

intentos para expresar las relaciones existentes entre ciertas características físicas y mecánicas de los ladrillos de tierra cocida

tentative d'expression des rapports existant entre certaines caractéristiques physiques et mécaniques des briques communes de terre cuite

MARCEL LEPINGLE

(«Silicates Industriels», XXIV, n.º 12, diciembre 1959, pág. 633, y XXV, n.º 1, enero 1960, pág. 36.)

La resistencia a la compresión de los ladrillos de construcción se encuentra en cierto modo relacionada con su porosidad.

Por otro lado, la resistencia a la helada parece estar ligada con el valor del coeficiente de saturación. No es, pues, extraño, ya que este coeficiente varía con el tipo de porosidad, que ciertos autores tomen en consideración la resistencia mecánica en la determinación de la resistencia a la helada.

Puede admitirse que este coeficiente de saturación es la expresión de la *calidad* de la porosidad abierta, siendo el grado de penetración del agua en los poros diferente a 20 y 100°C.

Tanto la tensión superficial en los canales capilares como la viscosidad del fluido absorbido varían con la temperatura. A su vez, la facilidad más o menos grande con la que el aire ocluido en los poros podrá escapar depende también de la variación de estos factores. En efecto, cuando se opera a 20 y 100°C según el método clásico, equivale a utilizar dos fluidos diferentes, como se hace por otros procedimientos. En cierto sentido presenta efectos análogos el empleo del vacío en lugar de la ebullición.

Se nos pondrá como objeción—y no sin razón—que las oscilaciones de fabricación presentadas por los ladrillos ordinarios lleguen a hacer que nuestras conclusiones sean totalmente vanas. Es probablemente cierto en este sentido que será necesario siempre contar con una dispersión elevada, pero esto no impide que existan en todas las características valores medios, más probables, que es útil conocer y que permitirán establecer entre ellas, comparando estos valores “ideales”, algo más que una relación precaria y quizás frágil.

Para poder calcular valores medios aprovechables, es necesario disponer de un gran número de valores. Probablemente, este trabajo sería de más peso si se efectuase sobre la producción de un depósito arcilloso homogéneo, en el que la variabilidad, que no es nula, es, sin embargo, mucho menos considerable que para el conjunto de la producción ladrillera de todo un país.

Hace unos meses, M. Massillon, del Laboratorio de la Construcción y Trabajos Públicos, publicó un trabajo (3) sobre las propiedades de las piedras de construcción, materiales naturales. El autor de este trabajo trató, sin ilusiones superfluas, de deducir relaciones entre las características de estos materiales y de expresarlas por fórmulas. En este trabajo hemos encontrado un aliciente para proseguir el nuestro.

Sin despreciar las profundas diferencias, todavía sin aclarar completamente, que existen entre las arcillas comunes empleadas en la industria de la tierra cocida, nos parece que existen diferencias más profundas entre las piedras que entre las tierras empleadas para estas fabricaciones. La piedra se utiliza tal cual, y únicamente interviene la “elección”. En el caso de los materiales de tierra cocida—y es la razón por la cual C. Camerman los ha calificado de “seminaturales”—no hay modificación de la materia prima. Esta se somete a un círculo relativamente sencillo de manipulaciones que comprende, generalmente, un amasado homogeneizador, un moldeo y un secado. Alguna de estas operaciones no modifica la composición; se trata simplemente de reducir la heterogeneidad de la masa y hacerla lo más idéntica posible en todas sus partes. No hay, pues, “a priori”, intervención de factores capaces de aumentar, desde este punto de vista, la variación de propiedades. Cuanto más perfecta sea la homogeneidad, los productos fabricados serán mejores y más parecidos entre sí.

A continuación, interviene una cocción que modifica la composición inicial:

- a) Eliminando todo lo que es volátil o combustible a la temperatura alcanzada.
- b) Provocando una nueva reorganización de los constituyentes que componen los minerales arcillosos y la fijación eventual de elementos aportados (O_2 , SO_2) por el aire y el combustible.

Parece, pues, en primera aproximación, que las diferencias en productos acabados proceden fundamentalmente de la composición mineralógica de la tierra (arcilla o esquisto) puesta en juego y que las diferencias secundarias que procedan de la cocción quedan comprendidas "potencialmente" en este factor esencial.

No podrán expresarse unas conclusiones útiles más que si se dispone de datos precisos sobre la composición de las tierras y, principalmente, sobre su composición mineralógica. No se excluye, sin embargo, el que un trabajo estadístico concienzudo pueda llegar a precisar cuáles son los factores esenciales que rigen los valores de las características fundamentales.

La presencia—en calidad y cantidad—de constituyentes eliminables en el curso de la cocción condicional, evidentemente, en buena parte, las características finales de los productos, singularmente su porosidad y la manera en que ella está distribuida. El contenido en estos constituyentes está en estrecha relación con la composición mineralógica, y este contenido constituye, ciertamente, uno de los factores que interviene más sobre el valor de las características de los productos acabados. Estas consideraciones tienen en cuenta la adición eventual de "desgrasantes", puesto que éstos, por definición, no aportan materias volatilizables. Su grado de finura y su porosidad propia juegan un papel en la repartición del agua libre o unida físicamente a la tierra. Podría, pues, admitirse que, a falta de medios complicados para obtener su composición "fina", una simple determinación de la clásica pérdida al fuego combinada con una medida de la retracción total (en el secado y en la cocción) de la tierra dispuesta a emplearse, sería capaz de dar algunas indicaciones sobre las que podrían ser las características de los productos cocidos.

La composición y calidad de la fase vítrea que constituye el conglomerante condicionan, probablemente en gran escala, el valor de la resistencia mecánica en frío. Puede admitirse que la densidad real es, a "grosso modo", la misma para la mayor parte de estos productos y que, en consecuencia, las porosidades total y relativa—puesto que generalmente apenas hay poros cerrados—pueden deducirse directamente del valor de la densidad aparente. Esta es muy fácil de determinar, puesto que basta pesar las probetas y determinar sus dimensiones. La validez de este concepto exigiría una comprobación. En el caso que fuera cierto, se obtendría cómodamente un valor de la porosidad probablemente más elevado que por inmersión en agua hirviendo o con vacío y en agua fría, y podría calcularse un segundo coeficiente de saturación correspondiente a esta porosidad.

En lo que precede hemos tratado principalmente una base de partida física; sin embargo, está claro que en la práctica actúan toda una serie de variables secundarias. Pero, aunque parezca necesario partir de una combinación de datos teóricos y estadísticos, es posible que para los productos de tierra cocida puedan separarse ciertas variables y caracterizar su influencia.

En este sentido hemos tratado de ir más lejos que los autores americanos, ya citados (1), e intentado aportar una piedra en la construcción de este edificio.

* * *

Recordemos rápidamente en qué consiste la contribución aportada por J. McBurney, J. C. Richmond y M. A. Copeland (2), del National Bureau of Standards, de Washington.

Este trabajo estadístico, publicado en 1952, respondía en parte a la cuestión que nos habíamos planteado hace tiempo: ¿las características principales de los ladrillos de tierra cocida se encuentran unidas entre sí por relaciones definidas? Si es así, y nada se opone a tratar de establecerlas, aunque no sirva de gran cosa, ¿cuáles son tales relaciones?

A falta de un número suficiente de valores para efectuar este trabajo a partir de nuestros propios resultados, hemos tratado de traducir en forma de ecuaciones las curvas establecidas por estos autores americanos. El trabajo estadístico que ellos han realizado conduce lógicamente a la obtención de familias de curvas, que difieren más o menos según el método de clasificación elegido. Hemos preferido recurrir a una interpretación "media" de estas curvas, más directamente accesible, aunque matemáticamente no sea exacto. Esto es suficiente para lo que tratamos de hacer, tenida cuenta de la dispersión. Por otro lado, si llegara el caso nada nos impediría volver a la expresión estrictamente ortodoxa cuando se tratase de aprovechar estos resultados u otros.

Sobre 3.205 muestras, representación media de una gran gama de fabricaciones de ladrillos corrientes, estos autores han determinado:

- 1) A: coeficiente medio de absorción de agua en % a 20°C después de 24 horas.
- 2) H: coeficiente medio de absorción de agua en % a 100°C después de 5 horas.
- 3) S: coeficiente medio de saturación.
- 4) R: carga de rotura media a la compresión en libras/pulg².
- 5) M: módulo de rotura medio en compresión en libras/pulg².

Todas estas determinaciones se hicieron de acuerdo con las normas americanas. La resistencia a la compresión se determinó sobre un medio ladrillo colocado de plano y cuyas caras de apoyo se reventaron con mortero.

Los diferentes valores obtenidos se repartieron y agruparon estadísticamente. A partir de los cuadros que representan estas clasificaciones, se estableció una familia de gráficos que traducían las relaciones entre A y H, S y H, S y R, H y R, así como M y R.

Dos curvas, que nosotros hemos hecho continuas, representan las relaciones entre A y H, según que la clasificación se haya establecido en función de A o de H; otras dos representan, en las mismas condiciones, las relaciones entre S y H, y otras dos las relaciones entre S y R. Cuatro curvas expresan las relaciones entre H y R, según que los resultados se hayan ordenado con relación a los valores de H, R o S, representando la cuarta los resultados de un trabajo publicado por Orton en 1946. Cuatro curvas dan los valores de las relaciones entre M y R, según que las clasificaciones se hayan obtenido con relación a los valores de M, R, H o S.

Otras curvas, que no hemos considerado en este trabajo, se refieren a las mismas relaciones que ya hemos establecido, pero considerando el modo de fabricación o la calidad de las materias primas puestas en juego.

El valor de las relaciones que eventualmente puedan existir entre las características técnicas de los ladrillos de construcción debería, a nuestro juicio, precisarse antes de pasar a fijar los artículos de los Pliegos de Condiciones que registran la calidad de estos materiales y que prejuzgan su valor.

Los valores dados por los autores americanos no pueden transplantarse directamente a otras normas, ya que han resultado aplicando métodos de ensayo americanos que no son los mismos que los de otros países. No obstante, la marcha general cualitativa de estas relaciones entre las características típicas medidas no debe ser muy diferente.

Es cierto que el valor más elevado de la porosidad relativa es el que más se aproxima a la realidad, sin que se haya probado que se alcance el valor máximo. Para la porosidad abierta, la cifra más elevada se obtiene cuando se opera en vacío y por saturación progresiva de las probetas. Por otra parte, existe una relación entre la cantidad de agua absorbida y el valor de la depresión, siendo aquélla la más elevada cuando la presión es nula (4).

Sin embargo, es normal, a todas luces, que dos productos que dan el mismo valor para la porosidad abierta (ocurre lo mismo para la porosidad total, incluyendo los poros cerrados) se comportan de un modo completamente diferente. En efecto, la calidad, es decir, el número, la forma, la repartición, la dimensión de los poros, pueden ser completamente diferentes para un mismo valor global.

La distribución de huecos condiciona la de la materia sólida, factor esencial en el valor de la resistencia mecánica.

Hemos solicitado de M. Vandecapelle, Director del Instituto Nacional del Vidrio, y de sus colaboradores, el cálculo de las ecuaciones que representan las curvas publicadas por los autores ya citados. En dos casos fué necesario establecer una cocción de tercer grado.

Las ecuaciones reproducidas a continuación se refieren a estas curvas y traducen los diversos modos de clasificación seguidos por los autores:

$$H = 0,90 A - 1,50 \text{ (fig. 1, curva A).}$$

$$H = 1,054 A + 2,40 \text{ (fig. 1, curva B).}$$

$$S = -0,00104 H^2 + 0,0453 H + 0,387 \text{ ó}$$

$$S = -0,0000513 H^3 - 0,00353 H^2 + 0,0792 H + 0,247 \text{ (fig. 2, curva A).}$$

$$H = 28,767 S - 6,412 \text{ (fig. 2, curva B).}$$

$$R = 31,511 S^2 - 59,696 S + 33,012 \text{ (fig. 3, curva A).}$$

$$S = -1,43 \times 10^{-9} R^2 + 7,30 \times 10^{-6} R + 0,797 \text{ (fig. 3, curva B).}$$

$$H = 0,1715 \times 10^{-6} R^2 - 0,004793 R + 37,66 \text{ ó}$$

$$H = -0,02213 \times 10^{-6} R^2 + 0,7484 \times 10^{-6} R^2 - 0,009136 R + 46,85 \text{ (fig. 4, curva A).}$$

$$H = 0,073 \times 10^{-6} R^2 - 0,00255 R + 27,88 \text{ (fig. 4, curva B).}$$

$$H = 0,2027 \times 10^{-6} R^2 - 0,00508 R + 38,81 \text{ (fig. 4, curva C).}$$

$$R = 4,6962 M + 1,531 \text{ (fig. 5, curva A).}$$

$$M = 0,1215 R + 259,5 \text{ (fig. 5, curva B).}$$

$$M = 0,1433 R + 106,4 \text{ (fig. 5, curva C).}$$

$$M = 0,1453 R + 94,9 \text{ (fig. 5, curva D).}$$

A partir de este conjunto de curvas hemos trazado las curvas "medias" de que hemos hablado al principio del trabajo y que una vez más repetiremos que se trata más bien de una representación cómoda que estrictamente matemática.

Estas curvas medias pueden expresarse por las ecuaciones siguientes:

$$A = 0,9355 H - 2,0391 \text{ (fig. 6).}$$

$$S = -0,000959 H^2 + 0,04396 H + 0,3452 \text{ (fig. 8).}$$

$$S = -0,001 \times 279 R^2 - 0,005 \times 97 R + 0,8726 \text{ ó}$$

$$S = -0,026 \times 79 R + 0,9413 \text{ (fig. 10).}$$

$$H = 0,106 \times 158 R^2 - 3,3613 R + 31,6221 \text{ (fig. 9).}$$

$$M = 0,1503 R + 0,07255 \text{ (fig. 11).}$$

A partir de la ecuación que relaciona H y R, expresada en libras/pulg², si se quiere expresar R en kilogramos por centímetro cuadrado es preciso multiplicar por 0,0704 los valores de R expresados en libras por pulgada cuadrada.

Para obtener una relación entre A y R (fig. 7), basta eliminar H entre las dos ecuaciones, y resulta:

$$A = 20,0928 \times 10^{-6} R^2 - 44,7273 \times 10^{-3} R + 27,5434 ,$$

donde:

A es el coeficiente medio de absorción después de veinticuatro horas de inmersión en agua fría;
R representa la resistencia media a la compresión en kilogramos por centímetro cuadrado.
De donde se deduce para R y M, expresados en kilogramos por centímetro cuadrado:

$$H = 21,4781 \times 10^{-6} R^2 - 47,8111 \times 10^{-3} R + 31,6221 .$$

Del mismo modo, las ecuaciones que relacionan S y R, en las cuales R se expresa en libras por pulgada cuadrada, se convierten, si R se expresa en kilos por centímetro cuadrado, en:

$$S = -0,258770 \times 10^{-6} R^2 - 0,084917 \times 10^{-3} R + 0,8726 \text{ y}$$

$$S = -0,381061 \times 10^{-3} R + 0,9412, \text{ según el caso considerado.}$$

Cuando M y R se expresan en kilogramos por centímetro cuadrado, la ecuación precedente, que relaciona M y R, se transforma en:

$$M = 0,1503 R + 5,100534 .$$

De este conjunto de ecuaciones pueden deducirse otras según las necesidades de cálculo o las relaciones a poner en evidencia.

Recordemos, para siempre que sea necesario, que $S = A/H$.

Las relaciones existentes entre S y H, de una parte, y H y R, de la otra, son prácticamente coherentes. En lo que se refiere a las relaciones entre R y S, la coherencia es satisfactoria, salvo en el campo de valores de R inferiores a 200 kg/cm² en el caso de la ecuación de primer grado y valores inferiores a 100 kg/cm² en el caso de la ecuación de segundo grado.

Estas curvas y las ecuaciones correspondientes se separan al máximo de los valores probables hacia los dos extremos, lo cual es normal.

Esto se ve claro en la tabla expresada a continuación, en la que se encuentran algunos valores de A, H y S con relación al valor calculado para este último:

A	H	S	
		Gráfico	Calculado
0	2	0,45	0,0
5	7,5	0,54	0,66
10	13	0,76	0,77
15	18	0,83	0,83
22	26	0,85	0,85
25	29	0,81	0,86

Si se admite que la resistencia a la helada se relaciona con el coeficiente de saturación y se admite que es tanto mejor cuando el número que la representa—siempre inferior a la unidad—es más grande, podría deducirse:

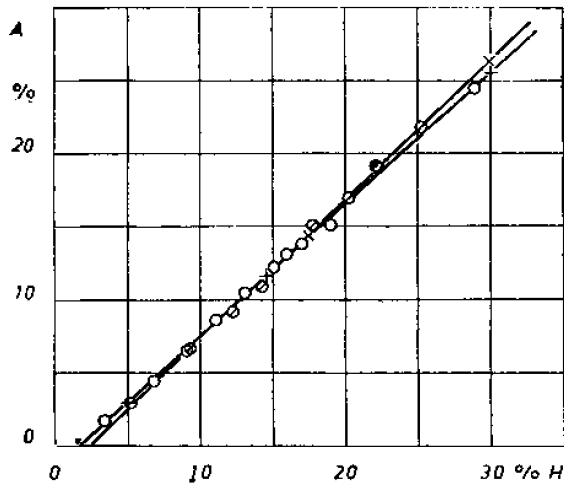


Fig. 1

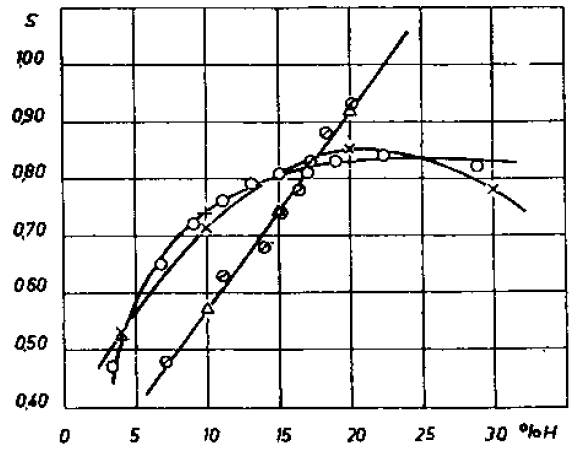


Fig. 2

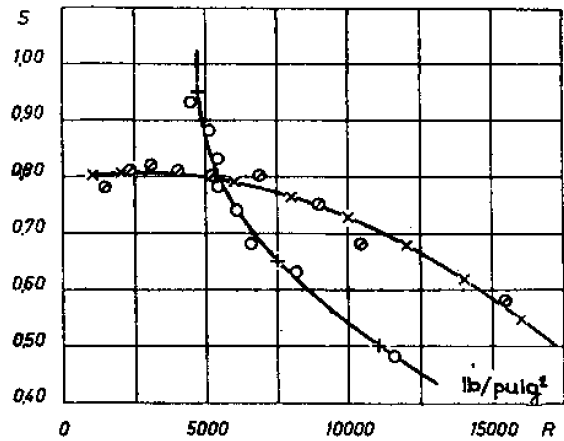


Fig. 3

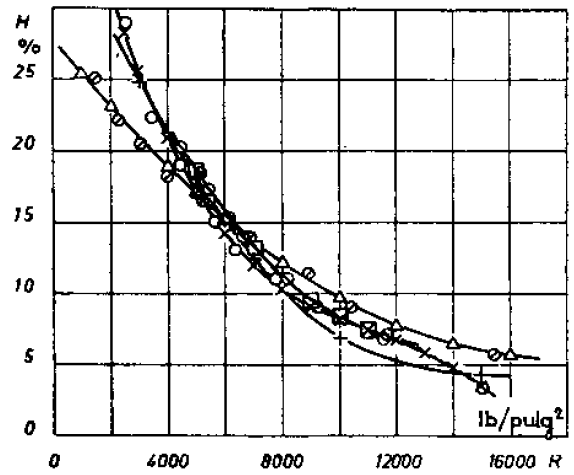


Fig. 4

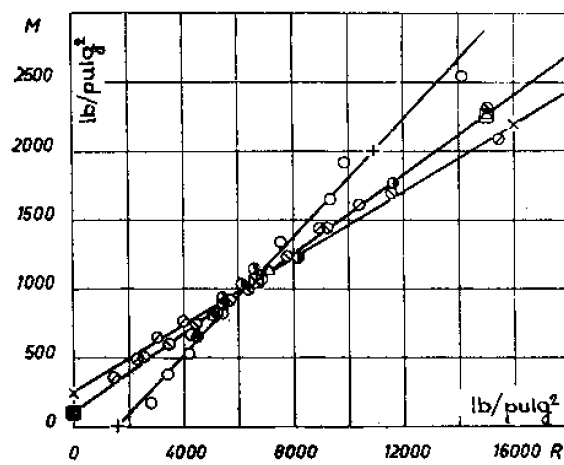


Fig. 5

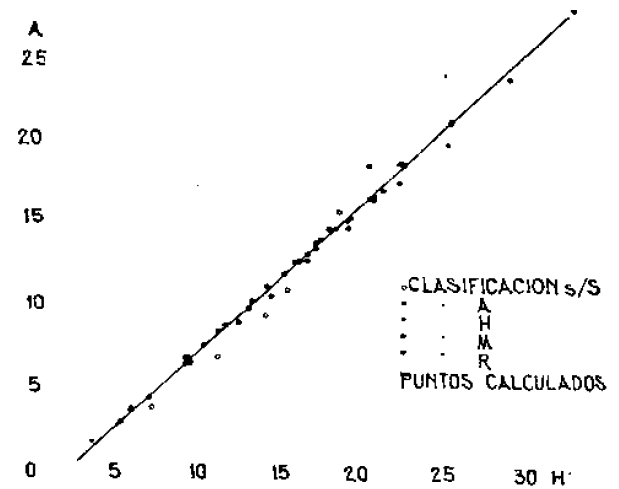


Fig. 6

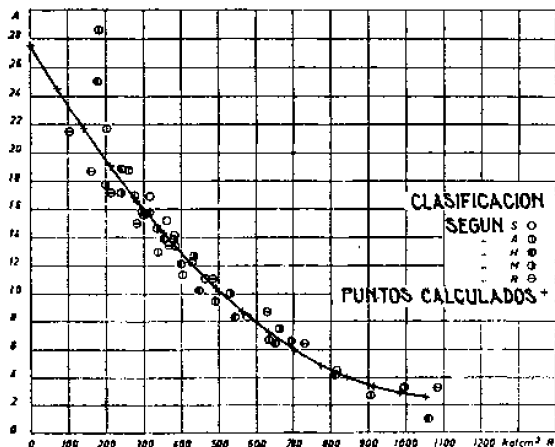


Fig. 7

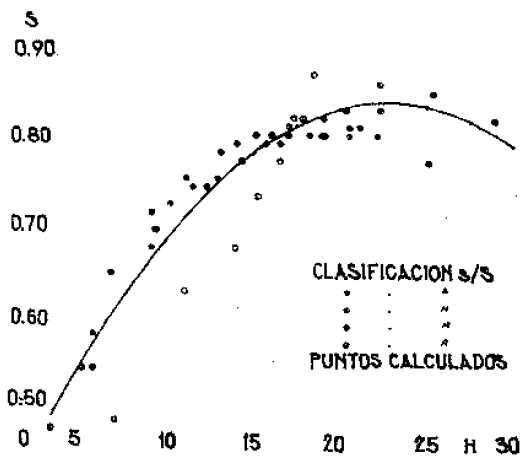


Fig. 8

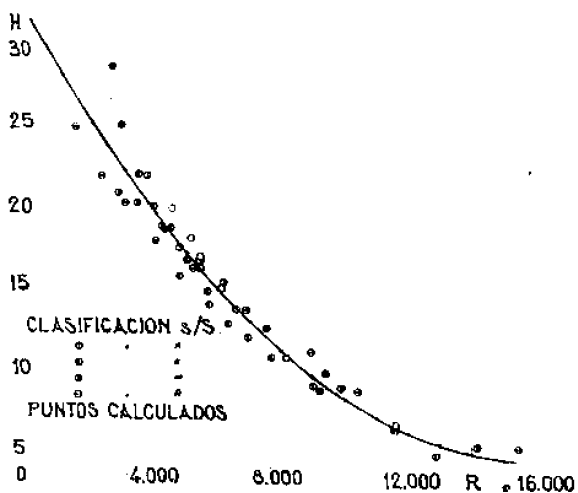


Fig. 9

1.º Que todos los ladrillos que absorben poco agua en frío no absorben mucho más en la ebullición y, en consecuencia, siendo normalmente bajo su coeficiente de saturación, estos productos pueden ser "congelables". Una porosidad en frío de un 10 % da un coeficiente de saturación del orden de 0,76.

2.º Que el coeficiente de saturación no varía casi para todos los productos cuya porosidad en frío se sitúa de 15 a 22-24 %.

3.º Que por encima de 25 % no disponemos de elementos de juicio, pero que es, sin embargo, probable que el coeficiente de saturación sea satisfactorio.

Desde el punto de vista de las relaciones entre la resistencia a la compresión y el valor de la absorción de agua, se verifica —como es lógico— que los productos de gran porosidad son poco resistentes, pero que, una vez que aquélla se hace 5 % o inferior (porosidad determinada en agua hirviendo), la resistencia mecánica aumenta muy de prisa.

Puede, pues, admitirse que, prácticamente, existe una relación lineal entre estas dos características para valores de la resistencia a la compresión comprendidos entre 200 y 700 kg/cm² (valores encontrados según las Normas americanas) y entre 7 y 25 % para la porosidad en agua hirviendo. Estos últimos valores corresponden a porosidades en agua fría de 4,3 a 21,3, aproximadamente.

Lo que acabamos de indicar para las relaciones entre H y R se encuentra en parte para las relaciones que existen entre S, el coeficiente de saturación y R, la resistencia a la compresión: cuanto más se acerca a la unidad el valor de S, peor es la resistencia; esto quiere decir que cuanto mayor sea la proporción de poros abiertos difícilmente penetrables por el agua hirviendo, mayor será la resistencia mecánica, lo cual es lógico. Del mismo modo, un aumento de resistencia a la compresión implicaría una menor resistencia al hielo.

La relación entre R y S es, igualmente, lineal entre 250 y 850 kg/cm².

Los puntos representativos de las relaciones resistencia a la compresión/módulo de

rotura, se sitúan sobre una recta que pasa prácticamente por el origen. Hay, pues, como era de esperar, una proporcionalidad completa entre estas dos características. Las relaciones existentes entre la resistencia a la compresión y las características deducidas de las medidas de absorción de agua pueden extenderse directamente a los valores del módulo de rotura.

* * *

Procediendo como han hecho los autores americanos, hemos agrupado los resultados de que disponemos, que se refieren a 139 muestras representativas de la producción ladrillera belga. La norma NBN 118, aplicada en este caso, sólo lleva consigo la medida de la cantidad de agua absorbida en frío y la resistencia a compresión. Esta se determina sobre dos mitades de ladrillo superpuestas soldadas y refrentadas con mortero de cemento.

El tiempo de inmersión en agua fría es de cuarenta y ocho horas, en tanto que las normas americanas prescriben veinticuatro horas. Es, pues, probable que los valores encontrados para la porosidad por el método belga sean ligeramente superiores a los obtenidos por el método americano, y que esta diferencia será tanto más sensible cuando haya menos poros grandes accesibles inmediatamente. Los puntos representativos de la absorción de agua bajo vacío o por ebullición se situarán, evidentemente, más arriba. Sería interesante conocer el defasaje de las curvas que unen estos puntos con relación a la densidad absoluta, y ello daría una idea de la proporción de poros cerrados o prácticamente inaccesibles al agua fría y al agua hirviendo.

Del mismo modo, los valores encontrados para la compresión por el método americano son, evidentemente, más altos que los obtenidos por el método belga. Esto último parece más normal, puesto que se opera sobre una probeta cuyas dimensiones son más homogéneas y cuya forma es más próxima a la del cubo.

No era, pues, de esperar, "a priori", que haya evidencia entre las curvas trazadas a partir de estos dos grupos de resultados. Sin embargo, hay una analogía o parale-

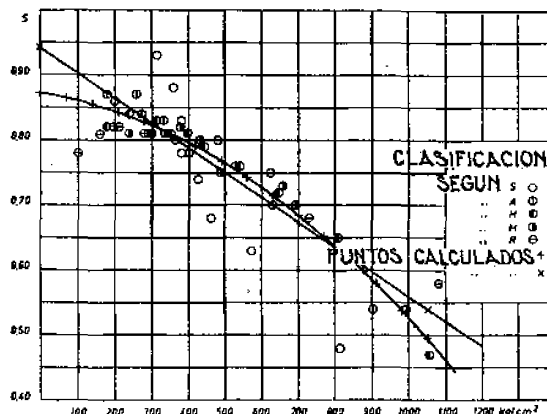


Fig. 10

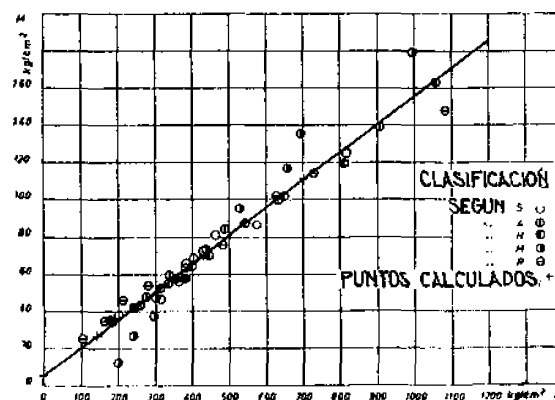


Fig. 11

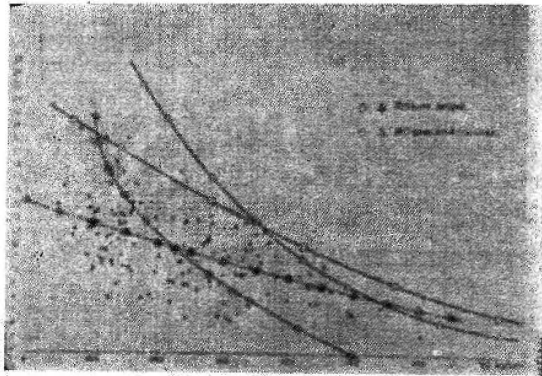


Fig. 12

lismo satisfactorio, como muestra la figura 12, en la que se han representado las curvas correspondientes representativas de los ensayos americanos y de los realizados sobre los ladrillos belgas, obtenidos siguiendo los mismos métodos de cálculo.

Esta última observación nos parece muy alentadora, ya que sobre productos de origen distinto ensayados por métodos análogos, pero no idénticos, encontramos aspectos muy parecidos. Incluso pensamos que llevando las deducciones un poco más lejos, podrían determinarse los coeficientes de equivalencia entre los resultados obtenidos por métodos de ensayo diferentes.

Las ecuaciones que dan la relación entre la porosidad (P) y la resistencia a la compresión (C) de los ladrillos belgas son:

$$P = 0,000004982C^2 - 0,016315C + 15,452$$

$$C = 1,199 \times 403P^2 - 53,149P + 690,830$$

Empleando el mismo método de cálculo, hemos tratado de aprovechar los demás resultados obtenidos sobre este lote de ladrillos.

Como para todas las probetas examinadas poseemos las dimensiones medias y los pesos medios de los ladrillos secos en estufa, tenemos a nuestra disposición, aunque no haya sido previsto por la Norma NBN 118, todo lo necesario para el cálculo del peso específico aparente de 122 muestras.

Como en el caso precedente, los hemos agrupado y ordenado, de una parte, con relación a los pesos específicos, y de la otra, con relación a las porosidades relativas en frío. Es evidente que debería existir una cierta proporcionalidad entre los valores de la absorción de agua en frío y el peso específico aparente.

Para poder ir más lejos, es decir, para calcular la porosidad total y, eventualmente, un segundo coeficiente de saturación al cual hemos hecho alusión anteriormente, hubiera hecho falta disponer, en cada caso, del valor de la densidad real o absoluta de estas 122 muestras, pero éste no ha sido el caso.

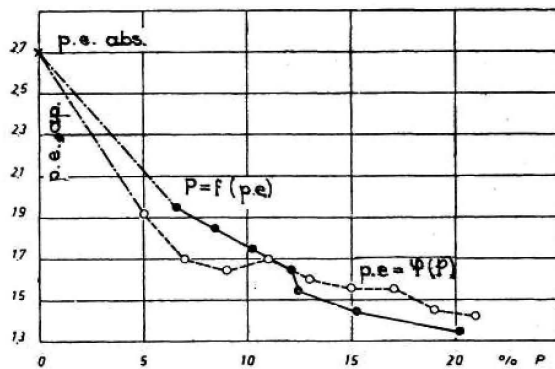


Fig. 13

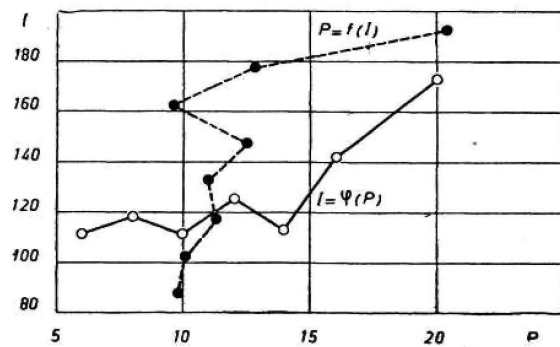


Fig. 14

B. Butterworth ha tenido a bien comunicarnos sus propias determinaciones, de las que resulta que el valor más probable de la densidad absoluta de los productos de esta categoría se sitúa en los alrededores de 2,70. Si este autor ha encontrado valores comprendidos entre 2,61 y 2,88, once determinaciones de veinte han dado valores comprendidos entre 2,69 y 2,72. Los valores superiores a 2,80 pertenecen a ladrillos hechos con tierra que contenían un 20 % de cal, lo cual es bastante excepcional (5).

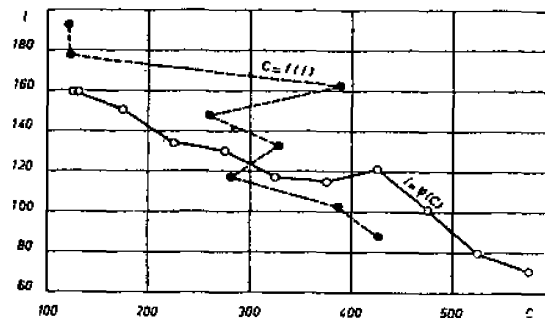


Fig. 15

El diagrama (fig. 13) sobre el que hemos referido estas medidas y el valor más probable citado por B. Butterworth, tenderían a confirmarnos que sería interesante activar este estudio y confrontar los valores obtenidos para los pesos específicos absolutos y aparentes, con los pesos de agua absorbidos en frío, en agua hirviendo y con vacío. Quizás podrían utilizarse otros líquidos distintos del agua o añadir a ésta agentes de mojado. Estos ensayos son muy simples de realizar y no necesitan aparatos costosos o complicados.

Disponiendo de estos datos complementarios, se podría ver si concuerdan con las demás características, comprendiendo el aislamiento térmico y fónico.

La última característica, determinada de acuerdo con la Norma NBN 118, se refiere al valor de la ascensión capilar. Nosotros hemos ya expresado nuestra opinión sobre este punto: las condiciones de ensayo tal como se definen en esta norma caracterizan un umbral, puesto que las medidas se hacen después de tres horas. Para un gran número de probetas, la altura de la ascensión es igual, por lo menos, a la del ladrillo, lo que elimina todo valor cuantitativo en esta determinación para estas probetas.

Ya hemos señalado que, además de la altura alcanzada por el agua, sería interesante conocer el peso de agua absorbido sólo por el efecto capilar en función del tiempo. De tal ensayo, hecho aplicable a todas las categorías de ladrillos, podrían deducirse dos datos complementarios, expresados en altura y pesos, que están probablemente en relación directa con el tipo de porosidad: una curva que da la velocidad de ascensión y la altura límite de ascensión define un estado de equilibrio. No sería difícil de poner a punto un sistema de pesada continua. A fin de evitar un "empapamiento" máximo local, el contacto agua-ladrillo debería hacerse por medio de una materia porosa—filtro, papel de filtro, etc.—, y una unión similar podría emplearse para las juntas entre los ladrillos colocados uno al lado de otro. Este ensayo debería hacerse bajo campana para evitar una evaporación parásita, y como en el caso precedente, con objeto de poner en juego el factor "tensión superficial", podría recurrirse al empleo de otros líquidos.

Hemos agrupado algunos resultados de los que disponemos y los hemos ordenado como en los casos precedentes con relación a los valores correspondientes de las porosidades relativas en frío y de las resistencias mecánicas. Nos limitaremos a reproducir estas curvas (figs. 14 y 15) y a señalar que su configuración, quizás por el número de valores relativamente reducido que representa, no autoriza comentario constructivo alguno.

* * *

Aunque no atribuyamos a este trabajo una importancia particular, nos permitirá, sin embargo, llamar la atención de los investigadores sobre los siguientes puntos:

a) Cada vez que se presente la ocasión, es interesante coordinar los resultados de los ensayos para explotarlos en su conjunto y determinar leyes o simples relaciones que puedan existir entre las características determinadas. Evidentemente, estas comparaciones no pueden hacerse más que sobre determinaciones comparables.

b) El conocimiento de estas leyes, de estas relaciones, es indispensable para la redacción de especificaciones, normas o pliegos de condiciones.

c) Para precisar estas leyes o estas simples relaciones es necesario que todos aquellos que realizan ensayos ayuden a determinarlas, poniéndolas a disposición de un Organismo centralizador cuya misión sea coordinarlas y explotaras estadísticamente; esto concierne tanto a los usuarios como a los fabricantes y laboratorios de ensayo.

Con la acumulación y estudio del mayor número posible de resultados, es cómo podrá deducirse una idea de la legitimidad de lo que nos proponemos hoy día.

* * *

En otro orden de ideas, llamaremos la atención sobre la necesidad que hay de conocer mejor *físicamente* los materiales que empleamos. Nuestras preocupaciones en este sentido se han condicionado casi exclusivamente por las de los ingenieros promotores de estos estudios y por la aplicación, no siempre muy estudiada, de los métodos de ensayo más simples, más directos, sin que nos preguntemos sobre su significación práctica. ¿Estamos seguros que no imponiendo a los ladrillos corrientes más que los valores relacionados con la absorción de agua y la resistencia a la compresión, somos capaces de precisar lo que es o debe ser un buen ladrillo?

Sólo después del poco tiempo que se lleva teniendo interés por el estudio cualitativo de la porosidad de los productos cerámicos, se sabe muy bien que ésta condiciona varias de sus características. Si hay interferencia entre diversas propiedades fundamentales, todavía falta por saber cuáles son realmente. La medida de la resistencia a la compresión no es más que la resultante compleja de un conjunto de factores que estamos lejos de conocer y dominar. Este ensayo de compresión es el tipo de determinaciones cómodas que responde a las preocupaciones inmediatas del ingeniero.

Yo cada vez estoy más convencido que en muchos campos entramos en un periodo que no será del ingeniero, sino más bien del físico. En el caso que nos ocupa creo necesario llamar la atención sobre la obligación que hay de revisar ciertos conceptos sobre el comportamiento y ensayo de materiales, basándonos sobre el estudio físico profundo de las condiciones que los rigen. Es preciso buscar las causas responsables de sus propiedades y no sólo retener su aspecto directamente accesible. Este estudio, que en muchos casos debería empezarse en cero, exige que se haga tabla rasa sobre lo que se ha admitido como verídico hasta la fecha. El trabajo a tomar es largo, delicado y difícil.

En el fondo, las fórmulas empíricas, los índices de calidad, no son más que un intento de expresar estas leyes. Estas fórmulas muestran nuestra impotencia en despejar, en expresar los factores físicos que, sin embargo, existen y son responsables. Hay un amplio campo de exploración para los laboratorios de investigación, campo que será poco espectacular en sus principios, pero que será determinante a continuación.

Existe otro medio de hacer progresar nuestros conocimientos, y ya lo he citado: es la explotación sistemática de los resultados suministrados por los estadísticos. No se trata más que de resultados comparables y esta explotación sólo será productiva si los resultados examinados no tienen en cuenta más que un número de variables pequeño. Ya se han obtenido resultados muy útiles en este sentido, en escala industrial. Estos trabajos, que se han hecho muy simples gracias a la mecanización, han permitido poner en evidencia el papel de ciertos factores que, de otro modo, quedarían apagados en la masa informe de resultados. Todavía se desprecian muy a menudo las posibilidades que ofrece la explotación racional de los métodos estadísticos.

Cada vez que puedan conducirse simultáneamente, en los productos fabricados, el estudio físico de las propiedades y la explotación estadística de los resultados obtenidos, se desembocará en una doctrina válida y útil.

Puesto que esta exposición se refiere a los productos de tierra cocida, yo quería proponer que un organismo tal como el T. B. E. se encargase de reunir el mayor número posible de resultados de ensayos en el país y que estos resultados pasen por la criba de un estudio estadístico análogo al que han realizado nuestros colegas americanos. Esto nos permitiría, antes de proseguir adelante, discernir mejor las relaciones eventuales que pueden existir entre las características de estos productos, poder definir las, tenerlas en cuenta al establecer normas y precisar las equivalencias entre los distintos métodos de ensayo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) "Bull. Soc. Franç. Céram.", 1953 (20), 19-25; 1955 (26), 2-8; "Bull. de l'A. B. E. M.", núm. 9, 1954; "Silicates Industriels", octubre y noviembre 1953.
- (2) "Trans. Am. Cer. Soc.", 1952, número de diciembre, 304-18.
- (3) "An. Bât. et T. P.", núm. 74, febrero 1954 (núm. 11, serie "Matériaux").
- (4) "Bull. de l'A. B. E. M.", núm. 11, 1943.
- (5) "Trans. Brit. Cer. Soc.", 45, 177-205, 1946.