







Caracterización del proceso de fabricación artesanal de ladrillos rojos en el Estado de México

Artisanal manufacturing process characterization of red brick in México State

R. Mendoza-De Jesús ^a, A. Vega-Haro ^a, M. Guadarrama-Garduño ^a, L. García-Guzmán ^a, E. Dehonor-Márquez ^b,
A. Jiménez Montoya ^{a*}

^a División de Ingeniería Civil, Tecnológico Nacional de México TES-San Felipe del Progreso, 50640, San Felipe del Progreso, México, México.

^b División de Ingeniería Química, Tecnológico Nacional de México TES-San Felipe del Progreso, 50640, San Felipe del Progreso, México, México.

Resumen

En este trabajo se presenta la caracterización del proceso de fabricación artesanal de ladrillo rojo el Estado de México, con el objetivo de evaluar el desempeño físico y mecánico del material e identificar oportunidades de mejora en su fabricación. El estudio incluyó la caracterización granulométrica y de plasticidad de los suelos utilizados, así como ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua, realizados conforme a la normatividad mexicana vigente. Los resultados muestran que el desempeño mecánico del ladrillo depende de manera significativa de la composición del suelo y del control de las etapas de secado y cocción. Las resistencias a la compresión obtenidas se ubican dentro de los rangos típicos reportados para ladrillos artesanales en México, aunque no cumplen de forma consistente con los requisitos normativos para aplicaciones estructurales. Asimismo, el análisis de las curvas esfuerzo–deformación permitió estimar módulos de elasticidad con valores superiores a los normativos. El estudio aporta una línea base técnica para la región centro del país y plantea recomendaciones orientadas a mejorar la calidad del ladrillo artesanal mediante la optimización de la mezcla de suelos y el control del proceso de fabricación.

Palabras Clave: Ladrillos rojos, límites de Atterberg, granulometría de suelos, resistencia a la compresión.

Abstract

This study presents the characterization of the red clay brick artisanal manufacturing process in State of Mexico, with the aim of evaluating the physical and mechanical performance of the material and identifying opportunities for process improvement. The research included particle size distribution and plasticity characterization of the raw soils, as well as compressive strength and water absorption tests conducted in accordance with current Mexican standards. The results show that brick performance is strongly influenced by soil composition and by the degree of control during the drying and firing stages. The compressive strengths obtained fall within the typical ranges reported for artisanal bricks produced in Mexico, although they do not consistently meet the normative requirements for structural applications. In addition, analysis of the stress–strain curves enabled the estimation of elastic moduli exceeding the values specified in the standards. This study provides a technical baseline for the central region of the country and proposes recommendations aimed at improving the quality of artisanal bricks through optimization of soil mixtures and enhanced process control.

Keywords: Red Bricks, Atterber limits, soil particle size distribution, compression resistance.

1. Introducción

Los ladrillos son elementos de construcción modular elaborados a partir de suelos locales, que han desempeñado un papel fundamental en la edificación desde los albores de la

civilización humana (Campbell & Pryce, 2016). Existe evidencia de su uso desde las primeras civilizaciones mesopotámica, egipcia, india y china, tanto en construcciones habitacionales como industriales y ceremoniales (Seath et al., 2006).

*Autor para la correspondencia: adan.jm@sfelipeprogreso.tecnm.mx

Correo electrónico: ramondejesus9549@gmail.com (Ramón Mendoza-De Jesús), arturovegaharo19@gmail.com (Arturo Vega-Haro), maugarduno454@gmail.com (Mauricio Guadarrama-Garduño), lucia.gg@sfelipeprogreso.tecnm.mx (Lucía García-Guzmán), ethnice.dm@sfelipeprogreso.tecnm.mx (Ethnice Dehonor-Márquez), adan.jm@sfelipeprogreso.tecnm.mx (Adán Jiménez-Montoya)

En América Latina y México, los procesos de fabricación del ladrillo rojo se basan predominantemente en técnicas empíricas, con variaciones regionales que pueden resumirse en un procedimiento común: 1) obtención del suelo local, 2) cribado grueso, 3) mezclado y amasado con agua hasta alcanzar una pasta plástica típicamente con contenidos de agua de moldeo del orden de 23–32 % respecto al peso seco del suelo (Arce-Tena, 2017), seguido del 4) moldeado o troquelado de las piezas y 5) un secado al aire libre por periodos que suelen oscilar entre 3 y 30 días (Barranzuela-Lescano, 2014; Custodio-García et al., 2007). Durante esta etapa de secado se producen pérdidas progresivas de humedad que influyen directamente en la aparición de fisuras y deformaciones previas a la cocción (Moropoulou et al., 2005). Posteriormente, las piezas se someten a 6) un proceso de sinterización en hornos tipo campana o colmena, con ciclos de cocción de hasta 24 horas y temperaturas del orden de 800–1000 °C, intervalo reportado en diversos estudios experimentales realizados en México y América Latina (Martínez-González & Jiménez-Islas, 2014; Ruiz-Sibaja et al., 2012; Villeda-Muñoz et al., 2011). La falta de control preciso de la temperatura y de la distribución térmica dentro del horno constituye uno de los principales factores de variabilidad en la calidad del producto final.

La composición de los suelos empleados como materia prima presenta una alta variabilidad en función de la región de extracción. Por ejemplo, Akintola et al. (2024) reportan, para ladrillos elaborados en Limpopo, Sudáfrica, contenidos de 77–89 % de arena, 17–18 % de limo y 4–5 % de arcilla, con bajos contenidos de materia orgánica (<3 %) y valores de plasticidad entre 3.36 y 14.25 %. En contraste, estudios cerámicos y mineralógicos realizados en México indican que los ladrillos producidos en el Estado de México y en zonas urbanas del país suelen presentar composiciones con 40–60 % de fracción fina (limo + arcilla) y 40–60 % de arenas y limos gruesos, proporciones consideradas adecuadas para garantizar cohesión en estado crudo y estabilidad dimensional después de la cocción (Carranza, 2021; Villeda-Muñoz et al., 2011). En general, se busca que el contenido de materia orgánica sea reducido (< 2 %) para evitar expansión, fisuras o quemado irregular durante el horneado.

La resistencia a la compresión R_c [MPa] de los ladrillos rojos cocidos presenta una amplia variabilidad. Estudios experimentales realizados en México sobre piezas artesanales y semi-industriales reportan valores típicos comprendidos entre 3 y 19 MPa (Hussain et al., 2023), en función de la mineralogía del material, el control del proceso de fabricación y el tipo de pieza (maciza, hueca o multiperforada). La norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 (ONNCCE, 2013a) establece, para ladrillos de arcilla con longitudes menores a 300 mm, una resistencia media a compresión de 11 MPa y una resistencia mínima individual de 7 MPa para ladrillos macizos; mientras que para ladrillos huecos se exigen valores de 9 MPa y 7 MPa, respectivamente, y para ladrillos multiperforados, 15 MPa y 12 MPa. Asimismo, dicha norma fija límites máximos de absorción de agua durante 24 h de 23 % para piezas artesanales y 19 % para piezas extruidas o prensadas, así como valores máximos de absorción inicial de 5 g/min para muros expuestos y 7.5 g/min para muros interiores o con recubrimiento.

Si bien la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 no establece de manera directa un valor único del módulo de elasticidad E

[GPa], en la práctica mexicana este parámetro se estima a partir de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería NTCDCEM (Gobierno de la Ciudad de México, 2020), donde se propone una relación empírica del tipo $E \approx 350 \cdot f_c$ para cargas de corta duración. Para resistencias de diseño típicas de 3 a 5 MPa en muros de ladrillo rojo artesanal, esta expresión conduce a módulos efectivos del orden de 1 a 1.8 GPa, en concordancia con valores experimentales reportados por Ruiz Sibaja et al. (2012) y Flores et al. (2013) para mampostería de ladrillo rojo recocido en los estados de Chiapas y Guerrero, respectivamente.

A pesar de que en México las NTCDCEM establecen criterios claros de resistencia y diseño estructural, los estudios orientados a la caracterización integral de las propiedades físico-mecánicas de ladrillos artesanales siguen siendo escasos y se concentran en un número reducido de investigaciones puntuales (Carranza, 2021; Flores et al., 2013; Villeda-Muñoz et al., 2011; Ruiz Sibaja et al., 2012). En años recientes se han propuesto estudios que proponen metodologías no destructivas para la estimación del contenido de humedad (Pech-Pérez et al., 2025) y estudios experimentales y numéricos que evidencian la influencia dominante de la temperatura de cocción en la resistencia mecánica (Alonso Romero et al., 2024).

No obstante, la caracterización integral del proceso de fabricación del ladrillo rojo artesanal continúa siendo limitada, particularmente en la región centro del país, donde predominan técnicas empíricas de fabricación. En la práctica, el incumplimiento de los valores normativos de resistencia se asocia a la heterogeneidad de las mezclas, al control limitado del secado y de la cocción, y a daños durante la manipulación y el transporte, lo que deriva en una elevada variabilidad del desempeño mecánico, la aparición de patologías como fisuras y desgranamiento, y en un uso ineficiente de recursos energéticos en hornos tradicionales (Ramos Gavilán et al., 2018; Ortiz Herrera et al., 2020; Ramos-Vargas et al., 2026).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una caracterización integral del proceso de fabricación del ladrillo rojo artesanal en una comunidad de la región centro de México, a fin de identificar las principales limitaciones técnicas y aportar bases objetivas para mejorar del desempeño del material en aplicaciones constructivas.

2. Metodología

2.1 Etapas del proceso de fabricación artesanal

Se realizó una visita a una comunidad del Estado de México. Se seleccionó un productor de ladrillo, al cual se le aplicó una encuesta para determinar las generalidades del proceso de elaboración. La información recabada se contrastó mediante visitas semanales durante un periodo de 2 meses. Se identificaron seis etapas generales (Figura 1) desde la recolección del material (etapa 1), el cual proviene de una cantera ubicada en la presa aledaña a la comunidad.



Figura 1. Etapas del proceso de producción de ladrillo rojo

Este suelo se clasifica en dos tipos: sedimento arcilloso blanco y sedimento arcilloso rojo (a los cuales, los productores denominan de manera coloquial como tierra blanca y tierra colorada, respectivamente). En la segunda etapa, el sedimento arcilloso blanco y rojo se mezclan en proporciones de 8 y 17 carretilladas respectivamente (150 kg aproximadamente por carretillada), añadiendo diez mil litros de agua, para elaborar un lote de mil ladrillos.

En la tercera etapa se vierte esta mezcla en moldes denominados “gaveras” dentro de las cuales previamente se espolvorea suelo conocido tepetate rojo molido, que funge como desmoldante y aporta el característico color rojizo superficial.

Se elaboraron cinco tipos de figuras de ladrillos: de doble cocol, de estrella, de cajón y macizo. Para el presente trabajo, se estudiaron los tipos de doble cocol y macizo (Figura 2), los cuales se utilizan comercialmente por los productores. En la cuarta etapa, se lleva a cabo el proceso de secado a la intemperie, debajo de una techumbre, entre 7 a 15 días. En la quinta etapa se sinterizan en un horno, durante un periodo de 12 13 horas, a una temperatura máxima de aproximadamente 900 °C. Se deja reposar en el horno durante dos a tres días, para posteriormente vaciar el horno y apilar para su comercialización (sexta etapa).

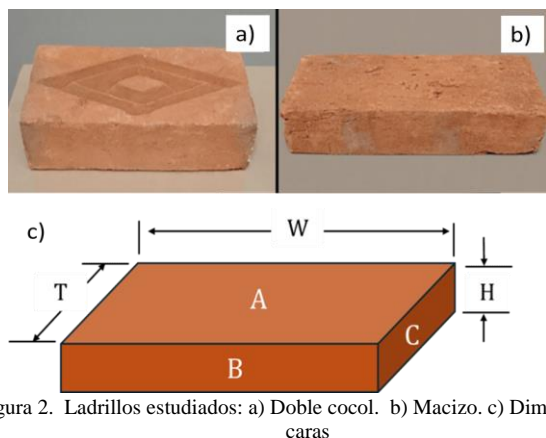


Figura 2. Ladrillos estudiados: a) Doble cocol. b) Macizo. c) Dimensiones y caras

2.2 Pruebas de granulometría

Se recolectó una muestra de 15 kg de sedimento arcilloso blanco (A) y 15 kg de sedimento arcilloso rojo (B), ambas en estado húmedo. Se realizó el secado, tamizado y clasificación acorde al procedimiento de la norma M-MMP-1-06/03 (Instituto Mexicano del Transporte, 2003). Los resultados se observan en las Tablas 1 y 2. La curva de distribución granulométrica resultante se indica en la Figura 5. El coeficiente de uniformidad C_v se obtiene mediante la relación: $C_v = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; el coeficiente de curvatura C_c se obtiene mediante $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$ (ambos adimensionales), donde D_{10} , D_{30} y D_{60} se obtienen de la curva granulométrica y representan el tamaño de las partículas para el cual el 10%, el 30% y el 60% del material es menor que éste, respectivamente. La clasificación del tipo de suelo es acorde a C_v y C_c , en función de la norma ASTM D2487-22 (ASTM International, 2022).

2.3 Límites de Atterberg

Para este ensayo se recolectaron en total, 4 muestras de suelo de sedimento arcilloso blanco (A) y sedimento arcilloso rojo (B). Con la finalidad de obtener su plasticidad, se determinaron los límites líquidos (L_l) y límites plásticos (L_p) (Figura 3), bajo la norma ASTM D43318 (ASTM International., 2017), utilizando el método copa de Casagrande bajo la norma M-MMP-1-07/07 (Instituto Mexicano del Transporte, 2007) con un número de golpes de 33, 21 y 19 para cada tipo de sedimento.

Para la determinación del índice de plasticidad (IP) [adimensional], se utilizó la ecuación (1):

$$IP = L_l - L_p \tag{1}$$

Los resultados se indican en las Tablas 4 y 5 y en la Figura 6.

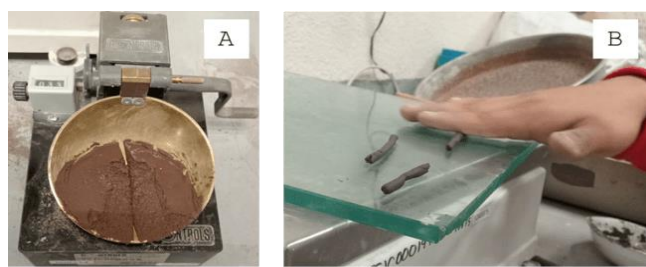


Figura 3. Pruebas de plasticidad a) Determinación de límite líquido, b) Determinación de límite Plástico

2.4 Pruebas de compresión

Para determinar la resistencia a la compresión R_c [MPa], se realizaron seis pruebas de compresión sobre la cara A, seis sobre la cara B y seis sobre la cara C (Figura 2c), para cada uno de los ladrillos tipo doble cocol (Figura 2a) y la misma cantidad de pruebas para los ladrillos macizos (Figura 2b), resultando en un total de 18 especímenes ensayados para cada tipo de ladrillo.

La norma utilizada en la elaboración de pruebas es la NMX-C-ONNCCE-036-2013 (ONNCCE, 2013b), la cual indica una velocidad de 0.035 mm/min, y un cabeceo previo con azufre en las caras de contacto (ver Figura 4). El equipo utilizado fue una máquina universal de ensayos Shimadzu

AGVX-100, para las pruebas sobre las caras B y C, y para la cara A, se utilizó una máquina ELE International 36-3095/02. Los resultados se indican en la Figura 8.

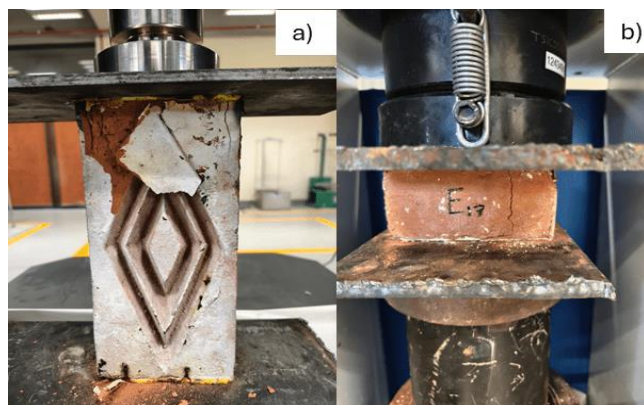


Figura 4. Pruebas de compresión. En a) se muestra la prueba sobre la cara C, mientras que en b) se muestra la prueba sobre la cara A

3 Resultados y Análisis

3.1 Granulometría.

Después de ser secados por un periodo de 24 horas, el suelo de sedimento arcilloso blanco (A) llegó a un peso de 13,170 g, mientras que el suelo del sedimento arcilloso rojo (B) presentó un peso de 12,980 g. Los datos de los porcentajes de granulometría para cada tipo de suelo se indican en las Tablas 1 y 2, para los suelos tipo A y B respectivamente, donde se indica el tamaño de malla (M [in]), abertura nominal (AN [mm]), la masa retenida (MR [g]), el retenido parcial (RP [%]), el retenido parcial acumulado (RPA [%]) y el porcentaje que pasa [%].

Tabla 1. Granulometría del Suelo A

M	AN	MR	RP	RPA	%
3/8	9.50	2940	22.32	22.32	77.67
4	4.75	2910	22.09	44.41	55.58
8	2.36	2460	18.67	63.09	36.90
16	1.18	1800	13.66	76.76	23.23
30	0.60	1000	7.59	84.35	15.64
50	0.30	800	6.07	90.43	9.56
100	0.15	640	4.86	95.29	4.70
200	0.07	420	3.18	98.48	1.51
Pasa		200	1.51	100.00	0.00
Suma		13,170	100.00		

Tabla 2. Granulometría del Suelo B

M	AN	MR	RP	RPA	%
3/8	9.50	3240	24.96	24.96	75.03
4	4.75	4260	32.82	57.78	42.21
8	2.36	2460	18.95	76.73	23.26
16	1.18	1200	9.24	85.97	14.02
30	0.60	600	4.62	90.60	9.39
50	0.30	460	3.54	94.14	5.85
100	0.15	420	3.23	97.38	2.61
200	0.07	180	1.38	98.76	1.23
Pasa		160	1.23	100.00	0.00
Suma		12,980	100.00		

Para el material tipo A, se obtuvo un C_v de 14 y un C_c de 2.57 que de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) (ASTM International, 2022), es una arena bien graduada (SW). Para el material tipo B se obtuvo un C_v de 10 y un C_c de 2.5 clasificándose también como una arena bien graduada. En la Figura 5 superior, se observa que el suelo tipo A muestra una curva con una pendiente más suave y una distribución que inicia con un mayor contenido de finos (aprox. 5%), el suelo tipo B (parte inferior) presenta una curvatura que se desplaza hacia las partículas de mayor diámetro). Los porcentajes de fracción fina (limo y arcilla) y fracción gruesa (arena) obtenidos, se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Contenidos de fracción fina y gruesa de los suelos tipos A y B.

Tipo de suelo/ Fracción	A	B
Arena (%)	98.77	98.48
Limo+Arcilla (%)	1.23	1.52

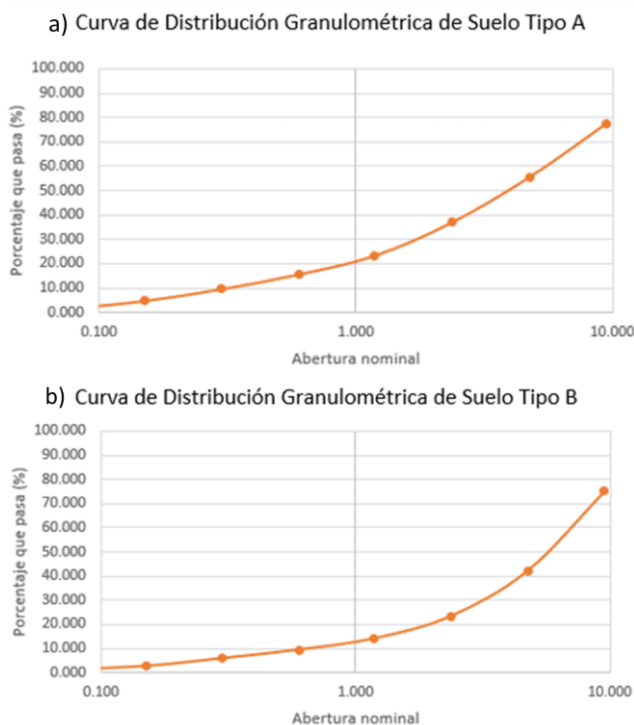


Figura 5. Distribuciones granulométricas. a) Para suelos tipo A y b) para suelos tipo B.

3.2 Límites de Atterberg.

En las Tablas 4 y 5 se muestran parámetros para determinar los líquidos y plásticos de los suelos tipo A y B respectivamente. Se indican el número de golpes (NG), el número de vidrio o de reloj (VR) la masa del suelo húmedo y recipiente (Wd) [g], la masa del suelo seco y recipiente (Wst) [g], masa de agua Ww [g], la masa de del recipiente o tara T [g], la masa del suelo seco Ws [g] y el contenido de agua Wi [%].

Tabla 4. Límite líquido y plástico del Suelo tipo A

Limite líquido							
NG	VR	Wd	Wst	Ww	T	Ws	Wi
33	136	42.4	36.4	6	17.4	19	32%
29	112	39.8	35.1	4.7	18.3	16.8	28%
21	117	47	40.3	6.7	18	22.3	30%
19	66	41.5	36.2	5.3	18.6	17.6	30%

Limite plástico							
VR	Wd	Wst	Ww	T	Ws	Wi %	
108	22.5	21.9	0.6	17.9	4	15%	
412	26.8	25.5	1.3	18.5	7	19%	
312	26	24.7	1.3	18.5	6.2	21%	

Tabla 5. Límite líquido y plástico del Suelo tipo B

Limite líquido							
N	VR	Wd	Wst	Ww	T	Ws	Wi
33	136	40.8	35.7	5.1	18.6	17.1	30%
29	112	38.8	34.4	4.4	18.5	15.9	28%
21	117	38.5	34.1	4.4	18.5	15.6	28%
19	66	44.9	39.2	5.7	18.4	20.8	27%

Limite plástico							
VR	Wd	Wst	Ww	T	Ws	Wi	
108	22.1	21.4	0.7	17.9	3.5	20%	
412	22.7	22.1	0.6	18.2	3.9	15%	
312	23.4	22.4	1	17.6	4.8	21%	

La intersección de la vertical con la curva de regresión de la Figura 6 indica el límite líquido (Ll). Para el suelo tipo A, se tiene un 30% de límite líquido y 18% de límite plástico, mientras que, para el suelo tipo B, se tiene un 29% de límite líquido y 19% de límite plástico. Las diferencias entre ambos suelos no son significativas.

Para el suelo tipo A se tiene un índice de plasticidad de 11.74 y del suelo B de 9.53 por lo tanto, con base en el gráfico de plasticidad de suelos de granos finos se obtiene arcillas inorgánicas de baja plasticidad (suelo A) y limos inorgánicos de baja compresibilidad

Para el suelo tipo A su baja plasticidad se relaciona con su contenido de minerales arcillosos menos plásticos (por ejemplo, la caolinita) o con la presencia de partículas más grandes y menos laminares; en cuanto a su resistencia cuando están secas, el valor es alto, mientras que al estar saturadas de agua esta propiedad disminuye su valor.

Esto puede traer como consecuencia que se generen vacíos dentro del molde o la gavera al momento de depositar el material para la elaboración del ladrillo. En el proceso de secado, esto puede originar fisuras en los ladrillos (Figura 7a) y 7b) que originen desmoronamientos, ladrillos no homogéneos y baja resistencia por concentración de esfuerzos.

Para el suelo tipo B su comportamiento en seco tiende a tener baja resistencia, sin cohesión o muy poca; la saturación con agua puede volverlos fluidos, comportándose de manera

similar a la arena fina, generando problemas similares que en el suelo tipo A.

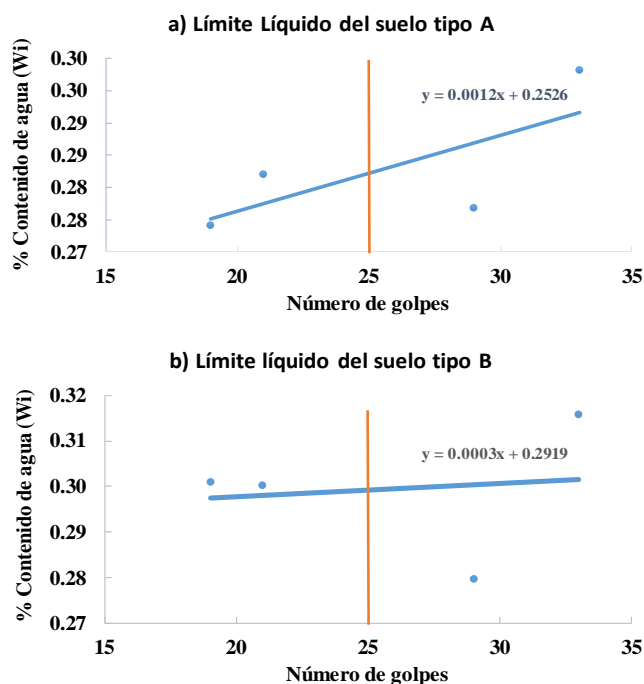


Figura 6. Gráficas de los límites líquidos. a) suelo tipo A y b) suelo tipo B)

Los suelos utilizados, tanto A como B, tienen una fracción fina mucho menor a lo reportado por Villeda-Muñoz et al. (2011) y Carranza (2021) para suelos en el Estado de México. Si bien, no existe un estándar en el país que indique cual es el contenido ideal de arcilla el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2022), establece un contenido de al menos el 60% de esta fracción. Esto tiene diversas implicaciones; si bien, facilita la manejabilidad de la mezcla al momento del moldeado, perjudica la calidad final del ladrillo, pues propicia contracciones no deseadas durante el secado (Bertelsen et al., 2021) y el sinterizado, originando fisuraciones por contracción en diversas zonas de ladrillo,



Figura 7. Tipos de defectos observados en los ladrillos.

Tabla 6. Dimensiones de los ladrillos tipo doble cocol y tipo macizo

Tipo de ladrillo/ parámetro	Largo (W) [mm]	Ancho (T) [mm]	Espesor (H) [mm]	Masa [kg]
Tipo doble cocol	254.52	121.46	56.22	2.63
σ	2.82	1.55	0.8	0.09
COV	1.10%	1.28%	1.43%	3.42%
Tipo macizo	252.86	121.47	56.4	2.66
σ	1.99	1.24	0.77	0.04
COV	1.26%	0.97%	0.72%	1.83%

especialmente aquellas en puntos de concentraciones de esfuerzos como biselados (Figura 7c) y 7d).

Por tanto, ninguno de los componentes de la mezcla cumple con los requerimientos establecidos por norma, por lo que se recomienda realizar un reemplazo parcial de suelo para incrementar el contenido neto de arcilla.

3.3 Dimensiones

Las medidas de los ladrillos son el largo W , el ancho T y el espesor H (Figura 2c).

Los valores promedio obtenidos se indican en la Tabla 6, con su desviación estándar σ y el coeficiente de variación COV . Tanto en las medidas obtenidas como en la masa se indican coeficientes de variación menores a 10% en todos los casos, lo cual indica un estándar de calidad en cuanto a medidas para el producto final aceptable.

3.4 Pruebas de resistencia a la compresión.

En Figura 8 superior, se observa la curva esfuerzo deformación para los ladrillos tipo doble cocol, mientras que en la Figura 8 inferior se observa la curva esfuerzo deformación para los ladrillos macizos. Estas curvas, se obtuvieron promediando los valores de las pruebas de compresión en las caras A, B y C, para cada tipo de ladrillo respectivamente (esto fue posible debido a que no encontró diferencia significativa entre la resistencia, independientemente de la cara sobre la que ejecutó la prueba). En particular, la ausencia de diferencias significativas en la resistencia a la compresión en función de la cara ensayada (A, B o C) coincide con observaciones previas en ladrillos macizos y artesanales en México, donde la isotropía del material se atribuye a procesos de moldeo manual y secado sin orientación preferencial definida (Ruiz Sibaja et al., 2012). Los valores de resistencia a la compresión máximos obtenidos para los ladrillos tipo doble cocol son de 4.75 MPa, mientras que para los tipos macizo son de 6.86 MPa. La norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 (ONNCCE, 2013a), especifica un valor de R_c de al menos 7 MPa. Este valor no se alcanza para el ladrillo tipo doble cocol, por lo que no cumple con la resistencia por norma, pero sí supera resistencias realizadas en otros estudios en México (Ruiz Sibaja et al., 2012; Martínez-González & Jiménez-Islas, 2014), con valores cercanos a 3 MPa.

Por tanto, no se recomienda utilizar este tipo de ladrillos para aplicaciones estructurales, pero sí para aplicaciones decorativas. En concordancia, los fabricantes manifiestan que el objetivo de este tipo de ladrillo es únicamente para uso decorativo, por lo que si bien, no cumple las especificaciones estructurales, satisface el objetivo de su aplicación.

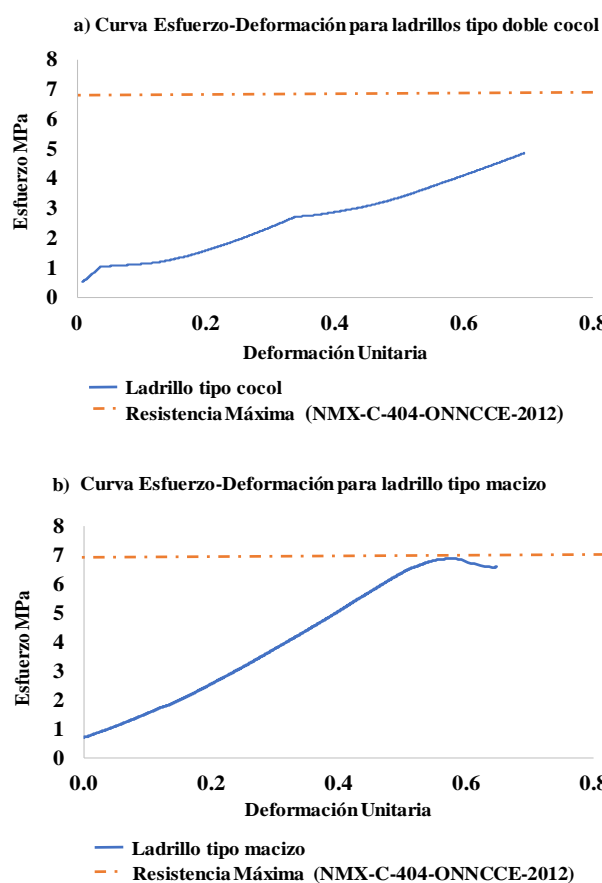


Figura 8. Curvas esfuerzo-deformación para determinación de resistencia a compresión de ladrillos. a) Tipo doble cocol y b) tipo macizo.

Para el caso del ladrillo tipo macizo, se tiene una R_c que es igual en términos estadísticos a la resistencia mínima requerida por norma, lo cual es consistente con los estudios experimentales de Alonso Romero et al. (2024), de Villeda-Muñoz et al. (2011) y de Ruiz Sibaja et al. (2012), quienes observaron que los ladrillos artesanales macizos presentan resistencias bajas a moderadas, con una elevada dispersión y una marcada sensibilidad a la composición granulométrica del suelo y al control del proceso de fabricación, siendo la cocción un factor dominante en el desarrollo de la resistencia mecánica. Este tipo de ladrillo se elabora con el propósito de ser utilizado estructuralmente, por lo que recomienda implementar mejoras para incrementar R_c , las cuales pueden tener solución en cambios del tipo de suelo utilizado (incorporando fracción fina, para balancear la proporción con el alto contenido de arena) a fin de generar una mezcla más homogénea, sin cavidades, y, por ende, con mayor resistencia.

En particular, las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del

Reglamento de Construcciones, establecen que el módulo de elasticidad E [MPa] de la mampostería, puede aproximarse como una función de la resistencia de diseño a compresión Rc' [MPa]. Para condiciones de carga sostenida, dichas normas recomiendan la expresión $E = 350 * Rc'$. Considerando de manera conservadora un valor representativo de $Rc' = 7$ MPa para tabiques rojos artesanales. De acuerdo con la resistencia mínima establecida en la NMX-C-404-ONNCCE-2012 (ONNCCE, 2013a), se obtiene un módulo de elasticidad estimado mínimo del orden de 2.41 GPa. A partir de una regresión lineal realizada en la zona elástica de las curvas esfuerzo-deformación, se determinó que el módulo de elasticidad experimental del ladrillo tipo cocol es de 5.91 GPa, mientras que para los ladrillos tipo macizo es de 11.72 GPa, ambos superiores al valor estimado de 2.41 GPa, así como al resultado obtenido reportado por Flores et al. (2013) en México (2.15 GPa). Sin embargo, este autor desataca también que las expresiones normativas para determinar el módulo de elasticidad tienden ser conservadoras respecto a los valores experimentales para mampostería de ladrillo rojo artesanal.

4 Conclusiones

A partir de la caracterización granulométrica, de plasticidad y de resistencia mecánica realizada, se identificó que los suelos empleados en la producción artesanal de ladrillo rojo en la comunidad seleccionada del Estado de México, presentan un contenido de fracción fina significativamente inferior al reportado en estudios previos para la región centro del país, lo cual se refleja en una baja cohesión en estado crudo y la aparición de fisuras y huecos durante las etapas de secado y cocción. Esta condición explica, los valores bajos de resistencia a la compresión obtenidos respecto a la norma, así como la dispersión observada en el desempeño mecánico de las piezas.

Con base en los resultados experimentales, se recomienda complementar la mezcla actual, mediante la incorporación de un suelo de tipo limoso que permita aproximar la formulación a un suelo de tipo franco, con proporciones del orden de 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla. Para ello, resulta necesario evaluar la disponibilidad de nuevos bancos de material o el suministro controlado de arcillas con características adecuadas, así como avanzar gradualmente desde prácticas empíricas hacia esquemas más estandarizados de recolección, mezclado y elaboración de la materia prima. Por otro lado, se identificó que el secado a la intemperie, sin control de las condiciones ambientales, contribuye de manera significativa a la generación de fisuras por contracción. En este sentido, la implementación de cámaras de secado con condiciones controladas de temperatura y humedad representa una alternativa viable para reducir defectos superficiales y mejorar la calidad final del producto. Esta observación es consistente con los resultados aquí obtenidos, donde las variaciones en Rc pueden atribuirse a una falta de control de la temperatura durante el horneado (Martínez-González & Jiménez-Islas, 2014).

Los resultados de resistencia a la compresión, indican que los ladrillos tipo cocol no cumplen con los valores establecidos por la normativa mexicana para aplicaciones estructurales, por lo que su uso debe restringirse a aplicaciones o fines

decorativos, en concordancia con el objetivo de aplicación declarada por los propios productores. No obstante, las resistencias obtenidas superan valores reportados en otros estudios experimentales realizados en México para ladrillos artesanales, lo que permite clasificar este producto como un ladrillo de calidad aceptable dentro del contexto de producción artesanal.

En el caso del ladrillo macizo, la resistencia a la compresión obtenida se sitúa en el umbral inferior de cumplimiento normativo, lo cual confirma su potencial para aplicaciones estructurales condicionadas a mejoras en el proceso de fabricación. En particular, el ajuste de la composición granulométrica del suelo, orientado a incrementar la fracción fina y reducir la presencia de vacíos internos, se perfila como una estrategia efectiva para aumentar la resistencia mecánica y la confiabilidad del material.

Finalmente, el presente estudio aporta una caracterización integral del proceso de fabricación del ladrillo rojo artesanal en la región centro de México, estableciendo una línea base técnica en la fabricación de ladrillos que permite identificar limitaciones, validar prácticas actuales y proponer mejoras orientadas tanto al cumplimiento normativo como a la transición hacia estándares de fabricación semi-industrial o industrial y potenciales mercados de exportación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación SECIHTI por el apoyo en el financiamiento del proyecto PEE-2025-G-506 y a la red de minerales estratégicos del Tecnológico Nacional de México por el apoyo brindado.

Referencias

- Akintola, G. O., Amponsah-Dacosta, F., Mhlongo, S. E., & Matsiketa, K. E. (2024). Mechanical evaluation of soil and artisanal bricks for quality masonry product management, Limpopo South Africa. *Scientific Reports*, 14(1), 13921. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64332-w>
- Alonso Romero, S., Ortiz Lango, L. Á., Frías Chimal, J. E., Zitzumbo-Guzmán, R., Estrada-Monje, A., Hernández Mena, L., & Del Real-Olvera, J. (2024). Compression resistance and color evaluation in artisanal red bricks: Experimental study and numerical simulation. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 36(7), 446–454. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2023.10.002>
- Arce-Tena, H. L. C.-R. J. L. (2017). Reingeniería del proceso de mezcla y secado para optimizar las propiedades del ladrillo techo 15 en ladrillera Sagitario [Tesis de Maestría]. Universidad San Ignacio de Loyola.
- ASTM International. (2017). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils (Number ASTM D4318-17e1). <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>
- ASTM International. (2022). ASTM D2487-22: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). <https://www.astm.org/d2487-22.html>
- Barranzuela Lescano, J. (2014). Proceso Productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Piura.
- Bertelsen, I. M. G., Belmonte, L. J., Fischer, G., & Ottosen, L. M. (2021). Influence of synthetic waste fibres on drying shrinkage cracking and mechanical properties of adobe materials. *Construction and Building Materials*, 286, 122738. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122738>
- Campbell, J. W. P., & Pryce, W. (2016). *Brick: A World History*. Thames & Hudson.
- Carranza, J. A. Q. (2021). Entre humo y arcilla: El sector ladrillero en México. Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma

- de México. <https://www.iiec.unam.mx/sites/default/files/2021-06/Entre%20humo%20y%20arcilla.pdf>
- Custodio-García, E., Acosta-Alejandro, M., Acosta-Pérez, L. I., Treviño-Palacios, C. G., & Mendoza-Anaya, D. (2007). Microstructural Characterization of Fired Clay Bricks in the Chontalpa Region, Tabasco, Mexico. *Materials and Manufacturing Processes*, 22(3), 298–300. <https://doi.org/10.1080/10426910701190154>
- Escalera-Velasco, L. A., De León-Martínez, H. A., Hernández-Murillo, C. G., Vega-Carrillo, H. R., Molina-Contreras, J. R., Palos-Barba, V., & Sánchez-Ortiz, A. (2022). Radiation shielding and dosimetric parameters of mexican artisanal bricks. *Applied Radiation and Isotopes*, 188, 110355. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110355>
- Flores, V., Sánchez-Tizapa, S., Arroyo, R., & Barragán, R. (2013). Propiedades mecánicas de la mampostería de tabique rojo recocido utilizada en Chilpancingo, Gro (México). *Informes de la Construcción*, 65(531), 387–395. <https://doi.org/10.3989/ic.12.084>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2020). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.
- Hussain, M., Levacher, D., Leblanc, N., Zmamou, H., Djeran-Maigre, I., Razakamanantsoa, A., & Hussan, A. (2023). A possible direct recycling of dredged sediments from the Usumacinta River (Mexico) into fired bricks. *Clean Technologies and Recycling*, 3(3), 172–192. <https://doi.org/10.3934/ctr.2023012>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2007). Determinación de los límites de consistencia de los materiales para terracerías (Numbers M-MMP-1-07–07). <https://normas.imt.mx/storage/normativa/M-MMP-1-07-07.pdf>
- Instituto Mexicano del Transporte (SCT). (2003). M-MMP-1-06/03: Granulometría de materiales compactables para terracerías. <https://normas.imt.mx/storage/normativa/M-MMP-1-06-03.pdf>
- Martínez-González, G., & Jiménez-Islas, H. (2014). Experimental study of the firing of red clay bricks using liquefied petroleum gas. In *Journal of Scientific & Industrial Research* (Vol. 73).
- Moropoulou, A., Karoglou, M., Giakoumaki, A., Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., & Saravacos, G. D. (2005). Drying kinetics of some building materials. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22(2), 203–208. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322005000200006>
- ONNCCE. (2013a). Industria de la construcción – Mampostería – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo (Number NMX-C-404-ONNCCE-2012).
- ONNCCE. (2013b). Industria de la construcción – Mampostería – Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines – Método de ensayo (Number NMX-C-036-ONNCCE-2013).
- Ortiz Herrera, L. Á., Aguilar Estrada, A. E., & Ramos Cortés, R. O. (2020). Caracterización del sector ladrillero en Puebla, México: Producción, comercialización, pobreza y territorio. *Textual*, (75), 243–269. <https://doi.org/10.5154/r.textual.2020.75.12>
- Pech-Pérez, A., Ricárdez-Montiel, A. A., & Pech-Ricárdez, A. A. (2025). Non-Destructive Estimation of Moisture Percentage in Fired Red Brick Using Digital Image Processing and Artificial Intelligence. *Construction Materials*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.3390/constrmater5010007>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022). Manual técnico de cerámica roja: Recomendaciones para la producción local. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-10/Ceramica%20roja.pdf>
- Ramos Gavilán, A. B., Rodríguez Esteban, M. A., Antón Iglesias, M. N., Sáez Perez, M. P., Camino Olea, M. S., & Caballero Valdizán, J. (2018). Experimental Study of the Mechanical Behaviour of Bricks from 19th and 20th Century Buildings in the Province of Zamora (Spain). *Infrastructures*, 3(3), 38. <https://doi.org/10.3390/infrastructures3030038>
- Ramos-Vargas, S., Vázquez-Tinoco, J. C., Serrano-Medrano, M., Masera, O., & Ruiz-García, V. M. (2026). Participatory innovation for sustainable artisanal brick production in Mexico: A case study. *Sustainable Futures*, 11, 101697. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2026.101697>
- Ruiz Sibaja, J. A., Cabrera Madrid, J. A., & Suárez Gómez, R. G. (2012). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de barro artesanal fabricado en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez. *Revista Espacio I+D Innovación Más Desarrollo*, 14(41), 58–78. <https://doi.org/10.31644/IMASD.41.2025.a04>
- Seath, J., Gize, A. P., David, A. R., Hall, K., Lythgoe, P., Speak, R., & Caldwell, S. (2006). An atypical Ancient Egyptian pillow from Sedment el-Gebel: evidence for migrant worker trading and technology. *Journal of Archaeological Science*, 33(4), 546–550. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.09.014>
- Villeda-Muñoz, G., Castañeda-Miranda, A., Pless, R. C., Vega-Durán, J. T., & Pineda-Piñón, J. (2011). Clay-Brick Firing in a High-Temperature Solar Furnace. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 395–408. <https://doi.org/10.22201/ii.25940732e.2011.12n4.039>