 1 hr y 30 min (el revestimiento de 2 cm ha prolongado su estabilidad alrededor de 1 hr y 10 min). En este caso, el yeso ha hecho aumentar en más de 1 hr (1 hr y 0,6 min) el tiempo durante el cual el pie derecho de roble es S. F.

Entre las observaciones hechas en el curso del ensayo y enumeradas en el expediente correspondiente hay que resaltar las siguientes:

- el pie derecho desnudo arde de forma general en el 4.º minuto,
- los pies derechos revestidos con yeso empiezan a presentar fisuras en su revestimiento al cabo de 15 min aproximadamente y la inflamación a través de las fisuras se produce al cabo de aproximadamente 45 min para un recubrimiento de 1 cm y de 1 hr y 30 min para el de 2 centímetros.

## protección de vigas metálicas

Una viga metálica desprovista de protección no puede conservar sus resistencias mecánicas más que durante 9 minutos.

De acuerdo con la terminología en vigor, no es S. F. y puede ser considerada como clasificable.

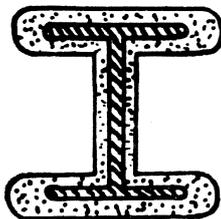
Un simple revestimiento de 1 cm de yeso basta para clasificarlo como estable al fuego con el grado de 1 hora.

Con 2 cm, se la clasifica S. F. en 1 hr y 30 minutos.

La misma vigueta, pero esta vez cargada con 26 t y protegida con el mismo revestimiento, de 2 cm de yeso, colocado sobre una celosía cerámica y de modo que quede una cámara de aire a ambos lados del alma de la viga, puede clasificarse como S. F. con el grado de 2 hr y 30 minutos.

TABLA II.—Viga metálica H.N. 100. Longitud: 2,30 metros, cargada con 10 t.

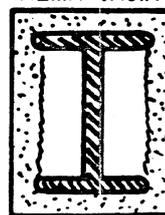
REVESTIMIENTO TOTAL



Desnuda ... ..	S.F. 0 hr y 09 min
Revestimiento de yeso de 1 cm sobre entramado cerámico ...	S.F. 1 hr y 30 min
Revestimiento de yeso de 2 cm sobre entramado cerámico ...	S.F. 1 hr y 02 min

TABLA III.—Vigueta metálica H.N. 100. Longitud: 2,30 metros, cargada con 26 t.

ALMA VACIA



Revestimiento de yeso de 2 cm aplicado sobre entramado cerámico (alma vacía) ... ..	S.F. 2 hr y 30 min
---	--------------------

Esta modalidad de revestimiento en el cual el yeso no se aplica directamente en contacto con el alma del perfil metálico es un ejemplo de lo que los ingleses, en particular, en la nota núm. 2 de su laboratorio del fuego, llaman la protección con cámara en contraste con la protección maciza (revestimiento en contacto directo con el metal sin cámara intermedia).

Observemos de pasada que este mismo documento inglés distingue para las viguetas metálicas múltiples un sistema de protección «colectivo» por llamarlo de algún modo (por ser el nombre contrario al sistema de protección individual de cada elemento) realizado, por ejemplo, por el sistema de techo suspendido.

El mismo documento, en fin, llama la atención sobre las ventajas de armar los revestimientos.

«Es esencial que cualquiera que sea el tipo de revestimiento no agrietará y no se fisurará bajo los efectos del incendio si se deja al descubierto el elemento metálico que se quiere proteger. Por esto es frecuentemente aconsejable que un envolvente asegure una cierta cohesión a la protección; esta disposición es especialmente necesaria para los revestimientos de hormigón o de yeso puestos en obra por medios manuales.»

En realidad, a propósito de esto, es digno de observar que el empleo del yeso en Inglaterra se efectúa siempre en forma de morteros, en los cuales los áridos tienen por misión más o menos —particularmente según el porcentaje de la mezcla— romper la continuidad de la pasta aglomerante y, según su naturaleza, diluir algo las ventajosas propiedades del yeso.

## pilares de hormigón armado

Tres pilares idénticos de hormigón armado de 15 cm de lado han sido ensayados sucesivamente: primero un pilar sin revestir; después con un revestimiento de yeso de 1 cm sobre un enrejado y, por último, con un revestimiento de 2 cm aplicado en las mismas condiciones.

TABLA IV.—Pilar de hormigón armado de 15×15×230 cm, cargado con 10 t.

Sin enlucido ... ..	S.F. 1 hr y 48 min
Con revestimiento de yeso de 1 cm sobre enrejado ... ..	S.F. 2 hr y 47 min
Con revestimiento de yeso de 2 cm sobre enrejado ... ..	S.F. 3 hr y 18 min

En los tres casos la carga aplicada fue de 10 toneladas.

Los respectivos tiempos de resistencia al fuego han sido:

- 1 hr y 48 min para el pilar desnudo.
- 2 hr y 47 min para el pilar protegido con un revestimiento de yeso de 1 cm, que proporciona una ganancia de 1 hora.
- y 3 hr y 18 min para el pilar protegido por un revestimiento de yeso de 2 cm, con el cual se llega casi a duplicar la estabilidad al fuego que tiene el pilar desnudo.

## losa de hormigón

Un enlucido de yeso de 15 mm sobre cada cara produce una ganancia de 3 hr y 15 min en la duración del cortafuego constituido por la losa. Sin embargo, si en lugar de este doble enlucido de 15 mm se adopta uno de 15 mm también (pero sólo en la cara expuesta) proporciona 1 hr y 30 min suplementaria como cortafuegos.

TABLA V.—Losa de hormigón.  
(Espesor 5 cm)

Sin enlucido ... ..	C.F. 0 hr y 34 min
1,5 cm de yeso puro sobre la cara expuesta ... ..	C.F. 2 hr y 18 min
1,5 cm de yeso puro sobre cada cara ... ..	C.F. 3 hr y 49 min

## tabiques

Sometido al ensayo estandar de calentamiento normalizado, el tabique de rasilla de 5 cm de espesor sin enlucido ha podido ser clasificado como cortafuego con el grado de 30 minutos.

La diferencia media de temperatura al cabo de este tiempo fue de 140° C entre la temperatura de la cara no expuesta y la temperatura ambiente; la diferencia máxima de estos mismos elementos era de 168° C. La temperatura en el horno fue, a los 30 min, de 827 grados centígrados.

TABLA VI.—Tabique de rasilla.  
(Espesor 5 cm)

Sin enlucido ... ..	C.F. 0 hr y 30 min
1 cm de yeso puro sobre la cara expuesta ... ..	C.F. 1 hr y 12 min
0,5 cm de yeso puro sobre cada cara ... ..	C.F. 1 hr y 20 min
1 cm de yeso puro sobre cada cara ... ..	C.F. 1 hr y 45 min
1,5 cm de yeso puro sobre cada cara ... ..	C.F. 2 hr y 25 min

Con un enlucido de yeso de 1 cm sobre una sola cara, el grado de resistencia al fuego del mismo ladrillo es doble. Durante el ensayo, ha sido preciso exactamente 1 hr y 30 min para que la diferencia de temperaturas de la cara no expuesta y del ambiente alcanzase los 140 grados centígrados.

Con un enlucido idéntico, de 1 cm, sobre cada cara, el grado de resistencia al fuego pasa de 1 hr y 30 min, habiendo resistido el tabique construido 1 hr y 45 minutos.

Un enlucido de 15 mm sobre cada cara logra ganar casi 2 hr de resistencia al fuego como cortafuegos.

Como mera orientación, y dentro de estos límites, se puede afirmar que un tabique hecho con ladrillo de 5 cm tiene una ganancia de 30 a 40 min de duración experimental de cortafuegos cada vez que se le añaden 5 mm de yeso en cada una de sus caras.

A continuación se dan algunos resultados obtenidos con placas de yeso con escorias aglomeradas al yeso, enrasadas por las dos caras y dejadas de antemano sin enlucido, teniendo el tabique así constituido 6 cm de espesor.

Este tabique constituye un cortafuego de 2 hr y 15 min, es decir, es del grado de 2 hr, mientras el tabique del mismo espesor, obtenido con un ladrillo de yeso de 5 cm y provisto de un enlucido de yeso de 1 cm en la cara expuesta o con dos enlucidos de 5 cm sobre cada cara, no puede ser clasificado con el grado de 1 hora.

TABLA VII.—Tabique con placas de yeso y escoria rejuntables con yeso y alisadas por las dos caras. (Espesor 6 cm)

Sin enlucido ... ..	C.F. 2 hr y 15 min
1 cm de yeso puro sobre cada cara ... ..	C.F. 3 hr y 30 min

Los tabiques de placas macizas de yeso de 5 ó 7 cm proporcionan, naturalmente, mejores resultados todavía.

Un tabique hecho a base de placas macizas de yeso puro de 5 cm trabadas con yeso y sin enlucir conserva sus cualidades de cortafuegos durante 2 hr y 40 min (grado de clasificación 2 hr), es decir, cinco veces la duración correspondiente al tabique de ladrillos de yeso del mismo espesor y 4,5 veces la de una pared de hormigón del mismo espesor.

TABLA VIII.—Tabique con placas macizas de yeso puro rejuntables con yeso, sin enlucido.

Espesor de 5 cm ... ..	C.F. 2 hr y 40 min
Espesor de 7 cm ... ..	C.F. 3 hr y 30 min

En el caso de un tabique del mismo tipo pero de 7 cm de espesor, el valor de lo citado anteriormente pasa de 5 a 7 y 4,5 a 6.

Siempre con el mismo tabique de placas macizas de yeso puro de 7 cm se obtiene una duración como cortafuegos que es doble de la que se obtiene, con un espesor total igual, con ladrillos de yeso de 5 cm enlucido con 1 cm de yeso por cada lado.

Se pueden comparar los precedentes resultados con los que se obtuvieron hace algunos años en la Escuela Superior Técnica de Brünswick como resultado de los ensayos de resistencia al fuego de las placas de yeso que fueron realizados a petición de la Deutsche Gipsverein.

TABLA IX.—Placas de yeso puro.

Espesor	Temperatura en 30 min		Temperatura en 90 min	
	Cara expuesta	Cara no expuesta (*)	Cara expuesta	Cara no expuesta (*)
3 cm	880	77	1.025	130
4 cm		77		93
5 cm		58		76
6 cm		54		70

(\*) Media sobre dos placas.

Estos ensayos, de los cuales los resultados se han prolongado hasta 1.025° C, temperatura que se ha alcanzado siguiendo la curva temperatura-tiempo admitida en Alemania al cabo de 90 minutos.

En estas condiciones de ensayo, el elemento de 3 cm de espesor llegó a realizar la misión de cortafuegos durante toda esta severa experiencia hasta el cabo de 90 min de haber alcanzado los 1.025° C; la temperatura de la cara expuesta no pasó de los 130 grados centígrados.

En el mismo tiempo, y en las mismas condiciones, el primer centímetro suplementario de espesor redujo la temperatura de la cara no expuesta cerca de 40° C y el segundo en poco más de 15 grados centígrados.

Los resultados precedentes, por muy incompletos que sean, indican claramente la ventaja insustituible que presenta el yeso en el ámbito de la protección contra el incendio, su capacidad para absorber la energía térmica en las transformaciones químicas internas que no implican nada que sea desfavorable.

Esta propiedad característica y original hace del yeso, propiamente hablando, un agente activo de protección contra el fuego muy interesante, cualidad que, entre los materiales de construcción, es el único que la presenta, junto con sus apreciables características mecánicas y sus cualidades especiales que contribuyen a la habitabilidad y al confort.

Este estudio puede ayudar, tanto a dar a conocer estas propiedades y estas ventajas del yeso, en este ámbito, que interesa a todo el mundo en lo que se refiere a la seguridad, así como a inspirar nuevos estudios adecuados para ampliar los datos y reforzar los argumentos.

Puede esta situación revalorizar justamente al yeso las perspectivas de empleo que justifica y que pedimos todos.