

# EL LADRILLO, EL MORTERO Y EL MURO

Por FRANCISCO ARREDONDO,

Ingeniero de Caminos.

*Estudia el autor los componentes de un muro de ladrillos y su comportamiento como conjunto y da cuenta de una numerosa serie de ensayos efectuados para determinar la influencia del aparejo, de la calidad del mortero y del espesor de la junta en la resistencia del muro.*

Los laboratorios de ensayo mejoran sus técnicas de día en día, porque los técnicos acuden a ellos cada vez con más frecuencia para conocer, *a priori*, las características de todo orden de los elementos de la obra por ellos concebida.

No podemos decir que sean heterogéneos los objetos que maneja el laboratorio y los que nos impone la realidad, pero no cabe duda que la cifra que da el laboratorio como resultado de unos ensayos no la podemos aceptar si no es debidamente interpretada.

Esta interpretación puede dar lugar a dudas, y para eliminar esas dudas podemos recurrir al ensayo de elementos más o menos completos de estructuras. Más que el análisis micrográfico de la parte vítrea de un clinker de cemento y el examen mineralógico de la arcilla con que se han fabricado unos ladrillos, interesa al proyectista conocer la resistencia de un muro-probeta para conocer las sobrecargas que puede soportar una estructura.

El ensayo de estos elementos tiene la ventaja de que se introducen análogos rozamientos, uniones, zunchados, etc., a los que ha de haber en determinadas partes de la obra ya construidas.

Además, es posible que dos ladrillos distintos tengan la misma resistencia a compresión cuando se ensayan separadamente, y en obra se comporten de forma distinta, por ejemplo, porque por tener distinto grueso sea distinto el número de juntas.

Pero no siempre es fácil realizar estos ensayos en muros. Puede interesar conocer la resistencia que puede esperarse de un muro en función de las resistencias de los ladrillos y del mortero empleados en su construcción, que son mucho más fáciles de determinar.

Nada puede hacer el proyectista para variar la calidad de los ladrillos. Son materiales fabricados en serie y facilitados por la industria en forma tal, que nada se le puede variar, excepto la forma, en ciertos casos.

El mortero es completamente distinto. Ya tenemos en la mano la naturaleza y cantidad del aglomerante, la granulometría del árido y hasta cierto punto su calidad.

La adición de cal, ordinaria o hidráulica, al cemento Portland mejora la docilidad del mortero, pero hace descender su resistencia.

Según Feret, la máxima compacidad de un mor-

tero da lugar a la máxima resistencia. Por tanto, se tendrá que verificar que el total de huecos que dejan entre sí los granos del árido sea lo menor posible, así como también deberá ser mínima la superficie total de los granos. La superficie total de los granos de una cantidad determinada de arena será tanto más grande cuanto menor sea el diámetro de dichos granos. Debemos utilizar, por tanto, los mayores granos que nos permita la obra. El diámetro mayor que generalmente se emplea es la mitad del grueso de la junta, ya que si empleamos granos de mayor tamaño, aparte de las dificultades lógicas para rellenar las juntas verticales, se pueden originar en las juntas horizontales concentraciones de tensiones que conduzcan al ladrillo a la rotura antes de agotada la capacidad resistente del muro.

La resistencia del muro está confiada al binomio ladrillo-mortero. Pero la participación de cada uno de estos componentes en la resistencia no es independiente; existe una ligazón entre ellos que les obliga a trabajar juntos.

Al someter a compresión a un muro, sufre un acortamiento en la dirección de la compresión y una dilatación en las direcciones perpendiculares a aquella. Por efecto de la desigualdad de deformabilidad del ladrillo y del mortero y de la adherencia entre ambos, se originarán tensiones de tracción y cortantes, además de la compresión impuesta en el conjunto.

Se produce así un efecto de zunchado que favorece la resistencia del muro en forma tal, que Ros y Eichinger estiman que, para un buen mortero, la compresión principal se ve aumentada en 4.1 veces la compresión transversal.

La magnitud de las tensiones en todas direcciones depende, naturalmente, de los módulos de Young y de Poisson del ladrillo y del mortero.

De los numerosos ensayos realizados en todo el mundo se deduce que la resistencia del muro puede ser mayor o menor que la del mortero, pero siempre es menor que la de los ladrillos.

Teniendo en cuenta este efecto debilitador del mortero y la adherencia y diferencia de deformaciones antes citadas, parece que para cada resistencia de ladrillo habrá una resistencia de mortero que proporcionará al muro la mayor resistencia.

En una publicación de marzo de 1955, de la Building Research Station, se dice que, generalmen-

te, los morteros que proporcionan la máxima resistencia son:

- a) Para ladrillos de 100 Kg./cm.<sup>2</sup>: mortero de una parte de cemento, dos partes de cal y nueve de arena.
- b) Para ladrillos de 200 a 280 Kg./cm.<sup>2</sup>: mortero de una parte de cemento, una parte de cal y 6 de arena.
- c) Para ladrillos de 550 Kg./cm.<sup>2</sup>: mortero de una parte de cemento y tres partes de arena.

Gráficamente esta otra fórmula:

$$R_M = \frac{R_l (4 + 0,1 R_m)}{16 + 3 (h : d)} + K :$$

en la que  $h : d =$  altura : espesor de la probeta, y  $K = 10$  Kg./cm.<sup>2</sup> para un muro bien ejecutado, con juntas de 10 mm.; por defecto de ejecución,  $K$  puede ser menor e incluso negativo.

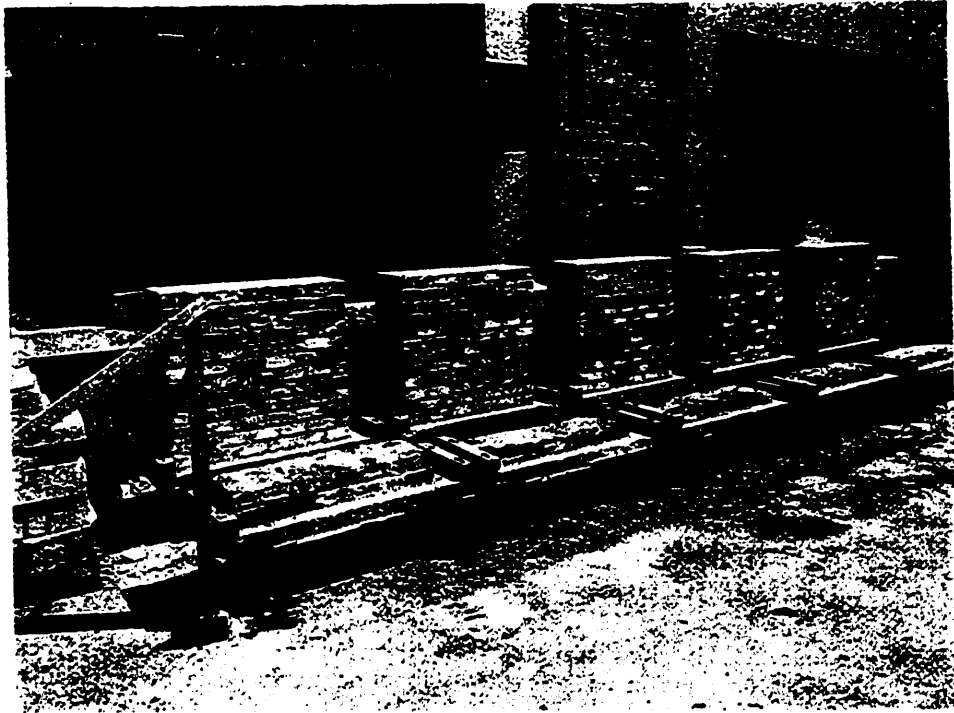


Figura 1.ª

Todas estas partes en volumen.

Pero la resistencia del muro no depende sólo de las resistencias del ladrillo y el mortero, sino también de una serie de factores tales como el espesor de las juntas, las irregularidades de las superficies, el tamaño máximo del árido del mortero y la retracción de éste, la magnitud y disposición de las perforaciones del ladrillo, el aparejo, la calidad de la mano de obra, etc.

Por tanto, las curvas que nos ligan las tres cifras:  $R_M =$  resistencia del muro.  $R_m =$  resistencia del mortero, y  $R_l =$  resistencia del ladrillo, se aproximarán a la realidad, pero tendrán errores debidos a todos estos factores que acabamos de señalar. Haller da la siguiente fórmula, donde todas las  $R$  están medidas en Kg./cm.<sup>2</sup>:

$$R_M = (\sqrt{1 + 0,15 R_l} - 1) (8 + 0,057 R_m).$$

En el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento hemos llevado a cabo una amplia serie de ensayos para determinar la influencia de algunas variables en la resistencia del muro. Las variables fueron: el aparejo, el espesor de la junta y la dosificación del mortero.

Se operó con dos aparejos de medio pie y siete de un pie. Las probetas correspondientes a los primeros tenían el ancho de tres ladrillos a soga y la altura de nueve hiladas. Los de aparejos de un pie tenían el mismo ancho y altura de doce hiladas.

Se emplearon llagas de 5, 10 y 15 mm., y morteros de cemento Portland 1:5, 1:6,4, 1:8,25 y 1:11,3.

Los ladrillos eran del mercado, rechazando aquellos cuyas caras presentaban alabeos superiores a 4 milímetros, y cuyos cantos tuvieran curvaturas de más de 3 mm. de flecha, considerándose como tales

las producidas por inclusiones o adherencias que no podrían desprenderse con la paleta.

Todos los ladrillos que se emplearon eran de la misma procedencia y se ensayaron según la norma UNE 7.059.

La media de las resistencias de los diez ladrillos ensayados es 198,2 Kg./cm.<sup>2</sup>.

El cemento empleado en la confección del mortero de las juntas era todo de la misma procedencia y cumplía las condiciones fijadas para su recepción en el pliego oficial vigente.

En todos los ensayos se utilizó arena de miga de la normalmente usada en Madrid.

El resultado de los ensayos en mortero es el siguiente:

Mortero	Compresión Kg./cm. <sup>2</sup>
1:5	116
1:6,4	87
1:8,25	59
1:11,3	44

Las cifras anteriores, con media de seis probetas de 4 × 4 × 16 cm.

Con objeto de lograr una esmerada ejecución, así



Figura 2.ª

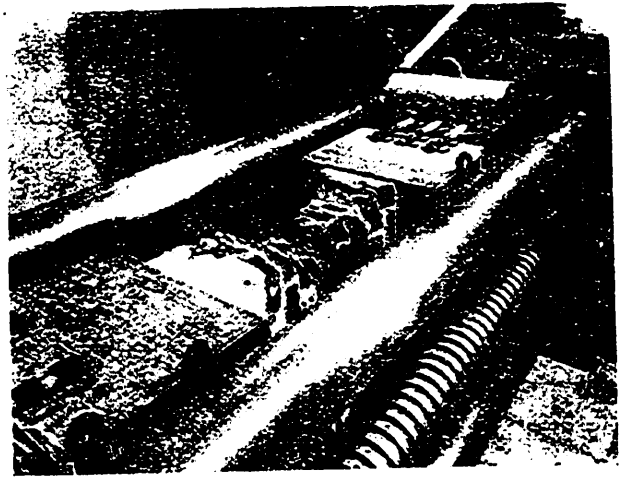


Figura 3.ª

como la mayor semejanza posible entre las diferentes unidades que se habían de ensayar, se construyeron las probetas como si se tratara de un muro continuo (figura 1.ª), colocando cada una sobre un bastidor de madera para facilitar su transporte, manipulación y colocación en la prensa.

Un bastidor análogo se colocaba en la parte superior, sujetándose ambos con unos pasadores, para la colocación de la probeta en la prensa, ya que, por ser ésta horizontal, había que girar las probetas 90° con el dispositivo que puede verse en la figura 2.ª.

Una vez colocada la probeta en la prensa, se retiraban los bastidores y se daba presión hasta rotura que, generalmente y salvo rarísimas excepciones, tenía lugar en la forma canónica que muestra la figura 3.ª.

Se ensayaron en total 133 probetas y el cuadro que se incluye en la página siguiente, indica las medias aritméticas de los resultados de los distintos ensayos, en Kg./cm.<sup>2</sup>.

Estudiando detenidamente las líneas horizontales del cuadro, puede concluirse que el aparejo tiene una influencia despreciable, pues si bien se encuentran algunas anomalías, tienen en todo caso justificación.

Así, en el ensayo realizado con mortero 1:5 y llaga de 15 mm., la cifra correspondiente al aparejo número 7 es un poco baja porque alguna de las probetas estaba mojada cuando se rompió.

Lo mismo ocurre con la cifra del aparejo 9 del ensayo realizado con mortero 1:5 y llaga de 10 milímetros, y con el aparejo 1 del ensayo realizado con mortero 1:5 y llaga de 5 mm.

A esta misma conclusión de la influencia despreciable del aparejo llega Honigmann, de Viena, ensayando pilares de 51 × 25 × 200 cm.

Para un mismo tipo de ladrillos, la influencia de la calidad del mortero se manifiesta en una dismi-

Mortero	Llaga mm.	A P A R E J O S								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1:5	15	45,90			58,43		59,47	37,34		
	10	64,43	63,91	62,53	65,80	67,36	64,03	65,20	63,81	52,84
	5	49,91			58,11		69,57	66,71		
1:6,4	10	37,97	42,25	41,71	33,22					
	15				36,60					
1:8,25	10				37,96					
	15									
1:11,3	10				47,14					

nación de la resistencia al bajar la calidad, como era de esperar. Esto es natural, pues si, como queda dicho, el mortero es precisamente el elemento débil

del conjunto, su acción perturbadora se hará más patente si su resistencia disminuye.

Según esto, también es lógico el aumento de la resistencia de la fábrica al disminuir la junta, ya que será menor la participación del mortero en el conjunto, y, en efecto, así ocurre: la resistencia del muro aumenta al disminuir el espesor de la llaga.

Como dijimos anteriormente, no se puede fijar una junta finísima sistemáticamente, pues las irregularidades de la superficie de los ladrillos, el posible alabeo de los mismos y las dificultades de mano de obra, exigen un mínimo de espesor que debe conjugarse con la necesidad de un reducido espesor para conseguir la resistencia deseada.

Tampoco puede extrapolarse, pues llegaríamos a la conclusión de que el óptimo era un muro sin llaga, lo cual es a todas luces absurdo, porque, aparte de que existe la necesidad de un elemento de unión entre los ladrillos que forman el muro, las irregularidades de sus superficies conducen a unas concentraciones de tensiones que originarían su prematura rotura.

Como resumen puede decirse que los resultados de los anteriores ensayos con llaga de 10 mm., se adaptan con bastante aproximación a la fórmula de Haller (fig. 4.<sup>a</sup>) mejor que a ninguna otra, si bien cada recta de la figura debería venir acompañada de otras dos, una por encima y otra por debajo, que nos dieran las resistencias para llagas de 5 y 15 milímetros.

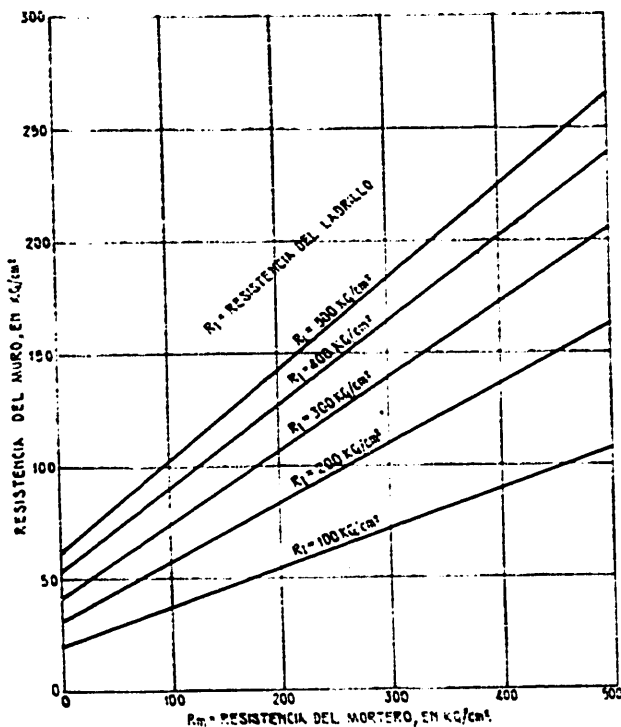


Figura 4.<sup>a</sup>