

Caracterización de Muros EPS – MC y Comparativas con Casos Convencionales

Javier A. Duarte ^{1,*} , Alicia E. Ares ² , Oscar Möller ³ , Néstor H. Neudeck ¹ , María B. Statkiewicz ¹ 

¹ Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC). Oberá, Misiones, Argentina.

² IMAM, UNaM, CONICET, FCEQyN, Félix de Azara 1552, N3300LQD, Misiones, Argentina.

³ Universidad Nacional de Rosario. Consejo de Investigaciones (CIUNR), Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE). Riobamba y Berutti 2000, Rosario, Argentina.

e-mails: javier.duarte@fio.unam.edu.ar, aares@fceqyn.unam.edu.ar, moller@fceia.unr.edu.ar, neudeck@fio.unam.edu.ar, maribelstat@gmail.com

Resumen

En la provincia de Misiones, la demanda de construcción de viviendas es una temática de constante análisis en los ámbitos público y privado, promoviendo el análisis de soluciones innovadoras en los sistemas constructivos a efectos de fijar criterios de seguridad y economía, así como el estudio de alternativas de procedencia local. La información disponible de dichos sistemas alternativos en la región de Misiones genera la necesidad de estudiar las propiedades de nuevos materiales para mamposterías, dando lugar a ampliar opciones de solución desde el medio profesional a diferentes situaciones de diseño constructivo habitacional. Por otra parte, es importante sobre la base de estudios previos efectuar avances y actualizaciones de dichas soluciones, aportando de manera gradual, la mitigación de los efectos ambientales que produce la fabricación de materiales de construcción, como es el caso del cemento y el acero. El objetivo de este trabajo es la obtención de parámetros de resistencia de ladrillos de poliestireno expandido rellenos con mortero de cemento (CLEPS) mediante ensayos experimentales de rotura a compresión y luego realizar una comparación con sistemas convencionales de ladrillo cerámico hueco (CLCH) con diferentes tipos de morteros de unión. Se espera que los resultados de esta investigación aporten, en trabajos futuros, fundamentos adecuados para el desarrollo de alternativas que mejoren la relación costo-beneficio de los sistemas constructivos regionales, como también amplíe el espectro de investigación de dichos sistemas.

Palabras clave – Mampostería, Ladrillo, Sistemas alternativos, Cerámica, Poliestireno expandido.

Abstract

In the province of Misiones, the demand for housing construction is subject of constant analysis in public and private sectors, promoting the analysis of innovative solutions in construction systems in order to establish safety and economic criteria, as well as the study of locally sourced alternatives. The information available on alternative systems in the Misiones region generates the need to study the properties of new materials for masonry, giving rise to expanding solution options from the professional level to different housing construction design situations. Furthermore, it is important, based on previous studies, to make advances and updates of solutions, gradually contributing to the mitigation of environmental effects that produce the manufacture of construction materials, as is the case of cement and steel. The objective of this research is to obtain resistance parameters of expanded polystyrene bricks filled with cement mortar through experimental compression rupture tests, and then to carry out a comparison with conventional, hollow ceramic brick systems using different types of bonding mortars. It is expected that the results of this investigation will provide future studies with adequate foundations for the development of alternatives that improve the cost-benefit relationship of regional construction systems, as well as broaden the research spectrum of these systems.

Keywords – Masonry, brick, alternative systems, ceramic, Expanded Polystyrene.

1. Introducción

La provincia de Misiones ha presentado en las últimas décadas un marcado déficit en términos de cobertura de la demanda habitacional, magnificado por el considerable crecimiento demográfico de las zonas urbanas. Esto tiene como efecto colateral un impacto en la economía circular, el cual cuenta con varios matices.

Analizado en términos de porcentaje de incidencia del costo total de obra en [1], las mamposterías conforman el bloque de obra húmeda y representan para el caso de viviendas un 18 a 28% (para edificios el orden es del 12% a 15%), lo cual justifica analizar técnicas que permitan optimizar su costo. Además, en [1] se verificó la hipótesis de una reducción significativa en el costo de una estructura cuando se aprovechan los muros de cerramiento, logrando así disminuir secciones tanto de hormigón como de acero (elementos de la estructura resistente) que inciden de forma considerable en el costo de obras civiles.

La mampostería, como cerramiento utilizado en viviendas, desempeña un papel importante en la estabilidad y resistencia estructural de los edificios, según lo especificado en [12]. Desde dicho enfoque, es esencial comprender los parámetros que afectan su desempeño mecánico dentro del sistema global de la estructura resistente (ver [10]). Entre estas medidas, la resistencia a compresión es un parámetro mecánico válido para determinar la calidad del material utilizado en el muro, sin dejar de lado los modos de falla que según [2] son, a saber: fractura del ladrillo, falla mecánica del mortero de junta y/o deslizamiento de estos en la interfaz mortero-mampuesto. Estas propiedades se amplifican cuando se logra administrar una presión de confinamiento con elementos de hormigón según [9].

En [4] se concluyen comparaciones en la región de Valdivia, Chile, sobre prototipos de viviendas construidas con bloques EPS en donde se utilizan hormigones como relleno. Entre otros aspectos, deja como aspecto positivo la factibilidad técnica de que este material es compatible con un circuito de economía circular.

En las conclusiones de [5], se establecen comentarios positivos respecto al uso de sistemas de cerramiento basados en piezas de EPS, recomendando se refuercen las mismas con perfiles metálicos para anclaje de elementos, a la vez que se recomienda no usar este sistema en paredes interiores. Esto último, condicionado a la posibilidad de revestir el mencionado cerramiento exterior con morteros cementicios.

El poliestireno expandido (EPS), como alternativa en la construcción de mamposterías, presenta características distintas que lo diferencian de los demás ladrillos convencionales, como sea su deformabilidad, propiedad aislante y acústica. Este es capaz de soportar ciertas deformaciones, pero su función principal es dar confort térmico y acústico a partir de ser utilizado como cerramiento.

En el prototipo analizado en el presente trabajo, su interior se rellena en dos orificios de 50 mm con una mezcla elaborada con cemento y arena en cantidades usuales para el ámbito de la construcción, con propiedades de adhesión y resistencia mecánica adecuadas, para garantizar una unión y encastre entre los ladrillos de poliestireno expandido.

Dicha adhesión entre mampuestos se obtiene mediante una junta de mortero elaborada con adhesivo para cerámicas de uso frecuente en el mercado, disponible en bolsas cerradas de 25 kg con el material listo para mezclar con agua. La relación agua-mortero se mide por consistencia hasta obtener una mezcla de consistencia estable que al contacto con la cuchara de albañil no derrame por gravedad.

En [13] se destaca el uso de EPS como adición para fabricar ladrillos livianos para mampostería utilizando como materia prima caolín y EPS, mediante un proceso de sinterización a 1200 °C. En este trabajo se analizaron muestras con diferente porcentaje de EPS en la mezcla, logrando diferencias tanto en el tamaño de la microestructura como en los valores de resistencia de los mampuestos.

En [14], Se realizaron ensayos de bloques con diferente dosificación, de los cuales el cuarto ensayo fue óptimo para bloques alivianados con una dosificación de 20% de poliestireno expandido, PET, vermiculita. Además, se obtuvieron valores de resistencia a compresión y se realizaron análisis de impacto económico y ambiental del producto.

El objetivo de este trabajo es la obtención de parámetros mecánicos de ladrillos cerámicos y de poliestireno expandido con núcleo de mortero de cemento mediante ensayos experimentales de rotura a compresión, a efectos de evaluar en una comparativa su resistencia respecto de los resultados obtenidos en [12], el cual mostró datos de resistencia a compresión en celdas ejecutadas con mortero convencional. Para este trabajo se realizó una segunda tanda construida con juntas de adhesivo para cerámicas.

El presente trabajo se basó en comparar resultados entre celdas EPS y celdas LCH de primera y segunda tanda. Los resultados se presentaron en tablas separadas y se obtuvieron parámetros estadísticos de cada lote de celdas. Los datos del presente documento corresponden a celdas de EPS y a celdas de LCH de segunda tanda, los cuales se realizaron siguiendo el mismo protocolo de ensayo a rotura hasta obtener la resistencia a compresión.

La experiencia se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, en donde se realizaron ensayos de probetas “Celda” de mamposterías (término utilizado para describir una probeta conformada con ladrillos unidos con mortero de junta simulando la trabazón usual que siguen dentro del esquema de replanteo de un muro de cerramiento).

Se espera que la presente investigación brinde comparativas concretas entre resultados de ensayos idénticos en los diferentes prototipos analizados a efectos de establecer criterios de diseño en diferentes opciones de cerramientos que permiten reducir el consumo de cemento y otros materiales de costo significativo y con efectos colaterales en su fabricación como las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.

2. Metodología

Los ladrillos EPS utilizados en el presente trabajo, son de fabricación local impulsada por un profesional de la zona. El proceso de fabricación posee tecnología basada en procesos electromagnéticos preservados por el fabricante, dando como resultado un bloque de perlas de EPS maniobrable y estable para ser utilizado en cerramientos.

Para obtener datos geométricos de las piezas a ensayar se registraron las dimensiones de cada elemento a usar y una designación codificada (*LT-Lote-Unidad*). La Fig. 1 muestra un esquema de los parámetros geométricos a registrar para el análisis experimental. Se tomaron cuatro medidas de largo (L1), de ancho (L2) y de alto (H), además de los diámetros en ambas caras (D1 y D2) para luego analizar sus medidas estadísticas.

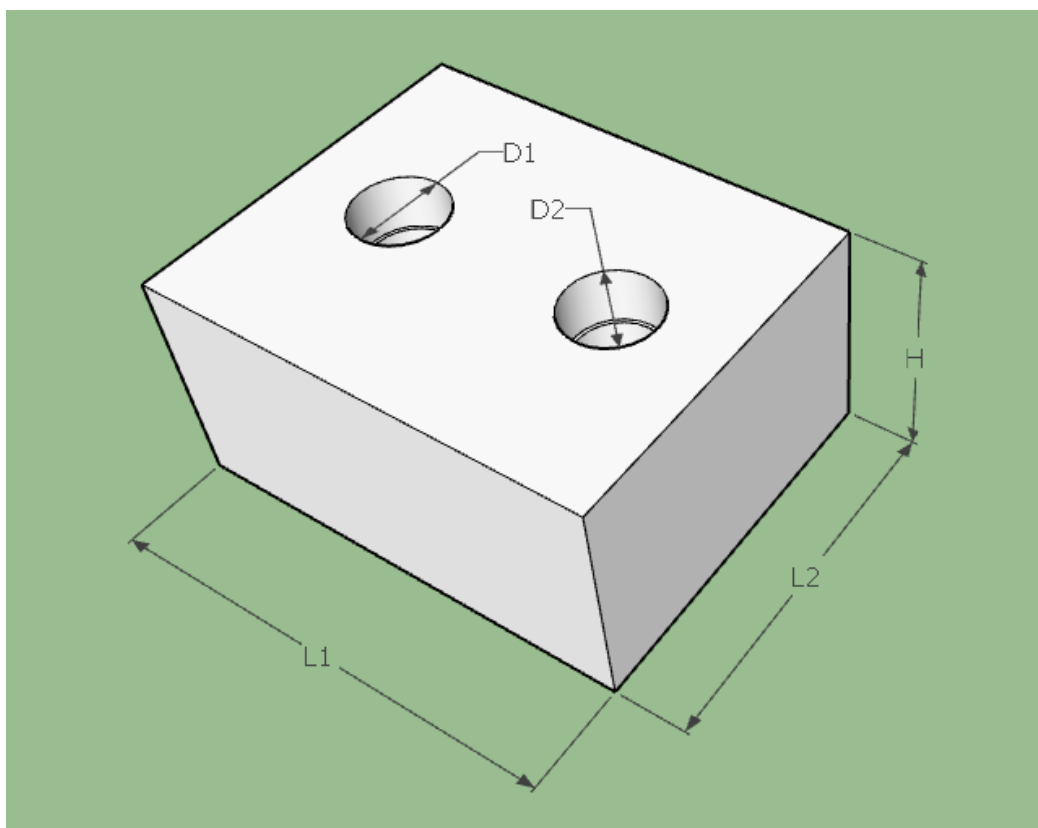


Fig. 1. Parámetros definidos para el protocolo de caracterización geométrica.

Las probetas se trataron combinando dos materiales de propiedades mecánicas diferentes. Se emplearon ladrillos conformados de poliestireno expandido (EPS), los cuales contaban con dos orificios centrados de manera simétrica que recorren la altura del ladrillo. Estos orificios se completaron con mortero MC 1:3 dosificado en relación P/P con el objetivo de evaluar el aporte de rigidez del mortero al nuevo elemento compuesto (MC 1:3 + EPS).

La Fig. 2 muestra una imagen de las probetas preparadas para iniciar el proceso de fragüe. En este punto se hace una división del total de los ladrillos, para preparar los ensayos individuales (fig. 3) y celdas (fig. 4), que están compuestas por 3 ladrillos de EPS, que simularán el comportamiento en conjunto de estos. Los ladrillos fueron codificados con la sigla LT y numerados de tal forma de poder establecer la trazabilidad en los procesos de caracterización geométrica.

Se realiza un encabezado con una mezcla de yeso/cemento (50/50) para darle cierta rigidez al momento de distribuir la carga sobre estos, tanto sobre los ladrillos que se van a ensayar de manera individual como las celdas una vez armadas.

Para los ensayos de compresión de las celdas, se siguió el procedimiento establecido por IRAM 12737, adaptado a las particularidades del material compuesto con algunos ajustes de forma. Desde este enfoque se elaboraron probetas en donde se dispusieron juntas horizontales y verticales para evaluar características y trayectorias de las eventuales fallas que pudiera sufrir cada espécimen. Para otros casos convencionales, los modos de falla se ubican en el ladrillo, en el mortero de junta y en la interfaz entre junta y ladrillo.



Fig. 2. EPS relleno con mortero de cemento 1:3.



Fig. 3. Ladrillos individuales de EPS.



Fig. 4. Ladrillos en formato celdas de EPS unidos con adhesivo para cerámicas.

Las Figs. 5 y 6 muestran las características de las celdas elaboradas para ensayos de resistencia a compresión. La diferencia en el uso de mortero para unir cada ladrillo dio como resultado una diferencia mínima en el tamaño de la probeta.



Fig. 5. Celdas de LCH unidos con adhesivo para cerámicas – CLCH-AC.



Fig. 6. Celdas de LCH unidos con mortero de cemento de albañilería – CLCH-CA.

Se realizaron ensayos a compresión para las celdas de CLEPS y celdas de CLCH en dos tandas aplicando el protocolo descrito en [8], para los ladrillos individuales LEPS y LCH se aplicó el protocolo [4]. Además, se ensayaron probetas de mortero aplicando la norma IRAM 1622, donde este mortero utilizado para rellenar un doble núcleo circular de LEPS. Ante la ausencia de normas específicas para materiales de estas características se adoptó el criterio de adaptar el marco referente a mamposterías de ladrillo macizo y ladrillos cerámicos huecos (LCH).

Los ensayos realizados en probetas LCH y EPS siguieron el mismo protocolo, midiendo en cada experimento, la carga aplicada mediante una placa rígida de acero que desciende a través de un dispositivo denominado “Jaula de ensayo”, el cual permite guiar la aplicación de la carga en perfecta verticalidad. Además, se midió el desplazamiento vertical en cada esquina de la placa de asiento que sirve de transición entre el pistón de la prensa, la celda de carga y la probeta ensayada.

La Fig. 7 muestra la jaula de ensayo utilizada en un ensayo de celdas LCH realizado en el Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC) de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM).

Para los ensayos de rotura correspondientes a ladrillos individuales y probetas de morteros se utilizó una prensa marca COSACOV de capacidad nominal máxima de 50 KN, por otro lado, se utilizó una prensa hidráulica IBERTEST con capacidad nominal de 1500 KN para los ensayos de celdas de mampostería.

Respecto del instrumental de medición, se utilizaron una celda de carga de 50 KN en el caso de la primera prensa y un adquisidor de datos con frecuencia de muestreo de 5 Hz, mientras que para la segunda prensa se utilizó una celda de carga de 1000 KN incorporada de manera fija al equipo.

Para medir desplazamientos (acortamientos de probetas) se utilizaron extensómetros conectados al sistema de adquisición de datos, provistos de una precisión del orden de centésimas de mm. Se dispusieron en cada esquina de la placa de asiento de carga y se tomó el desplazamiento promedio para realizar las estimaciones de deformación específica.

La Fig. 8 muestra el equipo de adquisición de señales desarrollado por el Laboratorio de Simulación y Ensayos mecánicos de la Universidad Nacional de Misiones.



Fig. 7. Jaula de ensayo para celdas de mampostería.



Fig. 8. Dispositivos de adquisición de datos.

La Fig. 9 muestra imágenes de los dispositivos utilizados para ensayar las muestras de mortero, ladrillos rellenos con mortero y celdas de ladrillos rellenas con mortero.

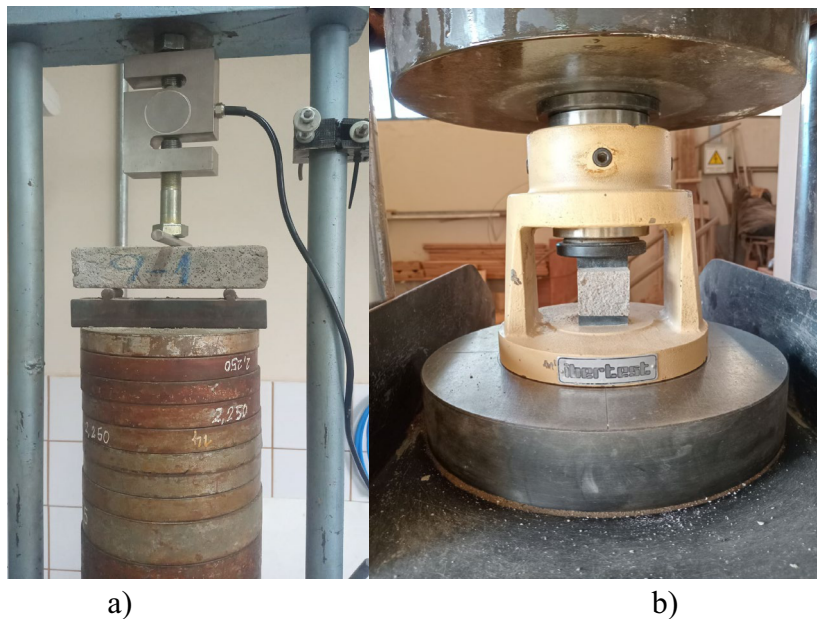


Fig. 9. Dispositivos de ensayo: a) a tracción por flexión; b) a compresión.

3. Resultados

Para los resultados obtenidos en el caso de ladrillos LCH, se puede ver en la referencia [2] que los valores de resistencia a compresión estuvieron en un orden de casi 9 MPa con un desvío del 13%, mientras que, para la resistencia a Flexión, se obtuvo un promedio de 0,80 MPa con un desvío del orden de 8%. En cuanto a los valores obtenidos en celdas de mampostería LCH, se obtuvo un promedio de 4,66 MPa con un desvío de 6,88%. Dichos valores se contrastaron con modelos de resistencia propuestos por Oller (2014).

La Fig. 10 muestra fallas ocurridas en el ensayo ejecutado en CLEPS, donde se registraron roturas por tracción perpendicular a la línea de aplicación de la carga y con respecto al valor de resistencia se consideró atribuido al núcleo elaborado con mortero de cemento.



Fig. 10. Modos de falla observados en celdas de ladrillos EPS unidos con adhesivo para cerámicas.

La Fig. 11 muestra fallas ocurridas en el ensayo ejecutado en CLCH-CA, donde se registraron fallas en el ladrillo y en el mortero de unión, siendo estas predominantes. Se pudo observar además que las fallas en el mortero produjeron diversas fallas locales en la estructura interna del ladrillo.



Fig. 11. Modos de Falla en celdas CLCH-CA.

La Fig. 12 muestra las fallas registradas en ensayos de celdas CLCH-AC, en donde se puede observar la predominancia de las fallas en el ladrillo y en la interfaz entre mortero y ladrillo, por diferentes efectos combinados entre compresión, tracción, corte y flexión.



Fig. 12. Modos de falla en celdas CLCH-AC.

La Tabla 1 presenta los resultados del procesamiento estadístico, con indicadores de dispersión, asimetría y curtosis correspondientes a las dimensiones geométricas de ladrillos EPS utilizados para estas experiencias. Las dimensiones de cada ladrillo se obtuvieron con calibre digital de precisión de 0.01 mm y se relevaron dimensiones globales exteriores y diámetros interiores de orificios verticales. Los parámetros estadísticos y sus expresiones aritméticas se muestran a continuación en las ecuaciones (1) a (5):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$\bar{x}$: *valormedio*

(1)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \sigma: \text{desvíotípico} \quad (2)$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}, CV: \text{Coeficiente de Variación} \quad (3)$$

$$CA = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)\sigma^3}, CA: \text{Coeficiente de Asimetría} \quad (4)$$

$$CC = \frac{n(n+1) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)\sigma^4} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}, C: \text{Coeficiente de Curtosis} \quad (5)$$

Luego se evaluó la resistencia mecánica a compresión y tracción por flexión en diferentes formatos: ladrillos individuales, celdas de ladrillos con trabas, juntas horizontales y verticales, y probetas normalizadas de mortero de cemento. Los formatos analizados en el presente artículo fueron celdas de ladrillos EPS (CLEPS), celdas de ladrillos cerámicos huecos unidos con mortero de cemento de albañilería (CLCH-CA) y celdas de ladrillos cerámicos huecos unidos con adhesivo para cerámica (CLCH-AC).

Tabla 1. Resumen estadístico de caracterización geométrica de ladrillos EPS.

Parámetros estadísticos	L1 [mm]	L2 [mm]	H [mm]	D1 ^{sup} [mm]	D2 ^{sup} [mm]	D1 ^{inf} [mm]	D2 ^{inf} [mm]
Media	248,03	119,3	120,7	48,4	48,4	44,3	44,4
Desvío típico	0,132	0,043	0,060	0,226	0,227	0,163	0,174
Variación %	0,53 %	0,36 %	0,50 %	4,68 %	4,68 %	3,67 %	3,92 %
Asimetría	0,001	-0,40	-1,31	-2,26	-2,15	1,94	2,07
Curtosis	-0,98	0,69	2,18	3,76	3,39	3,27	3,14

La caracterización mecánica de CLEPS se realizó sobre un total de 14 probetas de ladrillos individuales, 14 celdas, 15 probetas de mortero a flexión y 30 probetas de mortero a compresión. Para los experimentos realizados en CLCH-CA y CLCH-AC se utilizaron 18 probetas de cada especie en turnos experimentales diferentes.

Se observa que, para los ensayos a compresión de 1 a las celdas de ladrillos, los resultados se presentan en la tabla 2, en la cual se observan la media, el desvío típico, el coeficiente de variación y medidas de distribución y asimetría.

Los parámetros analizados indican la carga máxima en cada ensayo y su acortamiento correspondiente; luego se calcularon la resistencia y la deformación específica para proceder a la estimación del módulo elástico a compresión en ambos casos. En todos los ensayos se registró la velocidad de carga para confirmar el carácter monotónico de las pruebas mecánicas.

La tabla 3 muestra los resultados de ensayos efectuados en ladrillos individuales LEPS, en donde se registraron la carga de rotura, acortamiento, resistencia a compresión y deformación específica.

La tabla 4 muestra el rango de resultados de ensayos en ladrillos individuales LEPS, estableciendo máximos, cuartiles y mínimo para los ladrillos ensayados en forma individual.

Las tablas 5 y 6 muestran (respecto de lo observado para CLCH) resultados obtenidos en CLEPS, registrando valores máximos, estadísticos correspondientes, cuartiles y rango de magnitud de los parámetros analizados.

La Fig. 13 muestra las fallas registradas en ladrillos individuales, observándose una separación del ladrillo respecto del núcleo de mortero de cemento. La fisura vertical observada denota el ensanchamiento producido por el efecto de compresión.

Tabla 2. Resumen estadístico de caracterización de celdas de ladrillos CLCH.

Parámetros estadísticos	L1 [mm]	L2 [mm]	H [mm]	R CLCH-CA [MPa]	R CLCH-AC [MPa]	E CLCH-CA [MPa]	E CLCH-AC [MPa]
Media	173.63	374.68	359.13	4.66	10.66	1673.19	7257.44
Desvío típico	1.21	2.93	0.98	0.321	1.32	22.67	1392.97
Variación %	0.697%	0.782%	0.274%	6.88%	12.34%	1.35%	19.19%
Asimetría	-1.42	-0.05	0.80	-0.02	1.26	0.01	-0.07
Curtosis	2.46	-5.72	-1.48	0.2	1.02	0.07	-1.75

Tabla 3. Resumen estadístico de propiedades mecánicas de ladrillos individuales LEPS a compresión.

LEPS	Media	Desvío	CV	Asimetría	Curtosis
Carga máxima [Kg]	4961.82	1128.54	0.23	-0.86	2.07
Acortamiento correspondiente [mm]	2.99	1.76	0.59	0.37	-0.10
Tensión de rotura [MPa]	16.75	4.15	0.25	-0.60	0.93
Deformación específica	0.02	0.01	0.59	0.39	-0.12
Rampa de carga [Kg/s]	47.27	26.49	0.56	0.13	-1.52

Tabla 4. Resumen por cuartiles de propiedades mecánicas de ladrillos EPS a compresión.

LEPS	Máximo	3er cuartil	2do cuartil	1er cuartil	Mínimo
Carga máxima [Kg]	7728.02	5549.03	4804.61	4422.88	2965.88
acortamiento [mm]	6.17	3.97	3.30	2.43	-0.05
Tensión de rotura [MPa]	26.08	18.93	15.88	14.51	9.43
Deformación específica	5.1E-02	3.3E-02	2.7E-02	2.0E-02	-4.2E-04
Rampa de carga [Kg/s]	80.24	70.71	49.31	25.17	2.90



Fig. 13. Modos de falla en ensayos de ladrillos individuales.

Tabla 5. Resumen estadístico de propiedades mecánicas de celdas de ladrillos CLEPS.

CLEPS	Media	Desvío	CV	Asimetría	Curtosis
Carga máxima [Kg]	10307.49	2451.32	0.24	0.59	-0.93
Tensión de rotura [MPa]	21.09	4.06	0.19	0.57	-0.83
Rampa de carga [kg/s]	284.92	326.44	1.15	0.67	-1.83

Las tablas 6 y 7 muestran los resultados estadísticos obtenidos para los ensayos normalizados en morteros de resistencia a flexión.

Tabla 6. Resumen por cuartiles de propiedades mecánicas de celdas de ladrillos EPS.

CLEPS	Mínimo	1er Cuartil	Media	3er Cuartil	Máximo
Carga máxima [Kg]	7675.83	8212.80	9637.56	12290.19	15035.90
Tensión de rotura [MPa]	16.62	17.78	19.90	23.84	29.12
Rampa de carga [Kg/s]	46.20	49.60	53.05	696.49	728.80

Para los ensayos de morteros a flexión a partir de la Norma IRAM 1622, se siguió el procedimiento indicado usando la ecuación (6) para obtener la resistencia.

$$\overline{R_f} = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} \quad (6)$$

donde:

- R_f : Resistencia a flexión
- l : Distancia entre apoyos
- F_f : Carga
- b : Lado de la sección.

En la tabla 7 se puede observar que los parámetros registrados han mostrado valores de asimetría y curtosis que permiten concluir que dichos parámetros son compatibles con una distribución de tipo normal. En la tabla 8 se ordenaron valores organizados por cuartiles; y con respecto a los valores obtenidos para resistencia a compresión, los cuales están presentados en la

tabla 8, se constató que la relación entre la resistencia a flexión y a compresión fue del orden del 16 %, valor típico de materiales de comportamiento frágil.

Tabla 7. Resumen estadístico de propiedades mecánicas de probetas de mortero MC a flexión.

FMC	Media	Desvío	CV	Asimetría	Curtosis
Carga máxima registrada [Kg]	202.29	67.66	0.33	-0.09	-0.07
Resistencia experimental [MPa]	5.15	1.75	0.34	0.06	-0.03
Rampa de carga [Kg/s]	4.66	0.51	0.11	0.97	0.24
Resistencia esperada [Mpa]	7.44	2.49	0.33	-0.09	-0.07

Tabla 8. Resumen por cuartiles de propiedades mecánicas de probetas de mortero MC a flexión.

FMC	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo
Carga máxima registrada [Kg]	77.16	167.98	218.13	232.26	321.76
Resistencia experimental [MPa]	2.01	4.19	5.35	5.93	8.41
Rampa de carga [Kg/s]	4.13	4.27	4.50	5.03	5.84
Resistencia esperada [MPa]	2.84	6.18	8.02	8.54	11.83

La Fig. 14 muestra los modos de falla ocurridos en los ensayos de resistencia a tracción por flexión para las barras normalizadas de mortero.

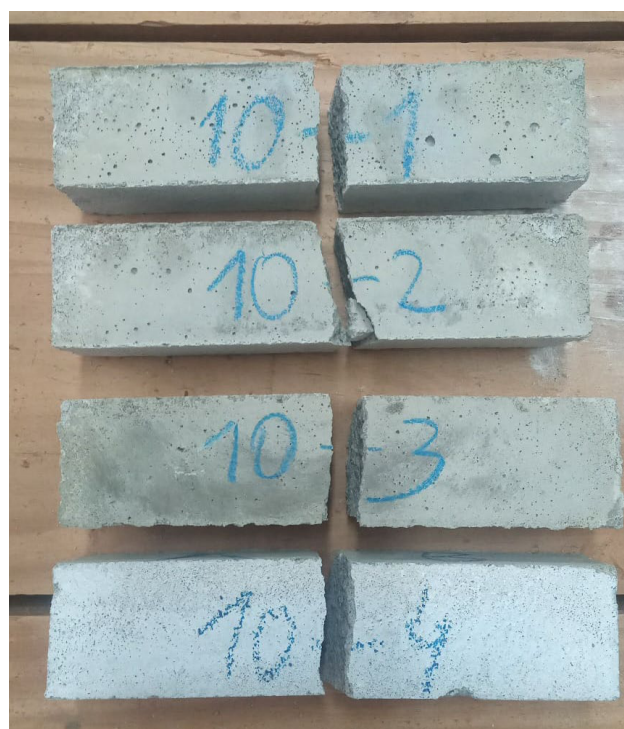


Fig. 14. Modos de falla en ensayos de probetas de mortero MC ensayados a flexión.



Fig. 15. Modos de falla en ensayos de probetas de mortero MC ensayados a compresión.

Para los ensayos de morteros a compresión, los resultados se observan en las tablas 9 y 10, donde se puede apreciar que la función continua de probabilidad se puede ajustar a una distribución normal. La Fig. 15 muestra el modo típico de falla ocurrido en los ensayos de resistencia a compresión para barras normalizadas de mortero.

Tabla 9. Resumen estadístico de propiedades mecánicas de probetas de mortero MC a compresión.

CMC	Media	Desvío	CV	Asimetría	Curtosis
Carga máxima [Kg]	4769.03	821.24	0.17	0.66	-0.42
Tensión de rotura [Mpa]	31.53	5.43	0.17	0.66	-0.42
Velocidad de carga [Kg/s]	243.86	11.36	0.05	0.13	-1.18

Tabla 10. Resumen por cuartiles de propiedades mecánicas de probetas de mortero MC a compresión.

CMC	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo
Carga máxima [Kg]	3465.98	4149.72	4654.48	5277.36	6473.02
Tensión de rotura [MPa]	22.92	27.44	30.77	34.89	42.80
Velocidad de carga [Kg/s]	226.54	235.72	241.57	254.00	263.32

4. Conclusiones

A continuación, desarrollamos las conclusiones del presente trabajo basado en comparar las prestaciones mecánicas de muros realizados con tecnología LEPS respecto de otros sistemas conocidos, con el objetivo de establecer criterios de factibilidad de uso del sistema propuesto.

En primer lugar, se comparó la resistencia a compresión entre ladrillos EPS rellenos con mortero de cemento y ladrillos LCH unidos con mortero. Los resultados estadísticos demuestran que los parámetros obtenidos en el presente artículo pueden adaptarse a una función de distribución de probabilidad continua de tipo normal. La importancia de este punto es confirmar el tipo de distribución a aplicar. En trabajos futuros se puede usar este dato como referencia para cualquier proceso de optimización con restricciones de confiabilidad.

Con respecto a la comparativa entre opciones, puede observarse que, en el caso de la alternativa EPS, en celdas y en ladrillos unitarios, la resistencia mostró mayor orden de magnitud; aun así, el orden de variación de los resultados superó el 15% lo cual permite concluir, que es consecuencia de la diferencia entre materiales en términos de sus propiedades mecánicas. Al contrario, en ladrillos LCH y en celdas de mampostería LCH, la resistencia fue menor en general, pero el orden de variación fue menor al 15%, con lo cual la alternativa LCH parece ser más estable y admitir valores característicos mayores.

Con respecto a la diferencia entre resultados en ladrillos y celdas LCH, se puede concluir que el mortero de junta incide de manera considerable en el resultado final, ocasionando una disminución en la resistencia, compresión del conjunto.

Respecto a trabajos futuros se puede plantear un análisis de la resistencia al corte en comparativa de ambos sistemas con el cual se puede estimar el desempeño de estos frente a acciones dinámicas, como el sismo. En cuanto a la resistencia a flexión de LEPS y CLEPS, es interesante pensar en estudiar este fenómeno para establecer posibles modos de falla no considerados a la fecha.

Por otro lado, al evaluar la incidencia del mortero de junta en LCH, se propone analizar cómo se modifica la resistencia a compresión en el conjunto utilizando morteros mejorados mecánicamente y con menos espesor, los cuales se espera aproximar el comportamiento de la celda al comportamiento observado en los ladrillos individuales.

Para finalizar al margen de lo mencionado en las conclusiones es importante señalar que ambas alternativas se pueden considerar viables como opciones para viviendas de baja altura, con bajo compromiso estructural, en donde las opciones, con las reservas del caso, pueden considerarse aplicables en cerramientos exteriores e interiores, bajo condiciones de solicitación estructural controlada y acotada. Los valores obtenidos en los experimentos son compatibles con la utilización de estos sistemas como soportes de entresijos con sobrecarga de uso destinada a viviendas.

Referencias

- [1] CPAU, a-406 planilla resumen de costos de obra e incidencia de rubros, Manual del Ejercicio Profesional de Arquitectura y Urbanismo, 9ª edición, 2023.
- [2] Duarte J., “interacción estructural de cuerpos edilicios en Misiones, Argentina”, Tesis doctoral, Doctorado en Ciencias Aplicadas, Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones. Misiones, Argentina, 2021.
- [3] Oller S., Numerical simulation of mechanical behavior of composite materials, Centre Internacional de mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE), School of Civil Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, Spain, Springer, (2014).

- [4] Norma IRAM 12586. Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Método de ensayo de resistencia a la compresión. Reemplaza a IRAM 12586: 1980. Subcomité Ladrillos y Bloques Cerámicos para la Construcción. Instituto Argentino de Normalización y Certificación
- [5] Vázquez J., “estudio técnico y económico de una vivienda social utilizando ladrillos de poliestireno expandido”, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Escuela de Construcción Civil, Tesis para optar al Título de Ingeniera Constructor, Valdivia-Chile, 2010.
- [6] Padilla K., “sistema comparativo costo y tiempo de la mampostería tradicional vs mampostería (EPS) poliestireno en el hospital monte sinai “bloque e-100”, Trabajo de titulación para obtener el grado de Ingeniero Civil, Escuela De Ingeniería, Facultad De Ciencias Matemáticas y Físicas, Universidad De Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2017.
- [7] Norma IRAM 1622. Cemento Portland. Determinación de resistencias mecánicas. Reemplaza a IRAM EXP 1622 (Exp):2006. Incluye Modificación N°1: 2010. Incluye Modificación N°2: 2015. Incluye Modificación N°3: 2022. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- [8] Norma IRAM 12737. Mampostería de ladrillos y bloques cerámicos. Método para determinar la resistencia a la compresión de muros mediante el ensayo de pilas de mampostería. Subcomité Ladrillos y Bloques Cerámicos para la Construcción. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- [9] Park, R., Paulay, T. Estructuras de concreto reforzado, Primera Edición, México, Editorial Limusa, 1979.-
- [10] Reglamento CIRSOC 501, Estructuras de mampostería, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.
- [11] Reglamento CIRSOC 501-E, Viviendas de mampostería bajo compromiso estructural, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.
- [12] Reinert H.O., evaluación de solicitaciones por elementos finitos aplicada a medios continuos, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Mecánica Computacional, Vol XXXII. Number 42. Structural Analysis, ISSN 2591-3522, 2013.
- [13] Duarte, J. A. (2017). Aproximación del comportamiento de ladrillos cerámicos: calibración experimental y numérica (Mecánica Computacional, Vol. XXXV, pp. 2077–2091). Universidad Nacional de La Plata.
- [14] Sobhani M., (2025), Fabrication of lightweight clay-based refractory bricks using recycled EPS polymer, Faculty of Materials & Metallurgical Engineering, Semnan University, Iran, Case Studies in Construction Materials, Volume 22, July 2025, e04683, Elsevier.
- [15] Villalta-Góngora, V., González-Tobar, E., & Valero-Fajardo, C. (2023). Diseño de un bloque alivianado utilizando poliestireno expandido, PET, vermiculita como agregados. 593 Digital Publisher CEIT, 8(3), 383-394. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1708>.