

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS MEDIANTE ENSAYO A COMPRESIÓN UNIAXIAL EN PILAS DE MAMPOSTERÍA

González del Solar, Gerardo¹; Pablo Martín²; Guzmán, Alberto Marcelo³

(1) Magister en Ingeniería Estructural, Ingeniero Civil; (2) Doctor en Ingeniería, Ingeniero Civil; (3) Doctor en Ingeniería, Ingeniero en Construcciones

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza; CeReDeTeC

gerardo.gdelsolar@frm.utn.edu.ar

RESUMEN

Las construcciones patrimoniales presentan un complejo sistema estructural compuesto por materiales y formas constructivas actualmente en desuso. En particular, la mampostería empleada a comienzo del s. XX en Mendoza se compone de elementos de ladrillo cerámico macizo tomado con mortero cálcico. La resistencia estructural deviene del entramado de muros, los que carecen de estructuras de hormigón armado, y del espesor obtenido por el aparejo empleado durante su construcción. Su abordaje experimental suele estar limitado debido a la imposibilidad de extracción de muestras para ensayos en laboratorio o bien al riesgo que pudiere implicar la ejecución de ensayos en la estructura misma, que pudiera ya estar dañada por alguna patología. De esta manera, en este trabajo se presentan los parámetros mecánicos obtenidos a partir del ensayo a compresión uniaxial realizado sobre pilas de mampostería simple. Se adopta un criterio para establecer el límite elástico determinando los módulos de elasticidad longitudinal y transversal. Finalmente, se discuten los resultados obtenidos en el marco de la normativa nacional vigente.

ABSTRACT

Heritage buildings present a complex structural system composed of materials and constructive forms currently in disuse. In particular, the masonry used at the beginning of the 20th century in Mendoza is composed of solid ceramic brick elements taken with calcium mortar. The structural resistance comes from the walls, which lacks reinforced concrete structures, and from the thickness obtained by the rigging used during its construction. Its experimental approach is usually limited due to the impossibility of extracting samples for laboratory tests or to the risk that could imply the execution of tests on the structure itself, which could already be damaged by some pathology. Thus, this work presents the mechanical parameters obtained from the uniaxial compression test performed on simple masonry piles. A criterion is adopted to establish the elastic limit by determining the longitudinal and transverse modulus of elasticity. Finally, the results obtained are discussed within the framework of the national regulations in force.

Organiza:

INTRODUCCIÓN

La mampostería de ladrillo macizo cerámico empleada en las construcciones patrimoniales de comienzo del s. XX en Mendoza se trata de un material compuesto obtenido por la combinación de piezas de mampuesto y el mortero de asiento. Se caracteriza por su baja elasticidad, falta de homogeneidad y anisotropía. La respuesta global se debe a las propiedades particulares de cada componente, así como de la presencia relativa y distribución en el volumen total del compuesto. Asimismo, la interfaz entre el mampuesto y el mortero constituye un plano de debilidad que condiciona la respuesta del conjunto, por lo tanto, la cantidad y orientación de dichos planos dará lugar a respuestas diferentes.

En particular, la heterogeneidad del compuesto se debe a varios factores entre los que se destacan la materia prima, tanto del mampuesto y como del mortero, y la mano de obra y técnica empleadas durante su ejecución. Las piezas de mampostería se conforman de arcilla moldeada ejecutadas de manera artesanal, asimismo, las ladrilleras conforman hornos para la cocción de los elementos cuya temperatura difiere según la distancia de la pieza al quemador. Por otra parte, el mortero se conforma por la combinación de cemento, arena y agua. Si bien las características de la materia prima son estables, las propiedades obtenidas en su combinación dependen fuertemente de la mano de obra empleada. Particularmente, la cantidad de agua empleada resulta en un fuerte condicionante para sus propiedades finales. Un aumento en la cantidad de agua permite una mayor trabajabilidad generando, en contrapartida, una disminución en su resistencia mecánica. Finalmente, la mano de obra resulta crítica durante la confección de la mampostería como combinado de materiales. La humedad incorporada en los mampuestos, la cantidad de mortero que define el espesor de las juntas y la técnica empleada durante el armado de la mampostería, son algunos factores que ejemplifican lo enunciado.

De esta manera, la variabilidad del compuesto da lugar a diferentes respuestas mecánicas ante una misma sollicitación, en particular resulta de interés al comportamiento en el campo elástico. La hipótesis de una respuesta elástica lineal ante un estado de compresión requiere de la determinación del límite de proporcionalidad, dependiendo de esto el módulo de elasticidad lineal y transversal del material, y su coeficiente de Poisson. El Módulo de elasticidad Lineal (o Módulo de Young) es un parámetro mecánico fundamental para el cálculo estructural y cuya determinación responde a diferentes enfoques.

Por un lado, algunos códigos proveen relaciones empíricas para estimar el módulo de elasticidad a partir de una función de la tensión de rotura a compresión afectado por una constante. El Reglamento INPRES CIRSOC 103 (2018)¹, la norma europea EN 1996-1-1 (2005)² y las recomendaciones de FEMA 306 (1998)³ son ejemplos de este tipo. Estas formulaciones son de aplicación limitada a determinado tipo de mampuestos, mortero y aparejos. En esta misma línea, Radovanic et al. (2015)⁴ proponen un módulo de elasticidad longitudinal obtenido como una relación entre la tensión de rotura de la mampostería y tres veces la deformación unitaria media

Organiza:

producida bajo la acción de una fuerza igual a un tercio de la carga de rotura. Esta expresión es obtenida como resultado de sus ensayos experimentales.

Por otro lado, la determinación del módulo de elasticidad lineal por medio de ensayos experimentales surge de la aplicación del Método del Módulo Tangente, del Método del Módulo Secante y del Método del Módulo de Cuerda (Guadagnuolo et al., 2020)⁵. El Módulo de Elasticidad Tangente es el que se obtiene al considerar la pendiente inicial de la curva tensión deformación. La desventaja de este módulo es la posibilidad de introducir errores debido al efecto de asentamiento durante la fase de carga inicial. El Módulo de Elasticidad Secante es aquel que se obtiene a partir de la pendiente de una línea que une el origen con un valor de tensión prefijado. Turnsek y Cacovic (1970)⁶ proponen un Módulo de Elasticidad Secante medido al 50% de la tensión de rotura en tanto que Kaushik et al. (2007)⁷ definen el límite de proporcionalidad al 33% de dicha tensión. El Módulo de Elasticidad de Cuerda se define por una línea que intersecta la curva tensión deformación en dos puntos predefinidos de la misma. El código ASTM C1314-16 (2016)⁸ establece el Módulo de Elasticidad de Cuerda a aquel definido entre el 5% y el 33% de la tensión de rotura a compresión.

La existencia de estructuras patrimoniales conformadas por mampostería simple, esto es sin refuerzo de hormigón armado, con planos de mortero en sus tres direcciones principales da lugar a la necesidad de un estudio específico. En particular, es de interés determinar los parámetros elásticos que permiten definir su comportamiento con el fin de ser aplicados en modelos numéricos. En este trabajo se presentan los parámetros mecánicos obtenidos a partir del ensayo de compresión uniaxial realizado sobre pilas de mampostería simple. Para establecer el límite de proporcionalidad se adopta el criterio establecido en el código ASTM C1314-16 (2016)⁸.

COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA A COMPRESIÓN UNIAXIAL

La mampostería se caracteriza por una baja resistencia a tracción debido a que las propiedades a tracción de sus materiales componentes, así como de la interfaz entre ellos, son débiles ante este tipo de solicitaciones. Por otro lado, su respuesta a esfuerzos cortantes se incrementa conforme aumenta el esfuerzo normal actuante. Debido a lo descripto, la mampostería es un material diseñado como un elemento que resiste principalmente a las acciones de compresión.

Hilsdorf (1967)⁹ y Kaushik et al. (2007)⁷ dirigieron sus investigaciones al estudio del comportamiento de la mampostería de ladrillo macizo solicitada a compresión uniaxial. De manera resumida puede decirse que la mampostería de ladrillo macizo posee dos fases y que cada fase posee diferentes resistencias y diferentes características de deformación. En general la resistencia a compresión uniaxial y el módulo de elasticidad del mortero son considerablemente menores que los correspondientes valores del mampuesto. Por tal motivo, si el mortero pudiera deformarse libremente, sus deformaciones laterales serían mayores que las deformaciones del ladrillo. Esto es especialmente cierto si la carga externa se acerca a la resistencia a la compresión uniaxial del mortero. Sin embargo, debido a la unión y a la fricción en la interfaz entre el ladrillo y el mortero, el mortero se encuentra confinado lateralmente. Las tensiones

Organiza:

de corte producidas en la interfaz conducen al desarrollo de un estado de tensión interna de compresión axial y tracción lateral en el ladrillo y un estado de compresión triaxial en el mortero (*Figura 1*). Este estado triaxial de compresión es el que permite al compuesto estar sometido a tensiones externas que exceden la resistencia a la compresión uniaxial del mortero. Asimismo, las tensiones de tracción en el mampuesto permiten el desarrollo de fisuras verticales las cuales se propagan hasta la rotura de la probeta.

Como la mampostería es un material que se obtiene de la combinación de ladrillos macizos y mortero, se espera que la resistencia a compresión y la rigidez final de la mezcla sean de una magnitud intermedia entre las propiedades de sus componentes, afectados por el volumen de participación de cada uno. Esto es particularmente cierto en aquellos casos en que uno de los componentes es sustancialmente más débil y menos rígido que el otro.

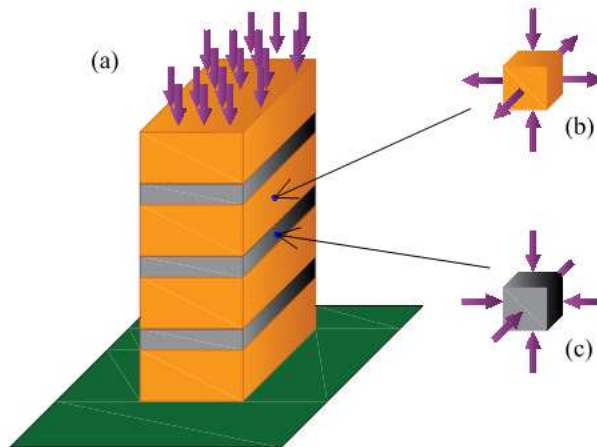


Figura 1: a) Pila de mampostería sometida a compresión uniaxial. b) Estado tensional en un punto elemental de la matriz del mampuesto. c) Estado tensional en un punto elemental de la matriz de mortero.

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La mampostería es un material compuesto cuya respuesta depende de la proporción y orientación de cada elemento interviniente y de la interacción entre ellos. La presencia de juntas de mortero genera planos de debilidad que condicionan sus propiedades mecánicas. Particularmente, es de interés conocer la respuesta mecánica de la mampostería definida por un mampuesto de sogá y uno de cabeza, cuya combinación da lugar a la formación de una junta vertical en la dirección longitudinal del muro. Para ello, se adopta el ensayo de compresión uniaxial clásico durante el cual se registran la carga aplicada y los desplazamientos producidos en la dirección de carga y en las direcciones transversales.

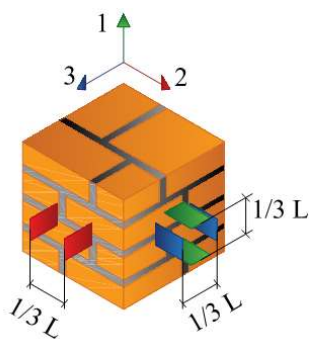
Para el estudio experimental se confeccionan 6 probetas de mampostería empleando el aparejo descrito. El mampuesto que las conforma es un elemento prismático

macizo elaborado con arcilla cocida, conocido localmente como “ladrillón”. Sus dimensiones medias fueron obtenidas por medición directa según Norma IRAM 12585 (2004)¹⁰ sobre un total de 25 muestras resultando $25,9 \pm 0,16$ cm de largo, $16,2 \pm 0,26$ cm de ancho y $6,3 \pm 0,29$ cm de alto, y cuyo peso específico fue de 15863 ± 2317 N/m³. Asimismo, se determinó la resistencia a rotura media según los lineamientos de la Norma IRAM 12586 (2004)¹¹, la cual resultó de $7,59 \pm 2,53$ MPa. Adicionalmente, el mortero empleado es tipificado como N (resistencia normal) según el Reglamento INPRES CIRSOC 103 (2018)¹ cuya dosificación volumétrica es 1:1:6 (cemento : cal : arena). La cantidad de agua necesaria para la mezcla fue obtenida experimentalmente hasta alcanzar una buena trabajabilidad dando como resultado una relación agua/aglutinante (por peso) aproximado de 1,00. La tensión media de rotura a compresión fue de $6,02 \pm 0,97$ MPa obtenida de testigos extraídos de las diferentes pastonadas elaboradas durante la ejecución de las pilas de mampostería.

Las probetas elaboradas son elementos cúbicos de 35 cm de lado en las cuales se define la existencia de dos juntas de mortero verticales, ortogonales entre sí, y tres juntas horizontales. La mezcla de mortero fue aplicada con un espesor aproximado de 2 cm. Asimismo, se ejecutan encabezados con el fin de proporcionar una superficie uniforme y plana evitando las concentraciones de tensiones en las caras de aplicación de las cargas de ensayo.

La instrumentalización de los elementos a ensayar se compone de un total de 6 sensores (aproximación de 0,001 mm) que registran el desplazamiento relativo entre dos puntos ubicados en los tercios medios de la cara, en cada una de las direcciones de interés. Los sensores se distribuyen de manera de emplear dos elementos en cada dirección ubicados en caras opuestas.

La *Figura 2* presenta la probeta desarrollada y la distribución de sensores, definiendo a su vez las direcciones principales. Cabe mencionar que, por claridad en la imagen, solo se presentan las caras visibles repitiéndose la distribución de sensores en las caras opuestas.



(a)



(b)

Figura 2: (a) Croquis de la probeta y su instrumentalización. (b) Imagen de la probeta elaborada.

Organiza:

Asimismo, la heterogeneidad de la mampostería da lugar a diferentes respuestas mecánicas ante un mismo estado de cargas. De esta manera, cada ensayo da como resultado una curva tensión deformación diferente que debe ser normalizada para su comparación. Kaushik et al. (2007)⁷ propone la normalización por medio de la tensión de rotura (σ_r) a partir de cinco puntos de control obtenidos de la rama ascendente de la curva (*Figura 3*). Estos puntos surgen de observaciones realizadas durante los ensayos experimentales y son:

0,05 σ_r : Representa el punto inicial para el cálculo del Módulo de Elasticidad de Cuerda una vez sucedido el asentamiento de la mampostería por carga inicial.

0,33 σ_r : Corresponde al límite de proporcionalidad, tensión hasta la cual el material se deforma de manera proporcional a la tensión aplicada.

0,75 σ_r : Tensión a partir de la cual se inicia el desarrollo de fisuras verticales. La mampostería aún resiste cargas sin gran deterioro.

0,90 σ_r : Representa el nivel de tensión justo antes de la falla. Las fisuras verticales se propagan excesivamente a través de la mampostería.

1,00 σ_r : Tensión de rotura a compresión.

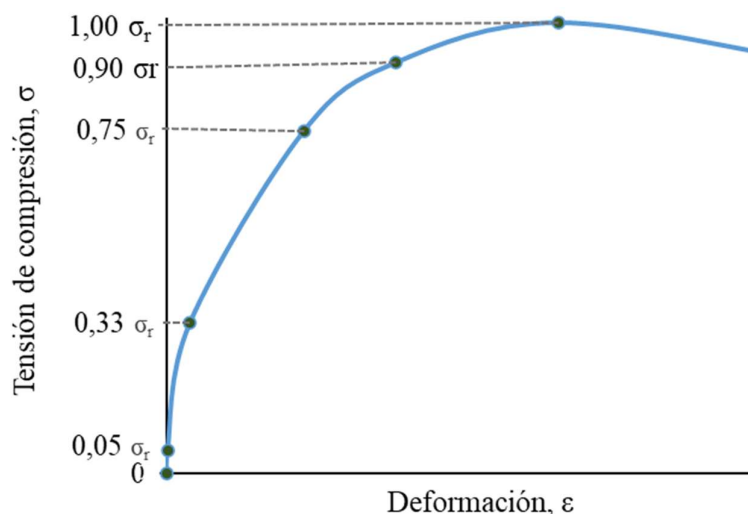


Figura 3: Puntos de control para la curva tensión (σ) – deformación (ϵ).

TENSIÓN DE ROTURA A COMPRESIÓN

De acuerdo con lo descripto, se procedió al ensayo de 6 especímenes de iguales características, los cuales fueron denominados M01, M02, M03, M04, M05 y M06. Los mismos fueron sometidos a carga de compresión uniaxial creciente hasta alcanzar la rotura.

La *Figura 4* presenta la imagen de la probeta de mampostería M01 luego de alcanzar la carga de rotura. En ella se puede identificar el patrón de fisuras verticales

Organiza:

desarrolladas al momento de la falla.



Figura 4: Vista frontal de la probeta luego de la rotura.

Asimismo, la *Tabla 1* sintetiza la tensión de rotura alcanzada por cada espécimen, así como la tensión de rotura media, σ'_r , y la desviación estándar. El coeficiente de variación es de 7,7%.

Espécimen	σ_r [MPa]
M01	4,03
M02	4,25
M03	4,04
M04	4,93
M05	4,36
M06	4,27
Tensión rotura media, σ'_r	4,31
Desviación estándar	0,33
Coeficiente de variación, δ_m	7,66%

Tabla 1: Tensión de rotura a compresión de la mampostería.

CURVA EXPERIMENTAL TENSIÓN DEFORMACIÓN

Durante los ensayos se procedió al registro de las deformaciones conforme se incrementaba la carga aplicada. La información relevada permitió determinar la tensión y deformación correspondientes a cada punto crítico en estudio.

Se ensayaron 6 probetas de mampostería a compresión con carga creciente hasta la rotura. La primera probeta, M01, fue ensayada para establecer la escala de carga y por lo tanto no fue instrumentalizada. Por otra parte, los registros obtenidos durante los ensayos de las probetas M03 y M04 dan cuenta del desprendimiento de la pieza

Organiza:

de mampostería al cual se encontraba sujeto el sensor. Debido a esto, su comportamiento fue errático siendo excluidos del presente análisis.

La *Figura 5* presenta los registros obtenidos para cada punto crítico correspondiente a las probetas M02, M05 y M06. A su vez, se incorpora a la figura, la curva de tendencia compuesta por un primer tramo lineal, en correspondencia con el comportamiento elástico lineal regido por la ley de Hooke, seguido de uno no lineal representante de la fase plástica.

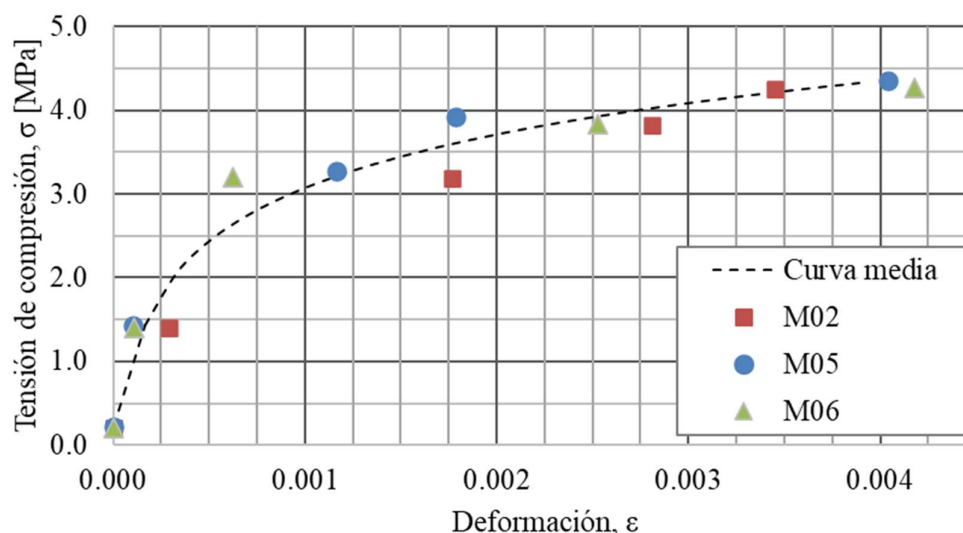


Figura 5: Curva tensión deformación obtenida a partir de los ensayos M02, M05 y M06.

CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ELÁSTICOS

El comportamiento elástico lineal de un material queda definido a partir de tres propiedades características, las cuales se encuentran relacionadas entre sí. Por lo que, habiendo definido dos de ellas cualesquiera, puede obtenerse la tercera como función de las dos primeras.

A partir de los ensayos experimentales realizados es posible determinar el Módulo de Elasticidad Longitudinal (E) y el Coeficiente de Poisson (μ), obteniendo en consecuencia el Módulo de Elasticidad Transversal (G) por medio de la ecuación (1).

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (1)$$

Tomando en consideración el tramo lineal definido entre el 5% y el 33% de la tensión de rotura en la curva tensión deformación presentada en el apartado anterior, es posible establecer el Módulo de Elasticidad de Cuerda de acuerdo con lo establecido en el código ASTM C1314-16 (2016)⁸. De esta manera, el Módulo de Elasticidad de Cuerda es de 7,16 GPa, el cual se puede presentar como 1.661 veces la tensión de

Organiza:

rotura, σ'_r .

Por otro lado, el Coeficiente de Poisson se define como la relación entre la deformación unitaria en la dirección transversal y la deformación unitaria en la dirección de aplicación de la carga durante el comportamiento elástico lineal del material. Los resultados experimentales obtenidos durante los ensayos permiten establecer un valor promedio de 0,043.

A partir de los valores obtenidos de los ensayos experimentales y teniendo en cuenta la ecuación (1) se establece el módulo G de 3,43 GPa.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las normas y códigos vigentes a nivel mundial proponen relaciones empíricas para determinar el módulo de elasticidad longitudinal de la mampostería a partir de su resistencia característica a compresión y una constante que varía según el reglamento. Se pueden citar como ejemplo al FEMA 306 (1998)³, cuya constante es 550, y la norma europea EN 1996-1-1 (2005)², la cual le asigna una magnitud de 1000. Asimismo, el reglamento nacional INPRES CIRSOC 103 (2018)¹ define a dicha constante con el valor de 1200 para el caso de acciones dinámicas.

Por otra parte, el reglamento CIRSOC 501 (2005)¹² establece los requerimientos mínimos para el diseño y construcción de estructuras de mampostería compuestas por mampuestos asentados con mortero en estructuras sometidas a cargas de larga duración. Esta normativa define las características de deformabilidad de la mampostería en función del tipo de mampuesto y mortero que la conforman. Para la determinación del módulo de elasticidad longitudinal, este reglamento afecta a la resistencia especificada a compresión por una constante de magnitud igual a 850. Por otro lado, el módulo de elasticidad a corte es igual al 30% del módulo de elasticidad longitudinal de la mampostería, esto es 255 veces la resistencia especificada a compresión.

En cuanto a la resistencia especificada a la compresión, el mencionado reglamento establece diversos procedimientos a fin de su determinación. El primero de ellos consiste en ensayos a la compresión de pilas de mampostería adoptando como resistencia especificada a la resistencia característica obtenida, la cual se determinará considerando que su valor debe ser alcanzado por el 90% de los ensayos realizados. El segundo procedimiento es la determinación de la resistencia especificada de la mampostería a partir de la resistencia de mampuestos y morteros tipificados. El mismo se basa en la resistencia característica de los mampuestos utilizados y al tipo de mortero empleado. Finalmente, el tercer procedimiento es por medio de valores indicativos, el cual consiste en adoptar los valores normativos de la resistencia especificada a la compresión de la mampostería en función de los tipos usuales de mampuestos y morteros.

Al aplicar el reglamento al caso en estudio se observa que el primer método no es de aplicación a las probetas ensayadas debido a que la esbeltez de las muestras excede los límites reglados. Los límites operativos de la máquina de ensayos dieron lugar a

Organiza:

elementos de esbeltez igual a la unidad siendo esta menor al límite de 2,5 establecido en la normativa.

Sin embargo, es posible determinar la resistencia especificada a partir de la resistencia de mampuestos y morteros tipificados. Para ello, se determina que la resistencia característica del mampuesto empleado es de 4,30 MPa, obtenida a partir de la resistencia a compresión promedio y la desviación estándar de la muestra compuesta por 30 elementos. La resistencia característica es afectada por el factor de correlación entre el tipo de mampuesto y el tipo de mortero empleados que, para el caso en estudio, es de 0,35. De esta manera, el procedimiento permite establecer que la resistencia especificada a la compresión de la mampostería alcanza la magnitud de 1,50 MPa.

Finalmente, al considerar el procedimiento por valores indicativos, se observa que para el caso de mampostería conformada por ladrillo cerámico macizo y mortero de resistencia normal (tipo N), el reglamento asigna una magnitud de 1,75 MPa.

Los resultados experimentales obtenidos durante el ensayo de 6 pilas de mampostería de esbeltez igual a la unidad permiten determinar la resistencia de rotura a la compresión y obtener las constantes que definen el módulo de elasticidad longitudinal E y el módulo de elasticidad transversal G . La *Tabla 1* presentó la tensión media de rotura de la mampostería ensayada, la cual alcanzó una magnitud de 4,31 MPa. A partir de ella, y basado en el módulo de elasticidad de cuerda presentado en el apartado anterior, se puede establecer que la constante que afecta a la resistencia a rotura a compresión es de, aproximadamente, 1660. Asimismo, el módulo de corte calculado en el apartado anterior permite establecer 800 veces la resistencia especificada a la compresión.

Al comparar los resultados experimentales con los obtenidos por el reglamento se puede establecerse una posible subestimación de la resistencia y rigidez de este tipo de mampostería. De acuerdo con los valores presentados, la resistencia a compresión experimental es 2,5 veces mayor que aquella determinada por el procedimiento de la resistencia de mampuestos y morteros tipificados. A su vez, el módulo de elasticidad longitudinal E obtenido en los ensayos es 2,1 veces mayor que el determinado a partir del reglamento. En tanto que el módulo de elasticidad transversal G es 3,1 veces superior al propuesto en la normativa. Sin embargo, es prudente destacar que el tamaño de la muestra ensayada y sus características no permiten ser concluyente al respecto despertando el interés en profundizar la investigación en esta temática.

CONCLUSIONES

Las construcciones patrimoniales de comienzo del s. XX en Mendoza presentan un complejo sistema estructural compuesto por materiales y formas constructivas actualmente en desuso. Los relevamientos realizados dan cuenta que las mismas se componen de mampostería simple conformada por ladrillo cerámico macizo tomado con mortero cálcico. La resistencia estructural deviene del entramado de muros y del espesor obtenido por el aparejo empleado durante su construcción. En particular

Organiza:

resulta de interés la configuración de mampuestos que definen la existencia de planos de mortero en sus tres direcciones principales. Al tratarse de estructuras de interés público, su abordaje experimental suele estar limitado debido a la imposibilidad de extracción de muestras para ensayos en laboratorio o bien al riesgo que pudiere implicar la ejecución de ensayos en la estructura misma. De esta manera, en este trabajo se presentaron los parámetros mecánicos obtenidos a partir del ensayo a compresión uniaxial realizado sobre 6 pilas de mampostería simple.

Los ensayos realizados dieron lugar a la determinación de la tensión de rotura del material, así como a la elaboración de la curva tensión deformación que representa el comportamiento de este tipo de mampostería. Para determinar el límite elástico y, en consecuencia, los parámetros mecánicos relacionados se adoptó el criterio establecido en el código ASTM C1314-16 (2016).

Los resultados obtenidos fueron comparados con aquellos determinados a partir de la aplicación del reglamento CIRSOC 501 (2005), realizando un análisis crítico.

Las diferencias observadas despiertan el interés en profundizar la investigación en esta temática resultando relevante ampliar el tamaño de la muestra y sus características en atención a la variabilidad de este tipo de materiales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento del Proyecto de Investigación y Desarrollo ECPPME0010037.

REFERENCIAS

- [1] Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes (2018). Reglamento INPRES CIRSOC 103 Parte III. Construcciones de mampostería.
- [2] European Standard EN 1996-1-1. (2005). Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures.
- [3] FEMA 306 (1998). Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings. Basic Procedures Manual. Applied Technology Council, California.
- [4] Radovanovic Z., Grebovic R. S., Dimovska S., Serdar N., Vatin N., and Murgul V. (2015). The mechanical properties of masonry walls – Analysis of the test results. *Procedia Engineering* 117 (2015), 865–873.
- [5] Guadagnuolo M., Aurilio M., Basile A., and Faella G. (2020). Modulus of elasticity and compressive strength of tuff masonry: Results of a wide set of Flat-Jack Tests. *Buildings*, 10 (5), 84. doi: 10.3390/buildings10050084.
- [6] Turnsek V., and Cacovic F. (1970). Some experimental results on the strength of brick masonry walls. En: H.W.H. WEST, B Se, FGS, FI Ceram; K.H. SPEED, MAIE,

Organiza:

AMITAI, (Eds.). 2nd International Brick and Block Masonry Conference, IBMAC 1970 (pp. 149-156). The British Ceramic Research Association.

[7] Kaushik H. B., Rai D. C., and Sudhir K. J. (2007). Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression. Journal of Materials in Civil Engineering ASCE. 19 (9), 728-739. doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(728).

[8] ASTM C1314-16 (2016). Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms, ASTM International, West Conshohocken, PA.

[9] Hilsdorf H. K. (1967). Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression. En: Franklin B. Johnson (Eds.). Proceeding 1st International Brick and Block Masonry, IBMAC 1967 (pp. 34-41).

[10] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2004). Norma IRAM 12585: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción. Método de ensayo de las características geométricas.

[11] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2004). Norma IRAM 12586*: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Método de ensayo de resistencia a la compresión.

[12] Proyecto de Reglamento CIRSOC 501 (2005). Reglamento Argentino de Estructuras de Mampostería.

Organiza: