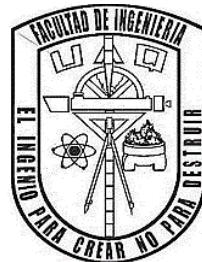


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

LICENCIATURA EN ARQUITECTURA



**"FABRICACIÓN DE UN TABIQUE RECOCIDO, SUSTITUYENDO
MATERIALES POR RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, QUE
ALCANCE AL MENOS LA CAPACIDAD DE CARGA
CONVENCIONAL"**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de
Licenciado en Arquitectura

Presenta:
Daniel Arellano Hernández

Dirigido por:
MVB. César Jonathan Jiménez Zavala

San Juan del Río, Querétaro.
Marzo, 2025

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciatario no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatario.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

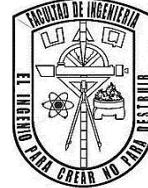
Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



**Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Licenciatura en Arquitectura**



**“FABRICACIÓN DE UN TABIQUE RECOCIDO, SUSTITUYENDO MATERIALES
POR RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, QUE ALCANCE AL MENOS LA
CAPACIDAD DE CARGA CONVENCIONAL”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de
Licenciado en Arquitectura

Presenta:
Daniel Arellano Hernández

Dirigido por:

MVB. César Jonathan Jiménez Zavala
Presidente

Firma

MVII y BN. Joel Valencia Camacho
Secretario

Firma

Arq. Miguel Roberto Saldaña Álvarez
Vocal

Firma

MA. Héctor Olaf González Pérez
Sinodal

Firma

San Juan del Río, Querétaro.
Marzo, 2025

El mundo está en manos de aquellos que tienen el coraje de soñar y de correr el riesgo de vivir tus sueños.

-Bob Marley

DEDICATORIAS

Dedicado a dos personas excepcionales.

Con mucho cariño y gratitud, jugaron un papel fundamental en mi vida y formación como ser humano. Donde quiera que se encuentren, espero estén en paz y que sepan que su guía y apoyo contribuyeron a que encontrara un camino lleno de propósito y significado.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, le expreso mi más profundo agradecimiento por su incansable esfuerzo y dedicación diaria. Su apoyo incondicional ha sido mi refugio, su cuidado y ayuda han sido mi sostén y sus consejos han iluminado mi camino. Pero más que nada, por ser el pilar fundamental de mi formación y por enseñarme el valor del amor, la perseverancia y la resiliencia,

A mi padre, le expreso mi más sincero agradecimiento por su apoyo incondicional y su presencia constante en mi vida, sus consejos y momentos compartidos han sido una fuente de inspiración y crecimiento. Me ha enseñado que el cambio es una oportunidad de crecer y ser mejor persona.

A mi madrastra Elizabeth, una persona que llegó a mi vida de manera inesperada, pero que desde entonces ha sido una fuente de constante cuidado, apoyo incondicional y sobre todo de amor. Siempre al pendiente de mí, ofreciéndome palabras de ánimo y sobre todo una buena guía en momentos difíciles.

A mis hermanos, por ser ejemplos de bondad, apoyo y amor incondicional, soy muy afortunado y me esfuerzo cada día por ser un buen ejemplo y guía. Su presencia en mi vida es un regalo invaluable y me siento agradecido por cada momento vivido.

A mis queridos abuelos, por siempre recibirme con los brazos abiertos, un corazón lleno de cariño, un estomago contento y sobre todo por sus cuidados y atenciones.

A mi familia, les agradezco por el apoyo y el cariño que me brindan cada día, cada uno es una pieza fundamental en mi vida.

A mi director de tesis, el MVB. César Jonathan Jiménez Zavala. Por su invaluable apoyo y guía a lo largo de este proceso, su presencia constante y su actitud siempre dispuesta a ayudar. Por ultimo y no menos importante, la paciencia brindada para la culminación de este documento.

A mis mejores amigos, Yoel y Viridiana, gracias por ser parte de mi vida todos estos años. Su amistad sincera y su apoyo incondicional, ha sido un gran regalo para mí, siempre han estado allí para tenderme la mano, para ofrecerme un abrazo reconfortante y por seguir compartiendo conmigo momentos inolvidables.

A mis demás amistades. Cada uno de ustedes ha aportado algo único y valioso en mi vida. Me siento afortunado de haberlos conocido, su presencia en mi vida ha hecho más llevadero este camino

A mi querida Universidad Autónoma de Querétaro, mi alma mater, por brindarme un espacio donde crecer, aprender y descubrir mis pasiones. Agradezco la oportunidad de haber sido parte de esta comunidad académica.

A mis profesores, les expreso mi más sincero agradecimiento por el conocimiento y la sabiduría que me compartieron. Su dedicación y pasión por la enseñanza.

Y, por último, un especial agradecimiento a mí mismo. Por el esfuerzo y dedicación que mostraste y sigues mostrando. Todo esto comienza a dar frutos y es sólo el principio de muchas cosas buenas que vienen en camino, sigue así y por nada del mundo te rindas.

ÍNDICE

| | |
|-------------------------------|-------------|
| DEDICATORIAS..... | ii |
| AGRADECIMIENTOS..... | iii |
| ÍNDICE..... | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| RESUMEN..... | .xi |

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 3 |
| 1.1.1 <i>Tabique rojo recocido</i> | 3 |
| 1.1.2 <i>Características del tabique rojo recocido</i> | 6 |
| 1.1.3 <i>Proceso de cocción del tabique rojo recocido</i> | 7 |
| 1.1.4 <i>Clasificación de muros con tabique rojo recocido</i> | 8 |
| 1.2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS | 11 |
| 1.2.1 <i>Hipótesis</i> | 11 |
| 1.2.2 <i>Objetivo general</i> | 12 |
| 1.2.3 <i>Objetivos particulares</i> | 12 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 13 |
| 1.3.1 <i>Impacto ecológico</i> | 13 |
| 1.3.2 <i>Impacto social</i> | 14 |
| 1.3.1 <i>Impacto tecnológico</i> | 15 |
| 1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 16 |
| 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 17 |
| 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE TABIQUE ROJO RECOCIDO..... | 18 |
| 2.2 MATERIALES MAYORMENTE RECICLADOS | 23 |
| 3. METODOLOGÍA | 27 |
| 3.1 MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA ELABORACIÓN DE TABIQUES | 27 |
| 3.2 MATERIALES Y EQUIPOS PARA PRUEBAS DE LABORATORIO | 29 |
| 3.3 ENCUESTA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE RSU EN SAN JUAN DEL RÍO | 30 |
| 3.4 INVESTIGACIÓN SOBRE EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL TABIQUE ROJO RECOCIDO | 31 |
| 3.5 FABRICACIÓN DE LOS MOLDES..... | 32 |
| 3.6 INTEGRACIÓN DE LOS RSU PARA LA MEZCLA | 33 |
| 3.7 INTEGRACIÓN DE LA MEZCLA..... | 34 |
| 3.8 MEZCLA Y DESMOLDEO DEL TABIQUE ROJO | 35 |
| 3.9 COCCIÓN DE LOS TABIQUES | 44 |
| 3.10 PRUEBAS MECÁNICAS..... | 46 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.10.1 | <i>Uso de la máquina universal</i> | 46 |
| 4. | CONCLUSIONES | 53 |
| 5. | REFERENCIAS | 56 |
| 6. | ANEXOS..... | 59 |
| 6.1 | ANEXO 1. ENCUESTA RSU SAN JUAN DEL RÍO | 59 |
| 6.2 | ANEXO 2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS MECÁNICAS | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-1. Tabique rojo recocido. Imagen recuperada de Materiales Cortés, 2025. | 4 |
| Figura 1-2. Horno tabquero artesanal. Fotografía propia, 2024..... | 8 |
| Figura 1-3. Un muro de soga de tabiques muestra su distribución. Recuperado de ARQZON, 2022..... | 9 |
| Figura 1-4. Ejemplo de la distribución de los ladrillos en un muro a tizón..... | 10 |
| Figura 1-5. Distribución de tabiques en un doble muro. Recuperado de ARQZON, 2022..... | 10 |
| Figura 1-6. RSU más generados en México (SEMARNAT, 2024). | 14 |
| Figura 1-7. Porcentaje del manejo de los residuos, siendo reciclados o no reciclados. | |
| | 17 |
| Figura 2-1. Ejemplo del tabique rojo recocido. | 18 |
| Figura 2-2. Ejemplo de solera roja recocida. | 20 |
| Figura 2-3. Ejemplo de cuña roja recocida..... | 21 |
| Figura 3-1. Diagrama de la metodología seguida en este trabajo. | 27 |
| Figura 3-2. Porcentaje de los RSU censados en San Juan del Río. | 31 |
| Figura 3-3. Zona del horno convencional de la zona y espacio de trabajo..... | 31 |
| Figura 3-4. Moldes fabricados para generar los tabiques con medidas específicas. | |
| | 32 |
| Figura 3-5. Tienda de la zona donde se realizó la recolección de los materiales.. | 33 |
| Figura 3-6. Fibras de PET cortadas ara la mezcla. | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 3-7. Fibras de Cartón cortadas para la mezcla. | 34 |
| Figura 3-8. Disposición de los materiales para la mezcla M4 y su integración. | 37 |
| Figura 3-9. Disposición de los materiales para la mezcla M5 y su integración. | 38 |
| Figura 3-10. Disposición de los materiales para la mezcla M6 y su integración.... | 38 |
| Figura 3-11. conformación de los tabiques en los moldes y desmoldeo. | 39 |
| Figura 3-12. Horno convencional en uso..... | 40 |
| Figura 3-13. Primeras 3 Pruebas desmoldadas y próximas al proceso de secado. | 40 |
| Figura 3-14. Muestra de cuarteadura en los tabiques secos..... | 41 |
| Figura 3-15. Disposición de los materiales para la mezcla M1 y su integración.... | 43 |
| Figura 3-16. Mezcla integrada lista para moldear. | 43 |
| Figura 3-17. Integración de la mezcla en el molde..... | 44 |
| Figura 3-18. Proceso de secado de los tabiques moldeados..... | 44 |
| Figura 3-19. Tabiques secos y próximos a su proceso de cocción. | 45 |
| Figura 3-20. Tabiques rojos recocidos en horno convencional de la prueba M1... .. | 46 |
| Figura 3-21. Ladrillos seleccionados para la prueba mecánica..... | 47 |
| Figura 3-22. Maquina universal utilizada en las pruebas mecánicas. | 48 |
| Figura 3-23. Pruebas mecánicas en M4..... | 50 |
| Figura 3-24. Ladrillos sometidos a la prueba mecánica. | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1-1. Clasificación de los bloques de cemento, tabiques y tabicones (N-CMT-2-01-002/02, 2024)..... | 5 |
| Tabla 1-2. Usos recomendables para bloques de cemento, tabiques y tabicones (N-CMT-2-01-002/02, 2024)..... | 5 |
| Tabla 2-1. Tipos de tabique rojo recocido empleados en SJR, Qro. | 23 |
| Tabla 2-2. Proceso de reciclaje de envases de PET..... | 25 |
| Tabla 3-1. Porciones para la mezcla en la producción de tabiques rojos recocidos | 35 |
| Tabla 3-2. Porciones para la mezcla de la primera prueba. | 35 |
| Tabla 3-3. Porciones para la mezcla de la segunda prueba. | 42 |
| Tabla 3-4. Resistencia Mínima a la compresión..... | 50 |
| Tabla 3-5. Resultados de los ensayos. | 51 |
| Tabla 4-1. Comparación de Resistencia a la compresión | 54 |

RESUMEN

En la actualidad, la explotación desmedida de los recursos naturales debido a la creciente población mundial se ha convertido en un problema de gran importancia. Como respuesta a esta preocupación, se han buscado alternativas para dar un nuevo propósito a los desechos sólidos urbanos que se acumulan diariamente. Un campo de oportunidad prometedor se encuentra en la industria de la construcción, donde se pueden desarrollar materiales más ecológicos, como los tabiques recocidos. En este proyecto, se investiga la posibilidad de sustituir el aserrín tradicional en la fabricación de los tabiques por materiales reciclados como el PET y el cartón, en proporciones equivalentes, con el objetivo de mantener su capacidad de carga estructural.

Para esta investigación, se seleccionaron exclusivamente botellas de plástico transparente utilizadas para contener agua o refresco, sin necesidad de someterlas a tratamientos adicionales. Del mismo modo, se optó por el cartón que no estuviera destinado al transporte de alimentos ni tuviera una alta concentración de tinta, para evitar la contaminación de la mezcla de los tabiques recocidos. Tanto el PET como el cartón se cortaron en tiras finas para lograr una mejor integración en la mezcla.

Los resultados de las pruebas de compresión revelaron que, si bien la mezcla con PET y cartón no alcanzó la resistencia de un tabique convencional, sí demostró ser adecuada para su uso en muros ornamentales. Esta innovación ofrece una posible salida para dar una segunda vida a dos de los residuos sólidos urbanos más comunes, el PET y el cartón, que son generados en gran cantidad por la población a diario.

(Palabras clave: Tabique rojo recocido, residuos sólidos urbanos, materiales ecológicos, segunda vida de los desechos sólidos urbanos)

SUMMARY

Currently, the excessive exploitation of natural resources due to the growing global population has become a significant issue. In response to this concern, alternatives have been sought to give a new purpose to the urban solid waste that accumulates daily. A promising opportunity lies in the construction industry, where more environmentally friendly materials can be developed, such as annealed bricks. This project investigates the possibility of substituting traditional sawdust in the production of bricks with recycled materials like PET and cardboard, in equivalent proportions, with the aim of maintaining their structural load-bearing capacity.

For this research, only transparent plastic bottles used for water or soft drinks were exclusively selected, without the need for additional treatments. Similarly, cardboard that was not intended for food transportation or had a high ink concentration was chosen to prevent contamination of the annealed brick mixture. Both PET and cardboard were cut into thin strips to achieve better integration into the mixture.

The results of compression tests revealed that, although the mixture with PET and cardboard did not reach the strength of a conventional annealed brick, it proved suitable for use in decorative walls. This innovation offers a potential solution to give a second life to two of the most common urban solid wastes, PET and cardboard, which are generated in large quantities by the population daily.

(**Key words:** fired brick, urban solid waste, environmentally friendly materials, second life of urban solid waste)

1. INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento demográfico y el aumento de los niveles de consumo han provocado un consiguiente aumento en la producción de residuos sólidos urbanos (RSU), cuya gestión inadecuada es uno de los principales desafíos a los

que se enfrentan las ciudades. De estos residuos, algunos responden bien al reciclaje, a saber, el tereftalato de polietileno (PET) y el cartón, que es el menos tratado. Este escenario lleva a la acumulación de desechos en vertederos, la degradación del ecosistema urbano y la sobrecarga en la gestión de residuos (SEMARNAT, 2022).

En nuestro país, se estima que se generan diariamente 115,000 toneladas de RSU, un gran porcentaje de las cuales son desechos domésticos, incluyendo envases de PET y cartón (INEGI, 2022). Este es un problema que necesita ser abordado para encontrar posibles formas alternativas de utilizar los desechos en los sectores productivos. Al mismo tiempo, la industria de la construcción es uno de los sectores que genera un mayor impacto ambiental, ya que los recursos naturales se están drenando constantemente del medio ambiente (Cruz y Rojas, 2020). Una opción para aliviar esta presión es el uso de materiales reciclados como sustitutos parciales para la fabricación de productos de construcción, particularmente en elementos como tabiques rojos recocidos, que se utilizan ampliamente en edificios por sus propiedades térmicas y mecánicas (NMX-C-441-ONNCCE-2013). Por lo tanto, dentro de esta directriz, la incorporación de RSU, principalmente PET y cartón, en la producción de tabiques rojos recocidos surge como una alternativa para el uso de estos residuos, ya que el producto logrado cumple con los criterios de resistencia a la compresión definidos para uso en aplicaciones estructurales. La resistencia mecánica es una condición básica que define la usabilidad del tabique respecto a su uso como elemento de construcción, por lo que es esencial verificar que la presencia de estos desechos no afecte negativamente las condiciones físico-mecánicas del material (NMX-C-404-ONNCCE-2005).

Esta tesis explora el comportamiento mecánico de los tabiques modificados, proporcionando así evidencia experimental que podría permitir sus aplicaciones futuras en la industria de la construcción.

1.1 Antecedentes

Para posicionar la evolución de dicha investigación, es pertinente examinar los componentes básicos del tabique de arcilla recocida, que es uno de los materiales de construcción de paredes más comunes, conocido por sus propiedades de resistencia mecánica, disponibilidad y eficiencia térmica (NMX-C-441-ONNCCE-2013). Su caracterización creará una base comparativa con tabiques fabricados utilizando RSU (PET y cartón) como sustitutos parciales en sus formulaciones. También se describirán las técnicas de construcción asociadas con el diseño de los tabiques al construir una pared, ya que la forma en que estos elementos se ensamblan determina directamente la estabilidad, resistencia estructural y rendimiento del sistema de construcción (NMX-C-404-ONNCCE-2005).

Esto es importante para asegurar que las propiedades físicas y mecánicas de la partición alterada sean adecuadas para el uso estructural. Esto ayudará en el marco de referencia técnico para tener una evaluación de si las particiones recocidas obtenidas con la debida incorporación del PET y cartón cumplen con las normas reglamentarias de resistencia a la compresión y, por lo tanto, sean adecuadas para la aplicación de sistemas de construcción convencionales.

1.1.1 Tabique rojo recocido

El tabique rojo cocido es uno de los materiales cerámicos más primitivos utilizados en la industria de la construcción y consiste en pequeñas piezas generalmente de forma rectangular (Figura 1-1). Preparado a partir de suelos arcillosos que, mediante procesos de moldeado, secado y cocido, adquieren las propiedades físico-mecánicas para la construcción de muros y otras obras (Barranzuela Lescano, 2014). Su forma regular facilita el manejo, transporte y montaje, lo que significa que se puede adaptar a cualquier proyecto arquitectónico.

Sus características, como la resistencia a la compresión, durabilidad, aislamiento térmico y acústico, lo convierten en un elemento eficiente y comúnmente utilizado.



Figura 1-1. Tabique rojo recocido. Imagen recuperada de Materiales Cortés, 2025.

En el caso de San Juan del Río, Querétaro, la producción de tabique rojo cocido es parte del sector industrial local, donde se utiliza arcilla regional y la mano de obra local participa en las diferentes etapas de producción (Moreno, 1981).

También ha habido preocupaciones sobre la sostenibilidad de la arcilla, ya que la continua explotación del material puede llevar al agotamiento del recurso debido a su alta demanda. Por otro lado, esta investigación no contempla aspectos ambientales o económicos, sino únicamente la posibilidad de agregar residuos sólidos urbanos (PET y cartón) como reemplazos parciales de la arcilla para comprobar la resistencia a la compresión del tabique resultante, conforme a las normativas vigentes.

Este será el criterio técnico para analizar la viabilidad de los tabiques fabricados en el estudio, dado que los tabiques cocidos destinados a fines estructurales deben tener un valor mínimo de resistencia a la compresión de

acuerdo con la Tabla 1-1 y 1-2 de la Norma de la secretaria de Comunicaciones y Transporte SCT, “Materiales para Mamposterías N-CMT-2-01-002/02”.

Tabla 1-1. Clasificación de los bloques de cemento, tabiques y tabicones (N-CMT-2-01-002/02, 2024).

| Tipos | Subtipos | Grados de calidad |
|----------------------|-----------------|--------------------------|
| Bloques de cemento | Sólidos | A-B-C |
| | Huecos | A-B |
| Tabiques y Tabicones | Sólidos | A-B-C |
| | Huecos | A-B |

Tabla 1-2. Usos recomendables para bloques de cemento, tabiques y tabicones (N-CMT-2-01-002/02, 2024).

| Grado de calidad | Usos |
|-------------------------|---|
| A | Aptos para muros interiores y exteriores, de carga o de relleno. Su baja absorción permite su uso sin recubrimiento. |
| B | Aptos para muros interiores y exteriores, de carga o de relleno. En muros exteriores deben protegerse de la intemperie mediante recubrimiento o sellador impermeable. |
| C | Aptos para muros interiores de relleno. Por su alto porcentaje de absorción no es recomendable su uso en exteriores y en caso de hacerlo, deben protegerse perfectamente de la intemperie por medio de un recubrimiento o sellador impermeable. |

1.1.2 Características del tabique rojo recocido

El tabique rojo recocido es un material común en la construcción y se utiliza en la construcción de muros de carga, divisorios, registros, cimentación, acabados, y entre otras aplicaciones. Debido a que este material está constantemente expuesto a factores ambientales, necesita resistir las variaciones climáticas y meteorológicas (temperatura, humedad y radiación solar). También debe tener una resistencia a la compresión suficiente para garantizar la funcionalidad adecuada y la seguridad estructural según las normas de construcción generales y específicas (Barranzuela Lescano, 2014).

Para que un tabique rojo recocido sea considerado de alta calidad y apto para su aplicación en sistemas de construcción, debe cumplir con una serie de características técnicas fundamentales:

- Bien moldeado: *Los tabiques deben estar bien moldeados, poseer caras planas, lados paralelos, y bordes y ángulos bien definidos, lo que ayuda a una buena ensambladura y acabado en la construcción.*
- Porosidad óptima: *La porosidad controlada ofrece un umbral de aislamiento térmico y resistencia a las condiciones externas.*
- Geometría homogénea y compacta: *El tabique debe emitir geometría homogénea y compacta, sin deformaciones ni grietas, es decir, debe tener una estructura firme; de esta manera garantizamos que tenga una distribución uniforme de las cargas.*
- Cocción adecuada: *La cocción afecta directamente la calidad del producto. Un tabique sobre-cocido puede ser frágil y desintegrarse fácilmente; un tabique mal cocido podría tener tonos desiguales, poca resistencia y defectos estéticos.*

Estas propiedades, junto con los valores de resistencia exigidos, está regulada por la Norma “Mampostería, Bloques, Tabiques, o Ladrillos y Tabicones NMX-C-441-ONNCCE-2013”, que especifican los métodos de prueba y los requisitos mínimos que deben cumplir los tabiques cerámicos para construcción.

Un buen tabique recocido debe estar homogéneamente barnizado y coloreado, y tener una geometría controlada, con el fin de garantizar durabilidad, resistencia estructural y su adecuada funcionalidad en las obras (Barranzuela Lescano, 2014).

1.1.3 Proceso de cocción del tabique rojo recocido

Los tabiques rojos recocidos se fabrican a partir de arcilla, que experimenta una transformación térmica durante su proceso de cocción para alcanzar la resistencia mecánica y durabilidad necesarias para aplicaciones de ingeniería. Esto se lleva a cabo en hornos de alta temperatura capaces de secar y cocer la estructura interna del tabique, lo que mejora sus propiedades físico-mecánicas. Aunque se han modernizado los hornos, los artesanales o parabólicos siguen siendo comunes en muchas regiones debido a sus relativamente bajos costos de construcción y operación. Tales hornos no son continuos: deben pasar por ciclos distintos de carga, calentamiento, enfriamiento y descarga. Utilizan combustibles como la madera o el carbón, lo que resulta en fluctuaciones en la temperatura de cocción y, por consiguiente, en la calidad final de los productos. La no uniformidad del calor conduce a diferencias en la tonalidad, resistencia y homogeneidad de los tabiques (Figura 1-2).

El proceso de cocción requiere varios pasos. La humedad residual en los tabiques se libera a 200–400°C; esta es la primera etapa. Luego, a medida que la temperatura aumenta, la arcilla de los tabiques experimenta cambios fisicoquímicos

que aumentan su resistencia y estabilidad estructural. La etapa clave de vitrificación tiene lugar entre 850°C y 1100°C, donde el material puede lograr su consolidación final. Es esencial enfriar gradualmente para evitar grietas o deformaciones, que están directamente asociadas con la resistencia a la compresión del tabique.



Figura 1-2. Horno tabiquero artesanal. Fotografía propia, 2024.

Es importante comprender este proceso para garantizar que los tabiques rojos recocidos producidos, incluyendo aquellos en los que se utilizan PET y cartón como sustitutos parciales, cumplan con los índices de resistencia requeridos por ley hoy en día.

1.1.4 Clasificación de muros con tabique rojo recocido

Funcionalmente, los muros son elementos estructurales verticales que crean y/o soportan cerramientos bidimensionales. Pueden clasificarse en diferentes tipos, como muros de carga, tabiques y paredes ornamentales. La diferencia se relaciona, por un lado, con su función estructural y, por otro, con la distribución del tabique rojo recocido utilizado para su construcción. Los muros pueden construirse con diversos materiales; sin embargo, el tabique rojo recocido es uno de los más utilizados (ARQZON, 2022).

1. Muro de Soga: Tabiques dispuestos de manera que el lado largo esté paralelo al eje del muro. Se utiliza una plomada para nivelar las esquinas y se tensan hilos para la alineación durante la colocación de la primera fila (Figura 1-3). Esta técnica es una de las más comúnmente utilizadas tanto en interiores como al aire libre (ARQZON, 2022).

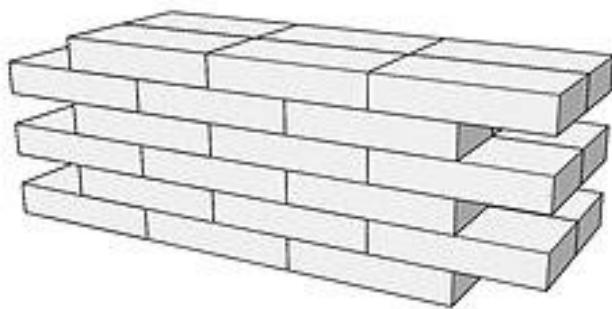


Figura 1-3. Un muro de soga de tabiques muestra su distribución. Recuperado de ARQZON, 2022.

2. Muro de Tizón: La longitud de los tabiques está en dirección transversal y se colocan perpendicularmente al eje del muro. Esto permite paredes más gruesas, lo que generalmente significa mejor aislamiento acústico y resistencia (ARQZON, 2022). Se utiliza en las cercas perimetrales y paredes interiores especializadas (Figura 1-4).

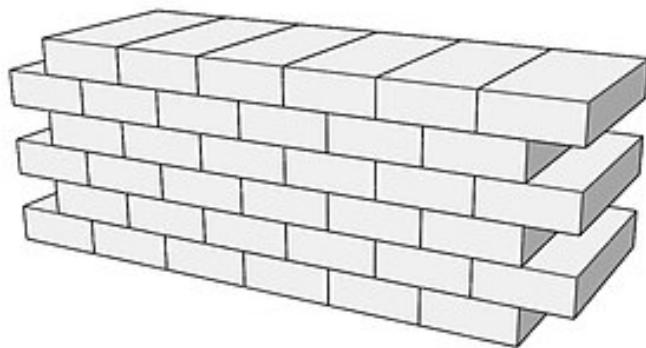


Figura 1-4. Ejemplo de la distribución de los ladrillos en un muro a tizón.

- 3. Doble Muro (Soga y Tizón):** Compuesto por dos muros paralelos que están conectados entre sí y así adquieren una mayor rigidez y resistencia (Figura 1-5). Usando mortero de cemento y arena, el tabique se asienta en su cara estrecha. Este método se utiliza con mayor frecuencia para divisiones internas que requieren un grado mayor de estabilidad (ARQZON, 2022).

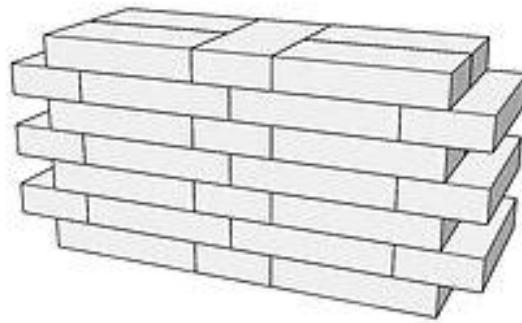


Figura 1-5. Distribución de tabiques en un doble muro. Recuperado de ARQZON, 2022.

El análisis debe ir más allá de las propiedades físico-mecánicas de los materiales de construcción considerados y también debe considerar las regulaciones normativas de producción y aplicación de los tabiques. NMX-C-404-ONNCCE-2005 y NMX-C-441-ONNCCE-2013 son algunas de las normas que definen los parámetros mínimos de resistencia a la compresión y calidad que deben cumplir los tabiques en edificios para garantizar la seguridad de sus estructuras.

Notas importantes sobre las limitaciones de esta investigación, Aunque la literatura sí señala las implicaciones para el medio ambiente de la producción de materiales tradicionales y la necesidad de encontrar soluciones sostenibles que dependan del reciclaje de residuos sólidos urbanos (RSU), este estudio no profundiza directamente en estas implicaciones. Su propósito es investigar si la incorporación de PET y cartón como sustitutos parciales en la producción de tabiques rojos recocidos puede alcanzar los índices de resistencia a la compresión estipulados en las normas, determinando si su uso en componentes estructurales es favorable.

1.2 Hipótesis y Objetivos

1.2.1 *Hipótesis*

Si se agregan residuos sólidos urbanos (PET y cartón) como sustitutos parciales de las materias primas en la producción de tabique rojo recocido, siempre que la resistencia a la compresión cumpla con la Norma “Materiales para Mamposterías N-CMT-2-01-002/02” emitida por la secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), podrá ser usado para muros interiores y exteriores, de carga o de relleno.

1.2.2 Objetivo general

Fabricar tabique rojo recocido que incorpore PET y cartón como sustitutos parciales de las materias primas, que alcance la resistencia a la compresión de acuerdo con la Norma “Materiales para Mamposterías N-CMT-2-01-002/02” requerida para su uso estructural.

1.2.3 Objetivos particulares

- i. Determinar los residuos sólidos urbanos generados por los sectores residencial, comercial, servicios e industrial de la Zona Oriente del municipio de San Juan del Río, Querétaro, mediante entrevista, para conocer el potencial del PET y cartón como materias primas.
- ii. Establecer las proporciones de mezcla para la producción artesanal de tabique rojo recocido con la adición de PET y cartón, teniendo en cuenta los parámetros estándar utilizados por los fabricantes locales.
- iii. Fabricación de tabique rojo recocido con la recolección y tratamiento de PET y cartón, integración de mezcla, secado y quema de tabique rojo recocido.
- iv. Determinar la resistencia a la compresión de los ladrillos fabricados, utilizando pruebas técnicas reglamentarias con la Norma “Mampostería, Bloques, Tabiques, o Ladrillos y Tabicones NMX-C-441-ONNCCE-2013”, y comparar los resultados con la norma “Materiales para Mamposterías N-CMT-2-01-002/02” requerida para su uso estructural.

1.3 Justificación

Debido al desarrollo extremadamente rápido del sector de la construcción, hay una demanda significativa de materiales que requiere una utilización intensiva de recursos naturales junto con grandes cantidades de desechos sólidos. Mientras tanto, la mala gestión de los desechos se ha convertido en una preocupación ambiental y social porque la acumulación de desechos sólidos afecta negativamente al medio ambiente y a la salud pública. Este escenario requiere la identificación de alternativas rentables, como el reciclaje de estos desechos y minimizar el uso de materias primas vírgenes mientras se mantiene la calidad y seguridad estructural de los edificios.

Por lo tanto, se propone la introducción de residuos sólidos urbanos (RSU) en la producción de tabique rojo recocido como una solución que podría reducir la carga ambiental y también presentar un sustituto potencial para la Industria de la Construcción. Esta acción destaca la importancia de proporcionar otra vida útil a los desechos, enfrentando simultáneamente el desafío de la contaminación causada por la acumulación de desechos y fomentando una economía circular. Además, se espera que los materiales reciclados con propiedades estructurales adecuadas abran el camino a futuras aplicaciones en la Construcción sostenible, promoviendo un uso responsable de los recursos y minimizando las emisiones contaminantes.

1.3.1 *Impacto ecológico*

El cambio climático es uno de los desafíos globales más críticos que enfrenta la humanidad en el siglo XXI y está íntimamente conectado con el uso de recursos naturales y la generación de desechos (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, 2013). México genera alrededor de 115,068 toneladas de desechos cada

día, lo cual en la mayoría de los casos ni siquiera se separa y recicla adecuadamente (SEMARNAT, n. d.).

Esto ilustra la necesidad de implementar estrategias para minimizar la generación de desechos y su mejor aprovechamiento. La reutilización de materiales contribuye de manera importante a reducir el agotamiento de los recursos naturales (Figura 1-6), así como a disminuir el volumen de desechos generados.

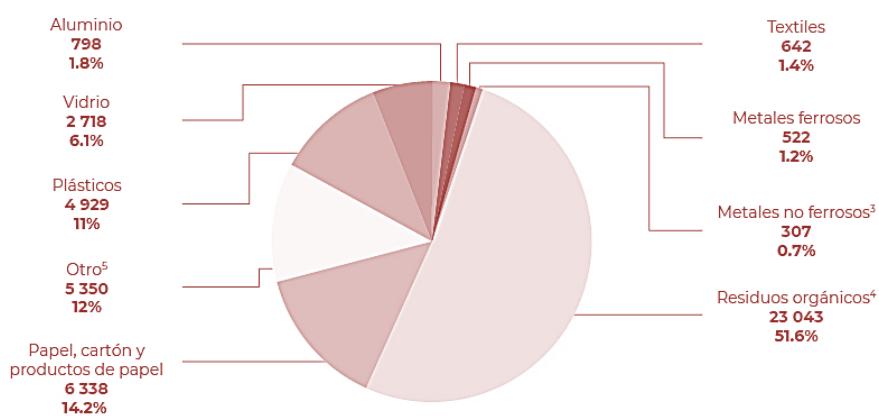


Figura 1-6. RSU más generados en México (SEMARNAT, 2024).

Como resultado, proyectos como el uso de RSU en la construcción no son solo soluciones medioambientales locales, sino soluciones que se alinean con nuestros objetivos globales de sostenibilidad. En este sentido, estos proyectos son un hito significativo para el desarrollo de necesidades existentes sin comprometer los recursos disponibles para las generaciones futuras.

1.3.2 *Impacto social*

Hay mucho que aprender, por lo tanto, es crucial que continuemos accediendo a recursos y educándonos para no solo ser responsables sino también ser un activo para la sostenibilidad dentro de nuestras prácticas de construcción. Los beneficios ambientales de usar materiales reciclados en la construcción son

enormes; sin embargo, también hay implicaciones sociales significativas. Soluciones de construcción más rentables tienen mucho que ahorrar, así como permitir un mayor acceso a vivienda e infraestructura para los miembros económicamente más marginales de la comunidad. Un artículo de CONAVI (2021) menciona que de los 34.8 millones de hogares en México, al menos 8.5 millones presentan algún tipo de déficit habitacional, ya sea hacinamiento, escasez de servicios o deficiencias en los materiales.

En este contexto, la provisión de materiales asequibles aquellos provenientes de desechos sólidos, por ejemplo, podría beneficiar a comunidades particularmente vulnerables o regiones remotas, donde los costos de transporte incrementan considerablemente el costo de los suministros. Se utilizan recursos locales para que el costo se reduzca y se establezca la equidad social. Las comunidades deben enfrentar los desafíos y mejorar sus condiciones de vida.

1.3.1 *Impacto tecnológico*

Técnicamente, este proyecto representa un avance en la optimización de materiales para la construcción, particularmente mediante la aplicación de innovaciones para la combinación y el procesamiento de ladrillos cocidos. Tiene como objetivo mostrar, a través de ensayos experimentales y validación contra estándares de resistencia y durabilidad, que los materiales reciclados pueden ser funcionales y seguros en los edificios.

La generación de este tipo de innovaciones impulsa la investigación en diferentes materiales que traen consigo la competencia en técnicas de estimación sin pérdida de valor. También reduce la huella ambiental del sector de la construcción, convirtiéndose en una opción estratégica para el progreso de la industria hacia prácticas sostenibles e innovadoras.

1.4 Descripción del problema

Dentro de este panorama, el sector de la construcción se presenta una oportunidad clave para implementar alternativas sostenibles, especialmente en la fabricación de materiales. Este sector, al ser unos de los principales consumidores de recursos y generadores de residuos, puede desempeñar un papel transformador al incorporar prácticas que fomenten la reutilización y el reciclaje.

El manejo de RSU constituye a nivel mundial un desafío significativo para las grandes ciudades. Factores como el crecimiento demográfico acelerado, la concentración de población en zonas urbanas, el desarrollo ineficaz del sector industrial, los cambios en patrones de consumo y las mejoras del nivel de vida, entre otros, han incrementado la generación de residuos los RSU en las ciudades (S, G, M, K, & C, 2008).

Este problema además de ser ambiental tiene repercusiones económicas y sociales, ya que el manejo inadecuado, puede generar problemas de salud pública y degradación del entorno natural. Los RSU por su origen se clasifican en diversas categorías, incluyendo los residuos domésticos, industriales, agrícolas, comerciales, hospitalarios no peligrosos y de construcción. Entre ellos los residuos domésticos representan más de un 50% del total generado (Bernstad & La Cour Jansen, 2011). Algunos de los residuos solamente se recolectan, pero de forma general no se les da el procesamiento necesario de reciclaje, dejándolos simplemente como desechos y no se aprovechan del todo para obtener productos que pueden reutilizarse (ver Figura 1-7).

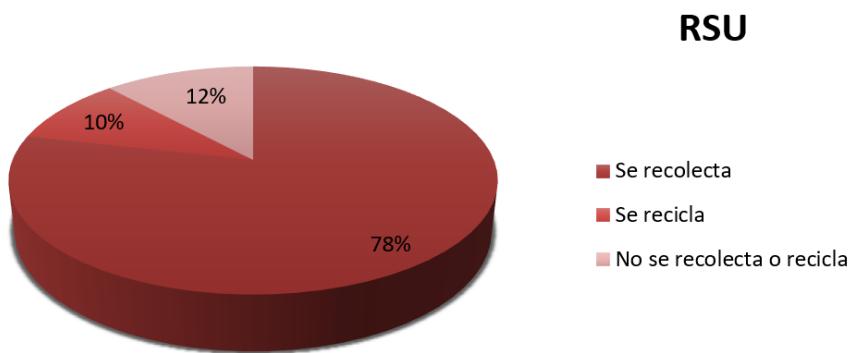


Figura 1-7. Porcentaje del manejo de los residuos, siendo reciclados o no reciclados.

Este dato pone en evidencia la importancia de enfocarse en soluciones que reduzcan este tipo de desechos, no solo para disminuir el volumen general, sino también para abordar las principales fuentes de contaminación. Una de las estrategias más efectivas para enfrentar este desafío es la implementación de la filosofía de las tres R (Reducir, Reutilizar y Reciclar).

En particular, la reutilización de residuos como materia prima para la fabricación de materiales para la construcción, como el tabique rojo recocido, se presenta como una solución innovadora y un gran potencial de impacto. Este enfoque no solo Contribuye a minimizar la cantidad de desechos que terminan en calles o basureros, sino que también fomenta un modelo de economía circular que beneficia tanto al medio ambiente como a las comunidades locales.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

A continuación, se describirán las características de los tabiques recocidos que se venden en la zona de San Juan del Río, así como los materiales que se utilizan para su fabricación, de igual manera se nombran los materiales que son mayormente utilizados en el método de reciclaje, los cuales sirvieron para la fabricación y validación del nuevo ladrillo propuesto. Por otro lado, es necesario determinar su resistencia mecánica por lo cual se hablará de manera general de los

métodos para el cálculo de dicha resistencia y los lugares donde se pueden realizar las pruebas necesarias para su comprobación.

2.1 Características de los tipos de tabique rojo recocido.

En la región de San Juan del Río, Querétaro, se emplean 3 tipos de tabique rojo recocido, los cuales se describen enseguida con sus características principales:

1. Tabique rojo recocido

- Dimensiones:**

El tabique rojo recocido (ver Figura 2-1), generalmente tiene dimensiones de 7x14x27 cm. Aunque estas pueden variar según el fabricante o el horno donde se produce.

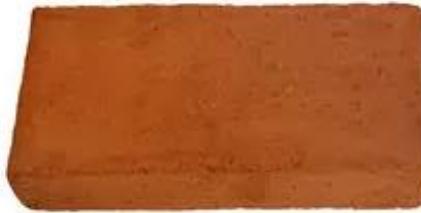


Figura 2-1. Ejemplo del tabique rojo recocido.

- Materiales:**

Este tipo de tabique se fabrica principalmente con una mezcla de arcilla, arena natural, estiércol o aserrín y agua, lo que da lugar a una masa lodosa que posteriormente se moldea. La pieza resultante se somete a un tratamiento térmico a altas temperaturas para lograr la cocción necesaria que le confiere sus propiedades mecánicas. (BARRANZUELA LESCANO, 2014)

- **Uso/Finalidad:**

Es utilizado principalmente en la construcción de muros, registros sanitarios, hornos, ETC. Debido a su alta resistencia a las temperaturas y a la intemperie, así como a su suficiente resistencia a la compresión y facilidad de manejo (BARRANZUELA LESCANO, 2014)

- **Resistencia:**

Este tabique está clasificado como tipo I, con una resistencia a la compresión de 14.92 MPa (152.12 kg/cm²). (TENA COLUNGA, JUÁREZ ÁNGELES, & SALINAS VALLEJO, 2007)

- **Proveedores:**

Home Depot: Av. Central esquina con José María Arteaga s/n, San Juan del Río, Querétaro.

Surtidora de Materiales de Querétaro: Camino a Santa Cruz No. 3, San Juan del Río, Querétaro.

- **Costo en el mercado en San Juan del Río:**

Home Depot: \$7.42 pesos por pieza.

Surtidora de Materiales de Querétaro: \$3.70 pesos por pieza.

2. Solera roja recocida

- **Dimensiones:**

La solera roja recocida (ver Figura 2-2), generalmente tiene dimensiones de 2x14x27 cm. Aunque estas pueden variar según el fabricante o el horno donde se produce.



Figura 2-2. Ejemplo de solera roja recocida.

- **Materiales:**

Al igual que el tabique rojo recocido, la solera se fabrica principalmente con una mezcla de arcilla, arena natural, estiércol o aserrín y agua, lo que da lugar a una masa lodosa que posteriormente se moldea. La pieza resultante se somete a un tratamiento térmico a altas temperaturas para lograr la cocción necesaria que le confiere sus propiedades mecánicas. (BARRANZUELA LESCANO, 2014)

- **Uso/Finalidad:**

Se emplea principalmente en acabados de piso, para impermeabilizaciones, jardineras y en su mayoría es de ornamento o ciertos detalles en muros.

- **Resistencia:**

Este tabique está clasificado como tipo I, con una resistencia a la compresión de 14.92 MPa (152.12 kg/cm²). (TENA COLUNGA, JUÁREZ ÁNGELES, & SALINAS VALLEJO, 2007)

- **Proveedores:**

Home Depot: Av. Central esquina con José María Arteaga s/n, San Juan del Río, Querétaro.

Surtidora de Materiales de Querétaro: Camino a Santa Cruz No. 3, San Juan del Río, Querétaro.

- **Costo en el mercado en San Juan del Río:**

Home Depot: \$5.40 pesos por pieza.

Surtidora de Materiales de Querétaro: \$3.50 pesos por pieza.

3. Cuña roja recocida

- **Dimensiones:**

La cuña roja recocida (ver Figura 2-3), generalmente tiene dimensiones de 5x10x19 cm. Aunque estas pueden variar según el fabricante o el horno donde se produce.



Figura 2-3. Ejemplo de cuña roja recocida.

- **Materiales:**

Al igual que el tabique rojo recocido, la cuña se fabrica principalmente con una mezcla de arcilla, arena natural, estiércol o aserrín y agua, lo que da lugar a una masa lodosa que posteriormente se moldea. La pieza resultante se somete a

un tratamiento térmico a altas temperaturas para lograr la cocción necesaria que le confiere sus propiedades mecánicas. (BARRANZUELA LESCANO, 2014)

- **Uso/Finalidad:**

Se utiliza en la construcción de muros, algunos tipos de techo en forma de bóvedas y para hornos, por su buena resistencia a las altas temperaturas.

- **Resistencia:**

Este tabique está clasificado como tipo I, con una resistencia a la compresión de 14.92 MPa (152.12 kg/cm²). (TENA COLUNGA, JUÁREZ ÁNGELES, & SALINAS VALLEJO, 2007)

- **Proveedores:**

Home Depot: Av. Central esquina con José María Arteaga s/n, San Juan del Río, Querétaro.

Surtidora de Materiales de Querétaro: Camino a Santa Cruz No. 3, San Juan del Río, Querétaro.

- **Costo en el mercado en San Juan del Río:**

Home Depot: \$4.90 pesos por pieza.

Surtidora de Materiales de Querétaro: \$3.50 pesos por pieza.

Del mismo modo, se muestra un resumen de las principales características de los ladrillos en las cuales se puede denotar el tipo, sus dimensiones, materiales con los cuales se fabrican, sus usos principales y la resistencia general para poder tener una descripción más clara (ver Tabla 2-1).

Tabla 2-1. Tipos de tabique rojo recocido empleados en SJR, Qro.

| Tipo | Tabique rojo recocido | Solera roja recocida | Cuña roja recocida |
|--------------------|--|---|---|
| Dimensiones | 7x14x27 cm | 2x14x27 cm | 5x10x19 cm |
| Materiales | Arcilla, arena, estiércol o aserrín y agua | | |
| Uso | Construcción muros, registros sanitarios, hornos, etc. | Acabados de piso, impermeabilizaciones, jardineras y de ornamento | Construcción de muros, algunos tipos de techo en forma de bóvedas y para hornos |
| Resistencia | 14.92 MPa (152.12 kg/cm ²) | | |

2.2 Materiales mayormente reciclados

1. PET

Responde a las siglas en inglés de Tereftalato de Polietileno, que es un tipo de plástico fuerte, flexible y, además 100% recicitable; en su mayoría es usado para fabricar envases. Este tipo de polímero pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres y es un derivado del petróleo. Hoy en día se utiliza principalmente para fabricar botellas de agua y refrescos. Este material posee un alto grado de transparencia y es procesable por soplado, inyección y extrusión. Es resistente al desgaste, a los químicos y soporta bien la corrosión.

Además de las botellas plásticas reciclables y de ser un material utilizado en la industria textil para la confección de prendas, hay otros elementos que también son fabricados con PET, por ejemplo, fabricación de, películas fotográficas, papel de impresión en rayos X, máquinas expendedoras y carteles o letreros publicitarios.

En términos generales, el PET es seguro y sostenible, por su enorme posibilidad de reciclaje, siempre y cuando se implemente en un proceso adecuado (ECOEMBES, 2021).

- **Ventajas medioambientales**

El plástico PET es el mejor sustituto del PVC. Entre las ventajas que conlleva su uso, podemos destacar que permite ser reciclado múltiples veces y además tiene un bajo grado de toxicidad, razón por la que está aprobado para la fabricación de envases rígidos destinados al sector alimentario. gracias al desarrollo tecnológico, se han reducido los recursos necesarios para la fabricación de envases plásticos PET, así como también se ha reducido el consumo de energía en el proceso de fabricación. En comparación con otros materiales, estos envases reducen la huella de carbono, pues generan menos residuos plásticos sólidos y consumen menos energía. (ECOEMBES, 2021)

- **Reciclaje**

Los envases de PET comienzan su proceso de reciclaje en el momento en el que son depositados en el contenedor en especial, que solo contenga dicho material o en su defecto cuando lo llevan a vender a los negocios chatarreros que llevan a gran escala el reciclaje de los mismo, en los últimos años se podría decir que este proceso se ha convertido en un negocio, no solo para dichos negocios, sino para la misma gente que se dedica a recolectar y posteriormente llevar a vender los costales llenos de botellas. De aquí son trasladados a una planta de selección de envases, en donde se separan por su tipología. En el caso concreto del PET, será un separador óptico el que detectará su longitud de onda y lo seleccionará para hacer un flujo puro de este material. Después, se transporta y se envía en grandes balas a una planta de reciclado. Las balas son introducidas en una cinta que recorrerá todas las fases para el tratamiento del PET, mediante una combinación de procesos mecánicos, ópticos y manuales.

Con el flujo obtenido de PET, se procede a su triturado convirtiéndose en escamas. Estas escamas son lavadas y enjuagadas varias veces con el fin de eliminar improprios como el papel, restos orgánicos o pegamentos. Posteriormente se realiza un proceso de secado a alta temperatura para eliminar la humedad de las escamas.

Por último, en los laboratorios de las empresas de reciclado, se realizan exhaustivos controles que garantizan que el producto pueda usarse directamente en la fabricación de nuevos artículos. De esta manera el envase de PET se convertirá en un recurso que dará forma a un nuevo artículo para seguir haciéndonos la vida más fácil. Porque recuerda: existen tipos de plásticos que, tratados correctamente, suponen una alternativa sostenible y circular. Reciclar el PET es un pequeño gran paso para seguir cuidando el medioambiente. (ECOEMBES, 2021)

Tabla 2-2. Proceso de reciclaje de envases de PET

| Tipo | Descripción |
|---------------------------------|--|
| Recolección | Juntar envases de PET que son muy comunes y desechados en las actividades cotidianas de la gente y depositarlos en un contenedor para almacenarlo. |
| Selección | Separar el PET por tipologías. |
| Triturado | Se tritura con una maquina especial y posteriormente se criba para conservar un producto más puro. |
| Lavado y Secado | El producto resultante se limpia y se pone a escurrir. |
| Control de calidad | Se realiza un control exhaustivo para garantizar el producto. |
| Fabricación de nuevos artículos | Utilizar el PET reciclado para generar artículos nuevos. |

2. Cartón

Por cada tonelada de cartón que se recicla se ahorran 140 litros de petróleo, cincuenta mil litros de agua y 900 kilos de dióxido de carbono (CO₂), el principal causante del cambio climático, frente a lo que requiere fabricar una tonelada de cartón nuevo. El reciclaje de cartón y el papel aporta grandes beneficios para el medio ambiente y ocupan un papel importante en el embalaje de envíos, por encima de los plásticos, la madera y el metal.

El cartón y el papel que se tiran en el contenedor de reciclar no deben llevar residuos que puedan contaminar al resto del conjunto. Esto dificultaría mucho el proceso de regeneración ya que los materiales deben ser separados en las plantas de recuperación. (ASECA, 2022)

- Plastificación del papel y cartón**

Se trata de añadir disolventes químicos al material que se quiere recuperar para que las fibras de papel que lo componen se puedan separar. Así se deshacen las uniones creadas en la fábrica de secado y se puede pasar a la siguiente fase. (ASECA, 2022)

- Criba de papel y cartón**

En segundo lugar, para llevar a cabo el proceso del reciclado es necesario tener una mezcla lo más homogénea posible; por eso se realiza una selección para separar todos aquellos materiales que no son papel o cartón. (ASECA, 2022)

- Centrifugado y triturado de cartón**

Estos residuos se deshacen en un contenedor con agua hasta formar una masa uniforme y se separan según su densidad. Después, el cartón pasa por una trituradora y por distintos filtros donde pierde el metal, el plástico o la tinta que lo acompaña mediante burbujas de aire. (ASECA, 2022)

- **Clasificación del material resultante**

Una vez que está completamente limpio y libre de sustancias contaminantes, la fibra resultante se divide en:

- Celulosa corta, utilizada para el papel de periódico, aunque con un menor porcentaje de reutilización que la siguiente.
- Celulosa larga, de donde sale el cartón o los folios de oficina, entre otros materiales. (ASECA, 2022)

3. METODOLOGÍA

Se muestra un diagrama de la metodología basada en los objetivos específicos (Figura 3-1). Se describen las diferentes etapas del proceso de integración de RSU para la producción del tabique rojo recocido, con el objetivo de validar las propiedades de rendimiento mediante pruebas mecánicas, de acuerdo con la Norma “Mampostería, Bloques, Tabiques, o Ladrillos y Tabicones NMX-C-441-ONNCCE-2013”.

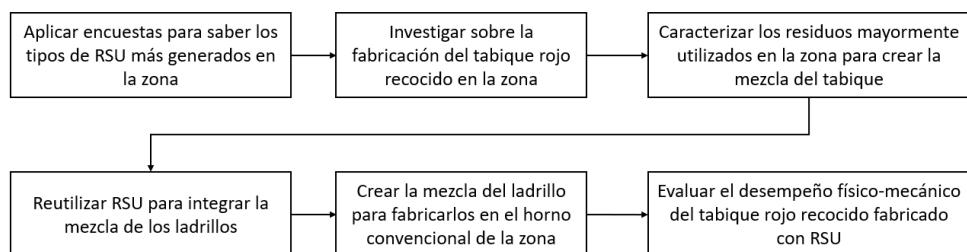


Figura 3-1. Diagrama de la metodología seguida en este trabajo.

3.1 Materiales y equipos para la elaboración de tabiques

Se muestran los materiales necesarios para realizar la mezcla del nuevo ladrillo recocido rojo, las proporciones son establecidas de manera empírica por los

productores de la zona, pero indica de manera general lo que se necesita para poder crear la mezcla a utilizar.

- Arena arcillosa: Este material es extraído de un banco de arena, este tipo de arena es generalmente utilizado en la región de San Juan del Río, Qro. Para la elaboración del tabique rojo recocido.
- Tierra negra: De igual forma este material es extraído de un banco de tierra, esta tierra es ocupada en la región de San Juan del Río, Qro. Para la elaboración del tabique rojo recocido.
- PET: Que proviene de las siglas en inglés de "Tereftalato de Polietileno", que es un tipo de plástico notable por su resistencia, flexibilidad y lo que es aún más importante, su capacidad de ser reciclado.
- Cartón: Es un material de uso común en nuestra vida diaria y destaca por ser fácilmente recicitable.
- Ceniza: Este material se incorpora en la mezcla para fabricar un tabique, desempeñando un papel crucial en la prevención de agrietamientos provocados por el terreno arcilloso.
- Agua: Este componente posee una notable capacidad para la mezcla de diversos materiales y también se emplea para la humectación de los moldes de madera.
- Moldes de madera: Se confeccionaron dos moldes con las dimensiones de 7x14x28, una medida convencional en la zona de San Juan del Río, Querétaro. Estos moldes se diseñaron específicamente para lograr la forma requerida en la fabricación de los tabiques.
- Pala: Esta herramienta fue utilizada para la mezcla de los diferentes componentes y llevar la mezcla hacia los moldes.

3.2 Materiales y equipos para pruebas de laboratorio

Es necesario mencionar los instrumentos que se utilizarán para poder recabar resultados y el equipo de seguridad necesario en las pruebas de mezcla, los cuales son los mismos que los productores utilizan al momento de trabajar con cantidades más grandes en la producción del ladrillo para la creación de casas o edificaciones.

- Zapatos de seguridad: Equipo utilizado para la protección de daños físicos en las zonas bajas del cuerpo si se cae algún residuo o Herramental.
- Báscula: Equipo utilizado para conocer la masa de cada uno de los tabiques recocidos para las pruebas de laboratorio.
- Flexómetro: Equipo utilizado para conocer las dimensiones de cada uno de los tabiques recocidos para las pruebas de laboratorio.
- Bitácora: Equipo utilizado para registrar los datos que arrojaron las pruebas.
- Celular: Utilizado para un registro fotográfico y de datos.
- Calzas de metal: Equipo utilizado en la máquina universal para poder lograr el ensaye de los tabiques recocidos.
- Máquina universal: Equipo empleado para realizar la prueba de compresión en los ladrillos, la cual consta de maquinaria especial para aplicar y registrar una carga controlada a los especímenes. Para su uso, fue necesario contar con la asesoría y supervisión de los técnicos especializados que se encuentran en el laboratorio CIMIR, con medidas de seguridad.

3.3 Encuesta sobre la producción de RSU en San Juan del Río

Como parte del estudio, se aplicará una encuesta en la Zona Oriente de San Juan del Río, Querétaro, con el objetivo de conocer la cantidad y tipo de residuos generados en hogares, comercios y oficinas. Se busca identificar hábitos de clasificación, frecuencia de generación y volumen de desechos, así como los materiales predominantes, entre ellos plásticos, papel, metales, comida y vidrio (ver Figura 3-2).

La encuesta incluirá preguntas sobre si los participantes clasifican sus residuos, los motivos detrás de esta práctica o su ausencia, y cómo lo harían en caso de implementarla. También se solicitará que enumeren los tres tipos de desechos que más generan y estimen la cantidad de bolsas de basura que desechan semanalmente. La información obtenida permitirá evaluar la viabilidad de reutilizar estos residuos en materiales de construcción, que puedan ser utilizados en muros interiores, exteriores, de carga o de relleno, de acuerdo con la Norma “Materiales para Mamposterías N-CMT-2-01-002/02”.

Toda la información será confidencial y utilizada exclusivamente con fines de investigación, contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras en la Industria de la Construcción, se anexa formato de encuesta (Anexo 1).

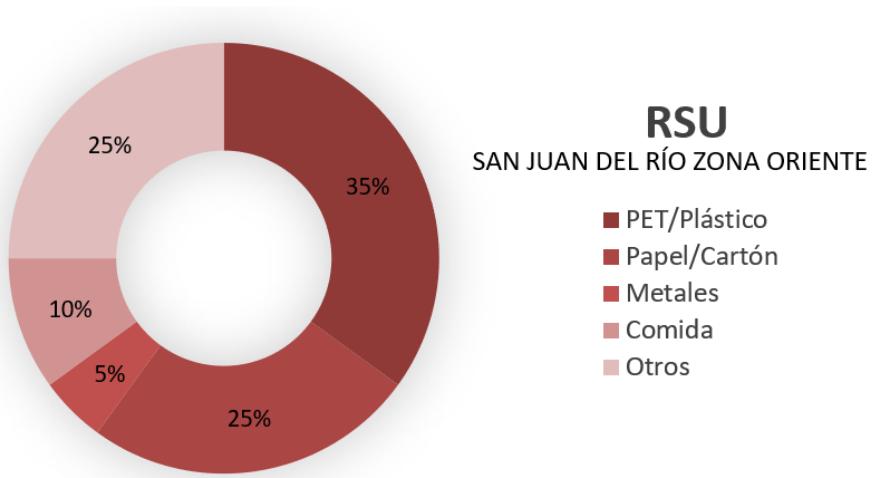


Figura 3-2. Porcentaje de los RSU censados en San Juan del Río.

3.4 Investigación sobre el proceso de fabricación del tabique rojo recocido

Para poder llevar a cabo los tabiques rojos recocidos, se realizó una investigación con los productores de dicho tabique en la comunidad de San Juan del Río, Qro. En la carretera estatal No. 124 a la llave S/N (ver Figura 3-3), en donde se observó y se llevó un registro de los materiales que se ocupan, las porciones, las herramientas y del procedimiento que siguen para llegar al resultado de los tabiques.



Figura 3-3. Zona del horno convencional de la zona y espacio de trabajo.

La fabricación artesanal de tabiques rojos recocidos es un proceso que carece de un control preciso tanto en la dosificación de materiales como en la calidad del producto final. La mayoría de los fabricantes no cuentan con los recursos necesarios para implementar un control riguroso y constante en cada etapa de producción. Como consecuencia, mientras no se realice una inversión en el desarrollo de un sistema de control eficiente, la elaboración de estos tabiques continuará siendo artesanal, con variaciones en sus propiedades y rendimiento.

Para la producción de tabiques rojos recocidos, se prepara una mezcla homogénea combinando tierra negra (barro), arena (arcillosa), estiércol, aserrín, ceniza y agua. Los materiales se añaden en proporciones específicas y se mezclan cuidadosamente hasta obtener una consistencia uniforme.

3.5 Fabricación de los moldes

Como se mencionó anteriormente los moldes tienen medidas específicas según las utilizadas en la zona de cocción de los tabiques, de este modo se procedió a realizar por medio de madera los moldes con las dimensiones establecidas, se confeccionaron dos moldes con las dimensiones de 7x14x28, una medida convencional en la zona de San Juan del Río, Querétaro. Estos moldes se diseñaron específicamente para lograr la forma requerida en la fabricación de los tabiques (ver Figura 3-4).



Figura 3-4. Moldes fabricados para generar los tabiques con medidas específicas.

3.6 Integración de los RSU para la mezcla

Se recolectaron botellas de plástico y cartón, generalmente desechadas en los hogares, en este caso con ayuda de una tienda de abarrotes, se logró juntar la cantidad necesaria para la mezcla de los tabiques. Los RSU fueron recolectados en una tienda de la zona (ver Figura 3-5).



Figura 3-5. Tienda de la zona donde se realizó la recolección de los materiales.

Antes de proceder al corte del material, las botellas de PET fueron preparadas mediante un proceso de limpieza y acondicionamiento. Primero, se retiraron las etiquetas adheridas a la superficie, así como la boquilla y la base de cada botella, dejando únicamente la parte cilíndrica del envase. Posteriormente, el material fue lavado para eliminar cualquier residuo o impureza que pudiera afectar su integración en la mezcla. Para el siguiente paso, tanto el PET como el cartón fueron cortados en tiras utilizando cíuter y tijeras. Se procuró que las tiras no fueran demasiado largas ni demasiado pequeñas, con el objetivo de facilitar su incorporación a la mezcla. Este proceso permitió obtener fragmentos manejables de ambos materiales, asegurando una distribución uniforme dentro de la composición utilizada para la fabricación de los tabiques recocidos. (ver figura 3-6 y 3-7).



Figura 3-6. Fibras de PET cortadas para la mezcla.



Figura 3-7. Fibras de Cartón cortadas para la mezcla.

3.7 Integración de la mezcla

Siguiendo estos pasos, se llevaron a cabo las primeras pruebas de los tabiques utilizando las porciones de material proporcionadas por los fabricantes. Dado que la producción habitual se realiza en grandes cantidades y nuestras pruebas iniciales se enfocaron en solo nueve tabiques, se ajustó la cantidad de

mezcla para adaptarla a esta escala reducida. Finalmente, se emplearon tres porciones específicas para la fabricación de 9 tabiques de prueba (Tablas 3-1 y 3-2).

Tabla 3-1. Porciones para la mezcla en la producción de tabiques rojos recocidos

| Cantidad | Tierra negra | Arena | Estiércol | Aserrín |
|---------------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 100 tabiques recocidos | 1 carretillada | 2 carretilladas | $\frac{3}{4}$ de carretillada | $\frac{1}{4}$ de carretillada |

Tabla 3-2. Porciones para la mezcla de la primera prueba.

| Nombre | Tierra negra | Arena | PET | Cartón |
|--------|--------------|-------|-----|--------|
| M4 | 71% | 25% | 4% | - |
| M5 | 67% | 25% | 4% | 4% |
| M6 | 71% | 25% | - | 4% |

3.8 Mezcla y desmoldeo del tabique rojo

Para las primeras mezclas denotadas anteriormente se tienen 3, nombradas específicamente cada una con M3, M4 y M5, cabe mencionar que la mezcla se realiza de manera empírica por los fabricantes de la zona y ellos fueron los encargados de delegar el trabajo para poder crear la mezcla, primeramente, se deben concentrar en un montículo todos los materiales, este caso se mostrará cada

una de las primeras revolturas que se realizaron, comenzando con M4 (ver Figura 3-8).

M4:

- Arena arcillosa 71%
- Tierra negra 25%
- PET 4%
- Agua



Figura 3-8. Disposición de los materiales para la mezcla M4 y su integración.

M5 (ver Figura 3-9):

- Arena Arcillosa 67%
- Tierra negra 25%
- PET 4%
- Cartón 4%
- Agua



Figura 3-9. Disposición de los materiales para la mezcla M5 y su integración.

M6 (ver Figura 3-10):

- Arena arcillosa 71%
- Tierra negra 25%
- Cartón 4%
- Agua



Figura 3-10. Disposición de los materiales para la mezcla M6 y su integración.

Se procede a realizar el vaciado en cada molde para cada una de las pruebas y poder generar la forma rectangular del tabique previo a la cocción, se deben dejar secar por 3 días y después repetir volteando el tabique (ver Figura 3-11).



Figura 3-11. conformación de los tabiques en los moldes y desmoldeo.

En la Figura 3-13, se muestran las 3 primeras pruebas desmoldadas para proceder a dejarlas secar con el tiempo requerido mencionado anteriormente.

Los tabiques se dejan secar al aire libre durante un período de cinco a siete días, tiempo en el cual se van volteando periódicamente para asegurar un secado uniforme y evitar deformaciones. A medida que van perdiendo humedad y adquieren mayor firmeza, se comienzan a estibar cuidadosamente, apilándolos en una disposición que permita la circulación de aire entre ellos.

Este proceso garantiza que los tabiques terminen de secarse de manera homogénea antes de pasar a la siguiente etapa de producción, posteriormente, se los llevan a unos hornos donde los acomodan para quemarlos un mínimo de 12 horas (ver Figura 3-12). Con una temperatura la cual fue mencionada antes entre los 850°C y los 1100°C, esto dependerá de la zona y el clima en el cual se está trabajando, diciendo que la temperatura debe mantenerse al menos estable durante la cocción. Una vez transcurrido este tiempo, las troneras se sellan para permitir que el proceso continúe de manera autónoma.

Esta etapa tiene una duración aproximada de siete días, hasta que el fuego alcanza la parte superior del horno, momento en el cual se completa la cocción de los ladrillos.



Figura 3-12. Horno convencional en uso.



Figura 3-13. Primeras 3 Pruebas desmoldadas y próximas al proceso de secado.

En estas primeras pruebas de los tabiques quedaron homogéneos, pero al pasar de los días estos se cuartearon y esto es malo, ya que no tienen la misma resistencia y cuando se llevaran a quemar, estos con el calor terminarían quebrándose (ver Figura 3-14).



Figura 3-14. Muestra de cuarteadura en los tabiques secos.

Los tabiques evaluados no cumplieron con los requisitos esperados, debido a que no se les pudo dar un seguimiento adecuado durante su proceso de secado. Las primeras pruebas se llevaron a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, campus San Juan del Río, en un periodo en el que se presentó un paro estudiantil. Como consecuencia de esta situación, no fue posible voltear los tabiques en el momento adecuado, lo que provocó una exposición prolongada al sol y pudo haber afectado su integridad estructural. Dado que no se pudo determinar con certeza la causa del agrietamiento, se optó por descartar tanto las mezclas empleadas como los resultados obtenidos en esta fase. Posteriormente, se llevó a cabo una nueva investigación para identificar los factores responsables de las fisuras observadas. Como resultado del análisis, se recomendó equilibrar las proporciones de arena arcillosa y tierra negra en la mezcla, así como incorporar ceniza, ya que este último componente ayuda a reducir la aparición de grietas causadas por la contracción de la tierra negra durante el secado. Adicionalmente, se sugirió mantener un adecuado nivel de hidratación en la mezcla para mejorar su estabilidad y resistencia, evitando así defectos estructurales en futuras producciones.

Considerando los datos obtenidos en el análisis previo, se procedió a la elaboración de nuevas mezclas con ajustes en su composición. En esta etapa, se preparó una mezcla en la que se incluyeron tanto PET como cartón, asegurando que la proporción de arena arcillosa y tierra negra fuera equitativa. Asimismo, con el propósito de realizar una comparación más precisa, se fabricaron piezas adicionales utilizando únicamente arena arcillosa y tierra negra, sin la adición de PET ni cartón. Esto permitió evaluar y contrastar la resistencia de estas nuevas muestras frente a los tabiques tradicionales (Tabla 3-3).

Tabla 3-3. Porciones para la mezcla de la segunda prueba.

| Nombre | Tierra negra | Arena | PET | Cartón |
|---------------|--------------|-------|-----|--------|
| M1P, M2P, M3P | 46% | 46% | 4% | 4% |
| M4, M5 | 50% | 50% | - | - |

Estas porciones estas porciones se hicieron totalmente aparte, donde la ceniza se agregó conforme la mezcla fue requiriendo, al igual que el agua y dio como resultado 9 piezas de tabique. El procedimiento que se siguió fue el siguiente, donde primero se juntaron todas las porciones en una misma parte y se integraron homogéneamente con la pala antes de añadir el agua (ver Figura 3-15).



Figura 3-15. Disposición de los materiales para la mezcla M1 y su integración.

Una vez que los materiales están completamente mezclados, se procede a añadir agua. No se utiliza una medida exacta, sino que se agrega gradualmente hasta obtener una consistencia intermedia, similar al lodo: ni demasiado líquida ni demasiado espesa. Para comprobar que la mezcla es adecuada, se puede tomar una porción con la pala y observar que caiga lentamente. (ver Figura 3-16).



Figura 3-16. Mezcla integrada lista para moldear.

Cuando la mezcla está lista, se vierte en un molde de madera previamente humedecido para evitar que se adhiera. Se distribuye de manera uniforme hasta cubrir completamente el molde. (ver Figura 3-17).



Figura 3-17. Integración de la mezcla en el molde.

Luego, con sumo cuidado, se retira del molde para preservar su forma y se deja secar al sol. Siguiendo el procedimiento habitual, rotando la pieza periódicamente, garantizando un secado uniforme. (ver Figura 3-18).



Figura 3-18. Proceso de secado de los tabiques moldeados.

3.9 Cocción de los tabiques

El proceso de secado de los tabiques elaborados con la nueva mezcla se ha llevado a cabo de manera efectiva, sin presentar las grietas observadas en las mezclas anteriores. En este caso, la formulación de la mezcla se basó en el conocimiento recabado del fabricante, dado que como ya se mencionó, no existe una combinación exacta y estandarizada de materiales para su elaboración. Este

enfoque, fundamentado en la experiencia y la observación, permitió ajustar la proporción de los componentes de manera óptima, garantizando una mayor cohesión y resistencia del material durante el secado. La ausencia de grietas sugiere una adecuada relación entre los materiales empleados, la humedad de la mezcla y las condiciones ambientales, factores clave en la calidad del producto final, en la Figura 3-19 se pueden observar las muestras previas a la introducción del horno para poder empezar la cocción.



Figura 3-19. Tabiques secos y próximos a su proceso de cocción.

Para el proceso de cocción de los tabiques, se optó por llevar las piezas a un horno local en una comunidad de San Juan del Río, Querétaro. En este horno, los tabiques fueron cocidos junto con los que habitualmente produce la comunidad, aprovechando su experiencia y los recursos disponibles. Sin embargo, debido a que el horno no estaba bajo nuestro control directo, no fue posible monitorear de manera constante el proceso de cocción de las piezas. Una vez finalizado el proceso de cocción, se esperaba que los tabiques adquirieran el característico color rojo anaranjado, señal de un proceso exitoso.

Al concluir el proceso, se nos informó que, algunos tabiques enviados a cocción no se mantuvieron intactos. Esto sugiere que algunas piezas no soportaron el proceso, posiblemente debido a factores como la distribución del calor en el horno, la composición de la mezcla o la posición de los tabiques dentro de la cámara de cocción. Esta observación resalta la importancia de seguir optimizando la

formulación de la mezcla y el control de las condiciones de cocción para minimizar la pérdida de material en futuras producciones. (ver Figura 3-20).



Figura 3-20. Tabiques rojos recocidos en horno convencional de la prueba M1.

3.10 Pruebas mecánicas

3.10.1 Uso de la máquina universal

Para dar inicio al análisis de la resistencia mecánica de los ladrillos, se seleccionaron cinco piezas para llevar a cabo las pruebas correspondientes. La elección se basó en la calidad de la cocción, priorizando aquellos que presentaban una mejor apariencia estructural y uniformidad.

De los cinco ladrillos elegidos, tres pertenecían a la mezcla que incorpora PET y cartón, mientras que los dos restantes correspondían a las formulaciones sin

estos materiales. Esta selección permitirá evaluar y comparar el desempeño mecánico de ambas variantes, determinando el impacto de la adición de PET y cartón en la resistencia y durabilidad de los ladrillos., en la Figura 3-21 se pueden observar los diferentes ladrillos que se han tomado de referencia previo a la aplicación de la prueba.



Figura 3-21. Ladrillos seleccionados para la prueba mecánica.

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados por LABICSA únicamente corresponden a los especímenes evaluados y no constituyen una valoración general de lotes o grupos de muestras. Además, este reporte no deberá ser reproducido parcial o totalmente sin la autorización de LABICSA y carece de validez oficial si no cuenta con firma y sello del laboratorio. Todos los ensayos se realizan conforme a normativas vigentes, en este caso, con base en la norma NMX-C-441-ONNCCE, utilizando una prensa calibrada en fecha 2023-02-21, Informe 3057, garantizando la precisión y confiabilidad de los resultados (ver figura 3-22).



Figura 3-22. Maquina universal utilizada en las pruebas mecánicas.

La norma N-CMT-2-01-002/02, incluida en el libro CMT: Características de los Materiales y la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013, establecen los requisitos de calidad que deben cumplir los bloques de cemento, tabiques y tabicones destinados a su uso en elementos estructurales de mampostería (Tabla 3-4). Este tipo de normativas es fundamental para garantizar que los materiales empleados en la construcción cumplan con los estándares de resistencia, durabilidad y seguridad necesarios para su correcto desempeño en obra.

La norma N-CMT-2-01-002/02 detalla los criterios técnicos y los métodos de prueba que deben aplicarse para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales. Entre los aspectos clave que regula se encuentran:

- Dimensiones y tolerancias: Especifica las medidas estándar que deben cumplir los bloques y tabiques, así como las variaciones aceptables en su fabricación.
- Resistencia a la compresión: Define los valores mínimos de resistencia mecánica que deben alcanzar para soportar cargas estructurales de manera segura.

- Absorción de agua: Establece límites de absorción para evitar problemas como la degradación por humedad o la pérdida de resistencia con el tiempo.
- Densidad y peso: Regula la composición de los materiales para asegurar que sean adecuados para su uso en diferentes tipos de construcciones.

La norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 establece las especificaciones y los métodos de ensayo que deben cumplir los bloques, tabiques, ladrillos y tabicones, así como las piezas para celosías utilizadas en la construcción de elementos no estructurales. Su objetivo principal es asegurar que estos materiales cumplan con los estándares de calidad necesarios para su uso, entre otras aplicaciones en la construcción.

Esta norma define los requisitos técnicos que deben cumplir los materiales mencionados, tanto si son fabricados de manera artesanal como industrialmente mediante maquinaria. Sus disposiciones abarcan aspectos clave como:

- Determina las medidas estándar de los bloques, tabiques y tabicones, así como las tolerancias permitidas en su fabricación.
- Establece los límites de resistencia a la compresión, absorción de agua y densidad, asegurando que los materiales sean aptos para su función específica.
- Absorción de agua: Establece límites de absorción para evitar problemas como la degradación por humedad o la pérdida de resistencia con el tiempo.
- Muestreo, Marcado y etiquetado.

Tabla 3-4. Resistencia Mínima a la compresión

| Norma | Resistencia mínima a la compresión tabique artesanal |
|-----------------------|--|
| N-CMT-2-01-002/02 | 14 kg/cm ² |
| NMX-C-441-ONNCCE-2013 | 24 kg/cm ² |

En las pruebas de laboratorio, cada una de las cinco muestras seleccionadas para el ensayo de resistencia a la compresión fue previamente pesada con el fin de registrar su masa y obtener datos precisos sobre su densidad y comportamiento mecánico. Las muestras fueron sometidas individualmente a la de compresión, aplicando una carga progresiva hasta alcanzar su punto de falla. Este procedimiento permitió obtener resultados específicos para cada tabique, facilitando el análisis comparativo de su resistencia y desempeño estructural (ver Figura 3-23).



Figura 3-23. Pruebas mecánicas en M4.

Los resultados obtenidos presentan una variabilidad significativa, con valores que oscilan entre 7 Kg/cm² y 79 Kg/cm², lo que refleja diferencias en la composición y calidad de las mezclas ensayadas. (ver Tabla 3-5).

Tabla 3-5. Resultados de los ensayos.

| Espécimen | Área de Sección (cm ²) | Carga (kg) | f'c = Resistencia (Kg/cm ²) | Eficiencia (%) | Foto |
|-----------|---------------------------------------|---------------|--|-------------------|---|
| M1P | 378 | 5600 | 15 | 62% |  |
| M2P | 356 | 2760 | 8 | 32% |  |
| M3P | 356 | 2480 | 7 | 29% |  |
| M4 | 356 | 9400 | 26 | 110% |  |
| M5 | 356 | 28060 | 79 | 328% |  |

- Dos muestras (M2P y M3P) presentan resistencias inferiores a 10 Kg/cm², lo que indica una eficiencia menor al 30% respecto a la referencia.
- La muestra M1P tiene una resistencia de 15 Kg/cm², equivalente al 62% de la referencia establecida.
- La muestra M4 supera la referencia con una resistencia de 26 Kg/cm², alcanzando un 110% de eficiencia.
- La muestra M5 destaca con una resistencia significativamente superior (79 Kg/cm²), superando ampliamente el valor de referencia con una eficiencia del 328% (ver Figura 3-24).



Figura 3-24. Ladrillos sometidos a la prueba mecánica.

El análisis de estos datos permitirá evaluar la influencia de los materiales utilizados en la fabricación de los tabiques y su idoneidad para distintos usos en la construcción. La variabilidad en los valores obtenidos puede estar relacionada con factores como la dosificación de los materiales, el grado de compactación, la humedad y el proceso de curado, lo que impacta directamente en su resistencia. Comparar estos resultados con los estándares normativos ayudará a determinar si los tabiques cumplen con los requisitos mínimos para su aplicación en obra. Además, se recomienda revisar y optimizar el proceso de fabricación para mejorar

la uniformidad y garantizar que los tabiques alcancen la resistencia necesaria. (ver Anexo 2).

4. CONCLUSIONES

El presente proyecto de investigación se enfocó en el desarrollo de un tabique recocido, sustituyendo algunos materiales convencionales por residuos sólidos urbanos. Los resultados obtenidos permiten establecer diversas conclusiones relevantes, las cuales se detallan a continuación.

Durante la investigación realizada en la zona oriente del municipio de San Juan del Río, Querétaro, se identificó que la materia prima utilizada en la fabricación del tabique rojo recocido, como el plástico y el cartón, es accesible y puede obtenerse con relativa facilidad en la región. No obstante, un factor limitante en su aprovechamiento es la falta de una cultura arraigada en torno a las tres R (Reducir, Reutilizar y Reciclar) dentro de la sociedad. Esta deficiencia en la gestión de residuos dificulta la recolección de materiales adecuados para su reutilización, ya que es indispensable seleccionar muestras con el menor grado de contaminación posible. Como resultado, la disponibilidad efectiva de estos insumos se ve reducida, afectando el volumen de material reciclable que puede emplearse en la producción de tabiques.

Por otro lado, los ensayos realizados con la maquina universal a los tabiques rojos recocidos, evidenciaron una variabilidad significativa en su resistencia mínima a la compresión.

Tabla 4-1. Comparación de Resistencia a la compresión

| Nombre | Resistencia a la compresión | N-CMT-2-01-002/02 | NMX-C-441-ONNCCE-2013 |
|--------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| M1P | 15 kg/cm ² | 140 kg/cm ² | 24 kg/cm ² |
| M2P | 8 kg/cm ² | 140 kg/cm ² | 24 kg/cm ² |
| M3P | 7 kg/cm ² | 140 kg/cm ² | 24 kg/cm ² |
| M4 | 28 kg/cm ² | 140 kg/cm ² | 24 kg/cm ² |
| M5 | 79 kg/cm ² | 140 kg/cm ² | 24 kg/cm ² |

El análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión revela que las muestras M1P, M2P y M3P, cuya mezcla incluyó residuos sólidos urbanos (RSU), presentan valores significativamente inferiores a los establecidos por la norma de la SCT (ver tabla 4-1). Entre ellas, la muestra M1P es la única que se aproxima a los requisitos de la NMX-C-441-ONNCCE-2013, normativa bajo la cual se rigieron las pruebas mecánicas en el laboratorio; sin embargo, su eficiencia alcanza únicamente un 62% en comparación con los estándares requeridos.

Las muestras M4 y M5 registraron una mayor resistencia a la compresión y fueron las que más se acercaron a los valores establecidos por la norma de la SCT. Es importante destacar que la composición de estas muestras se basó exclusivamente en una mezcla de tierra negra y arena en proporciones iguales, sin

la adición de materiales reciclados. A pesar de esta similitud en su composición, se observa una notable diferencia en la resistencia de cada una.

La variabilidad observada en los resultados sugiere la influencia de múltiples factores en la resistencia mecánica de los tabiques. Entre estos factores se encuentran la dosificación de los materiales, el proceso de fabricación y la distribución de partículas en la mezcla, la presentación en la que se incluyen los RSU, así como las condiciones de curado a las que fueron sometidas las muestras. Es importante destacar que, con la mezcla utilizada, únicamente se obtenían tres piezas de tabique, por lo que el procedimiento tuvo que replicarse tres veces para generar una cantidad suficiente de muestras para las pruebas. Esta repetición del proceso pudo haber influido en las variaciones de resistencia y homogeneidad entre cada uno de los tabiques, afectando así la consistencia de los resultados obtenidos.

Ante esta situación, es posible tomar diferentes estrategias para optimizar el proceso de producción de los tabiques rojos recocidos, con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas y garantizar su viabilidad en la industria de la construcción.

En primer lugar, se recomienda ampliar la investigación respecto a la forma en la que se incorporan los residuos sólidos urbanos (RSU) en la mezcla. En la presente investigación, los RSU fueron integrados en tiras, simulando fibras, pero sería conveniente explorar otras alternativas, como triturar el material y someterlo a cribado para obtener partículas de distintos tamaños. Esto permitiría realizar ensayos adicionales con diferentes proporciones, lo que facilitaría una mejor comparación de resultados y ayudaría a determinar la forma más efectiva de integrar los RSU a las mezclas sin comprometer la calidad del tabique.

Asimismo, es fundamental optimizar los procesos de producción, asegurando un control preciso en la dosificación de materiales, revoltura y curado, para mejorar la uniformidad en las propiedades mecánicas del producto final. Esto garantizaría que los tabiques cumplan con los estándares de resistencia

establecidos por las normas vigentes, asegurando su adecuado desempeño en aplicaciones constructivas.

5. REFERENCIAS

Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI). (2021). Informe Nacional de Vivienda. <https://www.gob.mx/conavi>

Cruz, J., & Rojas, P. (2020). Impacto ambiental de la industria de la construcción en México. Revista de Ingeniería Sustentable, 12(2), 45-53.

INEGI (2022). Estadísticas de residuos sólidos urbanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP México). (2015). Instrumentos para el desarrollo orientado al transporte: Hacia ciudades bajas en emisiones. <https://mexico.itdp.org/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Kunz Bolaños, I. (2017). Entrevista sobre crecimiento urbano y financiamiento municipal en Querétaro [Comunicación personal].

NMX-C-404-ONNCCE-2005. Materiales de construcción – Resistencia a la compresión de tabiques cerámicos – Método de prueba.

NMX-C-441-ONNCCE-2013. Industria de la construcción – Tabiques cerámicos – Especificaciones y métodos de prueba.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (s.f.). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. <https://www.gob.mx/semarnat>

SEMARNAT (2022). Informe de la situación del medio ambiente en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Alcántara jurado, e. (2017). Análisis microeconómico para las unidades productores de tabique artesanal. Caso localidad el refugio, León, Guanajuato. Querétaro.

ARQZON. (2022). ARQZON. Obtenido de <https://arqzon.com.mx/2021/05/05/los-muros-de-tabique-rojo-y-sus-diferentes-colocaciones/>

ARQZON. (2022). Tipos de muros y colocación de tabiques en construcción. Recuperado de <https://arqzon.com/tipos-de-muros>

ASECA. (12 de ABRIL de 2022). ASECA. Obtenido de <https://aseca.com/datos-sobre-el-reciclaje-de-carton/>

Barranzuela Lescano, C. (2014). Materiales de construcción: Propiedades y aplicaciones. Editorial San Marcos.

Barranzuela Lescano, J. (2014). Proceso Productivo De Los Ladrillos De Arcilla Producidos En La Región De Piura. Piura.

Bernstad, A., & La Cour Jansen, J. (11 de Julio de 2011). Local strategies for efficient management of solid household waste-the full-scale Augustenborg Experiment. Obtenido de <http://wmr.sagepub.com/>.

Ecoembes. (26 De Noviembre De 2021). Ecoembes Comó Reciclar. Obtenido De <Https://Ecoembesdudasreciclaje.Es/Que-Es-Exactamente-El-Pet>

Moreno. (1981). El Ladrillo En La Contrucción. Barcelona.

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. (2013). Climate Change. Estocolmo, Suecia: OMM, PNUMA.

Rama Judicial de la República de Colombia. (2016). Ley 388 de 1997. <http://www.secretariasenado.gov.co>

S, O., G, L., M, Q., K, W., & C, S. (2008). Generación de residuos sólidos domiciliarios por periodo estacional: el caso de una ciudad mexicana. Castellón: Universidad Autónoma de Baja California.

SEMARNAT. (s.f.). Residuos Sólidos Urbanos: La otra cara de la basura. CDMX: Gobierno de la República.

Tena Colunga, A., Juárez Ángeles, A., & Salinas Vallejo, V. (2007). Resistencia Y Deformación De Muros De Mampostería Combinada Y Confinada A Cargas Laterales. Ingeniería Sísmica, 29-60.

6. ANEXOS

6.1 Anexo 1. Encuesta RSU San Juan del Río

Folio:



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ARQUITECTURA
SAN JUAN DEL RÍO**

Elabora: Daniel Arellano Hernández

ID: 274834

Correo: darellano19@alumnos.uaq.mx

Semestre: 9no

**"Censo de residuos generados en San Juan del Rio,
Querétaro"**

1 de 5

Folio:



La presente encuesta tiene como propósito censar la cantidad de residuos humanos, generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas, así como aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en lo anteriores lugares o actividades, esto en la zona oriente del municipio de San Juan del Río, Querétaro.

Si usted acepta participar en el censo, le invitamos a responder la siguiente encuesta, la cual consta de 5 preguntas, que abordan los temas necesarios para indagar la percepción sobre el propósito mencionado. Es importante aclarar que no habrá respuestas correctas ni incorrectas, solamente queremos saber su opinión acerca de este tema.

Su participación ayudara a saber que tipos y cantidades de residuos humanos se están generando en la zona oriente del municipio de San Juan del Río, Querétaro, de acuerdo a la clasificación de domicilios antes mencionados. Esto como punto de partida para desarrollar líneas de investigación, con la creación de nuevos elementos constructivos y estructurales, que permitan disminuir el impacto ambiental y los costos de los procesos constructivos.

Cabe mencionar que usted no recibirá un beneficio directo por su colaboración en este estudio, sin embargo, si acepta participar, su aportación será de gran utilidad para el ámbito constructivo, a través de la licenciatura de arquitectura en la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

El proyecto y su participación a través de la encuesta no le afecta de forma alguna y usted podrá retirarse en caso de considerarlo pertinente.

Confidencialidad: Toda la información que usted nos proporcione para la encuesta será de carácter estrictamente confidencial. Será utilizada únicamente por el equipo de investigación del proyecto y no estará disponible para ningún otro propósito. Para asegurar la confidencialidad de sus datos, usted quedará identificad@ con un número y no con su nombre. Los resultados de este estudio serán publicados con fines científicos y de desarrollo tecnológico, pero se presentarán de tal manera que no podrá ser identificad@.

Si usted tiene alguna pregunta, comentario o preocupación con respecto a la encuesta, podrá dirigirse **coordinación de Arquitectura de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Querétaro**, con domicilio en Av. Río Moctezuma 249, Z/O secc. 8 San Cayetano 76807 San Juan del Río, QRO.

Nombre y firma del participante

Acepto lo enunciado para hacerme participe de la encuesta.

2 de 5

Folio:



Datos del entrevistado

Nombre:

Dirección:

Fecha:

Hora:

Correo:

1. ¿Clasifica sus residuos humanos? a) SI b) No

- a1) ¿Por qué los clasifica?

 - a2) ¿Cómo los clasifica?

 - a3) ¿Con qué residuos humanos comenzó a clasificar?
-
- b1) ¿Por qué no los clasifica?

 - b2) En un supuesto de clasificarlos...
¿Cómo los clasificaría?

 - ¿Con qué residuos comenzaría a clasificar?

3 de 5

Folio:



2. Menciona los tres residuos que más generas, numerándolos del 1 al 3, donde 1 es el que menos generas y 3 el que más...

3. ¿Con qué periodicidad genera residuos humanos?

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---------|---|----|----|----|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Días | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | | | | Semanas | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Meses |

4. De acuerdo a los residuos que mencionaste en la pregunta 2 sobre lo que más generas, considerando que a una bolsa negra de 90x60 cm a la cual le caben 5 bolsas de asa de 25*35 cm.

¿Qué cantidad de bolsas negras desechas semanalmente?

Desecho 1

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |

Desecho 2

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |

Desecho 3

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |

4 de 5

Folio:



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE QUERÉTARO

5. Clasifica los siguientes residuos, del 1 al 7, donde 1 es el que menos se desecha y 7 el que mas se desecha.

- Pet/Plásticos
- Papel/Cartón
- Metales
- Comida
- Vidrios
- Maderas
- Tóxicos (Pilas, derivados del petroleo, ETC).

| |
|--|
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |

5 de 5

6.2 Anexo 2. Resultados de las pruebas mecánicas

Laboratorio, Investigación y Construcción



Supervisión - Control de calidad
Estudio, Análisis y Diseño de materiales



REPORTE DE TABIQUE- 05/09/2023

| | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|--|--|--|
| SOLICITADO POR: | ING CESAR JONATHAN JIMENEZ ZAVALA | | | |
| CONTRATISTA: | ING CESAR JONATHAN JIMENEZ ZAVALA | | | |
| DESCRIPCIÓN: | ENSAYE DE TABIQUES ECOLÓGICOS | | | |
| OBRA: | NA | | | |
| UBICACIÓN: | MUESTRA LLEVADA A CIMIR POR CLIENTE | | | |

| PRODUCTO: | TABIQUE ECOLÓGICO | | | | |
|---|-------------------|------------|--|---------------|------------|
| ELABORADO EN: | INST EDUCATIVA | | REVENIMIENTO: | N/A | |
| DOSIFICACIÓN (Agua/Grav/Are): | NA | | REFERENCIA f'_c (Kg/cm ²): | 24 | |
| VIBRADO: | NA | | FORMA DE MEZCLAR: | NO APLICA | |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | | | |
| # DE MUESTRA: | M1P | LADRILLOS: | 5 | REVENIMIENTO: | N/A |
| ESPECIMEN: | M1P | M2P | M3P | M4 | M5 |
| ÁREA DE LA SECCIÓN (cm ²): | 378 | 356 | 356 | 356 | 356 |
| FECHA ELABORACIÓN: | 23-jun.-23 | 23-jun.-23 | 23-jun.-23 | 23-jun.-23 | 23-jun.-23 |
| FECHA DE ENSAYE: | 5-sep.-23 | 5-sep.-23 | 5-sep.-23 | 5-sep.-23 | 5-sep.-23 |
| EDAD ESPECIMEN (DÍAS): | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 |
| CARGA (kg): | 5600 | 2760 | 2480 | 9400 | 28060 |
| $f'_c =$ RESISTENCIA (Kg/cm ²): | 15 | 8 | 7 | 26 | 79 |
| EFICIENCIA (%): | 62% | 32% | 29% | 110% | 328% |



ENSAYO CON BASE A LA NORMA NMX-C-441-ONNCCE
PRENSA CALIBRADA CON FECHA 2023-02-21 / INFORME 3057

LOS RESULTADOS AQUÍ EXPRESADOS SÓLO AFECTAN A LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS.
NO CONTIENE NINGUNA VALORACIÓN DE NINGÚN TIPO SOBRE LOTES O GRUPOS DE
MUESTRAS. ÉSTE REPORTE NO DEBERÁ SER REPRODUCIDO PARCIAL O TOTALMENTE, SIN LA
APROBACIÓN DE LABICSA Y CARECE DE VALOR AL NO PRESENTAR FIRMA Y SELLO.

MARIA DE LOS ANGELES ZAMARRIPA
MORALES

ELABORÓ

COORDINADOR DE OPERACIONES CIMIR

Francisco villa No. 7 San Pablo Potrerillos, San Juan Del Río, Qro Tel +52 462 334 15 43

ATENTAMENTE

ING. JESÚS DANIEL RANGEL RESÉNDIZ

REVISÓ

DIRECTOR LABORATORISTA LABICSA