

# RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LADRILLOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA

Recepción:  
Octubre 10 de 2011

Aprobación:  
Diciembre 13 de  
2011

**Carlos M. Piscal Arévalo**  
Ms.C. Ingeniería Civil, Énfasis en Estructuras, Universidad de los Andes Bogotá  
Investigador grupo CIMON  
Universidad de la Salle, Colombia  
cpiscal@unisalle.edu.co

**Nelson Afanador García**  
Ms.C. Ingeniería Civil, Énfasis en Estructuras, Universidad de los Andes Bogotá  
Investigador grupo GITVD, Facultad de Ingeniería  
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia  
nafanadorg@ufpso.edu.co

**Samuel Medina**  
Ms.C. en Estructuras, Universidad de los Andes Mérida  
Investigador grupo GICCA, Facultad de Ingeniería  
Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia  
ing\_mjsamuel@hotmail.com

## Resumen

La resistencia a la compresión de unidades de arcilla cocida de mampostería bajo fuerzas compresivas concéntricas uniaxiales fueron investigadas en los 16 chircales que rodean la ciudad de Ocaña

Los valores de resistencia a la compresión concéntrica uniaxial de todos los ladrillos producidos no cumplen lo establecido en la norma técnica colombiana (NTC) 4205. La resistencia a la compresión axial de la mampostería utilizada es vulnerable a la acción de cargas gravitacionales y se espera que disminuya su rigidez a la flexión, generando en las edificaciones estructuras vulnerables en su capacidad a la compresión ya sea por solicitaciones debidas al uso de la edificación, por acción del viento o sismo.

## Palabras Claves:

Ladrillos, Mampostería, Propiedades de los ladrillos, Resistencia en ladrillos.

## Abstract

The compressive strength of fired clay unit masonry under uniaxial concentric compressive forces were investigated in sixteen (16) Brick makers surrounding Ocaña City.

The values of compressive strength of all uniaxial concentric produced bricks do not meet in the Colombian technical standards (NTC) 4205.

The axial compressive strength of used masonry is vulnerable to gravity action loads and is expected to decrease the bending stiffness, resulting in vulnerable structures in their ability to compression either due to requests by building uses, wind or earthquake action.

## Key Words:

brick, brick properties, Masonry, resistance bricks.

## Introducción

Los ladrillos toletes macizos de arcilla son utilizados en la construcción de obras civiles



principalmente en edificios y viviendas, estas últimas diseñadas ya sea con un sistema de pórticos resistentes a momentos, mampostería reforzada o mampostería confinada según Reglamento Colombiano de construcciones sismo resistentes (NSR 2010).

Durante su vida útil estas construcciones están sujetas a la acción de cargas verticales u horizontales que pueden generar fracturas en piezas de mampostería y en muros, si su calidad no es la adecuada pone en peligro a sus ocupantes principalmente; estas fracturas influyen directamente en el aumento de su vulnerabilidad sísmica (Cuellar, Portillo, Renderos y Vides, 2006 y Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS 2004).

Algunas investigaciones sobre la resistencia a la fractura de ladrillos producidos mediante un proceso de fabricación manual, por extrucción y por presión, han determinado valores mínimos y máximos además de la función de densidad de probabilidad de la resistencia a flexión con fines de diseño (Gallegos, Casabonne (2005) e Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (NTC) (2000)).

El método propuesto determina la función de probabilidad de la resistencia a la compresión derivada de ensayos en unidades de ladrillo tolete macizo de arcilla para la totalidad de los fabricantes con el fin de estimar la probabilidad de falla a esfuerzos de trabajo ante la exigencia sísmica para los ladrillos producidos en la ciudad.

Un análisis numérico fue realizado, aplicando el método de elementos finitos, realizando una discretización a un material homogenizado en el cual se indica el estado de esfuerzos a que está sujeto el ladrillo (Bakhteri J., Makhtar A. & Sanbasivam (2004)).

Estos resultados determinaron la vulnerabilidad a nivel de materiales de mampostería en las edificaciones que usan el ladrillo tolete macizo de arcilla.

## Metodología

La presente investigación científica usó la metodología utilizada para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos fue tomada de la NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla” (NTC 2005), en donde se exponen los procesos de selección y preparación de la muestra, además se realiza una modelación matemática que permite observar el estado de esfuerzos en compresión a que está expuesto el ladrillo.

La arcilla está compuesta básicamente por silicato de aluminio hidratado, puede tener varias impurezas que varían en proporción y afectan tanto las propiedades químicas como físicas de la arcilla (Amrhein J. (1998)), afectando su resistencia.

La resistencia a la compresión de ladrillo de arcilla,  $f'_{cu}$ , se usa como control de calidad en su elaboración (dosificación de los materiales, temperatura y tiempo de horneado) con el fin de conocer la calidad de los materiales y la materia prima utilizada en la fabricación de la unidad, esto permite estimar la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$ , a partir de fórmulas que relacionan las propiedades de la unidad y los morteros (Takeuchi C. (2007)).

El ensayo de compresión consistió en llevar el ladrillo a la falla y registrar la carga de rotura en el área de contacto, ver Figura 1, para determinar el esfuerzo de compresión máximo (Gere M.G. & Goodno B. J. (2011)) (1).



Figura 1 Ensayo de compresión en ladrillos

$$f'_{cu} = \frac{W}{A} \quad (1)$$

En donde  
 $f'_{cu}$  = resistencia a la compresión del ladrillo Pa x  $10^4$  (o Kg/cm<sup>2</sup>).  
 W = carga máxima (de rotura) en N (ó Kgf).  
 Tomada de la máquina universal de ensayos PU-100.  
 A = promedio de las área brutas de las superficies superior e inferior del espécimen en cm<sup>2</sup>.

En Ocaña se encuentran 16 chircales que producen aproximadamente 352.000 ladrillos/mes, ubicados en diferentes partes de la ciudad (según encuesta realizada), ver Figura 2. El estudio tomo la población de los chircales que se encuentran en la ciudad y realizó la prueba de compresión tomando 33 ladrillos por cada chircal, para un total de 528 ladrillos.

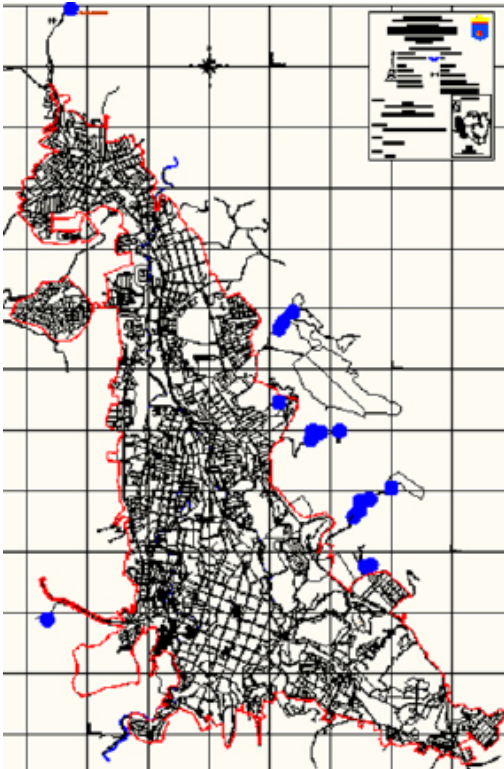


Figura 2. Ubicación de chircales

Para el manejo de la base de datos se utilizó Excel, reporte dado por la máquina Universal de ensayos tipo Pinzuar PU-100 y el software estadístico statgraphics.

El análisis numérico en el ladrillo uso un elemento isoparamétrico de 8 nodos, que fue discretizado en 150 elementos véase figura 3.

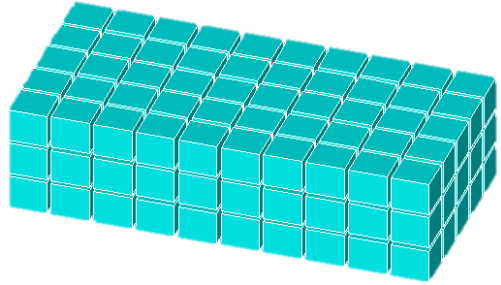


Figura N°3. Ladrillo discretizado en 150 elementos.

El modelo asume que la muestra soporta una carga axial compresiva de 241.81 Kgf, como se ve en la Figura 4, para esta carga se produce un esfuerzo de 40 Kg/cm<sup>2</sup> el cual corresponde al máximo encontrado. Las condiciones de frontera para la base corresponden a una condición de empotramiento. El modelo corresponde a una arcilla local donde las dimensiones son: 65 mm x 127 mm x 238 mm (altura x ancho x longitud).

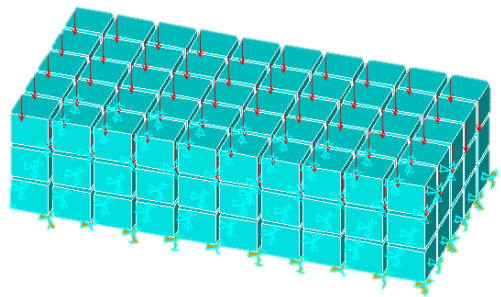


Figura 4. Modelo típico indicando la carga aplicada y las condiciones de frontera.

## Resultados

La resistencia a la compresión promedio encontrada en los ladrillos de arcilla cocida producidos de forma manual en Ocaña oscilan entre 13.34 a 39.50 Kgf/cm<sup>2</sup> (ver Figura N. 5) comparado con lo exigido (véase la línea continua en la parte superior Figura 5), de 140 Kgf/cm<sup>2</sup> (NTC 2000). Los resultados del ensayo de compresión presentan un coeficiente de variación por encima del 30% con una desviación estándar menor a 7.0 Kgf/cm<sup>2</sup> en promedio, ver Figura 6.

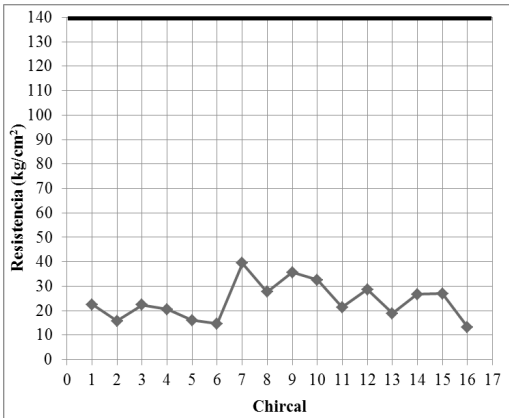


Figura 5. Resistencias a compresión promedio

CHIRCAL	Promedio	Intervalo de Confianza al 95%	Media	Desv. Estandar	coef. variacion	Percentil 5
1	22.46	20.57 - 24.35	22.52	7.69	34.23%	13.81
2	15.82	14.44 - 17.20	14.64	5.20	32.86%	12.56
3	22.34	20.59 - 24.09	22.54	4.86	21.76%	16.02
4	20.56	16.61 - 24.50	13.99	10.94	53.24%	12.78
5	16.09	15.16 - 17.01	15.45	2.89	17.94%	13.93
6	14.65	13.22 - 16.08	13.73	4.10	28.00%	10.65
7	39.50	26.98 - 52.03	34.39	34.74	87.94%	24.47
8	27.65	26.26 - 29.03	27.51	3.84	13.90%	20.50
9	35.66	33.54 - 37.78	41.39	8.41	23.58%	22.42
10	32.58	28.34 - 36.81	24.71	11.75	36.05%	19.76
11	21.37	19.02 - 23.71	20.85	6.50	30.44%	14.28
12	28.66	25.61 - 31.71	24.36	8.46	29.51%	20.21
13	18.93	17.05 - 20.81	19.21	6.10	32.21%	11.98
14	26.74	23.00 - 30.49	25.45	13.18	49.28%	12.97
15	26.94	22.56 - 31.31	22.81	15.06	55.91%	12.29
16	13.34	12.79 - 13.89	13.51	1.72	12.92%	10.62

Figura N°6. Resistencia a compresión (Kgf/cm<sup>2</sup>).

Los resultados indican que los valores máximo y mínimo del percentil 5 de los resultados a compresión son 10.62 y 24.47 Kgf/cm<sup>2</sup> para el chircal 16 y 7 respectivamente. Esto significa que en el caso del fabricante N. 16, el 5% de los datos se encuentran por debajo de 10.62 Kgf/cm<sup>2</sup> (1,62 MPa), lo cual es véase Figura N.5 y

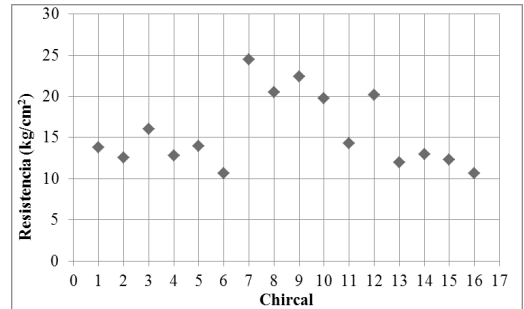


Figura 7. Resistencias a compresión percentil-5

Existe una variabilidad en los resultados a compresión promedio para cada chircal, ver Figura 8, que no permite estandarizar una resistencia a la compresión de los ladrillos fabricados en Ocaña.

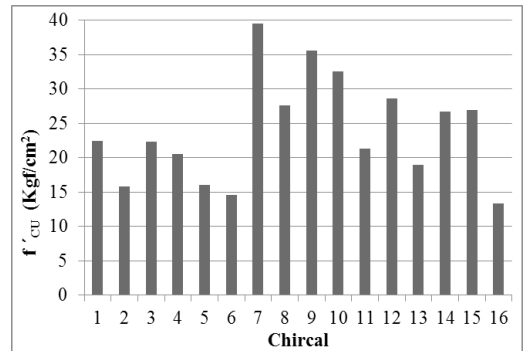


Figura 8. Resistencia a la compresión promedio de ladrillos en Ocaña

Con los valores de esfuerzo soportados por los especímenes en el ensayo de compresión, y las medidas geométricas (precisión de ± 0.01 mm) de cada muestra de ladrillo, se generó una distribución de probabilidad que

se ajusta a los resultados obtenidos, llamada "Distribución de probabilidad de Weibull de 3 parámetros" (Palacios L. H. 2010), la cual define la probabilidad de falla a la compresión de ladrillos, ver Figura 9. Por ejemplo para el chircal 9 y un esfuerzo de compresión de 30 Kgf/cm<sup>2</sup> (3 MPa) la probabilidad de falla es del 70 %, lo cual es muy alta, si esperamos que resistan 100 Kgf/cm<sup>2</sup> (10 MPa).

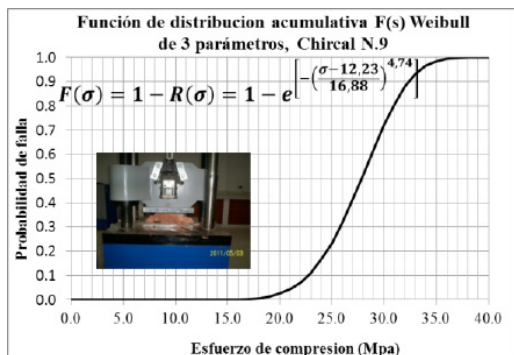


Figura 9. Función de distribución de probabilidad de Weibull de 3 parámetros para el chircal 9.

En las piezas de ladrillo de arcilla cocido presentes en el municipio de Ocaña para el estado de carga y apoyos presentados en la figura N.4 y considerando un módulo de elasticidad longitudinal de 23.333 MPa, una relación de Poisson de 0,1 (Hemant B., Kaushik, Durgesh C. & Sudhir K. (2007) y Dayaratnam (1987)) y una relación constitutiva lineal, se esperan concentraciones de esfuerzos en las esquinas del elemento debido a la discontinuidad del elemento, ver Figura 10, que hacen del elemento sea aún más susceptible de falla a la compresión en estas zonas del elemento, generando desprendimientos.

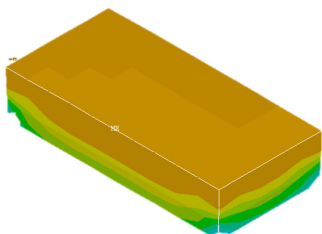


Figura N°10. Distribución de esfuerzos de compresión en la dirección vertical del ladrillo.

## Conclusiones

La resistencia a la compresión en ladrillos de arcilla cocida producida de forma manual en Ocaña tiene una resistencia a la compresión promedio de 23.95 Kgf/cm<sup>2</sup>, el cual representa tan sólo el 17.11 % del valor esperado para 5 unidades, el cual es bajo para ser usado en edificaciones y genera una disminución en la fuerza de conjunto de la mampostería a la compresión ( $f'_m$ ) además del módulo de elasticidad ( $E_m$ ). Esta resistencia a la compresión es baja comparada con la exigencia a nivel nacional (NTC 2000) de 140 Kgf/cm<sup>2</sup> y tiene una alta desviación estándar, pues en promedio es de 9.09 Kgf/cm<sup>2</sup> y un coeficiente de variación que fluctúa entre 12.92 % y 87.94 % correspondiente a los chircales 16 y 7 respectivamente.

Aunque el chircal 7 es el de mayor resistencia a la compresión, también es el de mayor coeficiente de variación, el cual lo hace el más sensible en términos de la resistencia esperada a la compresión.

La función de distribución de probabilidad en su mayoría es definida por la función de distribución de probabilidad de 3 parámetros de Weibull, especial para materiales de resistencia corta.

La propiedad del material más importante en el diseño estructural de la mampostería es la resistencia a la compresión,  $f'_m$ , es importante en la determinación de la carga axial permisible y tensiones de compresión a la flexión, esfuerzos cortantes, esfuerzos combinados y cargas de los pernos de anclaje, con valores tan bajos hace de la edificación vulnerable al fisuramiento y pérdida de capacidad de soporte.

En la actualidad se adelanta un proyecto de investigación que dará cuenta de posibles mezclas de arcillas que mejoren la calidad

de los ladrillos en términos de su resistencia a la compresión y que permitirá mantener un constante monitoreo a sus propiedades mecánicas desarrolladas en todas las chircales.

## Agradecimientos

Al estudiante del programa de Ingeniería mecánica Eduar E. Pérez Rojas y los estudiantes de Ingeniería Civil, por su contribución al desarrollo de esta investigación.

## Bibliografía

Amrhein J., (1998). Reinforced Masonry Engineering Handbook, Masonry Institute of America, New York.

Asociación de Ingeniería Sísmica, (AIS). (2004). "Guía de Patologías constructivas, estructurales y no estructurales". Santafé de Bogotá D. C. Colombia.

Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica (AIS). (2010). "Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente. NSR-10". Santafé de Bogotá, D.C. Colombia.

Bakhteri J., Makhtar A. & Sambasivam S. (2004). "Finite element modeling of structural clay brick masonry subjected to axial compression, Journal Teknologi, 41 (B), pg 57-68.

Cuellar E., Portillo J., Rendaros M., y Vides F., (2006). Evaluación de la resistencia a la fractura de los ladrillos de barro fabricados por compresión. Trabajo de grado no publicada, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". San Salvador.

Dayaratnam P (1987) Brick and reinforced brick structure. Oxford and IBH, New Delhi, India.

Gallegos H., y Casabonne C. (2005). Albañilería estructural. Fondo editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.

Gere M. G. & Goodno B. J., (2011). Mechanics of materials. Brief edition, Cengage learning, United States.

Hemant B. Kaushik, Durgesh C. Rai & Sudhir K. Jain. (September 2007) "Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression". Journal of materials in civil engineering ASCE, pgs 728-738.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (NTC). (2000). "Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos (NTC 4205)". 1ra actualización. Santa fe de Bogotá D.C. Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (NTC). (2005). "Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017)". 1ra actualización. Santa fe de Bogotá D.C. Colombia.

Takeuchi C, (2007). Comportamiento en la mampostería estructural, Universidad Nacional de Colombia, Santa fe de Bogotá.

Palacios L. H., (2010) Calculo de los parámetros de la distribución de Weibull, Extraído 15 de agosto 2011. <http://confiabilidad.net/articulos/calculo-de-los-parametros-de-la-distribucion-de-weibull/>