

LA RESISTENCIA DE LOS MUROS DE LADRILLO

F. ARREDONDO
INGENIERO DE CAMINOS

MONOGRAFIA DEL INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO NUMERO 173 PAG. 11 AL 15.

EL MURO.

En la resistencia del muro toman parte decisiva los dos componentes que hemos citado anteriormente: el ladrillo y el mortero.

Pero la participación, en la resistencia, de estos elementos no es independiente; hay una ligazón entre ellos que, como veremos más adelante, obliga a emplear un mortero determinado cuando se utilizan ciertos ladrillos y, si no lo hacemos, desperdiciamos parte de la capacidad resistente de uno de los dos materiales.

Desde que en la más remota antigüedad empezaron a construirse muros hasta el día de hoy, no ha habido variación apreciable en sus líneas generales: juntas de asiento perpendiculares a la dirección de la carga impuesta y juntas paralelas a la carga no coincidentes en las hiladas sucesivas.

Cuando un cuerpo se somete a compresión, sufre un acortamiento en la dirección de las fuerzas que actúan sobre él y una dilatación en las direcciones perpendiculares a aquélla.

En el muro también se verifican estos fenómenos y no nos preocuparíamos de ellos si se trata de un cuerpo homogéneo, o si, siendo como es heterogéneo, se produjeran por igual en ambos elementos: ladrillo y mortero. Pero esto sería una casualidad. En general, presentarán una deformabilidad desigual y, entonces, mientras uno de los elementos tiende a dilatarse perpendicularmente a la fuerza exterior que actúa sobre el muro, se encuentra impedido de hacerlo libremente por su adherencia con el otro elemento y, debido a esta adherencia, ambos tendrán que dilatarse en igual medida, originándose, entonces, tensiones de compresión, tracción y cortante en el conjunto.

Queda el muro, pues, sometido a sollicitaciones en las tres dimensiones y la magnitud de las tensiones depende de la naturaleza y características de los materiales empleados, es decir, de los módulos de

Young y Poisson del ladrillo y del mortero.

Por el mecanismo que acabamos de indicar tiene lugar 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.

Esto que parece una casualidad, aprovechable y que trabaja a nuestro favor, no lo es y tiene, por el contrario, un gran interés para el diseño de nuevos tipos de bloques cerámicos, ya que prestando un poco de atención a la forma y perforaciones de modo que aumente la resistencia transversal, aumentaremos considerablemente la resistencia del muro.

De los numerosos ensayos realizados puede deducirse que la resistencia del muro puede ser mayor o menor que la del mortero empleado, pero siempre es menor que la de los ladrillos.

Parece esto indicar que debemos extremar las precauciones con el mortero ya que, a pesar de su innegable necesidad, es el elemento perturbador que hace perder resistencia a su aliado —el ladrillo— en la tarea común de resistir una carga dada.

Si utilizamos ladrillos unidos con un mortero de resistencia baja, aquéllos sufrirán esfuerzos de tracción, debidos a la desigualdad de dilatación transversal, y la resistencia a la compresión del conjunto aumentará notablemente cuando se aumente la resistencia del mortero.

Por el contrario, si la resistencia de los ladrillos es menor que la del mortero, es en éste donde se desarrollarán los esfuerzos de tracción que, al llegar a una magnitud determinada, harán que se fisure. En este momento cesa bruscamente el efecto de zunchado, del que hablamos antes, y el ladrillo, que primeramente se hallaba sometido a compresión en dirección perpendicular a la carga, se encuentra de repente sometido a tracción, en las inmediaciones

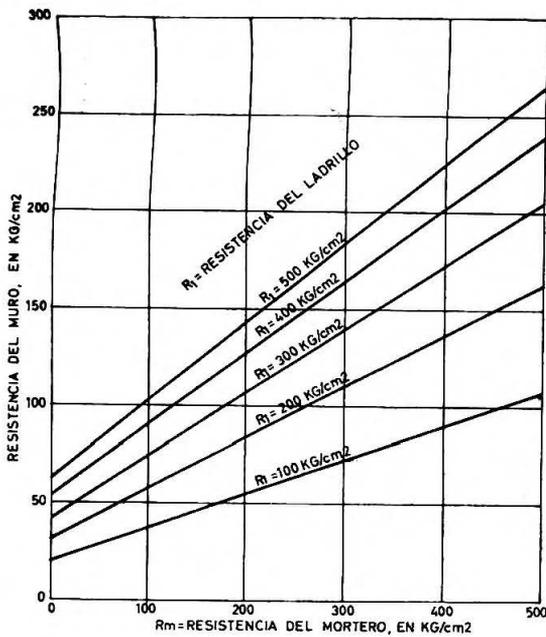


FIG. 3 - 1

de la fisura del mortero, y se fisura a su vez.

Honigmann ha observado que, cuando la resistencia del mortero se multiplica por 67, la resistencia del mundo aumenta tan sólo en un 100% cuando se utilizan ladrillos poco resistentes. Es decir, en este caso la resistencia del mortero tiene una influencia relativamente débil, y ello es natural porque en el mortero endurecido, que tiene con relación al ladrillo un módulo de elasticidad demasiado alto o demasiado bajo, se producen, debido a las asperezas de su superficie concentraciones de tensiones que conducen a una rotura antes de que se haya alcanzado la carga de agotamiento a compresión.

Naturalmente que utilizando un mortero de alta resistencia, la resistencia de éste a tracción se opone al efecto destructivo de las irregularidades de superficie produciendo el zunchado perpendicular a la compresión, pero no interesa utilizar un mortero con un módulo de elasticidad que difiera mucho del módulo de elasticidad del ladrillo.

Por regla general, para cada resistencia de ladrillo habrá una resistencia de mortero correspondiente que proporcionará al muro la mayor resistencia.

En una publicación de Marzo de 1955, de la Building Research Station, se dice que generalmente los morteros que proporcionan la máxima resistencia son:

a) Para ladrillos de 100 kg/cm²: mortero de una parte de cemento, dos partes de cal y nueve de arena.

b) Para ladrillos de 200 a 280 kg/cm²: mortero de una parte de cemento, una parte de cal y seis partes de arena.

c) Para ladrillos de 550 kg/cm²: mortero de una parte de cemento y tres partes de arena.

Todas estas partes en volumen.

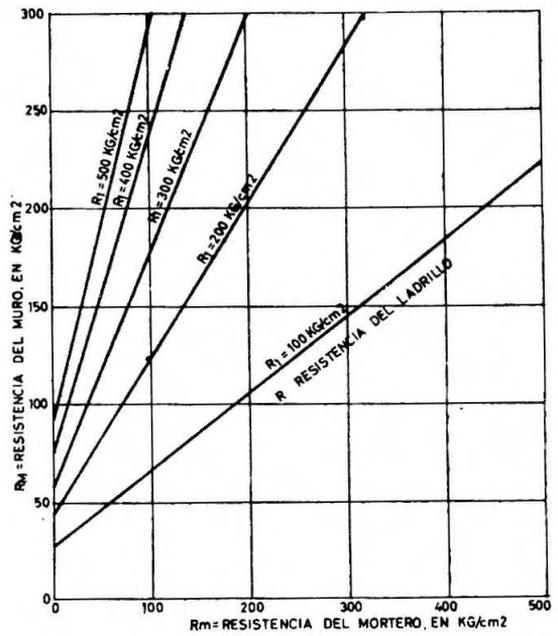
Como hemos visto anteriormente, el muro se romperá por la rotura a tracción del ladrillo, dependiendo la tensión de rotura a compresión de la tensión transversal, que, a su vez, depende de las dimensiones del ladrillo, del espesor de las juntas y de los módulos de Young y de Poisson de los dos materiales.

Es muy difícil determinar estos módulos en rotura o próximos a ella y no es lícito extrapolar hasta rotura las determinaciones hechas en un estado prácticamente elástico. Esto nos impide calcular con exactitud la tensión transversal y, por tanto, la resistencia del muro. Hay, pues, que acudir a los ensayos de laboratorio.

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

Por tanto, las curvas que nos ligen las tres cifras R_M = resistencia del muro, R_m = resistencia del mortero y R_l = resistencia del ladrillo, se aproximarán a la

FIG. 3 - 2



realidad pero tendrán errores debidos a todos estos factores que acabamos de se-

ñalar. Haller da la siguiente fórmula:

$$R_M = (\sqrt{1 + 0,15 R_l} - 1) (8 + 0,057 R_m) \text{ kg/cm}^2,$$

que está representada en la figura 3-1 y de la que afirma que de 24 ensayos, tan sólo en cuatro la diferencia entre el resultado del ensayo y el valor dado por la curva era mayor del 30%. Graf da esta otra fórmula:

$$R_M = \frac{R_l (4 + 0,1 R_m)}{16 + 3 (h : d)} + K \text{ kg/cm}^2,$$

en la que $h : d$ = altura : espesor de la probeta y $K = 10 \text{ kg/cm}^2$ para un muro bien ejecutado, con juntas de 1 cm; por defectos de ejecución, K puede ser menor e incluso negativo. Su representación, en la figura 3-2.

Es curioso observar en las dos figuras anteriores que para una resistencia nula del mortero, el muro ofrece una resistencia apreciable. Es decir, con un lecho de arena en las juntas, sin aglomerante ninguno, se consigue teóricamente una resistencia. Y decimos teóricamente, porque esto ocurre cuando se ensaya el muro en una prensa. En la realidad, independientemente de los fenómenos de pandeo que pueden producirse, al cargar el muro la arena se saldría de las juntas dando lugar a asientos de tal magnitud que prohíbe absolutamente dicha solución, eminentemente teórica.

Hay dos factores que tienen gran importancia en la resistencia del muro: el aparejo y la altura.

Las juntas paralelas a la dirección de la carga no pueden admitir ni transmitir ningún esfuerzo apreciable; constituyen, pues, un punto débil en el conjunto. Esto se comprueba experimentalmente, pues las primeras fisuras aparecen precisamente sobre dichas juntas. Merece la pena tomar precauciones a este respecto. Por una parte, las juntas de asiento deben ser lo menor posible en beneficio de la resistencia de la fábrica. Por otra, los ladrillos alabeados o los de superficie con muchas desigualdades exigen una junta amplia para evitar concentraciones de esfuerzos. Así, pues, hay que llegar a un compromiso entre estas variables, de modo que se obtenga la mayor resistencia en el muro.

La altura tiene una influencia, debida a la zona de acción del frotamiento de las placas de la prensa de ensayo. Se ha comprobado que pilares de 3 m de longitud y sección de $38,6 \times 52,8 \text{ cm}$ tienen una resistencia que es un 70% de la que tienen otros pilares de la misma sección y 1 m de altura.

Según Haller, para un muro construido correctamente no existe peligro de pandeo si $h : d < 10$.