

# FABRICACIÓN DE LADRILLOS TÉRMICOS CON MATERIAL DE LA LOCALIDAD

## MANUFACTURE OF THERMAL BRICKS WITH LOCAL MATERIAL

Aviña Rivera Xochitl<sup>1</sup>, Ortega Castillo Diana Alejandra<sup>2</sup>, Herrera Ríos Erika Berenice<sup>3</sup>,  
Woocay Prieto Arturo<sup>4</sup>, Rodríguez Mejía Jeovany Rafael<sup>5</sup>

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v7i2.345>

<sup>1</sup>Maestría, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Departamento de Metal Mecánica. [xochitl.ar@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:xochitl.ar@cdjuarez.tecnm.mx), 6562344025, CP.32340; <https://orcid.org/0009-0009-4668-7155>

<sup>2</sup>Maestría, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Departamento de Metal Mecánica. [diana.oc@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:diana.oc@cdjuarez.tecnm.mx), 6567083897, CP.32340; <https://orcid.org/0009-0001-8984-5143>

<sup>3</sup> Doctorado, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Departamento de Ingeniería Industrial. [ericka.hr@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:ericka.hr@cdjuarez.tecnm.mx), 6563010684, CP.32500; <https://orcid.org/0000-0002-6964-5830>

<sup>4</sup>Doctorado, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Departamento de Metal Mecánica. [arturo.wp@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:arturo.wp@cdjuarez.tecnm.mx), 6562027409, CP. 32500; <https://orcid.org/0000-0001-9235-0494>

<sup>5</sup>Doctorado, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Departamento de Metal Mecánica. [rafael.rm@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:rafael.rm@cdjuarez.tecnm.mx), 6567058925, CP. 32500; <https://orcid.org/0000-0003-4154-0778>

**Resumen** -- Esta investigación se centra en la búsqueda de la mezcla óptima de materiales para fabricar ladrillos térmicos, considerando dentro de los principales materiales alguno que se encontrara presente en la localidad y que aportara características al ladrillo. Mediante experimentación, esta investigación arrojó, que los materiales que se encontraron para la mezcla y fabricación de ladrillos térmicos son: Arena, Caolín, Cal, Yeso, Agua, Cemento, óxido de titanio, Óxido de hierro, Diatomita, carboximetilcelulosa (CMC). Los resultados de ensayos realizados con las muestras de ladrillos mostraron que una mezcla con alto contenido de alfalfa como material de la localidad, junto con los materiales anteriormente mencionados, ofrecía una mezcla uniforme y consistente y con propiedades térmicas. Los ladrillos, se evaluarán con ensayo de compresión, resistividad térmica, absorción, ensayo de dureza y ensayo de eflorescencia. Se espera que los ladrillos obtenidos presenten alta resistencia a la compresión, baja conductividad térmica. En conclusión, la mezcla obtenida de estos materiales permite fabricar ladrillos térmicos de alta calidad, que reducen y beneficiosos para la industria de la construcción. La reducción de costos por ladrillo, no se logró de manera contundente, cuidando no se comprometiera las propiedades esenciales, aportando beneficios en la construcción de viviendas en áreas con climas extremos, en términos de aislamiento térmico y seguridad estructural, aspectos cruciales para mejorar la calidad de vida en zonas vulnerables de Ciudad Juárez.

**Palabras Clave:** Experimentación, Térmico, Caolín, carboximetilcelulosa (CMC), Mezcla óptima.

**Abstract** -- The present research focuses on finding the optimal material mix to manufacture thermal bricks, considering local materials that would enhance the brick's properties. Through the Design of Experiments, the research identified the following materials for the mix: sand, kaolin, lime, gypsum, water, cement, titanium oxide, iron oxide, diatomite, and carboxymethyl cellulose (CMC). The results showed that a mix with a high content of alfalfa as a local material, along with the aforementioned materials, provided a uniform and consistent mix with the best properties. A press was designed and built for brick manufacturing, and the bricks will be evaluated through compression tests, thermal resistivity, absorption, hardness, and efflorescence tests. It is expected that the obtained bricks will exhibit high compressive strength and low thermal conductivity. The conclusion was that the optimal mix of these materials allows the production of high-quality, low-cost thermal bricks, beneficial for the construction industry. However, a significant cost reduction per brick was not achieved without compromising essential properties.

**Key words** – Experiments, Thermal, Kaolin, carboxymethyl cellulose (CMC), Optimal mixture.

### INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es que, a través de la experimentación, encontrar la mezcla óptima de materiales que incluyan alguno que se encuentre en la localidad, para la fabricación de ladrillos térmicos que permitan a las viviendas en las zonas vulnerables de Ciudad Juárez, mantener temperatura confortable y facilidad de acceso al producto.

La Hipótesis que se propone es que “existe una relación positiva entre la mezcla óptima para la fabricación de ladrillos térmicos y la resistividad térmica de los mismos”.

Los ladrillos térmicos son de materiales cerámicos diseñados para resistir altas temperaturas, choques térmicos y ambientes químicos agresivos.

Para la construcción de los ladrillos, se emplearon materiales, incluyendo arena sílice, óxido de titanio, óxido de hierro, CMC, entre otros. Con ellos se realizó la experimentación con diez ensayos de mezclas con diversos porcentajes para la fabricación de ladrillos a tamaño escala, a las mejores combinaciones se les agregaron materiales que se localizan fácilmente en la localidad y que pudieran ayudar a que el ladrillo térmico pudiera mejorar las propiedades de resistividad térmica y resistencia, estos son: paja, aserrín y alfalfa; de éstos, se seleccionó la alfalfa por ser el material que aportó más consistencia y resistencia al tacto de los ladrillos muestra.

## MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**Arena:** En [1], menciona que resiste el desgaste y meteorización, su dureza en escala de Mohs es 7. Es resistente a los ácidos y acción del agua. La capacidad de resistencia a compresión es de 1600 MPa. El punto de fusión es de 1710°C. Su densidad está en el orden de 2.65 gr/cm<sup>3</sup>. En resumen, la arena en ladrillos cerámicos controla la plasticidad, reduce la retracción, mejora la resistencia mecánica, controla la porosidad, y contribuye a la estabilidad dimensional y a la textura superficial del producto final. Además, ayuda a reducir costos y mejorar la eficiencia del proceso de fabricación

**Caolín:** El caolín es un silicato de aluminio hidratado, producto de la descomposición de rocas feldespáticas principalmente, según [2]. El término caolín se refiere a arcillas en las que predomina la mineral caolinita. Recapitulando, mejora la calidad del ladrillo cerámico en términos de resistencia, estabilidad, y apariencia.

**Cal:** En [3], se indican que la cal, mejor conocida como óxido de calcio, es una sustancia química natural derivada de la piedra caliza y se ha utilizado en la construcción desde la antigüedad debido a sus propiedades únicas. La cal se mezcla con arena y agua para formar mortero, que se utiliza para unir ladrillos, piedras y otros materiales de construcción. Una de las propiedades más importantes de los morteros de cal es que endurecen hasta alcanzar la dureza y resistencia de la piedra original. La cal en los ladrillos cerámicos mejora la plasticidad, acelera el secado, reduce la retracción, controla la porosidad, aumenta la resistencia al agua y la resistencia mecánica, y contribuye a la estabilidad térmica y al control de la eflorescencia.

**Yeso:** El yeso (sulfato de calcio dihidratado, CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) se utiliza en la fabricación de ladrillos cerámicos principalmente como aditivo. Aunque no es un componente mayoritario, el yeso aporta varias propiedades importantes al proceso de fabricación y al producto final, regula el tiempo de fraguado, reduce la retracción, mejora la trabajabilidad, controla la porosidad, y contribuye a la estabilidad dimensional y a una superficie más suave del ladrillo

**Cemento:** En [4] se menciona que es un material fundamental en la construcción de ladrillos debido a sus

propiedades que mejoran la calidad, durabilidad y resistencia de las estructuras, contribuye a la resistencia a la compresión del mortero o concreto utilizado en la construcción de ladrillos. Esto asegura que las estructuras puedan soportar cargas significativas sin deformarse ni colapsar, puede ayudar a hacer que las construcciones de ladrillo sean más impermeables, protegiéndolas de la penetración de agua y evitando daños estructurales por humedad, aparte de que es fácil de trabajar.

**Diatomita:** Según [5], la tierra de diatomita es una roca sedimentaria silíceo de origen biológico formada por el esqueleto fósil de conchas de diatomeas. Cuando se añade a la mezcla de arcilla para fabricar ladrillos cerámicos, la diatomita aporta varias propiedades beneficiosas, aporta ligereza, mejora el aislamiento térmico y acústico, y aumenta la resistencia al fuego en los ladrillos cerámicos. Sin embargo, es importante equilibrar su cantidad para evitar una excesiva porosidad que podría afectar la resistencia mecánica.

**Óxido de hierro (hematita):** [6], menciona que el óxido de hierro rojo III, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (conocido como hematita) es un mineral de hierro natural que tiene una amplia gama de usos más allá de ser simplemente una fuente de hierro. Aparte de mejorar la estética, este material puede aumentar la resistencia a la intemperie de los ladrillos, haciéndolos más duraderos frente a la exposición prolongada a elementos naturales como la lluvia, el viento y las variaciones de temperatura, también puede influir en la plasticidad de la mezcla, mejorando la trabajabilidad y facilitando el moldeo de los ladrillos.

**Óxido de titanio:** En [7] se especifica que el rutilo es un mineral del grupo IV (de acuerdo a la clasificación de Strunz) cuya composición química es óxido de titanio (IV) (TiO<sub>2</sub>). En ladrillos cerámicos mejora la blancura, opacidad, y resistencia a agentes químicos y UV, además de ofrecer propiedades fotocatalíticas y mejorar la estabilidad térmica y dimensional del producto final.

**CMC:** La carboximetilcelulosa (CMC) es un polímero versátil y ampliamente utilizado en la industria de la construcción, particularmente en la formulación de mortero seco. Se mencionan en los resultados de [8], que la resistencia a la compresión no confinada (UCS) aumentó un 76,7% con un 0,5% del suelo tratado con NaCMC después de 28 días. El uso de CMC en ladrillos cerámicos mejora la plasticidad, controla el contenido de agua, reduce la retracción y las grietas, aumenta la resistencia en verde, mejora la homogeneidad de la mezcla y la calidad superficial, y reduce la generación de polvo durante el proceso de fabricación, debe ser dosificado adecuadamente, ya que en cantidades excesivas puede generar problemas como una excesiva retención de agua, lo que podría dificultar el secado final de los ladrillos.

## DESARROLLO

### Diseño de mezcla muestra.

Previo a la realización éste, la revisión de la bibliografía mostró algunos materiales que se utilizan en la fabricación de ladrillos, en este caso, se utilizaron seis factores de mezcla con 3 repeticiones, se definieron los límites superiores e inferiores, mismos que se muestran en Tabla 1. En este diseño de mezclas, la suma de las proporciones debe ser la unidad, aun cuando estos tengan restricciones o se encuentren en forma pura.

Durante la experimentación, de las diez mezclas, se seleccionaron el #4 y el #8; los cuales presentaron unos ladrillos muestra cuyas mezclas de preparación quedó con una consistencia de adhesión completa de los materiales, un secado rápido y una consistencia dura al tacto al secado. A estas mezclas se les agregó paja, aserrín y alfalfa, por ser un material con las siguientes características:

1. Estructura Fibrosa: La alfalfa está compuesta por fibras naturales que crean un entramado capaz de atrapar aire. El aire tiene una baja conductividad térmica, lo que aumenta la resistividad térmica del material.
2. Baja Densidad: Los materiales con alfalfa suelen tener una baja densidad, lo que reduce la conductividad térmica, ya que el material menos denso tiene menos capacidad para conducir calor.
3. Interacción con Otros Materiales: Cuando la alfalfa se mezcla con otros componentes, como cal, cemento o arcilla, puede mejorar la resistencia térmica del material resultante. Estos biocompuestos pueden ofrecer una solución sostenible para mejorar el aislamiento en construcciones. De estos tres materiales se eligió la alfalfa. Se presenta a continuación la experimentación, la mezcla óptima para ladrillos tamaño muestra, la mezcla seleccionada con el material de la localidad y los resultados de las pruebas de compresión y de resistividad térmica

**Tabla 1.** Límites Superior e inferior de Experimentación.

Material	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Experimento # 4	Experimento # 8
Arena sílica	25	35	25	26
Caolín	20	25	15	17
Cal	10	20	10	15
Yeso	8	18	10	5
Agua	10	20	18	17
Cemento	3	13	5	3
Alfalfa			10	10

Los porcentajes que se utilizaron para fabricar los ladrillos se muestran en la tabla 2.

### Fabricación de ladrillos.

El trabajo se realizó en 5 mezclas como se muestra:

1. MEZCLA 1: Se definieron las proporciones para la mezcla del experimento # 4, según la cantidad de arena que se utilizaría, se redujo la alfalfa, pues al compactar los ladrillos, esto no se lograba. Se tomó 1.95 kg de mezcla para colocarla en la prensa y con 1 tonelada de presión se logró un ladrillo compactado con un peso aproximado de 1.925 Kg, el cual se observa en la figura 1. Con un secado de 24 horas el ladrillo terminó con un peso promedio de 1.26 kg. La consistencia final de éstos, de manera general, fue que el 67 % resultaron firmes, 19 % fracturado y con poros y 14% con poros.



**Figura 1.** Ladrillo compactado, Mezcla 1.

De esta mezcla se tuvieron 21 ladrillos, de consistencia dura y completamente seca, se observan en la figura 2, ladrillos de la primera hilera.



**Figura 2.** Ladrillos de Mezcla 1 y Mezcla 3.

2. MEZCLA 2: Esta mezcla se desarrolló con 21.75 kg de arena, al mezclarla se observó falta de consistencia, por lo que se le agregó 1 kg más de cemento sumando un total de 4.35 kg, esto logró una mezcla uniforme y fácil de trabajar. Se tomaron 1.95 kg de la mezcla para colocar en la prensa y con una tonelada de presión se logró un ladrillo uniforme, de 1.922 kg promedio. Al cabo de 24 horas de secado, el ladrillo tiene 1.20 kg. Se muestran en la Figura 3, los 27 ladrillos con 24 horas de secado. La consistencia final de los ladrillos fue 48% se presentaron firmes, 41% con pocas lesiones, pero firme, 11% con huecos, pero firme.



Figura 3. Ladrillos secos, Mezcla 2.

3. MEZCLA 3: Esta mezcla se desarrolló con 21 kg de arena y la proporción correspondiente, al iniciar la mezcla se formaron grumos grandes de material los cuales se deshicieron con las manos, al cabo de casi 40 minutos de mezclado se logró una mezcla uniforme y con algunos grumos, pero fácil de trabajar. Se tomaron 1.95 kg de la mezcla para colocar en la prensa y con una tonelada de presión se logró un ladrillo uniforme, de 1.92 kg promedio. Al cabo de 24 horas de secado, el ladrillo tiene 1.09kg. Los 30 ladrillos que se fabricaron con esta mezcla se muestran en la Figura 1 en las filas 2 y 3. La consistencia final de éstos, de manera general, fue que el 53 % resultaron firmes, 30 % con poros y 17% con algunas pequeñas grietas o lesiones.

4. MEZCLA 4: Esta mezcla se desarrolló con lo considerado en el Experimento # 8. Se desarrolló para 22 kg de arena y con las proporciones que éste marcó. La mezcla se tornó muy complicada, ya que se formaron unas bolas de material muy difíciles de desbaratar, mismas que se muestran en la figura 4. Se revolvió aproximadamente una hora y se le agregaron 5 kg más agua de lo que indicaba la proporción; al cabo de ese tiempo quedó con consistencia para modelar. Se utilizaron 1.95 kg para realizar el ladrillo, posterior a la compactación quedó de 1.90 kg, con 24 horas de secado el ladrillo terminó con 1.20 kg. Se muestran en la figura 5 estos ladrillos, (a) húmedo y (b) con 24 horas de secado, como se puede observar la consistencia de estos es de aspecto grumoso. El 14% de estos ladrillos quedó muy grumoso pero compacto, 8% grumoso pero incompleto, 31% con lesiones en los lados, 42 con poros y el 5% con fracturas.



Figura 4. Mezcla 3 dentro de revolvedora.



(a)



(b)

Figura 5. Ladrillos de Mezcla 4.

5. MEZCLA 5: Esta mezcla se desarrolló con 21 kg de arena y la proporción correspondiente según el diseño de la mezcla. En las mezclas anteriores se pudo observar que el CMC era el que hacía que se formaran bolas de mezcla, por lo que al analizar que las propiedades que aportaba al ladrillo: retención de agua para evitar el agrietamiento, mejorar la superficie final, reducción de polvo; es decir, sólo propiedades de calidad superficial, se decidió eliminarlo. La mezcla quedó uniforme, de fácil manejo, no se formaron bolas de material y el mezclado fue por 20 minutos, cabe mencionar que el caolín y el yeso se adhirieron al final, pues son materiales que absorben mucha agua. Se fabricaron 39 ladrillos. Se observa en la figura Se utilizó 1.95 kg de mezcla para formar el ladrillo, compactado 1.91 kg y 1.44 kg con 24 horas de secado. En la figura 6, se observa un ladrillo con 24 horas de secado. El 70% de los ladrillos tenía una consistencia final muy firme y el 30 % restante tenía algunos poros, pero se mantenía firme.



Figura 6. Ladrillo seco, Mezcla 5.

Tabla 2 Porcentaje de material por mezcla.

Material	M1	M 2	M 3	M 4	M 5
Arena	25.00	25.00	25.00	24.07	26.80
Caolín	15.00	15.00	15.00	13.34	16.03
Cal	10.00	10.00	10.00	11.77	10.72
Yeso	10.00	10.00	10.00	5.76	10.72
Agua	17.99	17.99	18.00	27.52	25.52
Cemento	5.00	5.00	5.00	4.19	5.36
Alfalfa	10.0	10.0	10.00	7.84	1.44
Óxido de titanio	1.00	1.00	1.00	0.79	1.07
Óxido de hierro	2.50	2.51	2.50	1.96	1.28
Diatomita	1.00	1.00	1.00	0.79	1.07
CMC	2.50	2.51	2.50	1.96	0
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

### Prueba de ladrillos

Se realizarán 3 pruebas esenciales que permitirán evaluar los ladrillos fabricados y poderlos comparar con los ladrillos convencionales.

#### Prueba de Absorción

La norma ASTM C67 [9] es una referencia estándar utilizada para el muestreo y las pruebas de ladrillos y baldosas estructurales de arcilla. Esta norma incluye pruebas para determinar diversas propiedades, incluyendo la absorción de agua.

La norma ISO 10545-12:1995 [10] establece el método para determinar la absorción de agua de productos cerámicos. Aunque la norma especifica el procedimiento para realizar la prueba, no define valores específicos de absorción de agua que se deben alcanzar. Estos valores varían dependiendo del tipo de producto cerámico y su aplicación.

Procedimiento para la Prueba de Absorción de Agua:

1. Preparación de Muestras:

o Las muestras se secan en un horno a una temperatura de 105°C a 110°C hasta alcanzar un peso constante.

2. Inmersión en Agua:

o Las muestras secas se sumergen en agua a temperatura ambiente durante un período de 24 horas.

3. Medición de Pesos:

o Se mide el peso de las muestras antes y después de la inmersión en agua.

4. Cálculo de Absorción de Agua:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{W_H - W_S}{W_S} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde

$W_H$  Peso húmedo de la muestra

$W_S$  Peso seco de la muestra

Con esta misma prueba se evalúa la Eflorescencia. [12] se refiere a la formación de depósitos blanquecinos en la superficie de materiales de construcción como ladrillos, concreto, o piedra. Este fenómeno ocurre cuando las sales solubles presentes en los materiales de construcción o en el agua que se infiltra a través de ellos se disuelven en el agua, y luego, al evaporarse el agua en la superficie, las sales quedan depositadas. Aunque la eflorescencia no suele afectar la integridad estructural del material, puede ser una preocupación estética, ya que altera la apariencia de la superficie afectada. Además, su presencia puede indicar problemas de humedad, lo cual podría tener implicaciones a largo plazo para la durabilidad de la estructura.

La norma [10], titulada "Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile", incluye un método para evaluar la eflorescencia en ladrillos de arcilla estructural. Según esta norma, la eflorescencia se clasifica en cuatro categorías basadas en la observación visual de los ladrillos después de un proceso de inmersión en agua y secado:

- a) Ninguna (None): No se observa ninguna eflorescencia en la superficie del ladrillo.
- b) Ligera (Slight): Se observa una pequeña cantidad de eflorescencia en menos del 10% de la superficie del ladrillo.
- c) Moderada (Moderate): La eflorescencia cubre entre el 10% y el 50% de la superficie del ladrillo.
- d) Pesada (Heavy): La eflorescencia cubre más del 50% de la superficie del ladrillo.
- e) Excesiva (Excessive): La eflorescencia cubre casi toda la superficie del ladrillo y puede estar asociada con daños visibles en el material, como descamación o desintegración superficial.

De cada mezcla se tomaron 4 ladrillos, la inmersión se realizó por 24 horas en agua normal, colocados en recipientes de manera que quedaron completamente sumergidos, garantizando que el nivel del agua se mantenga constante a través del periodo de prueba. Los resultados se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados de prueba de absorción.

Mezcla	Muestra No.	% Absorción	Clasificación Norma ISO 10545-3	Clasificación Norma ASTM C67	Eflorescencia
1	18	33.57	G BIII	Alta	Ninguna
1	19	33.58	G BIII	Alta	Ninguna
1	6	33.87	G BIII	Alta	Ninguna
1	7	34.37	G BIII	Alta	Ninguna
2	9	47.10	G BIII	Alta	Ligera
2	8	50.42	G BIII	Alta	Ligera
2	19	48.76	G BIII	Alta	Moderada
2	20	51.66	G BIII	Alta	Ligera
3	19	54.12	G BIII	Alta	Moderada
3	11	54.86	G BIII	Alta	Pesada
3	10	55.26	G BIII	Alta	Pesada
3	24	55.75	G BIII	Alta	Pesada
4	8	46.28	G BIII	Alta	Pesada
4	35	48.33	G BIII	Alta	Pesada
4	7	48.76	G BIII	Alta	Pesada
4	36	48.76	G BIII	Alta	Pesada
5	12	26.89	G BIII	Alta	Ninguna
5	13	26.89	G BIII	Alta	Ninguna
5	34	29.16	G BIII	Alta	Ligera
5	35	29.37	G BIII	Alta	Ligera

#### Prueba de Compresión

En [12] aborda la prueba de compresión en materiales de construcción, incluidos los ladrillos y menciona que esta prueba es una propiedad fundamental que se mide para evaluar la calidad de los materiales de construcción. El propósito de esta prueba es determinar la capacidad de los ladrillos fabricados al soportar cargas antes de fallar, ya que esta medida es crucial de la resistencia estructural del material.

Así como [12] aborda temas como las propiedades físicas y mecánicas del hormigón, el comportamiento del

material bajo diferentes condiciones, y las técnicas de ensayo y control de calidad.

La norma [10]: Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, detalla de manera específica el método para probar la resistencia a la compresión de ladrillos y baldosas de arcilla estructural. Siguiendo el método de Prueba que propone la norma, a continuación, se describe lo realizado:

a) Selección y Preparación de Muestras:

Se seleccionaron al azar ladrillos representativos para la prueba. Las muestras estaban secas y libres de defectos visibles. En su mayoría las muestras seleccionadas estaban planas, por lo que no se rectificaron.

Aclarando que esos ladrillos no se secaron en horno sino a temperatura ambiente.

b) Equipo de Prueba: Se utilizó la Máquina Universal Galdabini, calibrada y equipada con un programa el cual es capaz de medir la carga con precisión.

c) Proceso de Prueba: La muestra se coloca en la máquina de compresión de manera que la carga se aplique perpendicular a las caras que soportarán la carga en su uso final. Se muestra en la figura 7.

d) Cálculo de la Resistencia a la Compresión: La resistencia a la compresión se calculó dividiendo la carga máxima aplicada (en Newtons) por el área de la superficie de carga (en milímetros cuadrados).

La ecuación que se utilizó es:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde

$\sigma$  es la Resistencia a la Compresión en MPa

F es la Carga máxima Nw

A es el Área de la superficie mm<sup>2</sup>



Figura 7. Ladrillo muestra de Mezcla 4 en Máquina Universal.

Los resultados de la prueba de compresión se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de prueba de Resistencia a la Compresión.

MEZCLA	PROMEDIO Resistencia Compresión Toneladas	PROMEDIO Resistencia Última Toneladas

1	6.149	0.000
2	2.928	2.919
3	2.246	2.244
4	2.448	2.446
5	10.478	2.447

Prueba de Transmisión de temperatura. La norma [13]: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus describe un método para medir la conductividad y la resistencia térmicas de materiales utilizando un aparato de medidor de flujo de calor.

A continuación, se detalla el método descrito en la norma:

**Principio del Método:** El método se basa en la medición del flujo de calor a través de una muestra del material en estado estacionario, cuando una diferencia de temperatura se aplica entre las dos superficies opuestas de la muestra. Esta prueba tuvo una duración de 4 horas, tiempo en el que se buscó mantener la temperatura estable dentro de la cámara; se registraron mediciones cada 5 minutos dentro de la primera hora de la prueba y posteriormente cada 10 minutos en las restantes 3 horas de prueba. El aparato de medidor de flujo de calor mide el flujo de calor resultante, que se usa para calcular la conductividad térmica del material.

**Sensores de flujo de calor:** Este se ubicó de tal manera que midiera el flujo de calor que pasa a través de la muestra.

**Termopares o termómetros de resistencia:** Se utilizan para medir la temperatura de las superficies de la muestra.

**Preparación de la Muestra:** La muestra se construyó con 10 ladrillos de cada mezcla, logrando una pared de 48 cm de ancho por 33 cm de alto, el espesor de la pared fue de 11 cm. Una muestra de ella se observa en la figura 8.

**Prueba para Cálculo de la Conductividad Térmica k:** La conductividad térmica se calcula usando la siguiente Ecuación:

$$k = \frac{q * \Delta x}{A * \Delta T} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde

k es Conductividad térmica en

q es la densidad de flujo de calor (W/m<sup>2</sup>)

A es el Área de la superficie m<sup>2</sup>

$\Delta x$  es el espesor de la muestra (m),

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre las dos superficies (K)

**Resultados:**

Se obtiene la conductividad térmica, que es una medida de la capacidad del material para conducir el calor.

También se puede obtener la resistividad térmica, que es el inverso de la conductividad térmica.

**Calibración:** Es crucial calibrar adecuadamente el medidor de flujo de calor antes de realizar las mediciones para asegurar la precisión de los resultados.

Condiciones de Ensayo: Las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, deben controlarse cuidadosamente para evitar interferencias en las mediciones.

Las mediciones se realizaron en paredes formadas por 10 ladrillos de cada mezcla, quedando un arreglo como se observa en la figura 8.



**Figura 8.** Arreglo para medición de diferencia de temperatura.

En realidad, el dato que interesa es el de la resistividad térmica, que es el inverso de la conductividad, Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 5

**Tabla 5.** Resultados de prueba de Flujo de calor.

MEZCLA	Conductividad Térmica k W/(m.°K)	Resistividad Térmica C (m.°K)/W
1	0.95	1.05
2	1.13	0.88
3	1.13	0.88
4	1.15	0.87
5	1.49	0.67

#### Precio por ladrillo

El precio de los ladrillos fabricados con materiales adquiridos en Ciudad Juárez varía considerablemente dependiendo de la calidad de los insumos utilizados y la disponibilidad de estos en el mercado local. Estos materiales, que incluyen arcilla, cemento, arena y aditivos especiales, influyen directamente en el costo final del producto, lo que se refleja en las opciones de precios disponibles para los consumidores. Los materiales utilizados fueron comprados en tiendas locales y algunos por internet, se compraron en menudeo, lo que pudiera aumentar su costo. El costo por ladrillo por mezcla se presenta en la tabla 6.

**Tabla 6.** Costo por ladrillo.

MEZCLA	Costo pesos
1	\$ 125.66
2	\$ 146.77
3	\$ 127.40
4	\$ 67.47
5	\$ 66.42

## DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En [5] se identificó que el ladrillo artesanalmente manufacturado ha sido estudiado actualmente con el propósito de adicionar compuestos orgánicos para mejorar sus propiedades mecánicas. Como lo es el caso donde se sustituye a hasta un 40 % la arena de su manufactura por residuos de diatomita obtenidos de una planta cervecera con la finalidad de determinar si cumplen con los requerimientos estipulados en [15]. En contraste, en la presente investigación se trabajó con la prueba de Absorción que permite concluir que según la Norma ASTM C67, todas las piezas sobrepasan el 20% de absorción permisible o aceptable para ladrillos de construcción, en condiciones donde la exposición a la humedad es un factor crítico, cosa que en Ciudad Juárez no se da, pues el clima es seco tanto en verano como invierno. Por lo que el 28% que tienen las piezas del ladrillo de Mezcla 5 sería óptimo para el uso en construcción. En contraste como se menciona en [3], donde se enmarca el desarrollo de ladrillos eco amigables con una matriz de materiales reciclados desde un 3 % hasta un 10 % logrando resistencias de hasta 175 kg/cm<sup>2</sup>.

En [16], se describe un estudio que compara las propiedades térmicas de los ladrillos fabricados a partir de residuos de construcción y demolición con ladrillos de arcilla y cemento, centrándose en el aislamiento térmico y la conductividad, al tiempo que evalúa el rendimiento medioambiental y los principios de sostenibilidad a través del reciclaje en la arquitectura. Los ladrillos fabricados a partir de residuos de construcción y caucho muestran el mayor aislamiento térmico.

Los ladrillos demuestran mejores propiedades mecánicas que las opciones tradicionales. El estudio destaca el potencial de los materiales reciclados en aplicaciones de construcción.

Las piezas fabricados en esta investigación que se sometieron a la prueba de compresión y los resultados de esta se encuentran en la tabla 3. En las observaciones de las pruebas se puede observar lo siguiente en cada uno de los grupos de ladrillos por mezcla:

**Mezcla 1:** El 40% de los ladrillos se desmoronó como se muestra en la figura 9 y el 60% restante, salió entero, pero con fracturas o las orillas rotas. Por ser una mezcla muy frágil el dato de la Resistencia última no se registró en la Máquina Universal.

**Mezcla 2:** El 70% de los ladrillos terminó roto, el 10% salió completo, pero al quitarlo de la Máquina se desmoronó y el 20% restante terminó completo.

**Mezcla 3:** El 60 % de los ladrillos salieron completos con algunas fracturas, el porcentaje restante se desmoronó en la prueba.

**Mezcla 4:** El 50 % de los ladrillos salieron completos con fracturas y frágil, el porcentaje restante queda completo

después de la prueba, pero se desmoronó al quitarlo de la máquina universal.

Mezcla 5: El 70% ladrillos sale completo, el 20% ladrillos sale completo con fracturas visibles, pero no se rompe y 10% se destrozó al cargarlos. Como se observa en la figura 10



Figura 9. Ladrillo de mezcla 1, desmoronado después de prueba de compresión.



Figura 9. Ladrillo de mezcla 1, desmoronado después de prueba de compresión.

En función de la distribución de las mezclas, en [7], se investigó el efecto de la adición del desecho de óxido de hierro en donde las propiedades mecánicas y microestructurales de ladrillos resultan mejoradas en función de la adición de 10 % y 15 % del óxido de hierro para la fabricación de ladrillos. En esta investigación, se logró que los ladrillos de la mezcla 5 logran mantener su forma aún con 10 toneladas en la prueba de compresión. Esta mejora en la resistencia mecánica podría estar relacionada con la sinergia entre la composición de la mezcla y el efecto estabilizador del óxido de hierro, lo que reafirma la tendencia observada en estudios previos, como el de [7], en el que se demostraba que la incorporación de este óxido, no solo mejora las propiedades estructurales, sino que también contribuye a una mayor estabilidad del material bajo condiciones de carga.

Si comparamos la Resistividad térmica de los ladrillos CDW suelen tener una **resistividad térmica** entre **0.20 y 0.35 m·K/W** [16], con la de la obtenida con los ladrillos de la mezcla 4, se puede observar que: La resistividad térmica mide la capacidad de un material para resistir el flujo de calor: a mayor resistividad, el material es mejor aislante térmico, ya que permite que el calor se transfiera con mayor dificultad. En este caso:

- **0.67 m·K/W** indica un material con **mayor resistencia** al flujo de calor. Dato de la Tabla No. 5

- **0.2 m·K/W** indica un material con menor resistencia al flujo de calor.

## CONCLUSIONES

De la prueba de Absorción se puede concluir que los ladrillos de la mezcla 5 tuvieron un promedio de 28 % de absorción en comparación las demás mezclas que tuvieron hasta un poco menos de 55%; aunado a esto, los ladrillos de la mezcla 5 resultaron con una eflorescencia nula o ligera.

De la prueba de compresión se concluye que el ladrillo de la mezcla 5 logran mantener su forma aun después de haber soportado una carga de compresión de más de 10 toneladas; en comparación con las otras mezclas que no soportaron más de 3 toneladas en su mayoría.

De la prueba de transmisión de temperatura se tiene, que al contrario de lo que se esperaba, los ladrillos de la mezcla 5, resultaron mejores conductores de calor que las otras mezclas. Según se observa en la tabla 5, los ladrillos de esta mezcla, con baja Resistividad, indican que el material permitiría un mayor flujo de calor, siendo un conductor de calor más eficiente. Resumiendo, las pruebas de esta mezcla al cabo de 4 horas con una temperatura de 85.1°C en el interior de la cámara, habían pasado 45.2 °C, que es casi la mitad.

[14] menciona en su libro que el coeficiente de resistividad de ladrillos convencionales es aproximadamente 0.67 m·K/W y de los ladrillos térmicos (aislantes) aproximadamente 2.0 - 4.0 m·K/W.

Por lo que, considerando estos datos y contrastarlos con la Resistividad térmica obtenida de manera experimental de las cinco Mezclas propuestas, se puede concluir que cualquier mezcla puede ser eficiente para mantener una temperatura confortable dentro de los hogares de ciudad Juárez.

Considerando que el precio promedio de un ladrillo térmico convencional comercial es de \$120 y compararlo con los precios calculados de las mezclas propuestas, permite concluir que cualquiera de las mezclas ofrece un ladrillo de precio competitivo.

En general, se puede concluir que, de acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de las propiedades evaluadas, que la mezcla 5 es la eficiente en todos los aspectos considerados en esta investigación y que es buena para la construcción de viviendas de una planta en Ciudad Juárez.

En trabajos futuros se planea construir una pared con el material de la mezcla 5, que es la que se considera óptima para realizarle las pruebas de. Compresión, eflorescencia y cálculo de la Conductividad térmica. El objetivo de estas pruebas es evaluar la resistencia estructural y durabilidad de la pared, así como su comportamiento frente a factores ambientales, asegurando así que cumpla con los estándares de calidad requeridos para su aplicación en construcción y mejorando su eficiencia térmica para optimizar el consumo energético en los edificios.

Se planea también investigar el proceso de deshidratación, es realizar un proceso de deshidratación de la mezcla, de tal forma que se puede tener el polvo y venderse para que sólo se agregue el agua en las proporciones que se indiquen. El objetivo de este enfoque es simplificar el proceso de preparación del material para los usuarios, facilitando su manipulación y almacenamiento. Además, se busca ofrecer un producto que sea más accesible y conveniente para los constructores, optimizando así el tiempo y los recursos en sus proyectos.

### AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento al Tecnológico Nacional de México por su generoso apoyo y contribución a este trabajo. Reconocemos con gratitud la asistencia y colaboración del jefe y asistente de Laboratorio de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, cuyo aporte ha sido fundamental para el éxito de este estudio y por último a los jóvenes de Servicio Social que han contribuido de manera significativa a la realización de este trabajo.

### BIBLIOGRAFÍA

[1] Cahuaya Choque, J. C. (2022). Ladrillos Crudos de Arcilla-Sílice y la Mejora de Propiedades Mecánicas de la Albañilería en el Distrito de Huancayo. Repositorio de la Universidad Peruana Los Andes. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/3808>

[2] Baca, J. C., & Galvez, L. G. (2021). Comportamiento de ladrillos artesanales de arcilla en su resistencia a la compresión axial entre unidades y pilas de albañilería elaboradas con arcilla de caolín de la ciudad de Huamachuco y unidades y pilas de la ciudad de Jaén, Trujillo 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/30798>

[3] Benavidez-Rubio, D. Y., & Benavidez-Núñez, C. E. (2021). Caracterización de ladrillo de concreto con cal hidratada y plástico PET reciclado: Characterization of concrete brick with hydrated lime and recycled PET plastic. *Revista Ciencia Norrdina*, 4(2), 34-46.

[4] Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete technology* (2nd ed.). Pearson.

[5] Guevara Dávila, R. (2022). Evaluación de ladrillo artesanal sustituyendo parcialmente arena por residuos de diatomita, Motupe. <https://hdl.handle.net/20.500.14142/261>

[6] Bautista Marín Jesús David. (2020). Fabricación y caracterización de ladrillos Eco -amigos con adición de un residuo industrial de hierro. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1212>

[7] Gelves-Díaz, J. F., Sánchez-Zuñiga, J. V., & Sánchez-Molina, J. (2021). Características fisicoquímicas de los ladrillos refractarios usados en hornos de la industria cerámica del oriente colombiano. *Mundo FESC*, 11(S2), 250-261.

[8] Evangelin, Ramani, Sujatha., Govindan, Kannan. (2022). 4. An Investigation on the Potential of Cellulose for Soil Stabilization. *Sustainability*, doi: 10.3390/su142316277

[9] Norma ASTM International. (2017). ASTM C67-17: Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0067-17>

[10] Norma International Organization for Standardization. (1995). ISO 10545-12:1995 Ceramic tiles — Part 12: Determination of frost resistance. ISO.

[11] Mamlouk, MS, y Zaniewski, JP (2006). *Materiales para ingenieros civiles y de construcción* (pp. 8-10). Upper Saddle River, NJ, EE. UU.: Pearson Prentice Hall.

[12] Neville, AM (1995). *Propiedades del hormigón* (Vol. 4, pág. 1995). Londres: Longman.

[13] Norma ASTM C518-17: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus

[15] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2020). *Norma técnica E.070: Albañilería*. Recuperado de [https://www.gob.pe/norma\\_tecnica\\_e070](https://www.gob.pe/norma_tecnica_e070)

[16] Hesham, Hassan., Eman, Mohamed. (2023). Experimental Study to Compare Thermal Properties of Bricks Made from Construction and Demolition Waste with Clay and Cement bricks. *Deleted Journal*, 4(1):84-98. doi: 10.21608/njace.2024.341292

### ROLES DE CONTRIBUCIÓN

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Xóchitl Aviña Rivera
Curación de datos	Erika Berenice Herrera Ríos (Principal) Arturo Woocay Prieto (Que apoya)
Metodología	Diana Alejandra Ortega Castillo (Principal) Xochitl Aviña Rivera (Que apoya)
Administración de Proyecto	Xochitl Aviña Rivera
Recursos	Jeovany Rafael Rodríguez Mejía
Software	Diana Alejandra Ortega Castillo (Principal) Jeovany Rafael Rodríguez Mejía (Que apoya)
Supervisión	Xochitl Aviña Rivera
Validación	Erika Berenice Herrera Ríos
Visualización	Xochitl Aviña Rivera
Redacción	Diana Alejandra Ortega Castillo
Redacción	Xochitl Aviña Rivera (Principal) Diana Alejandra Ortega Castillo (Que apoya)



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.