aislamiento, bienestar y ahorro de energía

ARTURO GARCIA ARROYO,
Dr. en Ciencias Físicas

190-1

I. PARAMETROS TERMOFISICOS DE LOS MATERIALES, ELEMENTOS Y PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS *

sinopsis

La continua aparición de nuevos materiales, la tendencia general al aligeramiento de las cargas estructurales, el incremento de los niveles individuales de bienestar, la extensión de los equipos mecánicos de acondicionamiento ambiental a la mayoría de las viviendas actualmente en construcción, y el ininterrumpido y sustancial crecimiento en los costos de los combustibles orgánicos, han dado lugar al replanteamiento, en extensión y profundidad, de las bases físico-constructivas en las que descansa la problemática funcional de los recintos habitacionales.

Consideraciones financieras o de ingeniería de las instalaciones aparte, se aborda aquí el estudio del problema a través de tres aspectos diferentes:

- I. Análisis de las propiedades termofísicas de los materiales y los elementos estructurales que definen y cuantifican la capacidad aislante de los mismos.
- II. Disposiciones constructivas idóneas para la práctica de los proyectos arquitecturales de los diferentes elementos constructivos, a fin de obtener su máxima funcionalidad como reguladores de las solicitaciones ambientales perturbadoras del bienestar.
- III. Estudio comparado de la reglamentación existente, nacional y extranjera, de las necesidades higrotérmicas que han de cumplir los elementos y los recintos que éstos delimitan, para la consecución del confort, dentro de los presupuestos de una efectiva economía.

A partir de este número, y sucesivamente, aparecerán desarrollados en esta revista cada uno de los puntos más arriba señalados.

1. INTRODUCCION

No es una visión muy infrecuente el espectáculo que ofrecen las manchas de humedad sobre las paredes de los recintos habitacionales, unas veces de modo permanente y otras, las más, de forma esporádica o cíclica, especialmente cuando comienzan o terminan los períodos de calefacción en otoño y primavera. En ocasiones, los cielorrasos sufren parciales desprendimientos, los elementos metálicos de las cubiertas y los conductos se corroen, las mamparas y antepechos de cristal saltan en pedazos, los aislantes orgánicos pierden su textura transformándose en polvillo o pasta, el moho se asienta y reproduce con el mayor descaro en cocinas y dormitorios.

Tales espectáculos no se ofrecen únicamente en edificios más o menos viejos; con excesiva frecuencia vemos entrar en una vivienda de reciente terminación a los nuevos moradores acompañados de los operarios encargados de efectuar ciertas reparaciones.

* Conferencia pronunciada por el autor en la sede del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos del Centro de España.

Todo ello ocurre ante los ojos asombrados de muchos proyectistas que no alcanzan a comprender bien el origen de tales desperfectos. Inmediatamente tranquilizan sus conciencias descansando la responsabilidad de los hechos sobre constructores, fabricantes u otros, sin plantearse siquiera la posibilidad de que aquella radique, precisamente, en el propio proyecto, de que al realizarlo no se hayan tenido correctamente en cuenta o se hayan ignorado, los principios básicos que rigen los procesos fenomenológicos de transporte de humedad y calor a través de los materiales y los elementos de construcción.

Por otra parte, mientras el aumento del nivel de vida y el progreso tecnológico han traído consigo la elevación de las exigencias mínimas de confortabilidad haciendo que los controles de los cambios de temperatura, humedad, iluminación, etc., sean cada vez más rigurosos, los nuevos materiales y técnicas constructivas han aparecido impetuosamente ante nuestros ojos empujándonos a su utilización, bien en solitario, bien en combinación con otros materiales o procedimientos tradicionales.

Desgraciadamente, casi nunca, presentando sus bondades junto a sus contraindicaciones, como están obligados a hacer los fármacos, encontrándonos así con que en muchas ocasiones el origen de un defecto patológico-constructivo está más en la aplicación errónea de un específico que en su propia naturaleza.

Hemos hablado de responsabilidades. Es evidente que en construcción, como en los demás sectores de la vida de una comunidad (sea ésta a nivel pareja, grupo o estado) todos los actos individuales que inciden sobre el resto (su salud, su libertad o sus intereses) deberán ser actos responsables. Sobre todo, si aquella colectividad está organizada en grados y campos de competencia. Sé que en estos momentos se está trabajando en la actualización del Código Civil en lo que éste se refiere a la responsabilidad de los distintos técnicos que intervienen en la construcción. Sé también, lo contemple la legislación vigente o no, que muchos de los males que aparecen en las obras no son imputables en modo alguno a los proyectistas de las mismas (aparejadores, arquitectos técnicos y superiores), sino, entre otros, a fallos de fabricación, colocación, montaje, etc.

Sin embargo, constriñéndonos al tema que aquí tratamos, hablaremos exclusivamente de los técnicos y más concretamente de su obligación de realizar todo proyecto basándose en el perfecto conocimiento de los fenómenos físico-constructivos, así como del comportamiento de los materiales y sistemas a que dichos fenómenos afectan. Aclaremos que cuando se habla de este tipo de fenómenos, nos estamos refiriendo, exclusivamente, a aquellos que pertenecen al campo de la **Física de la Construcción o Física Técnica**, la cual se ocupa del análisis y control, con vistas a la realización del proyecto, de los diversos procesos físicos (intercambio de calor, transporte de humedad, ventilación, iluminación e incluso corrosión) que inciden sobre las construcciones a fin de regularlos e inhibirlos.

Es decir, en todo proyecto, una vez conocidas las necesidades a cumplir, digamos condiciones de funcionalidad, la selección y disposición de los elementos que conforman el recinto deberán realizarse teniendo en cuenta, entre otros factores como los de tipo resistente, características tales como: oposición al paso de calor, a la humedad, a las precipitaciones, al soleamiento, a la combinación de ellos, al sonido, etc., sin olvidar que dichos fenómenos a veces varían en el tiempo de un modo cíclico de frecuencia diaria y estacional (soleamiento, temperatura del aire, iluminación, etc.) y otras de forma brusca e imprevisible (rachas de viento, heladas, etcétera).

En cierta ocasión nos propusieron la adivinanza que aparece en la figura siguiente:

Comoquiera que nos apasiona este tipo de pasatiempos, inmediatamente nos dispusimos con el mejor ánimo a resolverlo. Pasó el tiempo, no sabríamos decir cuanto, agudizamos el ingenio, usamos lo mejor que pudimos nuestra intuición y nuestros conocimientos sin conseguir encontrar una solución satisfactoria. En algún momento llegamos a pensar que estábamos siendo víctimas de una broma. Después de mucho cabilar conseguimos esta figura:

¡Habíamos alcanzado la respuesta exacta! Entonces, satisfechos, respiramos hondo. Se nos ocurre esta pregunta: ¿La resolución del problema ha sido la consecuencia de una reflexión metódica o un producto casual?

Observando el dibujo notamos una sucesión alternante de figuras formadas unas por trazos rectos únicamente y otras por la combinación de éstos con curvas. El azar y la intuición podrían habernos conducido a adivinar la cuarta figura, pero ¿hubiéramos estado seguros de que ésa era la correcta y la única que podía darse?

Efectivamente, para alcanzar la solución feliz en este juego es imprescindible cierta agudeza, pero también es innegable que sin unos mínimos conocimientos, tales como saber qué es un número, o una serie, o cuál es el calendario gregoriano, etcétera, hubiera sido imposible resolverlo.

Dividiendo los símbolos por su eje de simetría puede leerse directa y espectacularmente la cifra 1975.

Pon uno más

y en S. Silvestre acabará

Hagamos ahora una analogía con una pregunta similar a las que se nos formulan muy frecuentemente.

*Añadir otro elemento
y este cerramiento
será idóneo en Badajoz*

Aquí la solución no es única, si bien cualquiera que sea la que se adopte como válida habrá de estar basada en el conocimiento y dominio de los campos siguientes: exigencias funcionales internas, fenomenología climática del lugar (temperatura, viento, soleamiento, precipitaciones, etcétera) y propiedades termofísicas de los materiales que conforman el elemento de cierre. Sin estos conocimientos, cualquier solución óptima será producto de la casualidad y este es un factor que en la ciencia y en la técnica debe estar proscrito.

A nuestro entender, una solución óptima muy simple es el mero encalado de la cara externa del muro.

Todos somos plenamente conscientes de que en construcción como en tantos otros campos tecnológicos, no siempre se decide o adopta un criterio ante un problema determinado después de un análisis detallado y riguroso de todos los elementos que intervienen en él. La simplificación, la rutina, la ignorancia, el mimetismo, los intereses comerciales, etc., conducen a decisiones desastrosas, y a veces, irreversibles.

La crisis energética, el nuevo decreto del 12 de junio pasado sobre reducción del consumo de combustible en calefacciones, las cada día más rigurosas exigencias de confortabilidad, los anuncios televisivos de «gatitas-calorías» que se escapan por la ventana para justificar la compra de kilovatios al por mayor, o de materiales aislantes a «go-go», etc., han convertido el tema del aislamiento en la «vedette» de reuniones, simposios, conferencias y otros certámenes más o menos científicos.

Nosotros vamos a hablar sobre el aislamiento térmico en la edificación, pero vamos a hacerlo desde el origen, aunque sea de un modo esquemático, aunque repitamos conceptos por todos conocidos desde antiguo. Pero estimamos que es necesario para la comprensión integral del problema.

Por ello empezaremos hablando de la función arquitectónica para llegar, en un próximo artículo, a la exposición de algunas reglas constructivas para la práctica de los proyectos.

2. LA FUNCION ARQUITECTONICA

De una forma general nosotros entendemos que la arquitectura óptima de cada latitud, sociedad y circunstancia político-económica debe ser, inevitablemente, la consecuencia natural de la integración del proceso biológico del binomio hombre-ambiente.

Esta aseveración, por su vaguedad, requiere una explicación más concreta que la justifique y avale, sin embargo no lo haremos aquí por lo que remitimos al lector riguroso a nuestro trabajo «Arquitectura radical. Arquitectura del pueblo» *. En él se presenta a la función arquitectónica como una función matemática dependiente de las variables siguientes: condiciones regionales, locales y estructurales, que, a su vez, lo serán de los factores geográficos, climáticos, humanos y materiales.

* Monografía del I.E.T.c.c. núm. 318.

De una manera gráfica estas dependencias las podemos representar de la forma que muestra la figura siguiente, en donde A, G, C, H y E son, respectivamente, las funciones: arquitectural, geográfica, climática, humana y estructural, así como el sentido de las flechas indicarán el de influencia de las mismas.

Hemos de hacer notar que cada una de estas funciones es, a la vez, el resultado de la integración de otra serie de factores independientes. Tomando, por ejemplo, solamente tres de ellos por parámetro podríamos representar esquemáticamente estas interdependencias de la forma que indica la figura.

Donde:

C = costa, **M** = montaña y **V** = valle; **T** = temperatura, **V** = viento y **H** = humedad; **E** = exigencia, **B** = biofísica y **S** = sociología; **M** = material, **D** = diseño y **O** = ocupación.

Por último, una vez conocidas las exigencias humanas y los fenómenos que las afectan se adoptan los elementos estructurales que ponen barrera a las solicitaciones negativas de confortabilidad, a la vez que favorecen aquellas que son necesarias y convenientes.

Los datos geográficos están referidos a las características topográficas o de relieve, que son impuestas por la naturaleza y que influyen sobre la solución arquitectónica, tanto directa como indirectamente, por su acción sobre el clima local o microclima.

Las características climáticas son las condiciones regionales y locales que deben determinarse y, cuando sea necesario, reducir a niveles soportables de acuerdo con las exigencias humanas de confortabilidad.

Las condiciones humanas o biológicas actúan sobre la solución arquitectónica cuantificando las necesidades funcionales, psicológicas, biofísicas y sociológicas del individuo que la utiliza, al mismo tiempo que impone los compromisos que deben tenerse en cuenta a la hora de decidir la elección de los medios constructivos óptimos.

Esta interdependencia de factores hace que la arquitectura resultante sea algo totalmente identificado con el paisaje, con el clima, que se enraíce profundamente en el medio, que tenga una fisonomía completamente humana, que no sea el producto del capricho o de la casualidad sino una consecuencia lógica y única del proceso existencial.

3. LOS MATERIALES Y SUS EFECTOS SOBRE LA CONSTRUCCION

Tanto desde el punto de vista estructural como del confort, los materiales que se utilizan en la construcción de un edificio tienen una importancia definitiva. Por una parte, sus características mecánicas condicionan las distribuciones y disposiciones espaciales y volumétricas; por otra, sus propiedades termofísicas modifican, de una manera más o menos efectiva, las solicitaciones térmicas del exterior.

Se han escrito varios trabajos de interés en los que se analizan las relaciones clima-hombre y clima-arquitectura; sin embargo, prácticamente ninguno ha planteado en profundidad el estudio de la naturaleza de las funciones que ligan estas dos parejas de factores interactuantes. Por razones obvias tampoco lo haremos nosotros ahora restringiéndonos al análisis exclusivo del cuarto factor: la función estructural, es decir, de los materiales, los elementos constructivos y el diseño, como funciones parciales de la sucesión general.

Los problemas de transmisión de calor que afectan a un edificio pueden estudiarse bajo dos aspectos diferentes: el fenomenológico o macroscópico, tal y como se presentan en las observaciones experimentales en donde el calor se transmite de un medio de mayor hacia otro de menor temperatura; o bien bajo el punto de vista microscópico o molecular, en donde la transmisión de calor se presenta como un intercambio entre la energía cinética de las moléculas. Al margen de las dificultades matemáticas, el desconocimiento que actualmente se tiene sobre las fuerzas intermoleculares hacen que este camino tenga poco interés para el estudio de los problemas técnicos de transmisión de calor en ingeniería y arquitectura.

Fenomenológicamente hablando se dice que la transmisión de calor en los edificios se produce por cuatro caminos diferentes: conducción, convección, radiación y evaporación o condensación. La conducción es el flujo de calor a través de un material que se transmite de unas moléculas más calientes a otras más frías que están en contacto. Por convección, el calor se transmite con el movimiento de las moléculas de unos lugares a otros con un cambio en su contenido de calor. La radiación es la transmisión de calor a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. La evaporación y condensación encierra un cambio de estado cuyo proceso absorbe o despiden calor.

En edificación el fenómeno de la transmisión de calor comprende todos estos procesos. Así, la energía solar incide sobre un elemento constructivo, un muro por ejemplo, en forma de radiación. Parte de esta energía radiante es absorbida por la superficie externa y transmitida hacia el interior en forma de conducción a través del material. Si el muro contiene un espacio de aire, la tradicional cámara de aire o los huecos de un bloque o un ladrillo, el flujo de calor pasa a través de estos medios gaseosos por radiación y convección para volver a transmitirse por conducción en los últimos medios sólidos hasta que sale de la superficie interna del muro hacia el ambiente interior del edificio por convección y radiación nuevamente. Para ciertas condiciones de humedad y temperatura, este proceso puede completarse con la aparición de condensaciones o evaporaciones sobre las superficies del cerramiento.

Por consiguiente, la cantidad de flujo de calor susceptible de entrar o salir de un edificio a través de sus elementos estructurales dependerá de las propiedades termofísicas de los materiales que los configuran. Podemos, pues, decir que dichas propiedades, a las que denominaremos parámetros dimensionales, definen físicamente a los materiales de construcción.

Son tres los tipos de parámetros que consideraremos: internos (simples y compuestos), superficiales y globales.

3.1. Parámetros internos simples

La ecuación de Biot y Fourier, atribuida posteriormente sólo a este último, define la proporcionalidad que existe para una superficie dada **A**, entre la velocidad de propagación a través de un medio del flujo de calor dQ/dt y el gradiente térmico dT/dx de dicho medio:

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_x = -\lambda \cdot A \left(\frac{dT}{dx} \right)$$

El coeficiente de proporcionalidad λ se denomina **coeficiente de conductividad térmica**, el cual es una propiedad característica de cada material que depende de la temperatura, estado físico, textura, composición, presión, etc. A título de ejemplo diremos que:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{hormigón}} &= 1,2 \text{ kcal} \cdot \text{m/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}, \\ \text{y } \lambda_{\text{lana de vidrio}} &= 0,03 \text{ kcal} \cdot \text{m/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Admitida la conducción de calor como un transporte de energía térmica en la dirección de las moléculas más calientes a las más frías es evidente que a medida que aumente la densidad de los materiales así irá aumentando también λ *.

Según este criterio se ve que al ser muy pequeña la transmisión molecular en los gases su conductividad térmica será muy baja; luego la conductividad térmica de los materiales aislantes, dotados de poros o espacios huecos, tendrá un valor muy pequeño en comparación con el de los materiales líquidos y sólidos. Ahora bien, si estos cuerpos aislantes están húmedos —poros llenos de agua—, su conductividad térmica será mayor que si estuvieran secos, ya que la conductividad del agua es más alta que la de la parte sólida del material.

En este orden de cosas debe tenerse también en cuenta que, para un cierto valor de la temperatura, la transmisión de calor en los materiales porosos y fibrosos se ve afectada por el intercambio térmico por radiación entre las paredes de los poros o las fibras del material. Si los espacios huecos son lo suficientemente grandes, pueden producirse microconvecciones **.

En los metales debe tenerse en cuenta la energía de los electrones libres que ocasionan una alta conductividad eléctrica λ_e y, por consiguiente, provoca un valor considerable de la térmica λ_t , ya que, según Lorentz, existe una relación entre ambos coeficientes en función de la temperatura absoluta **T**:

$$\frac{\lambda_t}{\lambda_e} = 783 \times 10^{-9} T$$

Esto tiene gran importancia en las construcciones industrializadas, puesto que la alta conductividad de los elementos metálicos que intervienen en estas edificaciones forman los denominados **puentes térmicos o puntos débiles de transmisión de calor**, que son zonas de incomfort, suciedad y condensaciones.

* Según un trabajo de Muñoz Martialay, los distintos ensayos realizados en el I.E.T.c.c. en veinte años han mostrado una correlación entre λ y la densidad aparente de los materiales de construcción normalmente empleados en el país ϱ de la forma:

$$\lambda = 39 \cdot \varrho + \frac{117 - 39 \sqrt{39 \cdot \varrho^2 + 6 \cdot \varrho + 8}}{2}$$

donde:

ϱ = densidad aparente en kg/m³.

No se incluyen los materiales metálicos.

** «Transmisión de calor en materiales aislantes fibrosos». Cuadernos de investigación del I.E.T.c.c. núm. 11 del mismo autor de este artículo.

3.2. Parámetros internos compuestos

Comoquiera que, en el caso real, la temperatura del aire externo no es constante sino que varía con el tiempo (diaria y anualmente), debe tenerse en cuenta esta circunstancia a la hora de definir las características básicas de un material de construcción, las cuales son imprescindibles para conocer el efecto del fenómeno térmico sobre un edificio. Mayor interés debe prestarse a estos parámetros cuando, como en el tipo de construcción actual, se utilizan materiales más elaborados (mayor empleo de los aislantes, elementos constructivos sutiles formados con la combinación de varios elementos de distintas características térmicas, etcétera).

Hablaremos de:

- Parámetros de muros homogéneos, y
- Parámetros de muros heterogéneos.

a) Parámetros de muros homogéneos

La propiedad que caracteriza la cantidad proporcional del flujo de calor incidente que, sin modificar su temperatura, atraviesa un cerramiento homogéneo es la denominada conductividad térmica.

Si se considera el régimen real, el cual varía cíclicamente con un período de 24 horas, la modificación del estado térmico de las moléculas es constante, por lo que la conductividad no es una característica suficiente que dé cuenta de la transmisión interna de calor.

Paralelo al concepto de conductividad se emplea el de resistividad, inverso de aquél, parámetro que define la oposición que el material ofrece al paso de calor ($r = 1/\lambda$, en $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/m \cdot kcal$).

Aquí lo que define dicho paso de calor y la progresión de éste en la masa del cerramiento antes de que el régimen se estabilice, se llama **difusividad térmica**, la cual viene dada por la relación:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}, \text{ en m}^2/\text{hr},$$

donde el denominador $\rho \cdot c$ es la llamada capacidad calorífica volumétrica. Cuando el régimen es cíclico los factores λ y $\rho \cdot c$ definen la proporción en que la onda calorífica incidente sobre un elemento estructural de un edificio es amortiguada y desfasada por éste.

Un análisis de los materiales de construcción a través de la difusividad térmica mostrará que aquéllos de menor conductividad son los que más alto valor de la difusividad poseen, y viceversa, dado que λ y $\rho \cdot c$ varían en el mismo sentido.

Otro parámetro resultante de la combinación de la conductividad y la capacidad calorífica volumétrica es la **efusividad** β :

$$\beta = \lambda (\rho \cdot c)$$

Este parámetro afecta principalmente a las condiciones interiores de confortabilidad en función de los factores que operan dentro del edificio, tales como la radiación solar que penetra por los huecos, la temperatura y la velocidad del aire que pasa por ellos, las fuentes interiores de calor y frío, la intermitencia de los sistemas mecánicos acondicionadores, etc.

Por otro lado, este parámetro define lo que se ha dado en llamar **inercia térmica** del elemento o del edificio, pues de él depende la capacidad de almacenar calor con su consiguiente influencia sobre el confort de los interiores.

Para finalizar este apartado hablaremos de un parámetro derivado del anterior η el cual da el tiempo necesario que debe transcurrir para que una superficie se enfríe o caliente al colocarla en contacto con otro cuerpo cualquiera, incluso el aire, bajo un flujo de calor determinado

$$\eta = \sqrt{\lambda (\rho \cdot c)}$$

Cuando dos cuerpos que están a distintas temperaturas T_1 y T_2 y que tienen coeficientes diferentes η_1 y η_2 se colocan en contacto, se produce un intercambio de calorías (similar a la diferencia de potencial térmico) almacenadas en cada uno de ellos.

De este proceso se obtiene una temperatura resultante T que viene dada por la expresión:

$$T = \frac{\eta_1 T_1 + \eta_2 T_2}{\eta_1 + \eta_2}$$

y que estará más próxima a la del cuerpo de mayor η que al de menor.

Esta temperatura de contacto es la que nos hace sentir más frío al tocar un cuerpo metálico que uno de madera cuando se encuentran sumergidos ambos en el mismo ambiente térmico *.

Aparte de esta sensación táctil, la importancia de este coeficiente radica en la elección del tipo de recubrimiento de interiores al ser un medio de control térmico en función de las condiciones ambientales.

* $\eta_{\text{tejido muscular}} = 0,037$;
 $\eta_{\text{madera}} = 0,01$; $\eta_{\text{cobre}} = 0,9$.

Las temperaturas de contacto que se obtendrían al tocar un objeto de madera y otro metálico en un ambiente a 20°C y con una temperatura corporal de 36°C serían, respectivamente, de $32,4^\circ \text{C}$ y $20,2^\circ \text{C}$.

b) **Parámetros de muros heterogéneos**

Los fenómenos de transmisión de calor a través de elementos estructurales heterogéneos no pueden estudiarse con los mismos parámetros anteriormente definidos, los cuales eran válidos para elementos, al menos macroscópicamente, considerados como homogéneos.

En los muros compuestos el efecto combinado de la resistencia térmica y la capacidad calorífica depende, no solamente de λ , ϱ y c , sino también del orden y disposición de los elementos que los conforman, cada uno de ellos con sus propias características termofísicas.

Varios son los métodos que se han desarrollado para concretar los parámetros que definan a este tipo de muros. Veamos dos de ellos:

— **Producto (resistencia por capacidad térmica equivalente):**

$$R \cdot C = \frac{l}{\lambda} (l \cdot \varrho \cdot c) = \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \cdot (\lambda \cdot \varrho \cdot c) = A^2 B$$

$$A = \left(\frac{l}{\lambda}\right)_{\text{eqv.}} = \left(\frac{l}{\lambda}\right)_i + \sum \left(\frac{l}{\lambda}\right)_m + \left(\frac{l}{\lambda}\right)_e$$

$$B = (\lambda \cdot \varrho \cdot c)_{\text{eqv.}} = \frac{1,1}{A} \times \left[\sum \left(\frac{l}{\lambda}\right)_m (\lambda \cdot \varrho \cdot c)_m - \left(\frac{l}{\lambda}\right)_e (\lambda \cdot \varrho \cdot c)_e \right] + \frac{(\lambda \cdot \varrho \cdot c)_e}{A} \left[\left(\frac{l}{\lambda}\right)_e - 0,1 \cdot \left(\frac{l}{\lambda}\right)_i - \sum 0,1 \left(\frac{l}{\lambda}\right)_m \right]$$

donde, si uno de los elementos es una cámara de aire, puede suprimirse el término que la corresponde. Si el segundo término de **B** es negativo también puede despreciarse éste *.

— **Constante del tiempo térmico Q/k** , la cual expresa la difusividad equivalente de una estructura compuesta y se define como la relación entre el calor almacenado **Q** y el transmitido **k**.

Según las experiencias de Raychaudury y Chaudury, en las estructuras compuestas, el amortiguamiento y el desfase de la onda térmica son función de Q/k **.

$$\frac{Q}{k} = \sum \left(\frac{Q_m}{k}\right)$$

$$\frac{Q_1}{k} = \left(R_{so} + \frac{l_1}{2\lambda_1}\right) (l \cdot \varrho \cdot c)_1$$

$$\frac{Q_2}{k} = \left(R_{so} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{2\lambda_2}\right) (l \cdot \varrho \cdot c)_2$$

$$\frac{Q_m}{k} = \left(R_{so} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_m}{2\lambda_m}\right) (l \cdot \varrho \cdot c)_m$$

Los subíndices representan el número de orden de las distintas capas que conforman el muro, contadas desde el exterior.

* Para el cálculo del amortiguamiento y desfase de una onda calorífica en función de $\lambda \cdot \varrho \cdot c$ y l/λ para distintos tipos de cerramiento, tanto homogéneos como heterogéneos, ver la Monografía del I.E.T.c.c. número 272, del mismo autor.

** «Thermal performance of dwellings in the tropics». Indian Construction News. Dic. 1961.

3.3. Parámetros superficiales

Newton definió la proporcionalidad existente entre la velocidad del flujo de calor que se transmite entre la superficie de un sólido y el fluido que la circunda y el gradiente térmico existente entre ambos medios:

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_x = -h \cdot A \left(\frac{dT}{dx}\right)$$

El factor de proporcionalidad **h** se denomina **coeficiente superficial de transmisión de calor pared-aire** y depende de la temperatura, rugosidad de la superficie y temperaturas de los medios que intercambian el calor. Para los elementos constructivos normalmente empleados en construcción se toman los valores siguientes:

$h_e = 20 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ y $h_i = 7 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ para las superficies externas e internas de los cerramientos, respectivamente.

Como hemos dicho anteriormente este parámetro **h** depende de una serie de factores, por lo que, matemáticamente, podemos expresarlo como la resultante de la acción de los intercambios convectivos y de radiación, dado que ambos fenómenos se producen entre el medio sólido (la pared) y el gaseoso (el aire ambiente). Así:

$$h = h_c + h_r$$

h_r dependerá de la temperatura media de la pared:

T _a media (°C)	20	30	40	50
h _r (kcal/m ² · h · °C)	5	5,5	6	7

A su vez **h_c** será la suma del intercambio de calor debido a la velocidad del aire (convección forzada) y a la térmica (función del gradiente térmico entre la pared y el aire). Así:

$$h_c = h_c^F + h_c^T$$

h_c^F = 3,6 velocidad del aire en m/seg.

ΔT (T _{pared} — T _{aire}) (°C)	2	10	30
h _c ^T (kcal/m ² · h · °C)	2	3	4

De estas relaciones se han deducido los valores medios de 20 y 7 kcal/m² · h · °C dados más arriba.

Por otro lado, la superficie externa de cualquier material opaco tiene tres propiedades que determinan sus comportamientos con relación al intercambio de calor radiante: absorción, reflexión y emisión.

La energía radiante que incide sobre una superficie es reflejada en parte y el resto absorbida por el material. La parte de energía absorbida es, a su vez, transmitida hacia el interior y emitida hacia otros cuerpos en forma de radiación de larga longitud de onda. Para cualquier longitud de onda el coeficiente de absorción **a** es igual al de emisión **ε**. De otro lado, la parte absorbida es igual a la unidad menos la reflejada **r**: (**a** = 1 — **r**).

Estos coeficientes tienen una gran importancia a la hora de calcular la temperatura de las superficies expuestas al soleamiento, por ser función del color de estas superficies *.

La tabla siguiente muestra algunos valores porcentuales de la absorción y reflexión de acabados comunes.

* $T_{sol} = T_a + I_a/h_e$, siendo:
T_{sol} = temperatura de una superficie al sol,
T_a = temperatura del aire a la sombra, e
I = radiación solar incidente.

3.4. Parámetro global

Cuando se tiene un cerramiento (muro o cubierta) el flujo de calor que lo atraviesa, al existir una diferencia de temperatura dada, entre los dos ambientes que divide, viene definido por un coeficiente denominado **coeficiente global de transmisión de calor** aire-aire **k**, medido en kcal/m² · h · °C, el cual depende de los parámetros interiores y superficiales de los materiales y con el que se determina la capacidad conductora de un cerramiento cualquiera, y su expresión matemática es la siguiente:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{h_i}}$$

donde $\sum (l/\lambda)$ es la suma de las resistencias térmicas de todas las capas que conforman el muro *.

4. ELEMENTOS DE CIERRE

Las temperaturas exteriores y la radiación solar siguen una variación diaria y anual que depende de la situación geográfica.

Las temperaturas interiores de un edificio sin acondicionamiento mecánico siguen aquel modelo de variación, si bien se ve modificado por los detalles de diseño y construcción.

Las principales modificaciones se refieren al cambio de la amplitud de la onda térmica, así como al tiempo en que se producen los máximos y los mínimos.

Veamos la relación entre las temperaturas interiores y exteriores en un breve análisis.

Antes de salir el sol las temperaturas del aire y de las superficies exteriores son mínimas. Después van subiendo hasta alcanzar un valor máximo entre las 2 y las 4 de la tarde (la proporción de este aumento de temperatura depende de la separación del lugar del mar, puesto que en las costas normalmente se producen brisas marinas refrescantes durante el día, con lo que el aumento de la temperatura es pequeño, alcanzando la onda diaria una amplitud de 4 a 7° C, mientras que en las tierras del interior esta amplitud puede llegar de 15 a 20° C o más). El aumento de la temperatura del aire ambiente exterior provoca un flujo de calor hacia las superficies externas de los cerramientos del edificio incrementando su nivel térmico, cualquiera que sea la orientación de éstas.

* $Q = k \cdot A (\Delta T)$, donde:
 Q = flujo de calor conducido;
 A = superficie, ΔT = diferencia de temperatura entre los ambientes interno y externo.

ELEMENTOS	REFLEJA %	ABSORBE %
Asfaltos y compuestos bituminosos	7	93
Fibrocemento nuevo	39	61
Acero galvanizado nuevo	35	65
Acero galvanizado viejo, sucio	10	90
Planchas de hormigón	35	65
Mármol claro	56	44
Arena fina, clara	59	41
Pinturas: gris claro	25	75
» rojo	26	74
» aluminica	46	54
» verde claro	50	50
» crema	65	35
» blanco	75	25
Aluminio pulido	60	40

Al mismo tiempo, la radiación solar, bien sea directa, difusa o de larga longitud de onda, incide sobre el edificio. Parte de esta radiación es reflejada, pero el resto es absorbida por la estructura, aumentando su temperatura por encima de la del aire. Aquí sí influirá la orientación, por lo que resultan temperaturas diferentes en la cubierta y en cada muro. Esta magnitud depende del coeficiente de absorción de las paredes.

Puede observarse el proceso del flujo de calor a través del muro desde la superficie externa hacia el interior si se subdivide el muro en una serie de láminas elementales. El flujo de calor en cada una provoca una elevación de su temperatura y el calor empleado en esto se almacena en ella. Así cada lámina recibe menos calor y aumenta menos su temperatura que la precedente. De esta forma la última lámina del muro recibe menos calor y eleva menos su temperatura que la primera. Una vez que la superficie externa ha alcanzado su máximo de temperatura, comienza a enfriarse con lo que se produce el proceso inverso.

En un principio el calor almacenado en el muro fluye hacia adentro y hacia afuera, pero después solamente hacia afuera, con lo que tenemos un proceso de enfriamiento. De esta manera cualquier plano del muro sigue unos ciclos sucesivos de enfriamiento y calentamiento. La amplitud de la temperatura interna es menor que la de la onda externa, y por otra parte los máximos y mínimos se ven desfasados en una proporción que dependerá de los espesores y las propiedades termofísicas de los cerramientos. La figura adjunta nos muestra algunos ejemplos.

Cuanto mayor es el espesor y la capacidad calorífica de los materiales y menor su conductividad, la amplitud de la onda interna disminuye aumentando también el retardo.

El proceso que hemos descrito anteriormente no ha tenido en cuenta otros factores que también afectan a las temperaturas del aire interno y de las superficies interiores. Estos son: la ventilación del edificio, la radiación solar que penetra por los huecos y el calor generado dentro del edificio (calefacción, cocina, servicios, motores, aparatos de luz, etc.).

El efecto cuantitativo de estos factores también depende de las propiedades termofísicas de los materiales, aunque combinadas de una manera diferente a cuando los factores climáticos actúan sobre la superficie externa.

Ahora, la propiedad principal del material que afecta su respuesta al acondicionamiento interior es el producto de la conductividad térmica por la capacidad calorífica volumétrica $\lambda \cdot \rho \cdot c$, lo que anteriormente denominábamos coeficiente de efusividad β .

Cuando β es grande, como en el caso del hormigón, los muros absorben calor del interior más rápidamente con lo que la elevación de la temperatura resultante es inferior. Por otro lado, cuando β es un valor bajo, caso de los materiales aislantes, las superficies internas se calientan más rápidamente.

Los valores de β también determinan la relación entre las temperaturas del aire y las superficie interiores, especialmente cuando los edificios están ventilados. Con una alta β puede haber una gran diferencia entre ambas temperaturas puesto que la del aire en un edificio ventilado se aproxima a la del aire externo, mientras que la temperatura de la superficie puede estar a mayor nivel debido al flujo de calor entrante a través del muro. Para β pequeña, el flujo de calor desde el interior es pequeño, así como la cantidad de calor almacenado y, por lo tanto, las temperaturas superficiales siguen de cerca a la del aire interno.

Igualmente influye β cuando se tiene un sistema de calefacción intermitente. Edificios con β alta se calientan más lentamente y se enfrían más despacio. Ocurre lo contrario cuando β es pequeño (esto es pues mejor para oficinas, fábricas, escuelas, chalets en la sierra, etc., y peor para edificios habitados permanentemente).

4.1. Efecto de la resistencia térmica sobre las temperaturas interiores t/k

El efecto de la resistencia térmica de una estructura sobre el clima interno depende en gran medida de la presencia o ausencia de un sistema artificial acondicionado. Veamos estos dos casos:

a) Efecto en edificios acondicionados

Invierno: La **R** determina la temperatura de la superficie interna y el consumo de energía del acondicionador:

- cuando el acondicionamiento es continuo el flujo de calor se aproxima al régimen permanente puesto que $T_i - T_e$ es mucho mayor que la amplitud con que varía T_e .
- cuando el acondicionamiento es intermitente debe tenerse en cuenta la capacidad térmica.

Verano: La importancia de **R** es similar en este caso que en invierno:

- Al ser $T_i - T_e$ inferior a la amplitud de T_e , la capacidad térmica del muro es más importante que en invierno.

b) Efecto en edificio sin acondicionar

El incremento de la resistencia térmica con aislantes reduce los flujos de calor a través del muro. El efecto del aumento de resistencia sobre la temperatura interna depende del lugar en que se coloque el aislamiento. Cuando éste se coloca en el exterior el máximo interno es menor y el mínimo mayor:

- Cuando el color externo es oscuro, la colocación del aislante en el exterior disminuye el máximo interior al disminuir el flujo de calor.
- Cuando el color externo es claro, el efecto es diferente, en particular en regiones donde la amplitud de la temperatura externa es pequeña. La temperatura superficial externa está próxima a la del aire —elevándose muy poco la del interior— durante el día, pero pudiendo aumentar el mínimo más que reducir el máximo.

De todos modos debe estudiarse **R** conjuntamente con la capacidad térmica y el espesor del cerramiento.

4.2. Efecto de la capacidad térmica y del espesor del muro

La relación entre el calor absorbido y el almacenado en los materiales depende principalmente de la capacidad calorífica del cerramiento $M \cdot C_e$. Por lo tanto, para variaciones periódicas de la temperatura y condiciones dadas de resistencia térmica y diferencia de temperatura, el flujo de calor que entra en un edificio disminuye a medida que aumenta la capacidad calorífica del cerramiento.

Por la noche, al disminuir la temperatura ambiente, el cerramiento comienza a perder el calor almacenado aumentando el mínimo de la temperatura interior, lo que hace que la variación de ésta a lo largo del día sea más pequeña.

Una construcción de alta capacidad calorífica permite un grado de control considerable sobre las condiciones térmicas internas en las regiones de gran diferencia diaria de temperatura e intensa radiación solar. Este tipo de construcción es muy ventajoso para regiones del interior y clima semidesértico con intensa radiación solar y temperaturas extremas.

No son aconsejables en regiones como las húmedas costeras, pues allí el mayor incomfort se siente por la noche.

Puesto que la capacidad térmica:

$$C = M \cdot C_e = V \cdot \rho \cdot C_e = A (l \cdot \rho) C_e,$$

es función de la densidad y del espesor, entre otras, puede conseguirse igual capacidad térmica variando la densidad del material o el espesor (el calor específico no se toma en cuenta, pues el campo de variación de este valor es muy corto para los materiales inorgánicos, de 0,22 a 0,24 cal/g · °C).

Todo aumento de la capacidad mediante el incremento de la densidad disminuye la resistencia puesto que aumenta la conductividad $r = 1/\lambda$, lo cual es malo para las condiciones de verano.

Sin embargo, un aumento de la capacidad basado en el espesor tiene más ventajas térmicas, puesto que se incrementa, proporcionalmente, la resistencia global l/k .

Según los cálculos teóricos, la amplitud de la temperatura interna varía como una función exponencial del espesor del muro, por lo que la temperatura máxima decrecería y la mínima aumentaría exponencialmente al hacerlo el espesor *.

* $T_i = \sigma \cdot T_e$
 Amplitud: $\sigma = e^{-0,362 \cdot l \sqrt{\pi / (\alpha \cdot T)}}$
 Desfase: $\varphi = 1,38 \cdot l \sqrt{1/\alpha}$

** Obtenida en la Building Research Station del Technion de Haifa, Israel.

En la práctica el efecto del espesor también depende de la temperatura ambiente, de la ventilación y del color externo, puesto que en edificios ventilados, las temperaturas interiores se determinan por la combinación de dos factores: flujo de calor a través de los muros y el aire externo que se infiltra en el interior.

Cuando el color exterior es claro, el efecto de la ventilación es dominante y marca la influencia del espesor del muro. Cuando el exterior es oscuro, el posible flujo de calor a través del cerramiento aumenta considerablemente por lo que la influencia del espesor del muro sobre las temperaturas es muchísimo más notable.

Como corolario de lo hasta aquí dicho vamos a ver un ejemplo de la selección de materiales en regiones cálidas.

Las principales características climáticas del verano de estas regiones, épocas más desfavorables, son: sensible amplitud de la variación diaria de temperatura (15° C aproximadamente), temperaturas máximas entre 30 y 40° C, humedad relativa variable (sobre el 50 %), tensión de vapor de, aproximadamente, 15 mm de mercurio y gran soleamiento.

En la tabla I ** observamos que, para este tipo de regiones, el valor del producto $Q \cdot R$ de los muros externos es de alrededor de 20 a 30 horas, según sea el color externo.

Este valor podrá ser obtenido por varios materiales variando su capacidad calorífica y su resistencia térmica mediante los espesores oportunos, como puede verse en la tabla II.

De todos esos materiales y a la vista de su comportamiento (amortiguamiento y desfase) frente a las solicitaciones de las curvas de temperaturas exteriores, así como de la proporción de superficies acristaladas y sus formas de protección, se decidirá la solución óptima.

Si las superficies acristaladas son pequeñas y están bien protegidas, el ejemplo como cerramiento de hormigón ligero de 20 a 25 cm de espesor será suficiente, puesto que en este supuesto la propiedad térmica más importante radicará en la resistencia térmica. Por el contrario, si se tienen grandes superficies acristaladas por donde penetra con cierta facilidad la radiación solar, radiación que será absorbida por suelos y paredes, entonces adquiere mayor trascendencia —a la hora de decidir el material de cerramiento— la capacidad térmica del mismo que su resistencia. En este caso, muros exteriores de 20 a 30 cm de espesor, realizados con ladrillos u hormigón denso, serán los que ofrecerán resultados más satisfactorios.

SELECCION DE CERRAMIENTOS EN REGIONES CALIDAS

TABLA I

T_{max}	ΔT	$\alpha I/12$	R	Q	Q · R
30	5	0	0,25	12,5	3,1
		10	0,45	22,5	10,1
		20	0,65	32,5	21,2
	10	0	0,25	25,0	6,2
		10	0,45	35,0	15,8
		20	0,65	45,0	29,3
	15	0	0,25	37,5	9,4
		10	0,45	47,5	21,4
		20	0,65	57,5	36,8
35	5	0	0,50	12,5	6,2
		10	0,70	22,5	15,8
		20	0,90	32,5	29,3
	10	0	0,50	25,0	12,5
		10	0,70	35,0	24,5
		20	0,90	45,0	40,5
	15	0	0,50	37,5	18,7
		10	0,70	47,5	31,5
		20	0,90	57,5	51,7
	20	0	0,50	50,0	25,0
		10	0,70	60,0	42,0
		20	0,90	70,0	63,0
40	5	0	0,75	12,5	9,4
		10	0,95	22,5	21,4
		20	1,15	32,5	37,5
	10	0	0,75	25,0	18,8
		10	0,95	35,0	33,2
		20	1,15	45,0	51,7
	15	0	0,75	37,5	28,2
		10	0,95	47,5	45,1
		20	1,15	57,5	66,0
	20	0	0,75	50,0	37,5
		10	0,95	60,0	57,0
		20	1,15	70,0	80,5

T_{max} = Temperatura máxima previsible.

ΔT = Amplitud diaria de la temperatura.

$\alpha I/12$ = Radiación solar absorbida.

$R = (l/\lambda)$ = Resistencia térmica.

$Q = (l \cdot \varrho \cdot c)$ = Capacidad térmica.

$Q \cdot R = (l/\lambda)^2 (\lambda \cdot \varrho \cdot c)$.

TABLA II

MATERIAL DEL CERRAMIENTO	l (cm)	P (kg/m ²)	R $\left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \right)$	Q $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right)$	Q · R (h)
HORMIGON DENSO	10	220	0,08	48	4
	15	330	0,12	72	9
	20	440	0,17	97	16
	25	550	0,21	120	25
	30	660	0,25	145	36
	40	880	0,33	194	64
	50	1.100	0,42	240	100
HORMIGON LIGERO	10	60	0,4	14	6
	15	90	0,6	21	13
	20	120	0,8	28	20
	25	150	1,0	35	35
	30	180	1,2	42	50
	35	210	1,4	49	69
	40	240	1,6	56	90
PANEL SANDWICH	0	330	0,12	72	9
	1	330	0,43	72	31
	2	330	0,76	72	55
	3	330	1,09	72	79
	4	330	1,42	72	102
	5	330	1,75	72	126

- a) Hormigón denso, $\lambda = 1,2 \text{ kcal} \cdot \text{m/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$, $l = 7,5 \text{ cm}$.
- b) Poliestireno expandido, $\lambda = 0,024 \text{ kcal} \cdot \text{m/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$, $l = \text{Variable}$.

SANDWICH

résumé

Isolation, confort et économie d'énergie

Arturo García Arroyo, Dr. ès Sciences physiques

L'apparition constante de nouveaux matériaux, la tendance générale à l'allègement des charges structurales, l'accroissement des niveaux individuels de confort, l'application des équipements mécaniques d'aménagement d'ambiance à la plupart des logements actuellement en construction, l'augmentation ininterrompue et substantielle des coûts des combustibles organiques ont donné lieu à la considération et à l'étude approfondie des bases physico-constructives sur lesquelles repose la problématique fonctionnelle des locaux d'habitation.

Hormis des considérations financières ou de génie des installations, l'auteur aborde ici l'étude du problème sous trois aspects différents:

- I. Analyse des propriétés thermophysiques des matériaux et des éléments structuraux qui définissent et quantifient leur capacité isolante.
- II. Disposition constructives pour la pratique des projets architecturaux des différents éléments constructifs, afin d'obtenir leur performance comme des régulateurs des sollicitations ambiantes troublant le confort.
- III. Etude comparée de la réglementation existante, nationale et étrangère, des exigences hygrothermiques auxquelles doivent répondre les éléments et les enceintes que ceux-ci délimitent, pour assurer le confort, dans la présupposition d'une économie effective.

A partir de ce numéro, l'auteur abordera successivement, dans cette revue, chacun des points plus haut mentionnés.

summary

Insulation, comfort and energy saving

Arturo García Arroyo, Dr. Physics

The continuous appearance of new materials, the general tendency towards lighter structural charges, the increased personal welfare levels, the extended use of mechanical equipments for environmental conditioning in most of the housings presently being constructed, and the incessant and considerable increase of the organic fuel costs have given rise to a new study, both in scope and precision, of the physical and construction basis of the fundamental problems of living spaces.

In addition to the financial and engineering aspects of the separate installations the problem is here approached through three different angles:

- I. Analysis of the thermophysical characteristics of the materials and structural elements that define and quantify the insulating capacity of these.
- II. Constructive arrangements suitable for carrying out the architectural projects of the construction elements, in order to obtain their maximum efficiency, as regulators of the negative environmental influences.
- III. A relative study of existing national and foreign regulations of the hygrothermal needs that the elements and structural spaces must meet to achieve the required comfort within the envisaged budget.

Each of the above mentioned items will be dealt with in this Journal from this number onwards.

zusammenfassung

Isolierung, Komfort und Energieersparnis

Arturo García Arroyo, Dr. Physik.

Die ständige Erscheinung neuer Materialien, die allgemeine Tendenz zu leichteren Baukosten, die erhöhten persönlichen Komfortansprüche, der immer mehr übliche Gebrauch von mechanischen Anlagen für die Klimatisierung der heutzutage konstruierten Wohnungen und die ununterbrochene und erhebliche Steigerung der Kosten der flüssigen Brennstoffe, haben ein erneutes Studium, sowohl in Umfang als auch in Präzision, der physischen Basis und der Konstruktionsbasis der grundlegenden Probleme der Wohnfläche verursacht.

Ausser finanziellen und bautechnischen Erwägungen der separaten Anlagen ist das Problem hier aus drei verschiedenen Gesichtspunkten behandelt worden:

- I. Analyse der thermophysischen Kennzeichen der Materialien und Bauelemente deren Isoliervermögen durch diese Analyse festgestellt wird.
- II. Praktische Massnahmen für den architektonischen Entwurf der verschiedenen Bauelemente, um möglichst grossen Nutzen von ihnen als Reglern der negativen Einflüsse der Umgebung zu ziehen.
- III. Ein vergleichendes Studium der einheimischen und ausländischen zur Zeit geltenden Verordnungen der hygrothermischen Anforderungen, denen die Bauelemente und der von ihnen begrenzte Raum entsprechen müssen, um innerhalb des Rahmens einer erfolgreichen Ökonomie, einen gewissen Komfort zu erreichen.

Jeder dieser einzelnen Punkte wird von dieser Nummer ab in unserer Zeitschrift behandelt werden.

publicación del i.e.t. c.c. protección química de la construcción

HANS KÖLZOW

Dr. Químico Dipl.
Stadtbaurat a.D.

La importancia creciente que se concede a la protección química de las obras de fábrica y la carencia de un tratado que reúna toda la literatura dispersa que existe sobre el tema, han llevado a la publicación de este libro, que debe leerse con atención en todas y cada una de sus páginas a fin de que nada resulte incomprendible.

En la Technische Akademie de Wuppertal el autor celebró, durante los últimos años, ocho seminarios, de tres días de duración cada uno, sobre protección de obras. Los participantes a

estos seminarios han sido arquitectos e ingenieros procedentes de organismos oficiales y de empresas privadas, así como químicos de las industrias dedicadas a la fabricación de sistemas y método químicos protectores. De las conferencias y de los coloquios consiguientes se han obtenido resultados importantes y esperanzadores que merecen ser conocidos por círculos mucho más amplios. Por todo ello se ha creído conveniente la publicación del presente resumen, indicando expresamente que, de ningún modo, se trata de un manual ni de un libro de recetas.

Encuadernado en rústica, de 17×24 cm, compuesto de 74 páginas. Madrid, 1971.

Precios: España: 300 pesetas. Extranjero. \$ 6.