

## Maximum values of deformation associated with the structural collaboration of the brick masonry

Rubén Darío Cano Marín<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación TEP 018. Universidad de Sevilla. [rubendariocano@gabinete-rdc.com](mailto:rubendariocano@gabinete-rdc.com)

### ABSTRACT

El comportamiento de un edificio frente a un movimiento diferencial de la cimentación dependerá entre otros factores de la rigidez relativa cimentación-estructura-albañilería, de tal modo edificaciones con la rigidez suficiente tenderán a sufrir giros que evitarán deformaciones impuestas en la estructura, y por consiguiente la aparición de daños en la obra secundaria.

Se plantea en la presente comunicación un método para determinar los valores de distorsión angular asociados a la fisuración de los paramentos de albañilería, momento a partir del cual los movimientos diferenciales habrán dado lugar a deformaciones impuestas en la estructura.

*Keywords: differential movement, brick masonry, angular distortion, cracking.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La distorsión angular derivada del movimiento diferencial de la cimentación afecta de un modo más severo a los paramentos verticales de una edificación, particiones, medianeras y cerramientos, debido a que la inercia de estos elementos resulta siempre muy superior a la de la estructura, como consecuencia de la rigidez asociada a la relación longitud/altura.

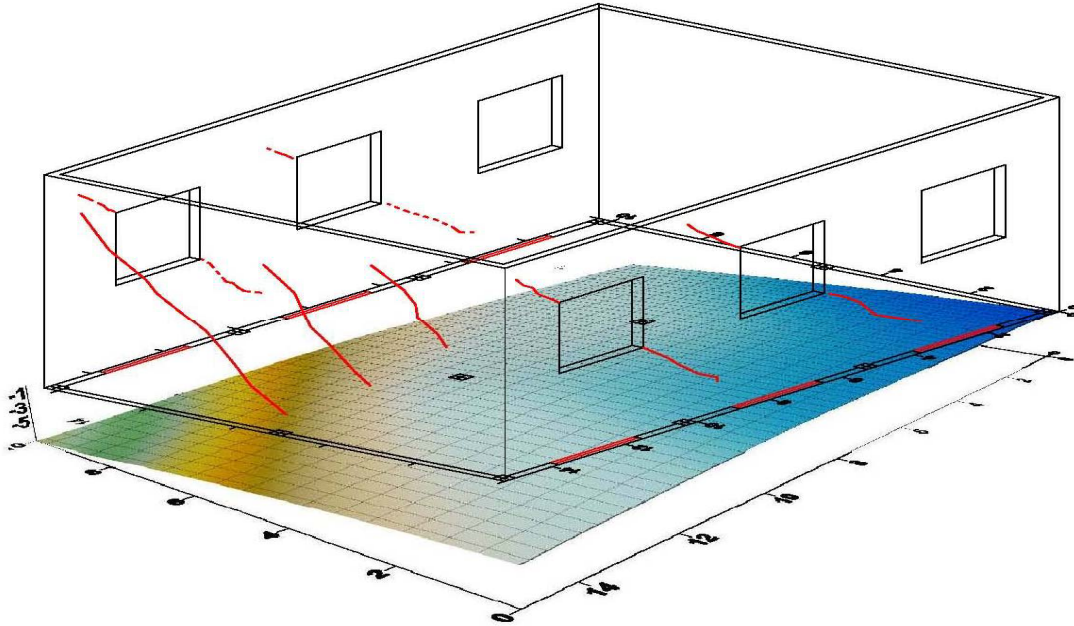
Antes de su fisuración los paramentos verticales soportan parte de la tensión derivada de la deformación impuesta, sin embargo en el momento de su fisuración trasladan dichos esfuerzos a la estructura.

Una vez figurados los paramentos verticales podrá volver a asumir tensiones frente a un incremento de la deformación de la estructura, lo que daría lugar a una nueva distribución de esfuerzos en la albañilería que generalmente implicará la agravación de las fisuras y grietas existentes.

Por lo anteriormente expuesto cuando un movimiento diferencial ha dado lugar a distorsiones angulares en la estructura, previamente habrá provocado daños por fisuración en las particiones interiores de la edificación.

Por tanto para deducir el comportamiento de una edificación frente a este tipo de efectos, resultará necesario contrastar al menos dos tipos de lecturas, una medición de los movimientos diferenciales experimentados y un levantamiento de los daños en la obra secundaria, Cano Marín, R.D., et al (2014)

[1], con objeto de establecer de forma aproximada dónde y cómo se producen las deformaciones asociadas a un movimiento de la cimentación.



**Figura 1.** Caso propio de estudio. Nivelación topográfica y levantamiento de daños

Con objeto de delimitar las distorsiones asociadas a la fisuración de los paramentos verticales, y por tanto el momento a partir del cual la estructura asume la totalidad de los esfuerzos derivados de un movimiento diferencial, se plantea a continuación un procedimiento de cálculo que permitirá relacionar dichos valores de distorsión con la resistencia a cortante del paramento.

## 2. DESARROLLO DE CÁLCULO

Según Tena, A., Miranda, E. (2003) [2], la deformación total que resiste un elemento de mampostería sometido a deformaciones impuestas será la suma de la deformación resistida por cortante y la deformación resistida por flexión según la expresión siguiente:

$$\delta_T = \delta_c + \delta_f \quad (1)$$

Considerando la deformación en función de la longitud del paño "L", tendremos que la distorsión angular máxima admisible antes de la fisuración será:

$$\frac{\delta_T}{L} = \frac{\delta_c}{L} + \frac{\delta_f}{L} \quad (2)$$

Donde:

Deformación por cortante

$$\delta_c = \alpha \frac{V_\delta \cdot L^3}{E \cdot I} \quad (3)$$

Deformación por flexión

$$\delta_f = \frac{V_\delta \cdot L}{A \cdot G} \quad (4)$$

Siendo

|            |  |
|------------|--|
| $A$        | Área de la flexión   |
| $I$        | Inercia de la sección del cerramiento $I = B \cdot H^3 / 12$   |
| $G$        | Módulo de rigidez del cerramiento o elasticidad a cortante.  |
| $E$        | Módulo de elasticidad secante instantáneo.   |
| $V_\delta$ | Esfuerzo cortante  |
| $\alpha$   | Coficiente que depende de las restricciones a las deformaciones de los extremos, y que consideramos igual a 1 como empotramiento perfecto. |

La normativa NBE-FL-90 (1990) [3] considera que si la fábrica no está sometida a tensiones de compresión, como podrían ser las procedentes de las cargas gravitatorias transmitidas por el forjado al paramento, siendo la deformación de la pieza el único esfuerzo actuante, podemos considerar que la máxima tensión a tracción en la fábrica es igual a la tensión de cortante  $\tau$ , lo que depende del esfuerzo a cortante al que se ve sometida y del área de la sección, según la expresión siguiente:

$$\sigma' = \tau = \frac{V_\delta}{A} \quad (5)$$

Por otra parte para que se produzca la fisuración en el elemento de mampostería la tensión de cortante  $\tau$  debe ser igual o superior a la resistencia a cortante  $f_{vk}$ .

Como pretendemos conocer la resistencia de la estructura ante una deformación, consideramos que la tensión de cortante será igual a la resistencia a cortante de la fábrica,  $\tau = f_{vk}$ .

Despejando el valor del esfuerzo a cortante  $V_\delta$  tendremos:

$$V_{\delta} = A \cdot f_{vk} \quad (6)$$

Sustituyendo el valor anterior en las expresiones de la deformación por cortante y flexión tendremos que la máxima deformación admitida por el paramento para dichos esfuerzos:

Deformación por cortante

$$\delta_c = 12 \cdot \frac{f_{vk} \cdot L^3}{E \cdot H^2} \quad (7)$$

Deformación por flexión

$$\delta_f = \frac{f_{vk} \cdot L}{G} \quad (8)$$

La suma de ambas expresiones en función a la longitud L del paramento será la distorsión angular asociada a su fisuración, Cano Marín R.D. (2013b) [4], según la expresión siguiente:

$$\frac{\delta_T}{L} = f_{vk} \left[ \frac{12}{E} \cdot \left( \frac{L}{H} \right)^2 + \frac{1}{G} \right] \quad (9)$$

El CTE-DB-SE-F (2006) [5] toma de forma simplificada un valor del módulo de elasticidad secante instantáneo "E", 1000 veces la resistencia compresión de la fábrica  $f_k$ , por lo que la expresión de la distorsión angular quedaría como sigue:

$$\frac{\delta_T}{L} = \frac{f_{vk}}{1000 f_k} \left[ 12 \cdot \left( \frac{L}{H} \right)^2 + 2.5 \right] \quad (10)$$

Tenemos por tanto que el valor de la distorsión angular asociado a la fisuración de la fábrica depende de la relación L/H, la resistencia a cortante y la resistencia a compresión, antes definida.

### 3. RESULTADO

El CTE-DB-SE-F (2006) toma como resistencia media a compresión  $f_k$  de un paramento de fábrica valores variables entre 2MPa y 11MPa en función al tipo de pieza cerámica a emplear, bloques huecos, aligerados, perforados ó macizos con o sin junta delgada.

Asimismo dicha instrucción establece como resistencia característica a cortante,  $f_{vk}$ , de una fábrica con mortero ordinario y juntas llenas los siguientes valores:

Mortero ordinario y juntas llenas

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.36\sigma_k \leq 0.065f_b \quad (11)$$

Mortero ordinario y llagas a hueso

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.45\sigma_k \leq 0.045f_b \quad (12)$$

Mortero ordinario y tendel hueco

$$f_{vk} = f_{vko} \cdot \frac{g}{t} + 0.36\sigma_{kd} \leq 0.05f_b \quad (13)$$

Siendo

$f_{vko}$  Resistencia a corte puro con tensión de compresión nula, que para morteros ordinarios puede estimarse según el tipo de pieza cerámica y el tipo de mortero entre 0.1 y 1.25MPa.

$\sigma_k$  Si hay compresión, la tensión característica normal media perpendicular a la tabla, debida a la compresión debida a las cargas permanentes sobre el nivel considerado

$f_b$  Es la resistencia normalizada a compresión de las piezas de fábrica, con el esfuerzo actuando perpendicular a la tabla, valores establecidos entre 10-25MPa

La resistencia a cortante estará por tanto entre los valores  $0.1MPa \leq f_{vk} \leq 1.25MPa$ , siendo sin embargo los valores comunes  $0.1MPa \leq f_{vk} \leq 0.4MPa$

Tomando los valores de  $6MPa \leq f_k \leq 10MPa$  para la resistencia media a compresión, obtenemos ecuaciones de dos variables que relaciona la distorsión asociada a la fisuración de la pieza, con la resistencia característica a cortante  $f_{vk}$ , para la que tomamos un rango convencional de  $0.1MPa \leq f_{vk} \leq 0.4MPa$ , y la relación L/H para la que tomamos un rango de  $1 \leq L/H \leq 2$ .

**Tabla 1.** Valores de distorsión asociados a la fisuración de la fábrica de ladrillo

| L/H         | $f_k = 6MPa$        |                     |                     | $f_k = 8MPa$        |                     |                     | $f_k = 10MPa$       |                     |                     |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|             | $f_{vk}$<br>0,10MPa | $f_{vk}$<br>0,20MPa | $f_{vk}$<br>0,40MPa | $f_{vk}$<br>0,10MPa | $f_{vk}$<br>0,20MPa | $f_{vk}$<br>0,40MPa | $f_{vk}$<br>0,10MPa | $f_{vk}$<br>0,20MPa | $f_{vk}$<br>0,40MPa |
| <b>1</b>    | 4138                | 2069                | 1034                | 5517                | 2759                | 1379                | 6897                | 3448                | 1724                |
| <b>1,5</b>  | 2034                | 1017                | 508                 | 2712                | 1356                | 678                 | 3390                | 1695                | 847                 |
| <b>2</b>    | 1188                | 594                 | 297                 | 1584                | 792                 | 396                 | 1980                | 990                 | 495                 |
| <b>2.50</b> | 950                 | 450                 | 220                 | 1032                | 516                 | 258                 | 1290                | 645                 | 323                 |

#### 4. CONCLUSIONES

De los resultados de cálculo anterior deducimos que un muro de 3 metros de altura  $H$  y 3 metros de longitud  $L$ , es decir un valor adimensional de  $L/H = 1$ , con una resistencia a compresión de 7MPa y una resistencia a cortante igual a 0.25MPa, podrá admitir una distorsión angular máxima de  $L/d=2000$ , momento a partir del cual el muro se fisurará por los esfuerzos derivados de la deformación.

Comprobamos por último que las estructuras de fábrica presentan una rigidez tan elevada, que distorsiones angulares entre  $L/500$  y  $L/2000$  producirán su fisuración, valores que dependerán de la relación  $L/H$  y por tanto de la rigidez de la sección.

#### REFERENCIAS

- [1] Cano Marín, R.D., Jaramillo Morilla, A., Benal Serrano, F.J., Moreno Rangel, D. (2014). *Un estudio de caso: Rehabilitación singular de edificios de viviendas en la barriada del Parque Alcosa, análisis de daños constructivos comunes y propuesta de intervención*. Informes de la Construcción. Vol 66, pp 534.
- [2] Tena, A., Miranda, E. (2003). *Edificaciones de Mampostería para vivienda*. (2ª ed), cap 4, pp 103-132, México: Sergio Alcocer.
- [3] NBE-FL-90 (1990). Norma Básica de la Edificación Muros Resistentes de Fábrica de Ladrillo.
- [4] Cano Marín R.D. (2013b). Resistance calculation of a masonry structure against a deformation due to a seismic movement. Proceedinf of 5th International Congress on Energy and Environment Engineering and Management, Lisbon, pp 142-150.
- [5] CTE-DB-F (2006). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Fábrica.