



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA

Desarrollo de un prototipo de ladrillo a base de colillas

de cigarro con aplicaciones
arquitectónicas

Tesis para obtener el título de arquitecta presenta:

Daniela Cruz Martínez

Ciudad Universitaria, CDMX

Marzo de 2022

Jurado:

Mtra. en Ing. Perla Rafael Santa Ana Lozada

Mtra. en Arq. Susana del Carmen Reyes Martínez

Arq. Roberto López González





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA

Desarrollo de un prototipo de ladrillo a base de
colillas de cigarro con aplicaciones arquitectónicas

Tesis para obtener el grado de Licenciada en Arquitectura presenta:

Daniela Cruz Martínez

Jurado

Directora de tesis:

Mtra. en Ing. Perla Rafael Santa Ana Lozada

Sinodales:

Mtra. en Arq. Susana del Carmen Reyes Martínez

Arq. Roberto López González

Suplentes:

Dra. en Arq. Ilse García Villalobos

Arq. Enrique Gándara Cabada

Ciudad Universitaria, CDMX

Marzo 2023

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a la Mtra. Perla Santana Lozada, por dirigir este proyecto de investigación con entusiasmo, agradezco su acompañamiento, paciencia, conocimiento y colaboración.

Al Arq. Roberto López González , la Mtra. Susana Del Carmen Martínez y el Arq. Enrique Gándara, quienes aceptaron formar parte de mi sínodo y mostraron la mejor disponibilidad y acompañamiento a lo largo de mi proceso.

A la Dra. Ilse García Villalobos, quien mostró un interés genuino en mi proyecto de investigación y con su experiencia y conocimiento contribuyó a enriquecerlo, además de motivarme a seguir mi camino en la investigación.

Al Instituto Mexicano del Concreto y el Cemento (IMCyC), quienes me brindaron la confianza y me permitieron desarrollar mis experimentos en sus laboratorios, poniendo a mi disposición materiales y personal técnico que en todo momento me apoyó y orientó en el proceso.

Al Ing. Mario Alberto Hernández Hernández, Gerente Técnico del IMCyC, por permitirme hacer uso de las instalaciones del IMCyC, brindándome acompañamiento, orientación y su disponibilidad en todo momento.

Al Ing. Héctor López Andraca, Coordinador del Laboratorio de Concreto, quien me dirigió y acompañó en todo momento durante la realización de las pruebas de experimentación y entrega de resultados de las mismas.

A mi familia y amigos , quienes a pesar de las condiciones adversas de la pandemia, me apoyaron en todo momento; en la recaudación de materiales, transportación y divulgación de mi proyecto, y me brindaron su apoyo emocional para continuar, sintiéndose siempre orgullosos de mi.

A Tóbiás, quien fue un gran soporte emocional para llegar a la culminación de este proyecto de investigación, gracias por tu amor, compañerismo, confianza y por ser mi motivación cuando ya no quería continuar.

A la UNAM, por brindarme la oportunidad de adentrarme en el conocimiento, continuar descubriéndolo y darme la libertad de elegir mi camino. A su comunidad de profesores, investigadores y alumnado por motivarme a dar lo mejor de mí siempre.

ÍNDICE

1.0 Introducción	1
1.1 Justificación	4
1.2 Planteamiento	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos particulares	6
1.4 Hipótesis	7
2.0 Antecedentes	7
3.0 Marco teórico	12
3.1 Materiales en la arquitectura	12
3.2 Estructura de los materiales	13
3.3 Propiedades de los materiales	14
3.3.1 Propiedades físicas	15
3.3.2 Propiedades químicas	15
3.3.3 Propiedades mecánicas	15
3.3.4 Propiedades térmicas	16
3.4 Clasificación general de los materiales	17
3.4.1 Materiales metálicos	18
3.4.2 Materiales cerámicos	19
3.4.3 Materiales poliméricos	22
3.4.4 Materiales compuestos	24
3.5 Materiales cerámicos	27
3.5.1 Propiedades de los materiales cerámicos	29
3.5.1.1 Propiedades químicas	29
3.5.1.2 Propiedades físicas	30
3.5.1.3 Propiedades mecánicas	31
3.5.1.4 Propiedades térmicas	33
3.5.2 Cerámicas tradicionales	35

... "Mientras se veían a sí mismos como construyendo el orden mundial, muchos vietnamitas los veían simplemente como productores de basura a partir de los cuales podían construir casas"

(Building from Waste, 2014)

1.0 Introducción

Nuestro sistema económico está basado en una producción lineal, regida por los conceptos de tomar, hacer y desperdiciar, dicho sistema implica la extracción de recursos naturales para su transformación y servicio sin considerar qué sucederá con los mismos una vez que ya fueron utilizados. De manera importante, en las últimas décadas, la extracción de recursos naturales y la producción de materiales ha ido en aumento, teniendo como consecuencia la generación excesiva de desechos.

El problema de generación de desechos ha tenido poca importancia debido a que, culturalmente, dejamos de considerar qué es lo que pasa con los bienes que consumimos y producimos una vez que han cumplido con su propósito individual. Los sitios destinados a funcionar como vertederos son la muestra de la falta de tratamiento, manejo e importancia que se les da a éstos.

En los centros urbanos y áreas metropolitanas, sitios donde se produce la mayor cantidad de desechos no orgánicos, se considera que el tratamiento y recolección de los mismos corresponde a otras personas y una vez lejos de nuestros hogares, el problema se invisibiliza aún más. Contemplando las cifras actuales, los productos de desecho revelan una historia contraria a la que percibimos: cada año, las principales ciudades del mundo generan 1.300 millones de toneladas de residuos sólidos, no obstante, se espera que esta cantidad crezca a 2.200 millones de toneladas para 2025, es decir, en los próximos cinco años (Hebel, Wisniewska y Heisel, 2014).

Los 34 países miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) producen más desechos sólidos que las otras 164 naciones juntas, esto representa un panorama equivalente entre la extracción de recursos con fines de producción y la cantidad de desechos generados dentro y después de este proceso. Los países con mayor crecimiento y bienestar económico son a su vez, los que mayores desechos generan. Sin embargo, para estos no representa un problema, debido a que sus desechos son enviados a otros países y ciudades, donde las políticas económicas y ambientales tienen un nulo valor y desarrollo, permitiendo que alguien más “se haga cargo del problema”, sin importar las consecuencias sociales, ambientales, económicas y de salud que implique para los asentamientos humanos y sitios naturales inmediatos.

El programa de la convención de Basilea e-Waste África estima que aproximadamente 40,000 toneladas de desechos electrónicos fueron enviados a Ghana en 2010, en comparación con el total de generación de residuos para toda África que representó una cifra de alrededor de 230,000 toneladas (Hebel, Wisniewska y Heisel, 2014). Esta basura de prosperidad de las sociedades occidentales continuará siendo enviada a África mientras las naciones del norte continúen sin un control de producción y agotamiento de recursos, rigiéndose por el concepto de desecho como un objeto excluido del sistema económico, que no pertenece ni a los recursos naturales ni a los productos deseados de consumo.

Incongruentemente, pagamos a nuestras autoridades y otros servicios locales para que nuestros desechos sean recolectados, confirmando así su nulo valor y menos aún, que pudieran ser considerados como un recurso aprovechable. Recurriendo a las cifras, de los aproximadamente 251 millones de toneladas de desechos sólidos municipales generados en los Estados Unidos por año, tan sólo se reciclan alrededor de 87 millones de toneladas (Addis, 2006). El resto, aproximadamente 164 millones de toneladas terminan en plantas de incineración y vertederos.

La generación de residuos también causa pérdidas económicas relevantes, aunque esto no sea considerado ni por los gobiernos ni los habitantes de las ciudades; aterrizando las cifras a nuestro país, de acuerdo con datos del año 1982, se produjeron aproximadamente 48,000 toneladas diarias de desechos en la Ciudad de México y la recolección implicó un gasto de 750 millones de pesos (Aguilar y Salas, 2004). En la actualidad, estas cifras se han duplicado. A pesar de que el tema del reciclaje y aprovechamiento de los residuos ha tomado importancia y difusión como una preocupante consecuencia del crecimiento descontrolado e insostenible de las ciudades, la generación de desechos ha ido en aumento, esto porque se tiene una idea polarizada de que todos los desechos pertenecen a la misma categoría y que, por tanto el reciclaje o recuperación es una tarea difícil y costosa de realizar.

El objeto desechado, no es basura, nosotros lo convertimos en basura al deshacernos de él en forma inadecuada creyendo que su vida útil ha terminado y que no nos corresponde pensar qué pasará con el mismo, porque si pensamos en cuál será su destino final y hacemos una selección de los productos que se pueden aprovechar de nueva cuenta, transformamos la “basura” en un desperdicio reutilizable e iniciamos un proceso de reciclaje.

Reciclar significa que todos los desechos y residuos que generamos se vuelvan a integrar a un ciclo natural, industrial y/o comercial, es decir, cambiar el sistema económico lineal actual a un sistema cíclico, en el cual el concepto de “desecho” pueda ser replanteado. La Fundación Americana Mc Arthur (2014) estima que un cambio a un modelo de economía circular ahorraría una cantidad enorme de materiales (recursos naturales), en un valor superior a un billón de dólares estadounidenses.

Para poder llegar a una cultura del reciclaje, es necesario contemplar su desarrollo en todas las escalas posibles, desde el ámbito local hasta el industrial. Es aquí donde la industria de la construcción y la arquitectura deben jugar un papel fundamental y tienen una postura crítica por adquirir. Principalmente cuando hablamos de la construcción de un nuevo edificio, se da la extracción de recursos naturales para la producción de materiales y transferencia y uso de energía durante el proceso de construcción, la cual podría ser tanta como la requerida para los siguientes 10 o 20 años de operación del edificio. De igual manera, la industria de la construcción es una de las más demandantes de recursos naturales, energía y materiales, llegando a generar durante y después del proceso de construcción preocupantes cantidades de desechos, escombros y desperdicios, los cuales terminan en vertederos sin aprovechamiento alguno, por consiguiente, debe existir una obligación y compromiso dentro de la industria de revisar cuidadosamente estos factores en la vida de un edificio; planificación y durabilidad de todos sus componentes y materiales, y por supuesto, el considerar desde los inicios del proceso de diseño y planificación la incorporación de materiales reciclados que contribuyan a reducir de manera significativa su impacto ambiental y socio-económico negativo.

Partiendo de esta premisa, el presente proyecto de investigación pretende llevar al conocimiento colectivo teórico y práctico la importancia de reincorporar materiales de desecho a un nuevo ciclo de vida, desechos que aún en la actualidad carecen de tratamiento alguno. Así, se propone incorporar en un material de mampostería tan tradicional y utilizado como son los ladrillos de arcilla, un material reciclado; acetato de celulosa proveniente de la recuperación de colillas de cigarro. Incorporar dicho material en un nuevo ciclo de vida puede ser beneficioso no solo desde el reaprovechamiento del mismo, sino que también puede contribuir a mejorar las propiedades físicas o mecánicas del material tradicional.

1.1 Justificación

En nuestro quehacer como arquitectos, tenemos sobreentendido que el proceso de diseño involucra variables casi siempre determinadas, pudiéndose definir como una metodología convencional. El método convencional comienza con la generación de una idea, de un “concepto” y llevamos al resto de variables a funcionar en torno a este elemento. No obstante, el proceso de empezar a crear “desde cero”, involucra que también la elección de materiales de un edificio sean materiales nuevos, que de acuerdo a un mercado existente y conocido, comenzamos a definir. El criterio en la elección de materiales va de acuerdo a las exigencias individuales del proyecto, sin preguntarnos por la procedencia y el impacto ambiental que tiene cada uno de ellos desde su proceso de extracción y producción hasta una vez concluida su vida útil.

Por el contrario, diseñar para incorporar productos y materiales recuperados o reciclados es fundamentalmente diferente de la creación “desde cero”. Al diseñar para incorporar productos y materiales recuperados, no existe un mercado establecido equivalente, por ello es prácticamente esencial identificar la fuente de materiales y productos adecuados antes de definir de manera aislada las características formales y materialidad abstracta.

En años recientes, la proporción de materiales de construcción que se están recuperando, reciclando y reutilizando ha estado disminuyendo. Los materiales reutilizables que no se reciclan y son enviados al vertedero tienen una tasa de alrededor de un 50 por ciento más alta que hace diez años.

A mediados de la década de 1990 en Gran Bretaña, la industria de la construcción utilizó más de 250 millones de toneladas de roca y grava trituradas, así como casi 3.5 millones de toneladas de metales, alrededor de 0.5 millones de toneladas de polímeros y casi 4.0 millones de metros cúbicos de madera. A finales de la misma década, los procesos de construcción generaron alrededor de 10 millones de toneladas de desechos pos-industriales y alrededor de 30 millones de toneladas de materiales de desecho surgieron a causa de demoliciones. Hace aproximadamente una década, se usaron más de 3,500 millones de ladrillos nuevos por año y alrededor de 2,500 millones fueron derribados en la demolición de edificios, de estos, solo unos 140 millones fueron rescatados y reutilizados, el resto fueron enviados a vertederos. (Addis, 2006)

Por el contrario, el manejo inteligente de los desechos, ha sido en otras épocas y culturas una parte integral del funcionamiento de las ciudades..

Recuperar e implementar esta filosofía en la actualidad, si bien no representa la solución única y definitiva a los problemas de contaminación, desperdicio de recursos y generación de desechos, contribuye de manera significativa a reducir la huella ambiental de nuestro quehacer arquitectónico, además de que cambia el paradigma de la arquitectura en donde todo proceso de diseño comienza desde cero. El incorporar materiales reciclados y recuperados en nuestros proyectos, no debería ser una imposición sobre la cual como diseñadores obtengamos beneficios o reconocimientos, sino que debería formar parte de nuestra cotidianidad.

1.2 Planteamiento

La investigación plantea el desarrollo de un material compuesto que busca involucrar en el proceso de manufactura de un ladrillo de arcilla convencional un desecho considerado como uno de los principales contaminantes presente en las ciudades, centros urbanos, cuerpos de agua e incluso en el medio natural; las colillas de cigarrillo.

Tratar los residuos de cigarro es uno de los dilemas ambientales más difíciles a nivel global: anualmente miles de millones de cigarros contaminan el suelo y los cursos de agua con residuos tóxicos que contienen metales como arsénico, cromo, níquel y cadmio. De acuerdo con Mohajerani (2016), cerca de 6 billones de cigarrillos se producen cada año, lo que genera 1.2 millones de toneladas de residuos de colillas, esperando que estas cifras aumenten en más de un 50% para el año 2025, debido principalmente a un aumento de la población mundial y el consumo de los mismos relacionados con problemas de ansiedad y depresión.

Existen intentos desde diferentes áreas del conocimiento como la química y la biología por dar un tratamiento de reciclaje eficaz a las colillas de cigarro y evitar que con ello, continúen generando daños ambientales y a la salud, principalmente dentro de los centros urbanos. Los usos que se han buscado para las colillas de cigarro no solo involucran el manejo y gestión como un desecho, sino también su aprovechamiento como un material reciclado.

En el presente proyecto, mediante un proceso de investigación teórica y posteriormente experimentalmente, el acetato de celulosa contenido en las colillas de cigarro se plantea como un aditivo a la mezcla convencional que conforma a los ladrillos de arcilla. Se pretende con esto probar la efectividad de éste material para reducir el peso volumétrico de un ladrillo, volviéndolo más ligero y que el material compuesto pueda conservar las mismas propiedades físicas y mecánicas de un ladrillo tipo o incluso, mejorarlas.

Se pretende que el material compuesto a partir de arcilla y acetato de celulosa pueda ser empleado como un nuevo material en la arquitectura, que, a pesar de ser similar en su composición a la de un ladrillo convencional, pueda cumplir con funciones estructurales y arquitectónicas de manera práctica, logrando incorporarse dentro de los sistemas constructivos tradicionales de mampostería, no sin resaltar su importancia como un material generado a partir de un proceso de reciclaje, que además de proporcionar un beneficio como material de construcción, pueda implicar una solución para lograr una reducción significativa a la contaminación generada por los residuos del cigarro.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Incorporar en un ladrillo de arcilla una mínima cantidad de acetato de celulosa proveniente de colillas de cigarro, generando con ello un nuevo material compuesto a implementar en la arquitectura basado en el principio del reciclaje y el aprovechamiento, esto sin comprometer las propiedades físicas y mecánicas necesarias para brindar un adecuado funcionamiento.

1.3.2 Objetivos particulares

- Indagar en la investigación y utilización práctica de los materiales reciclados en la arquitectura y el sector de la construcción.
- Vislumbrar y comunicar el impacto ambiental negativo de algunas de las actividades humanas, principalmente aquellas que se involucran de manera directa con la arquitectura y la industria de la construcción.
- Difundir y visibilizar la importancia de continuar revolucionando la industria de los materiales convencionales y nuevos materiales tecnológicos, principalmente en el país, donde poca investigación dentro del área existe.
- Estudiar casos análogos sobre el manejo de las colillas de cigarro, así como las posibles soluciones prácticas aportadas hasta el momento que puedan sentar las bases para este y futuros proyectos de investigación.
- Dar un nuevo uso a los desechos resultantes del cigarro dentro del área de los nuevos materiales reciclados incorporados a la arquitectura.
- Visibilizar a la población inmediata los impactos negativos de la producción excesiva de desechos por colillas de cigarro, su falta de tratamiento, disposición y reciclaje por desconocimiento de sus compuestos tóxicos dañinos a la salud y al medio ambiente.

- Reducir los costos ambientales y económicos de la producción de ladrillos, a través de una reducción en los tiempos de cocción, emisiones energéticas y cantidad de materia prima virgen empleada en el proceso.

1.4 Hipótesis

La incorporación de un porcentaje mínimo de acetato de celulosa proveniente de colillas de cigarro en un ladrillo convencional contribuirá, por una parte, a reducir la contaminación en suelos urbanos por la presencia de este residuo, y por otra, a reducir la densidad de los ladrillo, aumentando su porosidad y mejorando con ello sus propiedades térmicas y acústicas sin comprometer las propiedades mecánicas que posibilitan su funcionamiento.

2.0 Antecedentes

El tema del reciclaje en la construcción y la arquitectura no es algo nuevo, de acuerdo con Del Cueto.B. (2012), para el primer siglo antes de Cristo, los ingenieros romanos, habían perfeccionado las técnicas de deconstruir, ya que conocían el problema que representaba la disposición de los escombros y desechos de una estructura deteriorada o que necesitaba reemplazarse. Los romanos lograron comprender que, dándole nuevos usos a estructuras existentes, al igual que reutilizar materiales que eran escombros, aceleraba la construcción o remodelación de un edificio.

Dentro de las culturas mesoamericanas, también se dio el proceso de reciclaje de materiales y estructuras, es frecuente encontrar restos arqueológicos cuya construcción manifiesta distintas épocas, técnicas y materiales, incluso el uso dado por distintas civilizaciones que tras la conquista de un territorio supieron adaptar los edificios preexistentes de las culturas conquistadas a sus necesidades y nuevos usos.

Este patrón se repite en distintas culturas, épocas y periodos. El reciclaje de materiales y edificios ha sido una técnica que ha contribuido a la minimización del impacto ambiental negativo que causaría la construcción de un nuevo edificio, no obstante, en la actualidad no solo hablamos de reciclaje al proceso de reutilizar los materiales destinados a la industria de la construcción o la reutilización de un antiguo edificio, las investigaciones van principalmente dirigidas a cómo es posible incorporar materiales de otros sectores que logren sustituir o bien mezclarse con materiales arquitectónicos

convencionales. Aunque la investigación sobre la incorporación de materiales reciclados en la arquitectura no es un tema de interés general en el medio, en las últimas décadas han comenzado a destacar diversos proyectos de arquitectos, diseñadores y equipos multidisciplinarios. El desarrollo de la investigación de las propiedades y posibles usos de un material reciclado va en aumento y representa un reto para el resto de diseñadores que siguen concibiendo los materiales convencionales como los únicos disponibles a incorporar en sus diseños.

Uno de los trabajos más interesantes que actualmente se involucra con el aprovechamiento de materiales reciclados es el generado por Superuse Studios, un despacho de arquitectura que en su equipo de trabajo incluyen químicos, científicos y analistas ambientales que ayudan a los proyectistas a convertir las ciudades en una red viva de materiales conectados. (Martínez, 2016).

Superuse Studios desarrolló su propia herramienta para auxiliarse durante el proceso de diseño y construcción involucrando materiales reciclados; el Harvest map. Se trata de un método de exploración aplicado en el sitio donde el proyecto se realizará, que consiste en la búsqueda de posibles materiales a reciclar o recuperar de fuentes como fábricas, parcelas, procesos de demolición de otros edificios y depósitos de chatarra. En la figura 1, se observa la recuperación de la estructura de un avión chatarra, convertido en mobiliario público de un parque.



Figura 1 (Guzzo, 2007) Mobiliario en parque público utilizando materiales reciclados, proyecto de SuperUse Studio, fotografía recuperada de la red con intervención de color propia.

A lo largo de sus proyectos realizados han involucrado distintas maneras innovadoras de transformar y volver a utilizar materiales de desecho: lavadoras para paneles, aspas de turbinas como mobiliario público y juegos infantiles, parabrisas de coches para estanterías o revestimiento interior de aviones para paneles acústicos.

Otro arquitecto que propone la incorporación de materiales reciclados o bien con posibilidades de transformarse en nuevos materiales u otros usos al finalizar su vida útil en un edificio es Shigueru Bam, ejemplo de ello es el museo nómada (2005). Este proyecto involucra la recuperación de contenedores de mercancía de transporte, tubos de papel y tabloncillos de madera recuperados de andamios de construcción. (Figura 2)

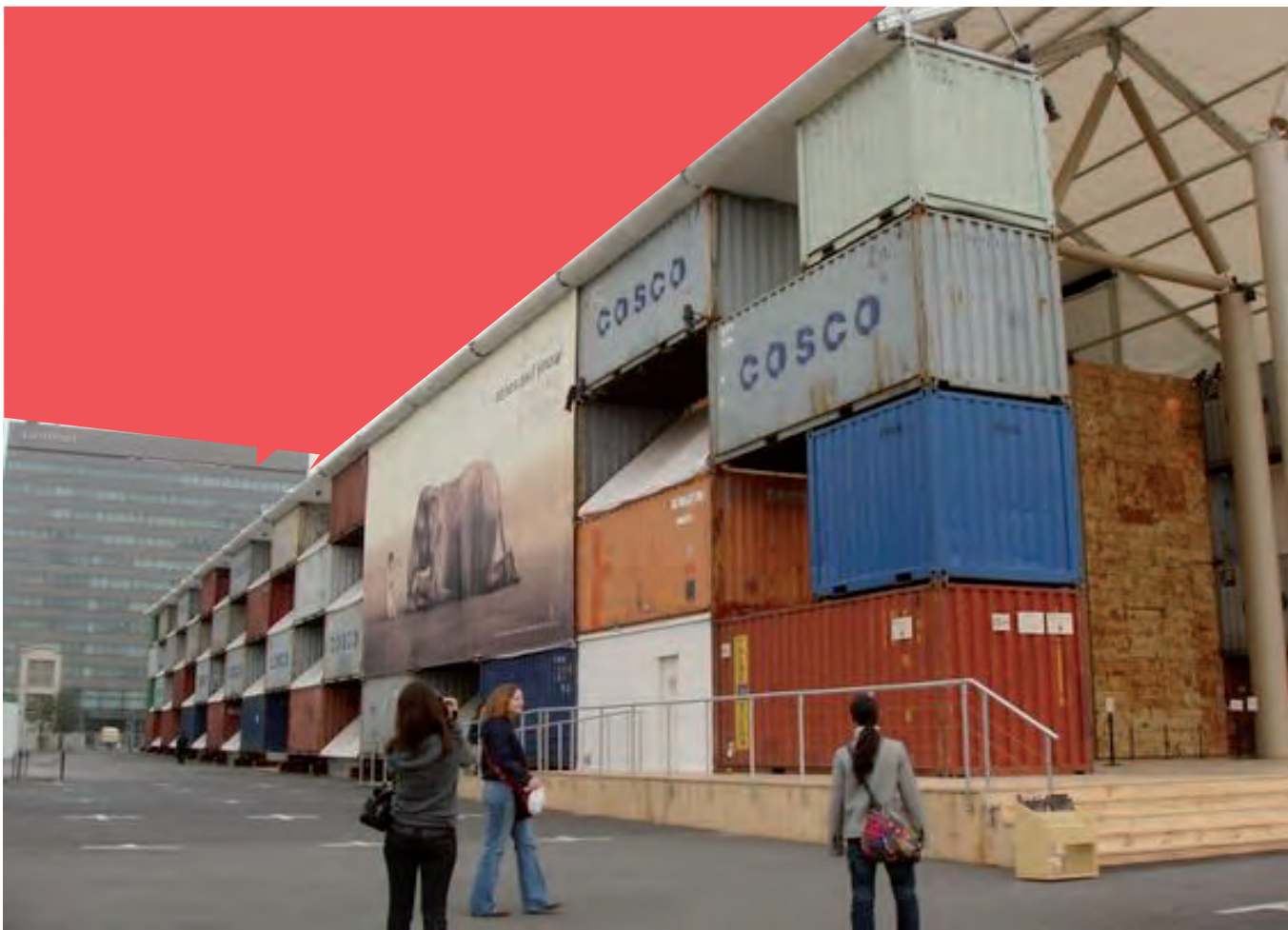


Figura 2 (architectuul, s.f) Museo Nómada, obra del arquitecto Shigueru Bam, fotografía recuperada de la red, con intervención de color propia.

Existen muchos otros proyectos que surgen de la recuperación de material textil, poliestireno, metal, cartón y distintos tipos de polímeros; desde mobiliario, textiles y objetos de uso común hasta su reutilización como sistemas de fachada modulares.

La investigación contemporánea ha ido principalmente dirigida hacia la industria de los polímeros, logrando incorporarlos a distintas industrias y áreas de desarrollo incluidas en ellas la arquitectura y el sector de la construcción.

Volviendo al caso de estudio, las colillas de cigarro y su incorporación a un sistema de reciclaje han sido tomados como casos de estudio con anterioridad a este trabajo de investigación, desde áreas como la química, la biología y la ingeniería de materiales. La presente investigación recupera y da seguimiento al proyecto de investigación iniciado en 2015 por el Dr. Abbas Mohajerani, proyecto que aún se encuentra en desarrollo.

Mohajerani y un equipo de trabajo perteneciente al Royal Institute of Technology (Melbourne, Australia), inició en 2015 un estudio sobre el desarrollo de un prototipo de ladrillo compuesto a partir de colillas de cigarro y arcilla. El proceso de fabricación involucró un control en la incorporación de colillas en la mezcla, determinando rangos de porcentajes de 0 al 10% equivalente de la masa total del material, tomando el 0% en contenido como una muestra testigo sin colillas de cigarro. A partir de esto, fue posible comparar diferentes parámetros y propiedades en las distintas muestras generadas; resistencia a la compresión, tensión, densidad en seco, conductividad térmica, porosidad del material, absorción de agua, así como análisis de conductividad térmica y ahorro de energía durante su producción. De acuerdo con los resultados arrojados tras un proceso de investigación y pruebas realizadas al material, Mohajerani y su equipo de trabajo concluyeron que es posible usar distintos prototipos de ladrillo en situaciones específicas, dependiendo de la resistencia requerida, así, los ladrillos con una mínima cantidad de colillas de cigarro (del 1 al 2.5%) apenas difieren en cuanto a propiedades y apariencia de los ladrillos convencionales de arcilla. En cuanto al impacto ambiental, mediante la incorporación de al menos 1% de colillas al material es posible reducir de manera efectiva el problema de desechos de colillas de cigarro, ya que el incorporar estos residuos en el proceso de fabricación de ladrillos no implica riesgo de lixiviación de los componentes químicos peligrosos contenidos en las mismas. En términos de requerimientos energéticos, el proceso de cocción se lleva a cabo en menor tiempo, esto implica la disminución de pérdidas de energía y uso de combustibles fósiles y desechos que se incorporan durante el proceso de combustión en el horno.

De acuerdo con los investigadores, los ladrillos con colillas de cigarro incorporadas en su mezcla, son un material de construcción ligero, como se mencionó, sus usos y propiedades pueden variar según la cantidad de colillas incorporadas.

De esta forma, los ladrillos pueden ser incorporados como materiales estructurales portantes o no portantes. Además, algunas propiedades de los mismos pueden mejorarse con la incorporación de colillas, incluyendo una significativa reducción en la conductividad térmica. Mohajerani, A. (2016), propone que: “Incorporar tan poco como el 1 % de contenido de colillas de cigarro en ladrillos de arcilla puede ser beneficioso para el medio ambiente... Solo el 2.5% de la producción anual de ladrillos del mundo es necesaria para compensar completamente la producción anual mundial de cigarrillos.

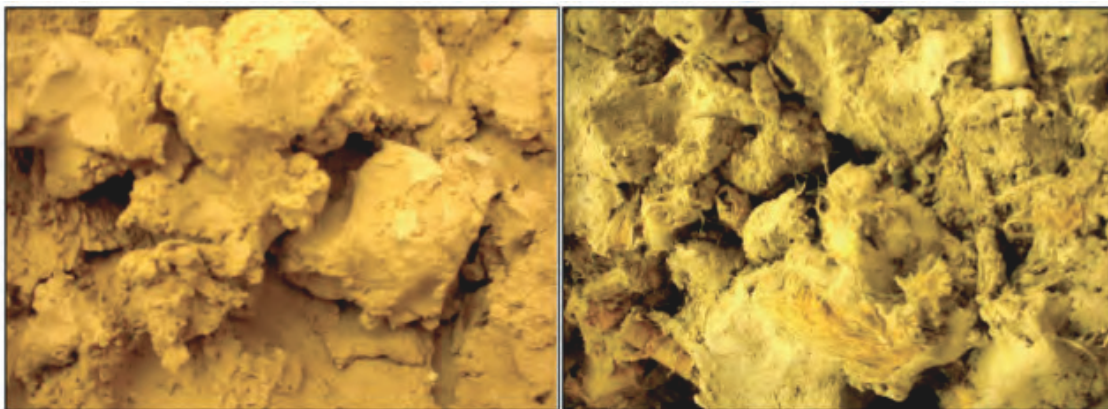


Figura 3 (Mohajerani, et. al, 2015) 1er. fotografía; mezcla de arcillas sin contenido de colillas de cigarro para prueba de control, 2da fotografía; mezcla de arcillas con colillas de cigarro.

Por otra parte, Benítez (2010), llevó a cabo un proyecto de investigación, desde el área de la biología y la química, desarrollando un proceso a partir del cual la desintegración y degradación de las colillas de cigarro se da mediante el reciclaje biológico, gracias a este proceso es posible recuperar el material que da origen al acetato de celulosa; la celulosa. Posteriormente, su proyecto continuó con la aplicación práctica de la investigación, llevando los resultados a generar la posibilidad de utilizar las fibras resultantes tras el proceso de degradación biológica para la generación de papel en donde se sustituye la celulosa extraída de los árboles por el acetato de celulosa presente en las colillas de cigarro.

Existen además otros proyectos de investigación desde distintas áreas que ha apostado por el reciclaje de colillas de cigarro, los cuales posteriormente serán recuperados durante el desarrollo del presente proyecto de investigación.

3.0 Marco Teórico

3.1 Materiales en la arquitectura

Cualquier actividad que realizamos en nuestra cotidianidad está involucrada de manera directa con el uso de algún material.

Históricamente, el desarrollo y la evolución de las sociedades han estado íntimamente vinculados a la capacidad de sus integrantes para producir y conformar los materiales necesarios para satisfacer sus necesidades.

Las propiedades de los materiales no siempre se conservan intactas, existe una relación intrínseca entre los avances tecnológicos y el desarrollo o mejoramiento de algún material. Son los materiales los que permiten desarrollar nuevas tecnologías y a su vez, son estas nuevas tecnologías las que permiten continuar desarrollando nuevos materiales o mejorando las propiedades de los ya existentes.

La investigación y desarrollo de nuevos materiales no se ha limitado solo a un área de conocimiento, sino que se han consolidado a través de un quehacer multidisciplinario; desde distintas áreas y disciplinas se ha buscado desarrollar composiciones y propiedades muy específicas, que permitan adaptar las propiedades de un mismo material a diversas aplicaciones y necesidades.

Hace relativamente poco tiempo los científicos llegaron a comprender la relación intrínseca entre los elementos estructurales de los materiales y sus propiedades. Este conocimiento, adquirido en los últimos 50 años los ha capacitado para modificar o adaptar las características de los materiales a necesidades y sectores específicos. Así, se han desarrollado decenas de miles de materiales distintos con características muy especiales para satisfacer las necesidades de nuestra moderna y compleja sociedad (Callister,1995).

La arquitectura sería inimaginable sin la existencia de los materiales, mediante éstos es posible llevar a la realidad física cualquier proyecto, gracias a los avances tecnológicos, los sistemas constructivos han logrado evolucionar, permitiendo flexibilidad en el diseño de espacios, reducción de costos y aceleración de tiempo en los procesos constructivos.

Los materiales continúan evolucionando a la par de la arquitectura; en la actualidad, las investigaciones en el tema se dirigen principalmente al desarrollo de nuevos materiales tecnológicos y compuestos, los cuales consisten en la unión de dos o más componentes, con el objetivo de obtener mejores características y propiedades que al estar aislados.

3.2 Estructura de los materiales

Los materiales se eligen porque tienen propiedades adecuadas que se adaptan a una función específica. Por otra parte, para poder dar una función específica a un material es necesario alterar su estructura y con ello, subsecuentemente se alterarán sus propiedades.

Clasificamos los materiales en cuatro grupos principales de acuerdo con sus propiedades y características: metales, cerámicos, polímeros y compuestos. El comportamiento de los materiales en cada uno de estos grupos está definido por su estructura. La estructura electrónica de un átomo determina la naturaleza de los enlaces atómicos, la cual ayuda a fijar las propiedades mecánicas y físicas de un material dado (Askeland, 1998). También es posible entender la estructura de un material no solo a partir de su composición química, sino también por la manera en la que sus átomos se entrelazan e interactúan entre sí.

La estructura de un material puede ser examinada en cuatro niveles: atómica, arreglo de los átomos, microestructura y macroestructura.

- Estructura atómica: El primer nivel de la estructura del material describe el comportamiento de las partículas elementales; los átomos. A este nivel, se involucran los electrones y la interacción de los mismos con el núcleo atómico. La consecuencia del comportamiento de los electrones en este nivel se ven reflejadas en ciertas características de los materiales como son sus propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas y térmicas.
- Arreglo atómico: El segundo nivel describe la posición de los átomos, su organización y el tipo de enlace atómico generado. Los materiales metálicos, parte importante de cerámicos y algunos polímeros tienen una organización muy regular, por lo que se les conoce como estructuras cristalinas. Por el contrario, los materiales amorfos que también están conformados por algunos cerámicos y polímeros tienen una organización irregular y su comportamiento también difiere al de los materiales de estructuras regulares (cristalinas).
- Microestructura: El tercer nivel de la estructura describe la secuencia de los cristales que conforman a un material en un nivel invisible para el ojo humano; en escala nanométrica. En la actualidad, el estudio de las propiedades mecánicas, físicas y el comportamiento general de los materiales son posibles de estudiar en este nivel, esto mediante determinadas pruebas llevadas a cabo en un laboratorio.

- Macroestructura: El cuarto y último nivel de la estructura de los materiales se conforman por el conjunto de microestructuras que interactúan para conformar una estructura a gran escala, es decir, el material como un todo. La macroestructura permite observar propiedades físicas aparentes a una escala macrométrica, como son: la textura, porosidad, color, acabado y la opacidad.

3.3 Propiedades de los materiales

Las propiedades de un material están determinadas por los efectos de la combinación de los cuatro niveles estructurales y pueden ser alterados usando una variedad de técnicas de procesamiento. En el presente trabajo, se analizarán principalmente las propiedades físicas y mecánicas del caso de estudio, por lo cual se buscará realizar pruebas y ensayos a nivel únicamente macroestructural.

Las propiedades de un material se expresan en términos del tipo y magnitud de la respuesta a un estímulo externo específico. Cada material tiene una respuesta distinta a estímulos de diferente orden, es esto precisamente lo que permite diferenciar sus características y propiedades.

Todas las propiedades importantes de los materiales se agrupan en seis categorías: mecánicas, eléctricas, térmicas, magnéticas, ópticas y químicas. Para cada categoría existe un tipo característico de estímulo capaz de provocar respuestas distintas (Callister, 1995).

Las propiedades mecánicas se relacionan con la deformación ante la carga o fuerza aplicada; ejemplos de ellas son el módulo elástico, que tiene que ver con la capacidad de un material de recuperar su forma física original y la resistencia cuando es sometido a fuerzas externas. En las propiedades eléctricas, tales como la conductividad eléctrica, el estímulo es un campo eléctrico. El comportamiento térmico de los materiales se da en función de la capacidad calorífica y de la conductividad térmica del mismo. Las propiedades magnéticas se refieren a la respuesta de un material frente a la influencia de un campo magnético. En las propiedades ópticas, el estímulo es la radiación electromagnética o lumínica; el índice de refracción y reflexión son propiedades representativas. Finalmente, las propiedades químicas indican la reactividad química de un materia ante agentes químicos externos o internos, tienen que ver con la alteración estructural que sufre un material al modificar su composición química.

3.3.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas pueden ser observadas y medidas sin que exista una alteración en la composición química y estructural del elemento. Las propiedades físicas casi siempre son visibles en el material a escala macroestructural. Describen características como color, conductividad eléctrica o térmica, magnetismo y comportamiento óptico, generalmente no se alteran por la actuación de alguna fuerza sobre el material, es posible que, en la mayoría de los casos, de las propiedades físicas puedan derivarse el resto de propiedades de los materiales.

3.3.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas son definidas por los cambios y alteraciones ocurridos en la estructura interna o molecular de un material, estos cambios ocurren por la interacción entre distintos compuestos químicos o sustancias. Las propiedades químicas principales son la oxidación y la corrosión, sobre todo en los metales. El resto de propiedades se relaciona con los procedimientos de obtención del material y los tratamientos aplicados; combustión, descomposición, disociación, fermentación, reacciones endotérmicas, entre otros.

3.3.3 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material definen su comportamiento estructural ante estímulos externos (fuerzas). Estas propiedades derivan de las propiedades químicas y físicas del material. Las propiedades mecánicas dependen de parámetros como la estructura y el tratamiento al material, a partir del entendimiento de estas propiedades es posible verificar si un material puede cumplir con un propósito estructural.

El comportamiento mecánico de los materiales se explica a partir de la respuesta del material (deformación) cuando le es aplicada una determinada carga (fuerza). Las principales propiedades físicas y mecánicas que condicionan el comportamiento de un material son: elasticidad, plasticidad, ductilidad, maleabilidad, dureza, fragilidad, tenacidad, rigidez y fatiga. (Díaz, 2019)

García, (2001)., propone definir dichas propiedades de la siguiente manera:

- Elasticidad: propiedad mecánica del material para recuperar su forma original, una vez suprimida la fuerza que actúa en él.

- Plasticidad: propiedad mecánica del material para conservar su deformación, una vez suprimida la fuerza que actúa en él.
- Ductilidad: resistencia del material al someterlo a una fuerza de tensión en la etapa plástica.
- Maleabilidad: resistencia del material al someterlo a una fuerza de compresión en la etapa plástica.
- Dureza: resistencia que opone un material a ser penetrado por otro objeto.
- Fragilidad: capacidad de un material de fracturarse cuando está expuesto a la deformación.
- Tenacidad: capacidad de un material de soportar algún esfuerzo sin deformarse ni romperse.
- Rigidez: resistencia del material al soportar un gran esfuerzo y deformarse una cantidad mínima.
- Fatiga: falla por fractura del material dada por la aplicación constante de esfuerzos, principalmente dinámicos.

Los materiales sólidos, como son los ladrillos, responden a fuerzas externas como la compresión, dureza y rigidez principalmente. La respuesta a dichas fuerzas se da mediante deformaciones elásticas, plásticas o en última instancia mediante la ruptura.

Cuando se trata de manipular las propiedades de un material como éste, con fines de ser utilizados en la arquitectura y construcción, las propiedades más relevantes son las físicas y las mecánicas, estas pueden ser estudiadas a nivel micro y macroestructural.

3.3.4 Propiedades térmicas

En la mayoría de los casos, las propiedades mecánicas y físicas dependen de la temperatura a la cual el material es utilizado o de la temperatura a la cual el material es transformado durante el proceso de manufactura.

La capacidad calórica es una propiedad indicativa de la habilidad de un material para absorber calor del medio en el que se encuentra. Ésta, representa la cantidad de energía requerida para producir un aumento en la unidad de temperatura (C°). Mientras que, la conductividad térmica, tiene que ver con la capacidad de un material para transmitir el calor absorbido a otro medio. Mientras hay materiales que aceleran el proceso de transmisión de calor, algunos otros lo vuelven más lento o en definitiva, lo aíslan, en el área de la arquitectura estos dos últimos aspectos son sumamente relevantes al determinar la habitabilidad de un espacio interior y el confort térmico.

3.4 Clasificación general de los materiales

La clasificación general de los materiales obedece a su comportamiento estructural y a sus propiedades específicas. Askeland (1998) y otros autores clasifican los materiales en cuatro grupos principales: metales, cerámicos, polímeros y materiales compuestos. A su vez, los materiales también se pueden clasificar con base en las aplicaciones específicas como materiales electrónicos y biomateriales, generalmente estos últimos se derivan de los materiales primarios pero con un tratamiento altamente especializado. En la tabla 1, es posible observar las características fundamentales que permiten a los materiales agruparse en las cuatro categorías mencionadas.

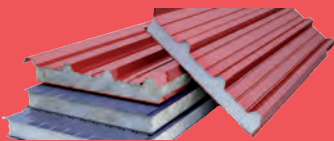
Material	Definición	Aplicación
Metales	Son elementos electropositivos que normalmente tienen una superficie brillante, en general son buenos conductores térmicos y eléctricos y pueden ser derretidos o fusionados, cortados en hojas delgadas o convertidos en alambres.	
Polímeros	Son compuestos naturales o sintéticos consistentes de moléculas grandes hechas de una serie vinculada de monómeros simples repetidos enlazados de forma covalente. Son materiales muy dúctiles y poco resistentes.	
Cerámicos	Son materiales duros, frágiles y resistentes al calor y a la corrosión hechos típicamente de elementos metálicos combinados con elementos no metálicos. La mayoría de las cerámicas son cristalinas y malas conductoras eléctricas y térmicas, por lo que actúan como aislantes.	
Compuestos	Son materiales complejos en las que dos o más sustancias o materias distintas y estructuralmente complementarias, en especial metales, cerámicas, vidrios y polímeros, se combinan para producir propiedades estructurales o funcionales que no están presentes en ningún componente individual.	

Tabla 1. (Daniela Cruz Martínez, 2021). Categorías de los materiales, elaborado con base en el material de Newell, en Ciencia de materiales aplicaciones en ingeniería, 2011.

3.4.1 Materiales metálicos

La mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza como óxidos metálicos. Estos óxidos metálicos requieren pasar por una transformación para ser refinados y convertidos en metales puros a través de un proceso llamado fundido en el cual el metal se extrae de su óxido a través del uso de un agente reductor químico. Posteriormente a ser formado como metal puro, el metal es sometido a un proceso en el cual se le da la forma deseada. Su maleabilidad y su fuerza excepcional han sido las características principales por las cuáles los metales se han vuelto indispensables en el sector de la construcción.

Muchos metales destinados al uso comercial pasan a través del proceso de endurecimiento por deformación para mejorar sus propiedades mecánicas y volverlos más resistentes en cuanto a sus capacidades estructurales, pero no siempre el endurecimiento por deformación es benéfico. El metal endurecido es menos dúctil y difícil de manipular. Adicionalmente, la deformación plástica puede resultar en esfuerzos residuales que permanecen en el material aún después de que los esfuerzos externos que actuaron en el mismo se han liberado. Estos esfuerzos pueden impactar de manera negativa en la conductividad y la resistencia a la corrosión.

Generalmente, en sus propiedades se puede observar una buena conductividad eléctrica y térmica, una resistencia relativamente alta, una alta rigidez, ductilidad, maleabilidad y resistencia al impacto y fractura. Son particularmente útiles en aplicaciones estructurales o de carga.

Cuando es necesario mejorar las propiedades de un metal específico, estas propiedades pueden ser modificadas por la combinación del metal con otro material metálico o bien, un material no metálico. Estas combinaciones de materiales son conocidas como aleaciones. Las aleaciones son mezclas homogéneas que forman con frecuencia una solución sólida. Al seleccionar cuidadosamente la composición de la aleación y las condiciones de los procesos, es posible desarrollar materiales con propiedades distintas que las logradas a partir de los metales puros.

Reciclaje de materiales metálicos

Los materiales metálicos son más sencillos de reciclar que el resto, debido a que el proceso para lograr el reciclaje generalmente se logra volviendo a fundir los metales puros en un horno, refundirlos posteriormente a nuevos

productos o someterlos a aleaciones con otros materiales.

Más del 70% de todo el acero es finalmente reciclado, la facilidad de su procesamiento proviene del conocimiento exacto de su composición. La fuente más grande de acero disponible para el reciclaje proviene de los automóviles chatarra. Más de 12 000 compañías de desmantelamiento de automóviles operan en Estados Unidos, pero también cantidades significativas provienen de edificios demolidos, vías de ferrocarril y aparatos eléctricos. (Newell, 2011)

En el 2005, Estados Unidos recicló más de 71 toneladas métricas de metales, solo por arriba de 50% de la provisión total de su producción. Del total de metales reciclados, el 80% aproximadamente provenía del hierro y el acero. Otro material metálico ampliamente reciclable es el plomo, cerca de 80% de todo el plomo utilizado industrialmente es reciclado, en parte por el costo y las dificultades que implica desecharlo. Las baterías son la fuente más común de plomo reciclado, contabilizando más de 90% del total. Cerca del 90% de la demanda doméstica total del plomo se puede cumplir con el plomo fundido de materiales reciclados.



Figura 4 (Siderúrgica sevillana, s.f) Planta de reciclaje de materiales metálicos, fotografía recuperada de la red.

3.4.2 Materiales cerámicos

Un material cerámico es un material no orgánico, no metálico y que está constituido por metales y no metales. Es una combinación de enlaces iónicos y covalentes. (Shackelford, 2010). Esta definición resulta en un amplio

espectro de propiedades materiales. Gran parte de los cerámicos se compone por enlaces iónicos, sin embargo algunos de estos también contienen una mezcla entre enlaces iónicos y covalentes. Estos enlaces proporcionan a la mayoría de los materiales cerámicos dureza, resistencia al desgaste y estabilidad química; son inmunes a la corrosión, porque de hecho, ya están corroídos.

De acuerdo con la Asociación Americana de Cerámicos, es posible subdividir estos materiales en siete grupos: abrasivos, vidrios, cementos, refractarios, productos estructurales de arcilla, cerámicos blancos y cerámicos avanzados. Podemos definir brevemente cada una de estas categorías:

- **Abrasivos:** son materiales utilizados para desgastar otros materiales a través de procesos que incluyen el esmerilado, lijado, pulido y el abrasivo a presión. Los abrasivos actúan como un instrumento cortante, arrancando parte del material más suave y expuesto.
- **Vidrios:** son materiales cerámicos no cristalinos; esto implica que sus redes no están ordenadas y por ello se denominan como materiales amorfos o desordenados. El vidrio está compuesto principalmente de silicatos, es duro y resistente al desgaste, a la corrosión y a la compresión.
- **Cementos:** aunque la palabra cemento es un término genérico que se refiere a cualquier material capaz de aglutinar otros materiales, el término es utilizado para denominar a los cementos hidráulicos y a los cementos no hidráulicos. Los cementos hidráulicos requieren agua para conformar una mezcla sólida, el más importante ejemplo de cemento hidráulico es el cemento Portland, utilizado en la mezcla para producir concreto. Los cementos no hidráulicos se encuentran en forma sólida sin necesidad de incorporar agua para su uso.
- **Refractarios:** son materiales capaces de soportar altas temperaturas sin fundirse, degradarse o reaccionar con otros materiales, estas propiedades convierten a los cerámicos refractarios en materiales adecuados para los hornos de altas temperaturas necesarios para fundir vidrio, metal y/o procesar otros materiales. Para su comercio, generalmente los refractarios se encuentran en forma de ladrillos y bloques.
- **Productos estructurales de arcilla:** prácticamente los materiales estructurales de arcilla abarcan cualquier material cerámico utilizado en la construcción y la arquitectura, comúnmente son el ladrillo, tabique, teja y la terracota, la cual es fácilmente reconocible por su color rojizo naranja. Sus propiedades mecánicas como la dureza, la resistencia a la compresión y su

rigidez han permitido darles un uso estructural.

- Cerámicos blancos: son materiales de textura fina, utilizados en la fabricación de objetos como vajillas, pisos, azulejos, mosaicos y esculturas. Dentro de los cerámicos blancos, la porcelana es quizá la más utilizada. Los cerámicos blancos son sometidos a un proceso de recocido, para convertir la arcilla a una sustancia dura similar al vidrio, generalmente para el acabado final se realiza el vidriado del material.
- Cerámicos avanzados: son materiales desarrollados por la ingeniería de materiales, utilizados principalmente para aplicaciones muy especializadas y de alta gama. Estos materiales evolucionan constantemente en distintos sectores industriales. La armadura y nanopartículas de cerámico, las celdas de combustible de óxido sólido y los biocerámicos aplicados a la ciencia biomédica comprenden los principales ejemplos de cerámicos avanzados.

Reciclaje de materiales cerámicos

Debido a que los materiales cerámicos no se corroen ni sufren deformaciones importantes, frecuentemente sus periodos de vida útil son mucho más largos que los de otros materiales, también son sus propiedades las que los hacen extremadamente difíciles de reciclar, con la excepción del vidrio, el cual puede ser sometido a un proceso de trituración y re-conversión a un nuevo material. Por el contrario, frecuentemente el resto de los materiales cerámicos son enterrados en basureros.

A pesar de la complejidad que involucra su reciclaje, iniciativas recientes están retando dichas prácticas. Los abrasivos, eran considerados como materiales imposibles de reciclar, ahora se recolectan, reciclan e intercambian. Por otra parte, algunas compañías pulverizan concretos basados en Portland de los proyectos de demolición de construcciones y los usan como agregado para proyectos futuros como pavimentos y carreteras. Los cerámicos blancos por lo común son desechados también en basureros después de su uso, a pesar de ello, existen compañías en países como Nueva Zelanda (Electrolux y Fisher & Paykel Appliances) que han iniciado programas de administración del ciclo de vida de sus materiales para reducir el desperdicio en la fabricación de cerámicos blancos y para someter los productos a reciclaje una vez concluido su ciclo de vida.



Figura 5 (Freepick s.f) Material cerámico reconfigurado en una nueva pieza, fotografía recuperada de la red.

3.4.3 Materiales poliméricos

Los materiales poliméricos están compuestos por moléculas de gran tamaño que se forman mediante el proceso de polimerización de monómeros. (Díaz, 2019). Conforme los monómeros empiezan a conectarse entre sí para formar cadenas, se convierten en oligómeros. Las largas cadenas formadas a partir de los oligómeros están compuestas químicamente por carbón, hidrógeno y otros elementos no metálicos. La cadena polimérica formada se identifica por su unidad estructural básica o unidad de repetición, que es la parte más pequeña de la cadena que se repite.

Refiriéndonos a sus propiedades, pueden identificarse por ser materiales de baja densidad, no son demasiado resistentes ni rígidos. Algunos polímeros son maleables y flexibles, lo que permite que su aplicación sea menos limitada y puedan diversificarse sus formas. Debido a su composición, son poco resistentes a temperaturas elevadas, contrario a los materiales

cerámicos, además de presentar baja conductividad eléctrica.

Es posible clasificar los polímeros en termoplásticos y termoestables, esto de acuerdo con su capacidad para ser refusionados y reconvertidos. Los termoplásticos fluyen como líquidos viscosos cuando se calientan y continúan así cuando se recalientan y se enfrían múltiples veces sin llegar al estado plástico. Los polímeros termoplásticos se producen en enormes cantidades como pequeñas pellets. El proceso al que se someten las pellets comercializadas para su transformación consiste en el derretimiento y conversión en fibras, películas o partes con formas específicas.

En contraste, cuando los químicos que forman los polímeros termoestables se calientan, pasan a una reacción de entrecruzamiento químico irreversible que enlaza entre sí a las cadenas y causa que el líquido se vuelva una masa sólida infusible. Una vez que se solidifican, los polímeros termoestables no se pueden refusionar o reconvertir. Los polímeros termoestables son más fuertes y más resistentes a la degradación química que los termoplásticos, estas condiciones los vuelven más difíciles de reciclar.

Dentro de la clasificación de los polímeros existen también los polímeros biológicos, los cuales son sintetizados por seres vivos, a estos materiales se les conoce como biopolímeros y la celulosa y el rayón son materiales pertenecientes a esta categoría. El acetato de celulosa, material polimérico que será implementado en el presente proyecto de investigación, es un derivado del biopolímero de celulosa y es utilizado en la fabricación de una amplia variedad de productos como rollos de películas, aislantes térmicos y fibras textiles; este material es apreciado por su buena resistencia, transparencia y buena textura parecida al algodón. Las características y composición del acetato de celulosa se abordarán de manera específica y puntual en el apartado 3.6.2.1.

Reciclaje de materiales poliméricos

De acuerdo al uso que se da a la mayoría de los polímeros, su ciclo de vida es muy corto, al final del mismo, los materiales poliméricos son en su mayoría desechados. Hasta los años noventa, casi 90% de los materiales poliméricos de uso comercial eran enterrados en basureros, y alrededor de 10% se incineraban. En 1991, 74 mil millones de toneladas de materiales plásticos fueron desechados en Estados Unidos, únicamente el 2% de ese total fue reciclado.

La principal dificultad para reciclarlos es causada por la diversidad de materiales poliméricos existentes en uso. Cuando el vidrio y las latas de aluminio se reciclan, se pueden convertir a esencialmente los mismos

productos de manera casi cíclica, pero rara vez sucede lo mismo con los polímeros. La mayoría de los polímeros comerciales incluyen agentes colorantes, plastificadores y otros aditivos que deben removerse para cualquier actividad de reciclaje. Una segunda dificultad surge con la clasificación, las propiedades de cada polímero no son fácilmente identificables; una botella hecha de PVC se parece mucho a una botella hecha de PET, pero químicamente son muy diferentes. No se pueden mezclar sin alterar significativamente las propiedades del nuevo material. A pesar de las dificultades que implica la identificación y separación de polímeros, existen diversas técnicas de reciclaje, una de ellas es a partir de su reconfiguración como material de acabados para pisos (baldosas). (Figura 6)



Figura 6 (EcoPet Indoor, s.f) formación de baldosas conformadas por la compresión de polímeros, fotografía recuperada de la red.

3.4.4 Materiales compuestos

Estos materiales tienen características similares a las aleaciones de metales; se trata de compuestos que al mezclarse forman un material con propiedades distintas a la que los materiales de manera aislada poseen. Sin embargo, los compuestos difieren de las aleaciones en que cada material, de manera independiente, continúa existiendo en una fase distinta.

Los materiales compuestos están formados comúnmente por dos fases: la matriz (fase continua) y el refuerzo (fase dispersa). Las propiedades de estos materiales dependen significativamente de las propiedades aisladas de cada material que interviene (matriz y refuerzo), la cantidad proporcional de cada uno de estos, así como su geometría y compatibilidad. De la combinación de estas propiedades, resultará el comportamiento mecánico y estructural del material compuesto.

La matriz (fase continua) es en la cual se inserta el refuerzo (fase dispersa). La función principal de la matriz es transmitir los esfuerzos al refuerzo, la matriz además, mantiene unido, ordenado y alineado al refuerzo.

Los materiales compuestos se clasifican en tres categorías: reforzados por fibras, partículas y compuestos laminares.

- Materiales compuestos reforzados por fibras: el material de la matriz exterior orienta a las fibras y transfiere sus cargas a las mismas. Los materiales compuestos reforzados con fibra van desde los reforzados con fibras de silicio-carburo, utilizados en los motores de aviones avanzados hasta las más antiguas aplicaciones, ejemplo de ello es el uso de paja como fibra de refuerzo en los bloques de adobe.

El rol de la fibra es soportar cargas relevantes de tracción en la dirección longitudinal. Las fibras de carbono, vidrio, polímeros de alto desempeño, poliéster, acero y titanio son las fibras más utilizadas como refuerzo. El material matriz rodea a las fibras de refuerzo, las orienta para optimizar su desempeño colectivo y las protege de ataques ambientales. Diversos factores importantes influyen en el desempeño de las fibras, incluyendo la longitud y el diámetro, la fracción de fibra y la orientación. Las fibras pueden tener cualquier longitud, desde unos cuantos milímetros de largo hasta varias millas de largo en el caso de los monofilamentos continuos.

- Materiales compuestos por partículas: los compuestos de partículas generalmente no pueden proporcionar la misma resistencia que los compuestos reforzados con fibras pero son más sencillos de fabricar y el proceso de fabricación también es menos costoso. Estos materiales contienen un gran número de partículas aleatoriamente orientadas llamados agregados, las cuales ayudan a soportar cargas de compresión. Las propiedades finales de los compuestos de partículas son más fáciles de predecir debido a que están libres de las cuestiones de orientación experimentadas por los compuestos reforzados con fibras. Los compuestos de partículas conservan las mismas propiedades en todas las direcciones. Cuando existe una descompensación e incompatibilidad en las propiedades de los materiales involucrados en un material compuesto, existe mayor

probabilidad de que presenten algunas fallas; los compuestos hechos de agregados fuertes pero con una matriz débil fallará bajo cargas de tracción relativamente bajas. Las partículas de agregados incrementan el módulo del compuesto mientras reducen la ductilidad y permeabilidad del material matriz. Las partículas de agregados de menos de 0.25 pulgadas de diámetro se clasifican como agregados finos, mientras que las partículas más grandes se clasifican como agregados gruesos.

- **Materiales compuestos laminares:** los compuestos laminares consisten de capas alternantes de materiales bidimensionales con orientación conectada mediante capas de materiales matriz. El compuesto laminar más común es la madera contrachapada, la cual consiste de delgadas capas de chapa de madera unidas por adhesivos.

Reciclaje de materiales compuestos

Más del 98% de todos los materiales compuestos al finalizar su ciclo de vida se incineran o envían a basureros. Debido a su composición a partir de dos o más materiales, el proceso de reciclaje se vuelve más complejo al intentar separar sus componentes y desconocer su comportamiento como un material reutilizado o reciclado. Históricamente, la técnica más común para el reciclaje limitado de los materiales compuestos ha sido triturar, despedazar o cortar el compuesto en pequeñas piezas que únicamente pueden ser usadas como rellenos en nuevos compuestos. Esta técnica es razonablemente efectiva cuando los materiales compuestos contienen cantidades significativas de materiales de relleno de bajo costo, pero los materiales compuestos de altas gamas crean problemas económicos y ambientales.

Actualmente en Europa, la legislación y regulación sobre el reciclaje de materiales compuestos ha tenido avances relevantes. En el año 2004, la mayoría de los estados pertenecientes a la Unión Europea prohibieron enviar a los basureros los materiales compuestos con límites adicionales puestos en la cantidad total que puede incinerarse., como resultado, muchos fabricantes han sido forzados a asumir la responsabilidad del reciclaje de sus productos. Mientras el abastecimiento de los materiales compuestos obsoletos excede por mucho la demanda, Europa ha desarrollado un concepto de “reciclaje de compuestos” para financiar la investigación hacia el desarrollo y validar los procedimientos económicamente viables para un reciclado a nivel comercial e industrial a gran escala de materiales compuestos.



Figura 7 (Daniela Cruz Martínez, 2021)
Materiales cerámicos estructurales,
intervención en collage.

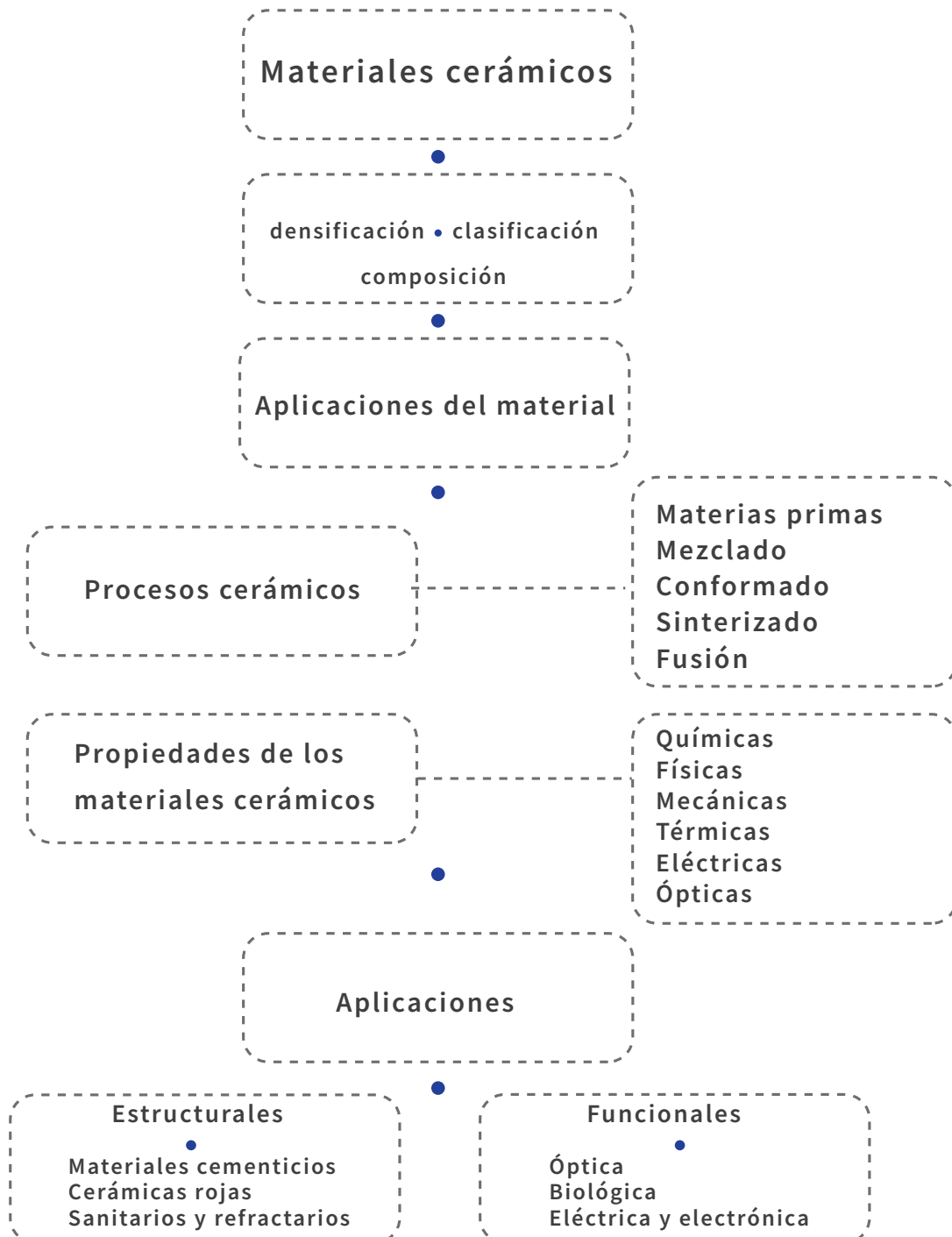
3.5 Materiales cerámicos

Probablemente no hay algún otro material que haya estado más ligado a los seres humanos desde los inicios de su historia que los materiales cerámicos. Por más de 10,000 años los humanos han utilizado la arena, las arcillas y otros materiales extraídos directamente de la tierra. No obstante, la composición de los materiales cerámicos se ha sometido a un proceso de perfeccionamiento y mejora de propiedades, lo que ha permitido lograr una transición de los materiales cerámicos tradicionales a base de tierra al uso de cerámicas avanzadas con nuevas aplicaciones tecnológicas.

En general, los materiales cerámicos tienen un alto índice de dureza, pero a la vez, son materiales frágiles, con baja tenacidad y ductilidad. Se comportan usualmente como buenos aislantes eléctricos y térmicos debido a la ausencia de electrones conductores, normalmente poseen temperaturas de fusión y estabilidad relativamente alta en la mayoría de los medios agresivos a los que puedan estar expuestos, lo que permite que su ciclo de vida sea prolongado. Las propiedades de los materiales cerámicos varían mucho debido a diferencias en sus enlaces, los cuales son mayormente complejos que los enlaces presentes en los materiales metálicos. Los materiales cerámicos contienen fases que son compuestos de elementos metálicos y no metálicos. No hay un límite exacto a partir del cual se pueda decir que un material es metálico, cerámico u orgánico lo que sí se puede comentar es que un material cerámico es un material no orgánico, no metálico y que está constituido por la combinación de metales con no metales, en una combinación de enlaces

iónicos y covalentes. (Rocha, 2005)

En el esquema 1, se ilustra la red conceptual mediante la que se rigen, clasifican y definen los materiales cerámicos.



Esquema 1. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Red conceptual de los materiales cerámicos, su clasificación y aplicaciones, con base en el material de Pinto, en Materiales cerámicos, 2011.

El análisis de las características de los materiales cerámicos y posteriormente, el análisis aterrizado de las características de los ladrillos, permitirá identificar las condicionantes que determinan sus propiedades, principalmente las físicas y mecánicas.

3.5.1 Propiedades de los materiales cerámicos

Para poder comprender el funcionamiento de los materiales cerámicos, principalmente los ladrillos (pertenecientes a la categoría de materiales cerámicos estructurales) es indispensable entender qué sus propiedades están determinadas por su composición estructural, los procesos de fabricación a los que son sometidos y principalmente las temperaturas a las que son expuestos durante el proceso de secado y cocción. Controlando adecuadamente las materias primas utilizadas y los parámetros de los procesos se obtiene materiales cerámicos con diversas propiedades.

3.5.1.1 Propiedades químicas

Los materiales cerámicos están compuestos principalmente de arcilla, tienen además un porcentaje de óxidos de sílice, aluminio, hierro, calcio y magnesio; al óxido de aluminio deben los materiales cerámicos su resistencia al fuego y al óxido de hierro su coloración (Gutiérrez, 2003).

La estructura de los cristales del material cerámico contiene átomos de diferentes dimensiones, esto la vuelve una de las más complejas de todas. Por lo general, el enlace entre estos átomos es covalente y/o iónico. Estos enlaces son más fuertes que los enlaces presentes en los materiales metálicos, por consiguiente, propiedades como la dureza, la resistencia térmica y la resistencia eléctrica son sustancialmente más altas en los cerámicos que en los metales. Los cerámicos están disponibles en forma monocristalina o policristalina. El tamaño de grano presente en el material tiene una importante influencia en su resistencia y propiedades; cuando más fino sea el grano, mayor será su resistencia y tenacidad. (Kalpakjian, S., y Schmid, R., 2008).

La arcilla, compuesto principal de los cerámicos, es una roca sedimentaria descompuesta, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es completamente pura.

Otras materias primas de cerámicos que se encuentran en la naturaleza son el

pedernal, una roca compuesta por sílice de grano muy fino y el feldespato, un grupo de minerales cristalinos que constan de silicatos de aluminio y minerales como el potasio, calcio o sodio.

En la tabla 2, es posible identificar algunos de los componentes de los ladrillos de arcilla como son la alúmina (óxido de aluminio, Al_2O_3) y el sílice (SiO_2) y las propiedades que derivan de estos mismos componentes.

Tipos y características de los materiales cerámicos	
Tipo	Características generales
Cerámicos a base de óxido	
Alúmina	Alta dureza y resistencia moderada; el cerámico más utilizado; herramientas de corte; abrasivos; aislamiento eléctrico y térmico.
Zirconia	Alta resistencia y tenacidad; dilatación térmica aproximada a la del hierro fundido; apropiada para aplicaciones de alta temperatura.
Carburos	Resistencia a las altas temperaturas y resistencia al desgaste; utilizado para motores térmicos y como abrasivo.
Nitruros	Utilizado como abrasivo y herramienta de corte, alta resistencia a la termofluencia e impacto térmico; utilizado en aplicaciones de alta temperatura.
Diamante	La sustancia más dura conocida; utilizado como herramienta de corte y abrasivo y en matrices para estirado de alambre fino.
Sílice	Resistencia a altas temperaturas; los silicatos que contienen varios óxidos se utilizan en aplicaciones no estructurales de alta temperatura.
Vidrios	Contienen por lo menos 50% de sílice; estructuras amorfas; varios tipos disponibles con una amplia gama de propiedades mecánicas y físicas.
Cerámicos vidriados	Tienen un alto componente cristalino en su estructura; buena resistencia al choque térmico y resistentes.
Grafito	Forma cristalina de carbono; alta conductividad eléctrica y térmica; buena resistencia al choque térmico.

Tabla 2. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Tipos y características generales de los cerámicos, con base en el material de Kalpakjian y Schmid, en *Manufactura, ingeniería y tecnología*, 2008.

3.5.1.2 Propiedades físicas

- **Densidad:** está determinada por el tamaño, peso de los elementos y empaquetamiento de la estructura. Los empaquetamientos cerrados en los metales y cerámicos enlazados iónicamente resultan en cuerpos muy densos, mientras que las estructuras más abiertas como el caso de los cerámicos con enlaces covalentes presentan índices de densidad menores. La densidad total de los cerámicos se puede determinar por diferentes métodos, si el cuerpo tiene una forma geométrica simple, como es el caso de los ladrillos, la densidad total se puede calcular a partir de las dimensiones físicas del material y de su peso medido en seco.

- Temperatura de fusión: la mayoría de los cerámicos poseen temperaturas muy elevadas de fusión o descomposición. La dilatación y la conductividad térmica inducen esfuerzos internos que pueden producir un choque o fatiga térmica. La tendencia a la desintegración térmica se conoce como “astillado” y es referido a la ruptura de una pieza pequeña o en la capa superficial. Cuando el material cerámico tiene un bajo índice de dilatación térmica es mayormente probable que presente alta resistencia al choque térmico.

Muchas de las aplicaciones de los cerámicos resultan directamente de su alta temperatura de fusión(Rocha, 2005).

- Propiedades ópticas: son posibles de modificar controlando la composición estructural del material. Estos métodos hacen posible impartirles diferentes grados de transparencia, translucidez y distintos colores. En el caso de la arcilla, el color dependerá del grado de pureza de la misma, entre mayor sea éste, la arcilla tenderá a ser más blanca y más rojiza cuando contenga un mayor grado de impurezas. La porosidad también influye mucho en las propiedades ópticas de los cerámicos, de la misma manera que ocurriría con el aire atrapado en los cubos de hielo; esto hace que el material sea menos transparente y le proporciona una apariencia blanca.

A pesar de que los cerámicos son básicamente aislantes eléctricos y térmicos, se pueden volver eléctricamente conductores si se alean con ciertos elementos para actuar como un semiconductor, o incluso como un superconductor.

3.5.1.3 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material determinan sus limitaciones en las aplicaciones estructurales, es decir, en donde el material es requerido para soportar cargas. Las propiedades mecánicas de los cerámicos se derivan de su resistencia a la tensión (ruptura transversal) la cual es inferior a su resistencia a la compresión, esto es causado por su sensibilidad ante grietas, impurezas y porosidad. Los efectos de los esfuerzos de tensión conducen al inicio y propagación de grietas, reduciendo severamente la resistencia del material. La resistencia a la tensión de un cerámico policristalino aumenta con la reducción del tamaño del grano y la porosidad. Cuando los cerámicos son sometidos constantemente a esfuerzos de tensión, pueden fallar de manera repentina causando un fenómeno conocido como fatiga estática. Es posible comparar la fatiga estática con el fenómeno de agrietamiento por esfuerzo-corrosión de los metales.

La porosidad ejerce también influencia en la resistencia y fragilidad de los materiales cerámicos. Debido al proceso de fabricación que siguen muchos materiales cerámicos, presentan una densidad teórica inferior por efecto de la porosidad. El incremento en la porosidad del material conducirá a una disminución de la resistencia ante la fractura.

Por lo general los cerámicos carecen de tenacidad al impacto y resistencia al choque térmico debido a su carencia inherente de ductilidad; una vez iniciada una grieta, se propaga con rapidez al resto del material.

La plasticidad de la arcilla se ve incrementada considerablemente debido a la absorción de agua. La molécula de agua también se polariza y será rápidamente absorbida en los cristales, dando como resultado superficies lubricadas. La plasticidad de la arcilla cambia totalmente por el calentamiento a cualquier temperatura de intervalo 1000° c a 1400°C. Durante la operación de secado, el agua absorbida es cedida inicialmente, y se pierde el agua de cristalización, alterando la estructura del material, dando lugar a fuertes enlaces interatómicos entre las láminas cristalinas originales.

En la Tabla 3, es posible observar algunas de las propiedades mecánicas más relevantes de los materiales cerámicos; resistencia ante esfuerzos de tensión, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, dureza y densidad. El óxido de aluminio y la sílice, elementos presentes en la tabla, son compuestos fundamentales en las arcillas que conforman a las cerámicas estructurales.

Propiedades de diversos cerámicos a temperatura ambiente						
Material	Símbolo	Resistencia a la ruptura transversal (Mpa)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Módulo elástico (Gpa)	Dureza (HK)	Densidad (Kg/m3)
Óxido de aluminio	Al2O3	140-240	1000-2900	310-410	2000-3000	4000-4500
Nitruro de boro	CBN	725	7000	850	4000-5000	3480
Diamante	—	1400	7000	830-1000	7000-8000	3500
Sílice fundida	SiO2	—	1300	70	550	—
Carburo de silicio	SiC	100-750	700-3500	240-480	2100-3000	3100
Nitruro de silicio	Si3N4	480-600	—	300-310	2000-2500	3300
Carburo de titanio	TiC	1400-1900	3100-3850	310-410	1800-3200	5500-5800
Carburo de tungsteno	WC	1030-2600	4100-5900	520-700	1800-2400	10,000-15,000

Tabla 3. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Propiedades mecánicas de algunos materiales cerámicos, con base en el material de Kalpakjian y Schmid, en Manufactura, ingeniería y tecnología, 2008.

3.5.1.4 Propiedades térmicas

La capacidad calorífica en los materiales cerámicos se define como la energía requerida para elevar la temperatura del material y es dimensionada en unidades de cal/mol°C. La capacidad calorífica de un material cerámico se incrementa con el aumento de la temperatura y hasta alrededor de los 1000° C, después de esta temperatura ocurren incrementos insignificantes en la capacidad calorífica del material. Por ello, los materiales cerámicos tienen que alcanzar temperaturas muy altas para llegar al punto de fusión.

La conductividad térmica (k) es la velocidad con la que el flujo de calor pasa a través de un material y se reporta en unidades de cal/scm²°C (cm), donde las calorías (cal) son la cantidad de calor, (s) representan el tiempo transcurrido en segundos, los (cm²) representan el tamaño de la sección transversal a través de la cual el calor está pasando, (°C) es la temperatura del cuerpo cerámico y (cm) es la distancia que el calor debe recorrer. (Rocha, 2005)

La cantidad de calor transferido está controlada por la cantidad de energía térmica presente, la naturaleza del flujo de calor en el material y el calor disipado.

La conductividad térmica (k) es directamente proporcional a la capacidad calorífica (c) del material, a la cantidad y a la velocidad de los medios de transporte (v) y al patrón principal (λ), mejor conocido como coeficiente de conductividad térmica. Cada material en específico posee valores distintos de conductividad térmica, siendo éstos en los materiales cerámicos en general relativamente bajos.



3.5.2 Cerámicas tradicionales

El desarrollo primario de la cerámica se dio gracias a la disponibilidad de materiales arcillosos en la naturaleza. Se logró a partir de la arcilla, moldear la forma de diferentes objetos deseados y descubrir sus propiedades cuando estos fueron expuestos al fuego.

Muchas de las materias primas utilizadas por las civilizaciones antiguas continúan usándose en la actualidad (ver figura 8) y constituyen una parte importante de la industria de los cerámicos. A estos productos se les conoce como "cerámicos tradicionales". Los cerámicos tradicionales están hechos a base de silicatos; las materias primas que intervienen en su composición son la Arcilla ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), el Sílice (SiO_2) y el Feldespato ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). Con ellos se fabrican principalmente: vidrios, cementos, refractarios, loza, azulejos, tejas y piezas estructurales como ladrillos y blocks.

Debido a que la cerámica tradicional en general es resultado de una combinación de sustancias minerales y diferentes arcillas, los tipos de pastas o cuerpos cerámicos y las características que pueden presentar cada uno, son muy numerosas, de tal manera que los criterios de clasificación suelen ser muy diversos, algunos de ellos son: por su temperatura de quema (baja, media y alta), por su densidad (porosas y densas), por su color (blancas o coloreadas) o por su uso.

Figura 8. (GoodMods, s.f) Recipientes fabricados a partir de cerámicas tradicionales, fotografía recuperada de la red.



3.5.2.1 Propiedades de las cerámicas tradicionales

El uso práctico que puede darse a los materiales cerámicos depende de las propiedades que éstos presentan después de la quema. Una vez endurecidas por el fuego, las pastas cerámicas son inertes, presentando con ello sus características finales, es decir; este material puede seccionarse en partículas

microscópicas, pero cada una de ellas seguirá conservando las mismas cualidades que poseían cuando formaban parte de una pieza.

Antes de someterse al fuego, las cerámicas también poseen propiedades que las vuelven identificables y tiene que ver con la materia prima con las que son elaboradas; la arcilla. Una de las principales características de la arcilla es su plasticidad, la cual depende de muchas propiedades y una de las más importantes es su contenido de agua, si la arcilla está totalmente seca, no tiene propiedades plásticas. También, la estructura laminar de la arcilla y el tamaño de grano influyen en la plasticidad del material.

En términos generales, las cerámicas tradicionales comparten propiedades comunes entre ellas, como ser rígidas, frágiles, no ser afectadas por el calor, frío, fuego o agua ni por ácidos fuertes o sustancias químicas habituales. De acuerdo con Vázquez (2005), las propiedades más importantes para las cerámicas tradicionales son las siguientes:

- Porosidad: Las pastas más porosas son menos resistentes que las densas y son mayormente propensas a tener un mal comportamiento mecánico en cuanto a su resistencia a esfuerzos, sin embargo, la porosidad moderada presente en los materiales cerámicos contribuye a mejorar su resistencia al choque térmico y reducir sus valores de conductividad térmica.
- Resistencia al desgaste o a la abrasión: este tipo de resistencia afecta particularmente a la superficie de la pieza cerámica. La dureza se mide con base en la ralladura provocada en la superficie del material cerámico.
- Resistencia al choque térmico: se refiere a los cambios bruscos de temperatura a los que puede someterse un material (temperaturas muy altas a muy bajas y viceversa); esta resistencia está determinada por la expansión térmica (expansión del material por elevación de la temperatura). Debido a su falta de ductilidad, la mayoría de la cerámica es muy sensible a estos cambios, sobre todo si se realizan de manera no progresiva.
- Resistencia a la llama directa: la exposición de una pieza a la llama directa al fuego puede ser tan violenta como el choque térmico. Por ello los ladrillos no son expuestos de manera directa a la llama, sino que la cocción se da de manera uniforme, aunque existen también algunas piezas de barro que son diseñadas especialmente para estar expuestas al fuego, sin embargo, una pasta que resiste la llama directa, no necesariamente soportará el choque térmico.
- Resistencia en fresco: se refiere a la capacidad de una arcilla para mantenerse compacta y unida cuando se ha secado pero no ha sido sometida a cocción, esta propiedad depende de la atracción que exista entre las mismas partículas que componen la mezcla. Entre más homogénea sea la mezcla,

mayor espesor tenga el material y el secado se realice de manera progresiva, mayor resistencia tendrá la pieza final.

- Contracción de secado de la arcilla: cuando está expuesta al aire, la arcilla cede humedad hasta secarse. Cuando el agua se pierde, las partículas van cerrando los espacios que eran ocupados por el agua, produciéndose contracciones de secado. Estos espacios no son totalmente cerrados, algunos de ellos serán ocupados por poros. La contracción y el secado están casi siempre relacionados con la estructura del grano de la arcilla. Las arcillas que poseen granos menores, se contraen de mejor forma, mientras que las arcillas de grano grueso se contraerán en menor medida y por lo tanto serán menos densas y más porosas.

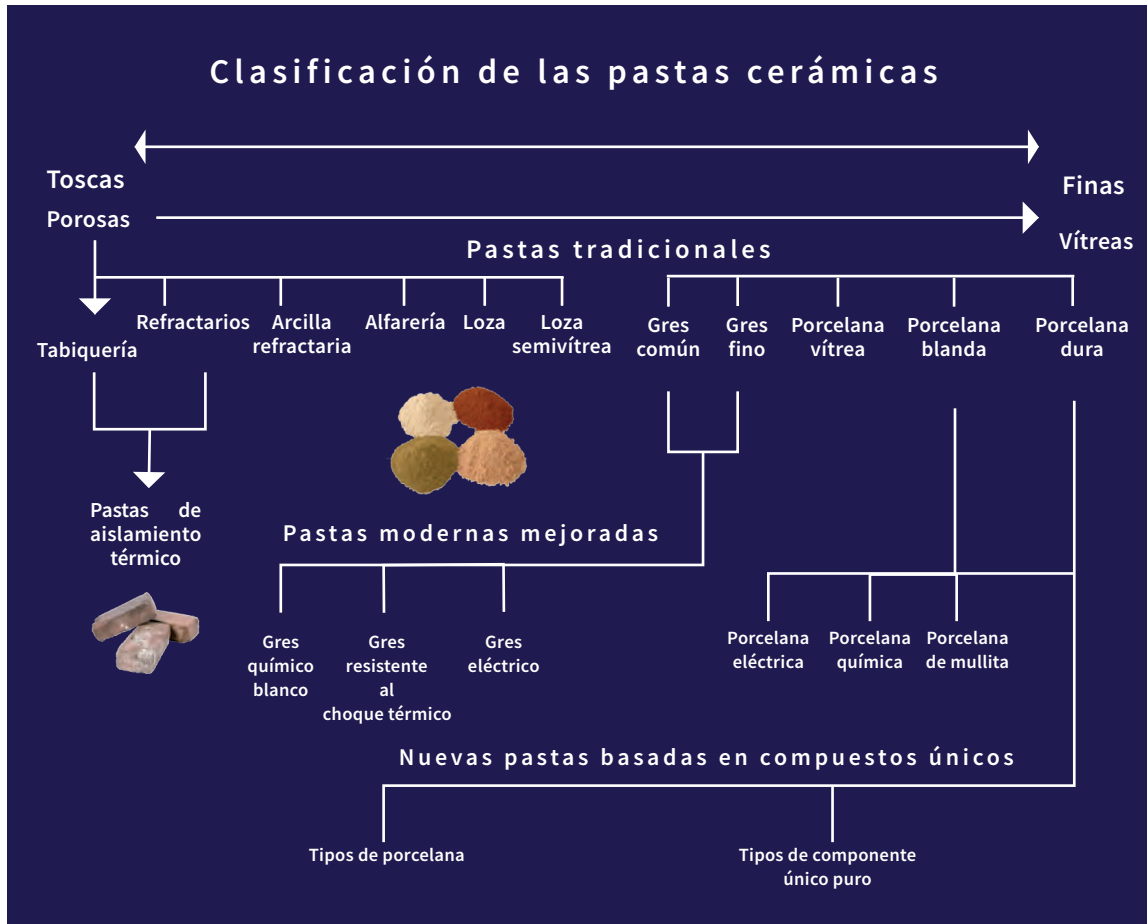
3.5.2.2 Pastas cerámicas tradicionales

Una pasta cerámica está constituida por partículas de arcilla que interactúan debido a la presencia de una capa de agua, originándose un sistema de fuerzas causantes de la rigidez de la masa.

Pese a estas características generales, cada mineral de la arcilla presenta un grado de plasticidad diferente según sus características cristaloquímicas. Por lo tanto, cada grupo de estos minerales se verá modificado por el tamaño de las partículas, la densidad de la carga superficial, la cristalinidad, la existencia de sales solubles y compuestos orgánicos presentes en la masa.

Como se mencionó anteriormente, la cerámica en general es resultado de una combinación de sustancias minerales, los tipos de pastas o cuerpos cerámicos y las características que pueden presentar, son muy numerosas, de tal manera que los criterios de clasificación suelen ser muy diversos.

En el siguiente esquema (2), es posible observar la clasificación general de las pastas cerámicas de acuerdo con Vázquez (2005). Para el proyecto de investigación, únicamente se tomarán en cuenta las pastas cerámicas tradicionales (clasificación a la que pertenecen los ladrillos), ya que, las pastas modernas mejoradas y pastas basadas en compuestos, conllevan materias primas y procesamientos distintos, que, a pesar de ser materiales que también adquieren sus propiedades finales al ser expuestos a un tratamiento térmico, no forman parte del caso de estudio.



Esquema 2. (Daniela Cruz Martínez, 2021), clasificación de las pastas cerámicas, con base en el material de Vázquez, en Materiales Cerámicos. Propiedades, aplicaciones y elaboración, 2005.

3.5.2.3 Composición de las pastas cerámicas

Los materiales arcillosos son el principal componente de las pastas cerámicas (figura 9), debido a su plasticidad, también son conocidos como materiales plásticos, sin embargo, las pastas también están conformadas por materiales no plásticos los cuales pueden ser refractarios, fundentes o desgrasantes. Esta mezcla de materiales se realiza para conseguir durante el proceso de formación del material cerámico características definidas que permitirán que el material responda al uso al cual será destinado.

A pesar de que pueden llegarse a trabajar materiales cerámicos con arcillas sin mezclar, las características finales suelen ser pobres o limitan el uso de los mismos, de ahí que se ha vuelto indispensable trabajar con pastas mezcladas. Aún en los centros artesanales más sencillos de elaboración de piezas de alfarería y ladrillería, se realizan combinaciones simples de los materiales.

Figura 9. (Daniela Cruz Martínez, 2021),
diferentes tipos de pastas cerámicas



3.5.3 Materias primas de las cerámicas tradicionales

Las materias primas cerámicas son los materiales de partida con los que se fabrica el producto cerámico. Los productos cerámicos clásicos, que constituyen la "cerámica tradicional", están preparados con materias primas naturales, que de acuerdo con su función pueden ser plásticas o no plásticas. Las primeras son esencialmente arcillas. Las no plásticas pueden tener una función de "desgrasantes" (materiales que reducen la plasticidad permitiendo una mejor manipulación y facilitando el secado) o son elementos "fundentes" (materiales que facilitan la cocción a menor temperatura e introducen los elementos necesarios para la formación de nuevas fases, (Galán y Aparicio, s.f.).

3.5.3.1 Materias primas arcillosas

En términos comunes, las arcillas son materiales naturales muy repartidos en la superficie de la corteza terrestre y que, en ocasiones, pueden formar, al ser mezclados con agua, masas plásticas. Estos materiales arcillosos tienen una variada granulometría debido a lo cual, en Edafología y Sedimentología, se habla de "fracción arcilla" o "fracción fina" de un suelo o sedimento. Normalmente se entiende que esta fracción es el conjunto de partículas

minerales que tienen un diámetro esférico equivalente o inferior a 2 micras, (Linares, Huertas y Capel, s.f.).

Existen de manera natural diversas arcillas (figura 10) con propiedades y componentes distintos. En el presente trabajo de investigación, solo se hará mención de las que comúnmente conforman los productos de cerámica tradicional, hablando específicamente de los ladrillos.

- Caolín: es la más pura de las arcillas. Por ser una arcilla primaria que prácticamente no se alejó de la roca madre, presenta partículas gruesas que la hacen poco plástica. Debido a su contenido de alúmina es altamente refractaria, presentando un punto de fusión de 1770°C. Pocas veces se utiliza sola en un cuerpo cerámico, debido a su poca plasticidad y alta refractariedad.

Aplicaciones en la cerámica: es el componente más importante de la porcelana. Se usa en los cuerpos cerámicos para aumentar la blancura y la temperatura de quema.

- Arcilla de bola: es una arcilla grasa sedimentaria, con alto contenido de caolinita, mezclada con otros minerales como sílice y feldespato. Su grano es muy fino, por lo que presenta una excelente plasticidad y buena resistencia en fresco. Es una arcilla muy refractaria con un punto de fusión de 1480°C y una maduración entre 1100° y 1200°C.

Aplicaciones en la cerámica: su presencia en casi todos los cuerpos cerámicos es común, usándose en proporciones variadas. En general, aumenta la plasticidad de las pastas.

- Arcilla roja: es una arcilla sedimentaria que geológicamente ha tenido un gran desplazamiento, contaminándose durante este proceso con impurezas minerales y un alto contenido de hierro (del 5 al 10%), por el contenido de estos elementos, su temperatura de endurecimiento se encuentra entre los 800° y 1100°C, dando siempre como resultado un material poroso. En crudo, la presencia de hierro le da un color rojo-marrón.

Aplicaciones en la cerámica: es una arcilla muy común, con la cual se elaboran la mayoría de los objetos cerámicos. Puede ser usada por sí misma como pasta sin necesidad de otros agregados, o mezclada con otros materiales, las más gruesas constituyen la primera materia para ladrillos, baldosas, tubos de drenaje, tejas y otros materiales estructurales utilizados en la construcción.



Figura 10. (Vázquez, 2005), Materias primas arcillosas quemadas a diferente temperatura, en *Materiales Cerámicos. Propiedades, aplicaciones y elaboración*, 2005.

3.5.3.2 Materias primas no arcillosas

Debido a que algunas arcillas no poseen de manera individual las propiedades necesarias para que los materiales cerámicos puedan desempeñarse adecuadamente, se incorporan materias primas que son utilizadas con propósitos específicos:

- Reducir sus cualidades plásticas, disminuyendo con ello el tiempo de secado y las deformaciones o agrietamientos que se pueden presentar por una elevada contracción.
- Mejorar o modificar las propiedades de los cuerpos cerámicos después de la quema.

Dos de los principales materiales no cerámicos que ayudan a alcanzar dichas características son los siguientes:

- Sílice: es el óxido más abundante de la naturaleza, es posible encontrarlo en todas las pastas y vidriados como parte de los minerales más importantes. La

sílice aumenta el punto de fusión de los cuerpos cerámicos, logrando alcanzar temperaturas de fusión por arriba de los 1700°C.

Aplicaciones en la cerámica: disminuye las contracciones y deformaciones durante el secado y cocción de las pastas, en pastas que son porosas y de baja temperatura, actúa como relleno, además de aumentar su resistencia.

- Feldespato: es el fundente más importante en la cerámica, su punto de fusión puede ir de los 1080°C hasta los 1500°C, el feldespato se reblandece dentro de la mezcla, mientras que la sílice y las arcillas permanecen como partículas sólidas. El feldespato se distribuye a través de los poros del material cerámico y una vez fundido, logra una alta viscosidad que ayuda a aumentar significativamente la resistencia.

Aplicaciones en la cerámica: actúa como fundente permitiendo reducir las temperaturas de quema y aumenta la densidad de las pastas, también se emplea como material desengrasante (contribuye a perder plasticidad en la mezcla).

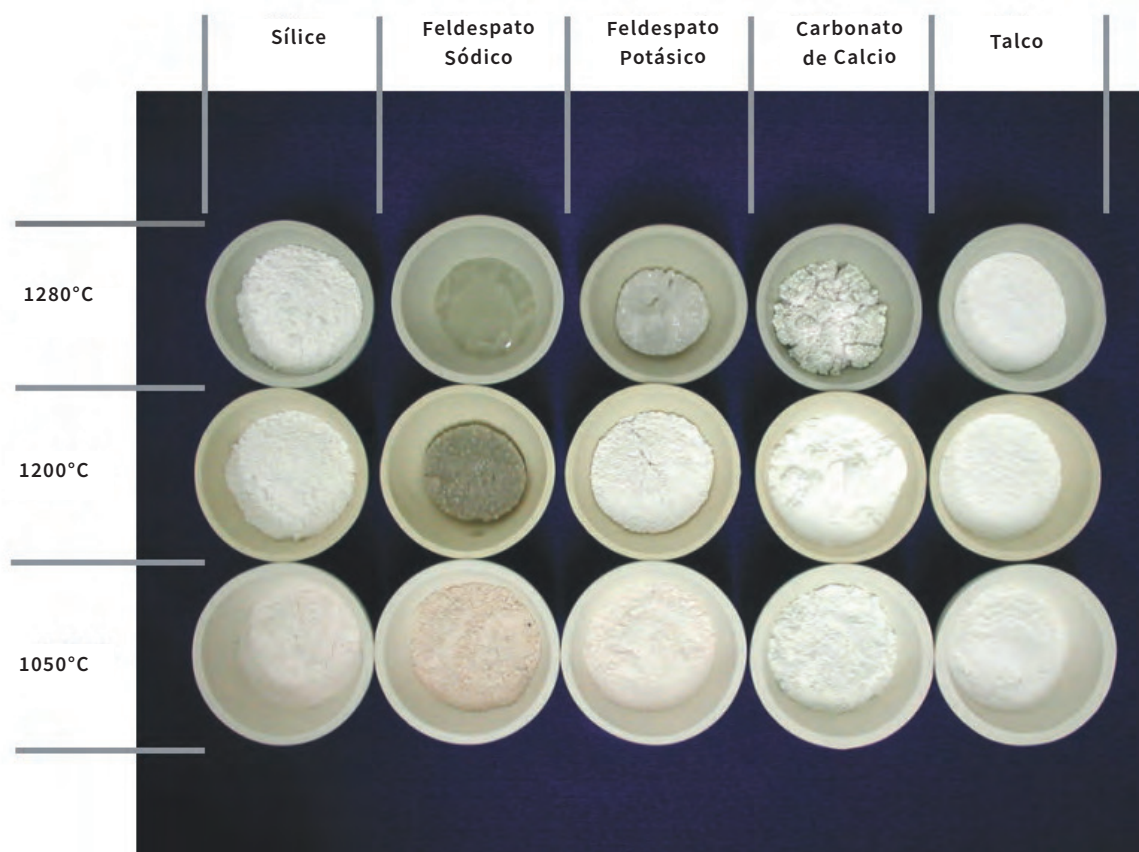


Figura 11. (Vázquez, 2005), Materias primas no arcillosas quemadas a diferente temperatura, en Materiales Cerámicos. Propiedades, aplicaciones y elaboración, 2005.

3.5.4 Procesamiento de las cerámicas tradicionales

El objetivo del procesamiento de materiales cerámicos es obtener productos de máxima compactación o densificación, con formas acabadas y de pureza controlada. En general los materiales cerámicos no se pueden forjar o mecanizar a partir de barras o láminas para obtener una pieza terminada como ocurre con los metales, debido a que tienen altas temperaturas de fusión y además son frágiles. La mayoría de cerámicos tradicionales y estructurales son preparados por compactación de partículas en la configuración deseada mediante el moldeo y posterior tratamiento térmico para mantenerlas enlazadas. Las etapas básicas para conseguir la aglomeración de partículas son la preparación del material, la compactación o elaboración de la forma (conformado), y el tratamiento térmico, (Güemes, 2012).

La arcilla extraída de suelos con el fin de conformar un material debe adecuarse para que pueda ser mezclada, obtener su plasticidad y ser moldeada. Para que la arcilla pueda moldearse, debe cumplir con ciertas condiciones:

- Depuración: principalmente en el caso de las arcillas secundarias es necesario que se encuentren libres de materiales que puedan modificar las propiedades de las mismas, como sales solubles, módulos de cal y otros materiales orgánicos.
- Estado de división: reducción de las partículas de la arcilla a un tamaño de diámetro no mayor a 2 micras.

En el caso de los cerámicos tradicionales se utiliza un molino de bolas para alcanzar el tamaño de partícula deseado, aunque no siempre el tamaño adecuado de las partículas se alcanza en este proceso, por lo que es necesario realizar un tamizado. (figura 12)

- Homogeneidad de la pasta: las distintas clases de arcilla y materiales no arcillosos (sílice y feldespato) se deben mezclar con una cantidad controlada de agua hasta obtener una pasta homogénea.

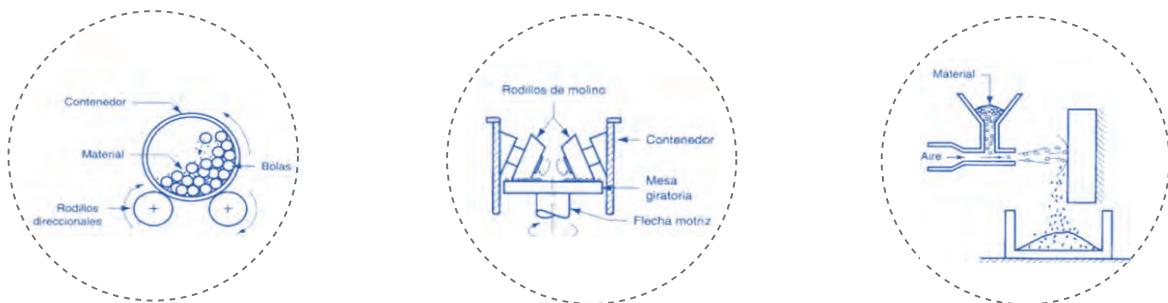


Figura 12. (Daniela Cruz Martínez, 2021). Procesamiento de arcillas para obtener el tamaño de partícula adecuado, con base en el material de Polanco y García en Materiales de construcción, s.f.

En este estado, el material puede ser moldeado sin fisuraciones; sin embargo, su resistencia a la tracción aún es muy baja. En la elaboración de la preforma es importante controlar consistencia y fluidez de la pasta, suficiente para que la pieza pueda mantener su forma durante la manipulación y el secado.

La técnica más común para dar forma a la mezcla que conforma específicamente a los ladrillos es la extrusión (figura 13), en la cual la masa cerámica es forzada a pasar a través del orificio que tiene la geometría de la sección que se pretende obtener, es un proceso similar a la extrusión de metales (Callister, 1995). Al pasar por este proceso, a la arcilla se le conforma como un gran bloque prismático rectangular, que después será cortado mecánicamente al tamaño de la sección deseada. Este procedimiento es frecuentemente utilizado de manera general para la producción de las cerámicas estructurales. También dentro de un proceso artesanal es común darle forma a la arcilla mediante el uso de moldes que conforman piezas individuales del material.

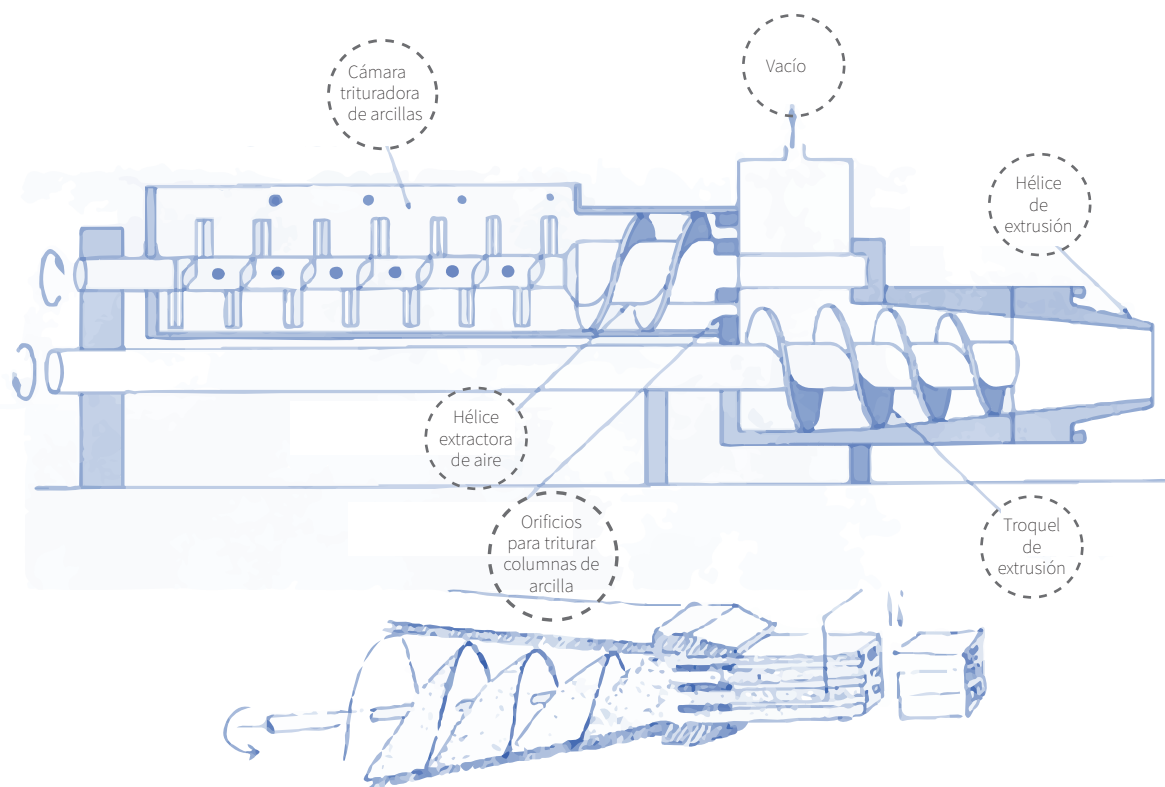


Figura 13. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Moldeado de arcillas por extrusión, con base en el material de Polanco, Cavia y García en Materiales de construcción, s.f.

Posterior al proceso de moldeado por extrusión, la pieza es un “cuerpo verde”, puesto que no se ha sometido a un tratamiento térmico en el que obtendrá sus propiedades finales.

- Tratamiento térmico: Esta etapa es fundamental, ya que la masa plástica obtendrá las propiedades finales que la consolidarán como un material cerámico. Consta de dos procesos que se describen a continuación:

Secado: puede realizarse mediante la exposición al medio ambiente o por medios mecánicos de temperatura controlada. Durante el secado, la humedad excesiva es eliminada y ocurren grandes cambios dimensionales. Inicialmente el agua existente entre las plaquetas de arcilla o agua interparticular se evapora y el material se contrae. Después, ocurrirá un cambio dimensional relativamente pequeño cuando se evapore el agua restante entre los poros que han quedado tras la contracción (a medida que el cuerpo de arcilla se seca, también experimenta contracción), por ello, los ladrillos sufren de una ligera reducción en sus dimensiones una vez que se han secado casi por completo. Para que el secado de la pieza pueda realizarse de manera uniforme, es preferible controlar cuidadosamente la temperatura del ambiente y la cantidad de humedad en el aire, con ello, se logra minimizar esfuerzos, distorsiones y agrietamientos en el material. (Askeland, 1998)

Factores que también influyen en la contracción del material: entre más espeso sea un cuerpo como son los ladrillos, la probabilidad de que se dé una contracción no uniforme y la formación de defectos aumenta, en consecuencia, en este proceso el contenido de agua debe mantenerse bajo, para reducir los efectos de la contracción.

Horneado (cocción): Durante el calentamiento, la arcilla se deshidrata, eliminando el agua que forma parte de la estructura cristalina y comienza el proceso de vitrificación o fusión. Las materias primas que fueron agregadas como fundentes reaccionan con las partículas cerámicas, produciendo una fase líquida. El líquido, contribuye a eliminar la porosidad que quedó en el material en el proceso de secado. Cuando los ladrillos son sometidos al proceso de cocción, el aumento de la temperatura debe realizarse de manera progresiva y controlada, evitando los aumentos drásticos que puedan causar que la cocción sea irregular y las piezas no puedan desarrollar sus propiedades finales.

A las temperaturas de cocido que van desde los 800°C hasta los 1400°C (dependiente del tipo de pieza), ocurren reacciones en estado sólido en las que las partículas tienden a disminuir su energía superficial, desaparecen las partículas más pequeñas, se fusionan y dan origen a partículas de mayor tamaño; el producto resultante es la formación de una red insoluble de enlaces primarios. A esta reacción en estado sólido se le conoce como sinterización (Güemes, 2012).

3.6 Materiales reciclados en la arquitectura

Los recursos materiales de la construcción se están agotando cada vez más en el lugar de origen natural, mientras que se van acumulando inversamente dentro de los edificios. Por ejemplo, hoy en día hay más cobre en los edificios que en la tierra. A medida que las minas están cada vez más vacías, nuestros edificios se convierten en minas en sí mismos.(Hebel, D., Wisniewska, M. y Heisel, F., 2014).

La extracción de materiales para su utilización en la industria y, principalmente en la industria de la construcción ha alcanzado desde hace algunos años un estado crítico, lo que observan dichos autores es determinante para modificar el conocimiento colectivo sobre cuál es el procedimiento adecuado a seguir en el quehacer arquitectónico y la construcción. Las ciudades, se han vuelto campos de concentración de materiales y recursos naturales explotados y transformados, cuya producción involucra un costo energético aún más grande que el aprovechamiento que les damos. Esto quiere decir que las inversiones energéticas y de recursos que implica la elaboración de un material de ninguna manera es recuperable debido a que, con el modelo económico actual adoptado por las sociedades consumistas, tendemos a disminuir el ciclo de vida de los materiales voluntariamente, deshaciéndonos de los mismos y remplazándolos por nuevos de una forma cada vez más rápida, aunque su ciclo de vida original esté contemplado para un periodo de tiempo mucho más largo.

De acuerdo con Maccarani (2011), lo que se percibe en la mayoría de los edificios es una preocupación de los arquitectos principalmente por la energía utilizada durante la fase de utilización (eficiencia energética), dejando de lado otras cuestiones igualmente importantes como el ahorro de los recursos energéticos en la selección de los materiales. Se debe ahorrar energía y recursos materiales en todas las fases del proyecto de un edificio, empezando por la limitación en la utilización de materiales vírgenes no renovables. De esta manera, se limita la extracción de muchas materias primas de la corteza terrestre. La expresión “extracción” de los materiales es un eufemismo, para describir el agotamiento de los recursos naturales, la destrucción del ecosistema y la capacidad de regeneración de la naturaleza. Recuperando la introducción del presente proyecto de investigación, el proceso mediante el cual como arquitectos, constructores y diseñadores realizamos la selección de material para un proyecto siempre es a partir de un

mercado existente, mediante un mecanismo de oferta-demanda, sin considerar cual ha sido el costo energético y ambiental que ha generado el producir dicho material, nuestra preocupación empieza a partir de la puesta en obra, y concluye una vez que esta ha sido finalizada y el edificio obedece a un uso particular, sin pensar en qué sucederá con él y los materiales una vez que estos hayan concluido su vida útil y se conviertan en desechos.

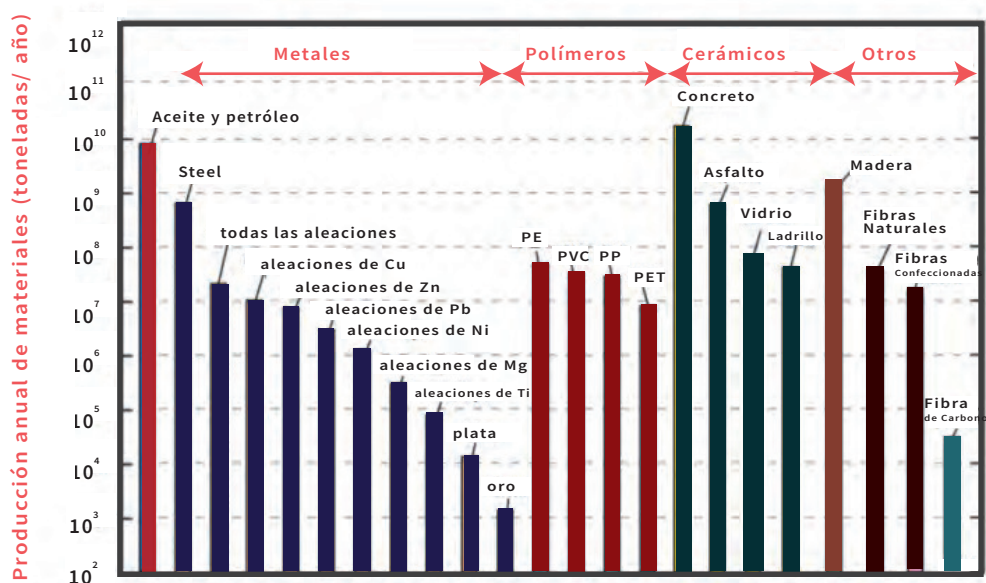
Si bien en las últimas décadas se desarrollaron varias técnicas e ideas sobre cómo transformar los desechos en bienes deseables y, por lo tanto, valiosos, la mayoría de los materiales de construcción actuales todavía se basan en el conocimiento, las ideas, las tecnologías y los entendimientos culturales desarrollados en la era de la industrialización, con un enfoque acrítico hacia la cuestión de sustentabilidad y disponibilidad de recursos.

Pensar en el cierre del ciclo de los materiales es una tarea importante; intentar reducir, reutilizar y reciclar los recursos es el principio básico, como también frenar la disminución de los recursos de baja entropía, es decir, de los materiales vírgenes. Los recursos naturales están bajo tierra; nadie consigue verlos, sin embargo, los residuos son un fenómeno de superficie y nadie debería ignorarlos.

Existe un manejo erróneo del “reusar y reciclar”, se piensa que ambos conceptos funcionan mediante el mismo proceso, por lo que es importante aclarar las diferencias entre ellos; el reusar un material implica que no haya transformaciones físicas importantes en su estructura para su aprovechamiento, mientras que el reciclaje, por el contrario, debe existir una transformación o procesamiento del material para lograr reincorporarlo y obedecer así a un uso diferente al cual fue originalmente planeado. A pesar de que ambos procesos son distintos, tienen un fin común; evitar la extracción de materias primas de la naturaleza, además de posibilitar una economía de energía, puesto que los productos de la construcción u otros productos que se puedan incorporar a la misma, ya han pasado por procesos de transformación que han requerido grandes cantidades de energía, gracias a estas cantidades de energía incorporada en los materiales, la energía utilizada en la reutilización de algún producto es muy baja. Por ejemplo, de acuerdo con Thomas E. Graedel, de la Escuela de Ciencias Forestales y Ambiental de Yale, la utilización del aluminio que podría reciclarse de los edificios necesita solo el 5% de la energía utilizada originalmente para su producción. Siguiendo esta lógica, Francesco di Maio (Building from waste, 2014), investigador de la Universidad Tecnológica de Delft, cree que para la elaboración del concreto, en lugar de transportar agregados desde zonas lejanas al sitio de construcción, es posible usar los edificios locales como fuente de agregados,

Di Maio investiga la opción de recuperar agregados como arena, guijarros y rocas pequeñas, por un lado, y cemento por el otro, lo que tendría la inmensa ventaja de que no se liberaría dióxido de carbono (Co2) adicional a la atmósfera, mientras que la producción original de cemento es altamente energética; las pruebas han demostrado que el concreto hecho de agregados reciclados muestra cualidades de material incluso superiores a las de las muestras hechas de agregados vírgenes.

De acuerdo con las cifras anuales de producción de concreto, pareciera este ser el único material disponible a incorporar en el sector de la construcción y su utilización va en aumento, a pesar de conocer su consumo energético e impacto ambiental que genera su producción; sumadas todas las cantidades de materiales producidos y utilizados en nuestras actividades cotidianas (excepto el aceite y el carbón) se llega a casi 13 mil millones de toneladas en todo el mundo, de las cuales tan sólo el concreto es responsable de más de 10 mil millones de toneladas al año (Gráfica 1). También, los metales representan el 6 % del total de los materiales utilizados al año, siendo el acero, el que más destaca en este grupo. Los ladrillos y tabiques estructurales, dentro del grupo de los cerámicos, representan el material con menor índice de producción, pese a que, de todos los materiales que engloba este grupo, resulta el que conlleva un gasto energético menor en su producción.

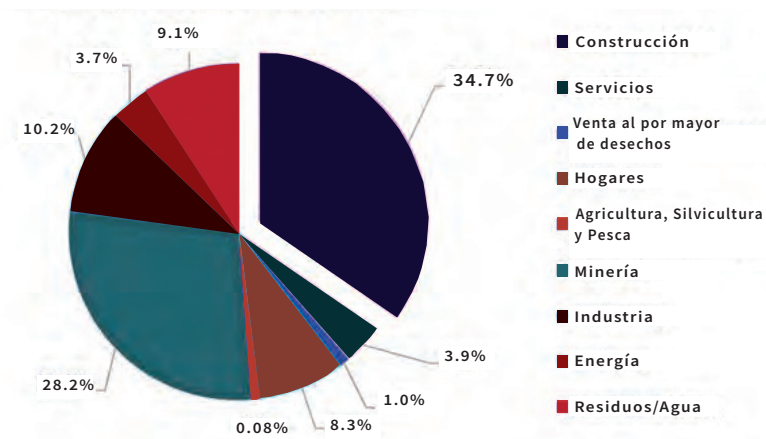


Gráfica 1. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Producción mundial de 23 materiales principales industriales, con base en el material de Maccarani, en: El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios, 2011.

Como podemos ver, los materiales de construcción abarcan más de la mitad de materiales producidos, representando a su vez el sector que también más desperdicios genera, siendo estos casi por completo sólidos inorgánicos.

Torgal y Jalali (2007), afirman que la Unión Europea utilizó más materias primas en la industria de la construcción que en cualquier otra actividad económica. (Gráfico 2)

En 2014, la UE generó un total de 2502,9 millones de toneladas de residuos, la cifra más alta registrada entre los años estudiados



Gráfica 2. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Gráfica de producción de residuos por actividad UE 2014, con base en el material de Herrero, en Arquitectura reciclada, residuos como nuevo material de construcción, 2019.

Uno de los principales objetivos de este proyecto de investigación es lograr concientizar la importancia de disminuir el consumo de recursos y materias primas para la manufactura de materiales constructivos, sobre todo, evidenciar que la incorporación de materiales reciclados es posible y que incluso, puede llegar a ser benéfico, mejorando también las propiedades de los materiales convencionales existentes. Por otra parte, es importante evidenciar que nuestros desechos (en la construcción y los generados en nuestras actividades cotidianas) terminan casi en su totalidad en vertederos y el resto son eliminados mediante procesos de incineración.

Los vertederos son las áreas destinadas a la acumulación de desechos, muchos de ellos a cielo abierto. Estos lugares, generalmente ubicados en las periferias urbanas, se han convertido en zonas de vivienda de comunidades de escasos recursos y grupos vulnerables, que, de manera irregular se asientan en ellos poniendo en riesgo su salud y reduciendo al mínimo su calidad de vida. La razón por la cual existen asentamientos humanos en vertederos es porque estos grupos humanos desarrollan actividades relacionadas con la recolección de residuos y materiales, con la intención de obtener alguna ganancia económica a partir de la venta de los mismos, posiblemente recuperables, sin embargo, estas actividades no están reguladas ni reconocidas por los gobiernos, por lo cual las remuneraciones son mínimas, agregando a ello que la recolección se realiza en condiciones insalubres y con

medidas nulas de protección, seguridad e higiene. Una consecuencia de este fenómeno es que se piense que el reciclaje y recuperación de materiales son actividades destinadas únicamente a personas de escasos recursos (Figura 14). Lo mismo sucede con los proyectos (principalmente de vivienda) que involucran materiales recuperados o reciclados; se piensa que están dirigidos única y particularmente a satisfacer necesidades de personas en situación de pobreza, afectados por algún desastre natural o refugiados. El reciclaje y sobre todo la limitación en el consumo de materiales no es ni debería ser una imposición solo para estos sectores de la población, sino que debe conformarse como una actividad indispensable dentro del pensamiento colectivo, sin importar nuestra condición social.

De acuerdo con De la Rosa y Falcón (2013), dentro de los países en vías de desarrollo, los estudios existentes sobre materiales reciclables y recuperables son escasos, ya que no existe un presupuesto u organización destinada específicamente a actuar en esta área. En el caso mexicano, el problema debería ser prioridad de atención gubernamental y no puede abordarse exclusivamente desde el punto de vista técnico, ya que se trata de un problema cultural y político complejo, íntimamente relacionado con la administración de los gobiernos, de la capacidad de gestión por parte de los organismos responsables y de la forma en que transcurre el desarrollo económico y social del país. Así mismo, está influido por la creciente industrialización, lo cual repercute en los patrones locales de producción y consumo, siguiendo la línea del “usar y tirar.

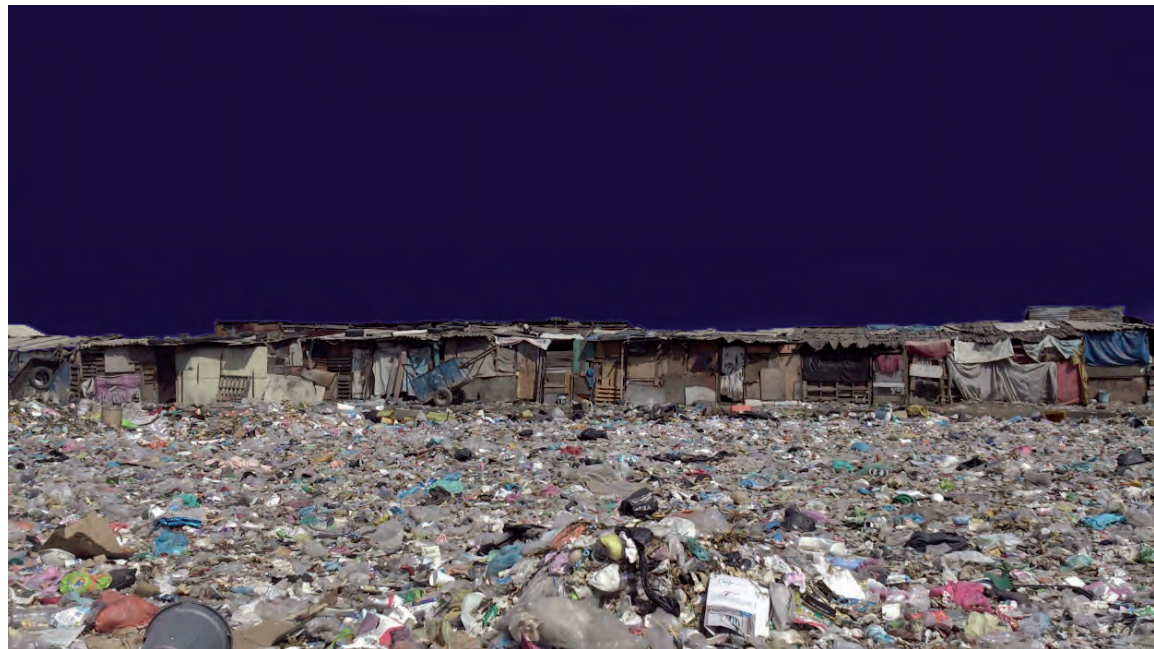


Figura 14. (Portavoz, 2013) Viviendas establecidas en el vertedero del Bordo de Xochiaca, Estado de México, fotografía tomada de la red con intervención de color propia.

3.6.1 Clasificaciones de los materiales reciclados

Para conocer qué residuos se pueden reutilizar en la arquitectura y construcción, en primer lugar, es necesario conocer la clasificación general de los mismos, principalmente en núcleos urbanos.

De acuerdo con la clasificación de la SEMARNAT (2015), los residuos se clasifican en Residuos Sólidos Urbanos, Residuos de Manejo Especial y Residuos Peligrosos, sin embargo, se consideró necesario complementar esta clasificación general, para ello, se muestran a continuación clasificaciones más extendidas, que los organizan según su naturaleza, origen y composición.

Clasificación de residuos según su naturaleza

- Residuos peligrosos: de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005, los residuos peligrosos, en cualquier estado físico, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, inflamables, tóxicas, y biológico-infecciosas, y por su forma de manejo pueden representar un riesgo para el equilibrio ecológico, el ambiente y la salud de la población en general, por lo que es necesario determinar los criterios, procedimientos, características y listados que los identifiquen.
- Residuos no peligrosos: Son todos aquellos materiales que no reúnen las características que menciona la NOM-052-SEMARNAT-2005. En esta categoría de acuerdo con la SEMARNAT, se enlistan los Residuos Sólidos Urbanos (RSU); los RSU son los generados en viviendas comunes, resultan de la eliminación de los materiales utilizados en actividades domésticas, de los productos consumidos y envases; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que generen residuos con características domiciliarias, los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole. También pertenecen a esta categoría los Residuos de Manejo Especial (RME). Los RME son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos.

Clasificación de residuos según su origen:

- Residuos comerciales: Son los residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restaurantes y bares, oficinas, mercados, así como del resto del sector servicios.

- Residuos industriales: Son aquellos residuos peligrosos y no peligrosos, resultantes de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera.
- Residuos con regulación específica: Ciertos residuos, peligrosos y no peligrosos, generados en domicilios, comercios o industrias, disponen de una regulación o tratamiento específico debido a sus características especiales. Todos ellos disponen de normativa específica que establece medidas concretas tanto para su producción como para su gestión, siempre bajo el marco general de producción y gestión de la normativa general sobre residuos. Estos residuos con regulación específica son los siguientes:
 - Residuos de construcción y demolición
 - Residuos mineros
 - Residuos sanitarios
 - Residuos agrícolas, ganaderos y forestales
 - Residuos radioactivos
 - Subproductos animales
 - Neumáticos fuera de uso

Clasificación de residuos según su composición:

- Residuos orgánicos: todo desecho de origen biológico que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo. Los residuos orgánicos constituyen poco más del 38% del total de residuos sólidos urbanos que se generan en el país de acuerdo con la SEMARNAT. Estos están constituidos por productos de cuero, fibra vegetal, residuos alimenticios, huesos, residuos de jardinería, madera y aceite comestible.
- Residuos inorgánicos: todo desecho que no sea de origen biológico, estos desechos representan la mayoría de residuos sólidos urbanos, se conforman por productos que pueden ser altamente reciclables como el cartón, papel, material ferroso, PET (politereftalato de etileno), envases de cartón encerado, fibras sintéticas, unicel, hule, aluminio, vidrio y poliuretano principalmente.

Sistemas de tratamiento de residuos

Las opciones existentes para el tratamiento de residuos son el vertedero, la incineración, el reciclaje o la reutilización. El vertedero es la peor alternativa para descartar dichos materiales, ya que se pierde la energía incorporada en ellos; además existe un gran potencial de contaminación para el suelo, el agua y aire y agudiza problemas sociales que se mencionaron con anterioridad, a pesar de ello continúan siendo la primera alternativa para su disposición. .

- **Reciclaje del material:** Involucra el proceso de reconfigurar el material, introduciéndolo a un nuevo ciclo de vida en donde cumplirá una función distinta a la que fue concebida inicialmente. El reciclaje puede involucrar diferentes procesos para su tratamiento dependiendo del tipo de material y fin al que servirá. El reciclaje puede ser físico, químico o biológico.

- **Reutilización del material:** El material puede ser reutilizado para el mismo fin que fue creado, obedecer a un uso distinto sin alterar sus propiedades físicas o involucrar un proceso de transformación, como en el caso del reciclaje.

- **Incineración con recuperación energética:** Consiste en la reducción del volumen de los residuos mediante su combustión, aprovechando la energía generada en dicho proceso para otro fin. La parte negativa de este sistema radica en la emisión de sustancias nocivas desprendidas durante la incineración.

- **Incineración sin recuperación energética:** Consiste en incinerar los residuos sin ningún tipo de aprovechamiento, con el único fin de reducir su volumen.

- **Reciclaje mecánico:** Consiste en todo proceso físico que altera la forma inicial del residuo para darle una forma distinta. El proceso se lleva a cabo mediante maquinas que transforman una fuerza aplicada en un trabajo resultante, como trituradoras, batidoras, cizallas, etc. También puede realizarse de manera manual.

- **Reciclaje químico:** Consiste en la descomposición química del residuo para obtener los componentes originales, y volver a obtener un nuevo producto a partir de ellos. Esto se consigue sometiendo a los residuos a altas temperaturas y presiones, haciéndolos reaccionar con diferentes elementos o agentes químicos.

- Reciclaje biológico: Consiste en acelerar el proceso natural de degradación y descomposición de la materia orgánica proveniente de RSU (Residuos Sólidos Urbanos), principalmente residuos orgánicos, mediante el compostaje o involucrando bacterias que desintegren el material mediante distintos procesos biológicos. Este proceso permite aprovechar, por un lado, la materia orgánica como abono, y por el otro, biogas producido como fuente de energía.

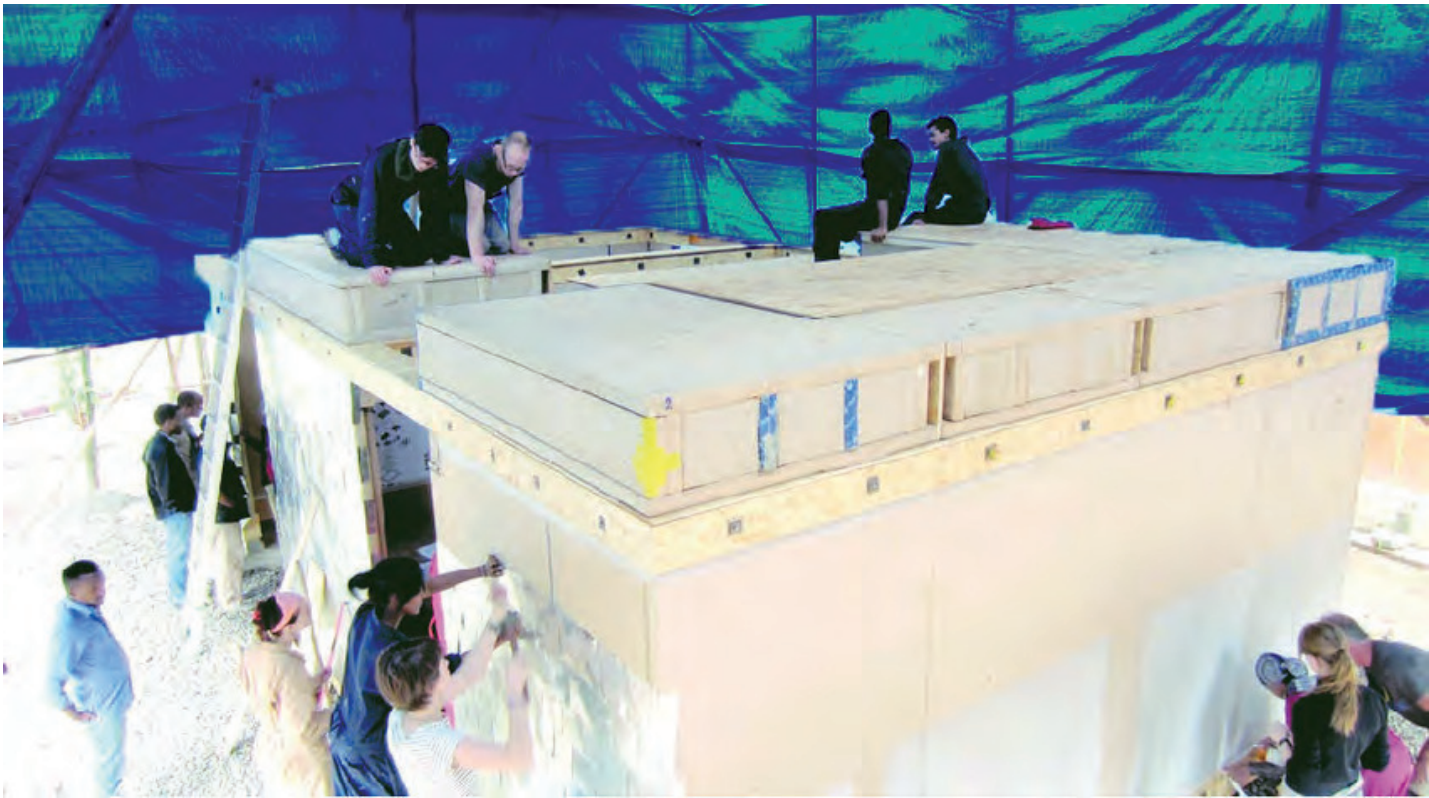


Figura 16. (ResearchGate, 2015) La Unidad de Ciudad Emergente Sostenible SECU investiga el uso de paneles de paja como elemento estructural portador de carga. Fotografía recuperada de la red.



3.6.2 Colillas de cigarros: un material reciclado a implementar en la arquitectura

3.6.2.1 Composición física y química: el acetato de celulosa

Los cigarros comercializados en la actualidad están compuestos principalmente por dos secciones: una columna de tabaco y un filtro. Los filtros están presentes en más del 95% de los cigarros vendidos hoy en Estados Unidos y en más del 90% de los cigarros vendidos a nivel mundial.

Históricamente, se introdujeron filtros para proporcionar una boquilla al cigarro que evitaría la liberación de partículas de tabaco en la boca del fumador. En 1950, los cigarros con filtros dominaban el 1% del mercado. A partir de entonces, comenzaron a ganar popularidad.

En 1964, el Cirujano General de los Estados Unidos anunció que fumar cigarrillos de tabaco estaba relacionado causalmente con el cáncer de pulmón en los hombres, lo que generó la incorporación masiva de filtros que retuvieran las sustancias tóxicas nocivas para los fumadores. Para 1965, la mayoría de los cigarrillos tenían filtros (64%) y en 1986, la cifra aumentó hasta el 95% en los cigarros fabricados en los Estados Unidos (Pauly, Mepani, Lesses, et al., 2002).

Los filtros de cigarro, a simple vista parecen estar formados por un material suave, parecido al algodón o una esponja fácilmente compresible, sin embargo, al cortarlo en una sección longitudinal, se puede observar que el material consiste en una conglomeración de pequeñas fibras (alrededor de 12,000 fibras independientes). Las fibras están hechas de acetato de celulosa, un material sintético parecida al plástico. Para lograr que ese gran número de fibras permanezcan unidas y compactadas dentro del filtro, es utilizado un plastificante (triacetato de glicerol).

El acetato de celulosa es un material termoplástico relativamente duro y brillante, incoloro, transparente y amorfo, es relativamente estable ante los rayos UV y posee una resistencia química moderada (Monzonis, 2011). Este material se produce al hacer reaccionar celulosa con ácido acético.

La obtención del acetato de celulosa puede llevarse a cabo mediante dos métodos en función del objetivo deseado:

- Acetilación Homogénea: obtención de un material termoplástico moldeable, útil para la fabricación de objetos como monturas de gafas, empaques, películas y rollos fotográficos, artículos personales como cepillos de dientes,

peines y otros usos menores, incluyendo bolas de billar, botones en teclados de instrumentos, películas transparentes para proyectores y cajas para perfumes.

- Acetilación Heterogénea: para conseguir la retención de una estructura fibrosa, útil para la industria textil y la generación de fibras necesarias para producir los filtros de cigarro.

En ambos casos mencionados, la celulosa es la materia prima base. La celulosa es la principal sustancia que constituye las células de paredes vegetales. Se encuentra en plantas, madera y fibras naturales, por lo general combinada con otras sustancias (hemicelulosa, pectina, lignina y rosina). Es un polímero lineal compuesto por unidades repetidas de glucosa.

La celulosa tiene distintas aplicaciones químicas, los derivados de celulosa pueden ser solubles en agua, como la metilcelulosa, la hidroxietilcelulosa o la carboximetilcelulosa, o pueden ser insolubles, como el acetato de celulosa, el nitrato de celulosa, o la etilcelulosa.

En la siguiente tabla (5) es posible observar las propiedades físicas, mecánicas, químicas y térmicas del acetato de celulosa en su estado puro. En el caso de sus propiedades tras el proceso de combustión en el cigarrillo, no se han encontrado investigaciones al respecto. Sin embargo, para esta investigación, la información presentada puede ser utilizada como referencia para conocer sus propiedades generales, principalmente físicas y mecánicas.

Propiedades Físicas	
Absorción en Agua- en 24 horas (%)	1.9- 7.0
Densidad (g cm ³)	1.3
Índice Refractivo	1.49
Índice de Oxígeno Límite (%)	19
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a los Ultra-Violeta	Aceptable
Propiedades Mecánicas	
Dureza- Rockwell	34-125
Módulo de tracción (Gpa)	1.0 a 4.0
Resistencia a la Abrasión- ASTM D1044 (mg/1000 ciclos)	65
Resistencia a la Tracción (MPa)	12-110
Resistencia al Impacto (J m ⁻¹)	100- 450
Propiedades Térmicas	
Calor específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1200-1900

Coeficiencia de Expansión Térmica (x10-5K-1)	80-180
Conductividad Térmica a 23°C (Wm-1K-1)	0.16- 0.36
Temperatura máxima de utilización (°C)	55-95
Temperatura mínima de utilización (°C)	-20
Temperatura de Deflección en Caliente- 0.45MPa(°C)	52-105
Temperatura de Deflección en Caliente- 1.8 MPa(°C)	48-86
Propiedades Químicas	
Ácidos- concentrados	Mala
Ácidos- diluidos	Buena-Mala
Álcalis	Mala
Alcoholes	Aceptable- Buena
Cetonas	Mala
Grasas y Aceites	Buena
Halógenos	Mala
Hidro-carbonos halógenos	Buena-Mala
Hidro-carbonos Aromáticos	Buena-Mala

Tabla 5. (Daniela Cruz Martínez, 2021). Tabla de propiedades físicas, mecánicas, térmicas y químicas del acetato de celulosa, con base en el material de Monzonis, en Estudio para la minimización del residuo de colillas de tabaco y su posible reutilización, 2011.

3.6.2.2 Problemáticas ambientales asociadas a su producción y desecho

Como se revisó anteriormente, la grave incidencia de enfermedades en fumadores provocó la introducción de filtros en los cigarros a mediados del siglo pasado, solución que de alguna manera no representó ser la mejor, ya que no se contemplaron las consecuencias; con esto se pretendía reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con el tabaquismo en fumadores, pero no se pensó en el tratamiento que recibirían estos filtros con alto contenido tóxico atrapado en ellos posterior al consumo y principalmente, en los problemas relacionados con la contaminación ambiental que generarían al ser desechados.

En 2018, la campaña del Día Mundial del Medio Ambiente se centró en la contaminación por plásticos, ya que cada año se vierten 8 millones de toneladas de estos residuos en los océanos, suponiendo una amenaza para la biodiversidad marina y los seres humanos. Se han realizado numerosos

estudios y campañas sobre el *littering* (hábito adquirido de depositar desechos en espacios públicos) que desvelan resultados sorprendentes: la primera fuente de desechos mundial no son los envases de alimentos, ni los desechables, ni las bolsas de plástico, son las colillas de cigarro (Ocean Conservancy International Coastal Cleanup, 2017).

El informe de 2017 de la ONG Ocean Conservancy, indica que las colillas suponen el 13% del número total de desperdicios recogidos en su campaña mundial. Este resultado concuerda con los datos de consumo de tabaco: anualmente se fuman 6 billones de cigarrillos en todo el mundo y, de estos, 4.5 billones son depositados en espacios públicos abiertos. De acuerdo con Novotny (2014), 2 de cada 3 fumadores arrojan las colillas al suelo (el concepto de colilla es aplicable una vez que el filtro de cigarro ya fue usado y desechado). Estos desechos pueden llegar a viajar miles de kilómetros y contaminar diferentes ecosistemas, encontrándose mayormente en zonas urbanas, pero también en el medio natural, incluidos los océanos y otros cuerpos de agua. Diversos estudios muestran que su efecto contaminante puede durar entre 7 y 12 años, e incluso algunos autores afirman que pueden llegar hasta los 25 años. Es evidente que este desecho se ha minimizado culturalmente, ya que existe una falta de conocimiento entre los fumadores sobre lo que implica la presencia de colillas de cigarro en el medio ambiente, esto en parte debido a que los gobiernos tampoco han enfrentado el problema y las pocas campañas que abarcan temas sobre el tabaquismo resultan ineficientes. Tampoco existe un equivalente legislativo para sancionar a quienes arrojan colillas en espacios abiertos, al igual que regulaciones para su manejo y tratamiento, aunque todas estas colillas fueran depositadas en contenedores de desechos, terminarían en los vertederos públicos, sin tratamiento alguno que impida que los residuos tóxicos lleguen a la superficie terrestre y contaminen cuerpos de agua que, de acuerdo con Slaughter (2011), estas sustancias se disuelven con facilidad, haciendo tóxica el agua para diferentes organismos. La toxicidad que puede liberarse en el agua se debe a que las colillas retienen numerosas sustancias como cadmio, arsénico, nicotina, tolueno, y otros componentes como el metanol, ácido acético, amoníaco, ácido esteárico y alquitrán. Cuando estas sustancias entran en contacto con el agua, se liberan, teniendo efectos devastadores: las lombrices y otros animales que desempeñan funciones importantes para el suelo puede resultar envenenadas con cadmio, al desaparecer estas especies, la estructura del suelo se ve afectada, transformando las superficies terrestres en infértiles e impermeables.

En 2013, investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (Suárez, López y Macías, 2013) realizaron un estudio donde se observó que ciertas aves, como el gorrión común (*Passer domesticus*), incorporan colillas en sus nidos (figura 17), que de manera involuntaria les permiten reducir en estos el número de ectoparásitos (organismos que vive en el exterior de otro organismo y se benefician de esta relación, sin embargo, esta interacción puede suponer un riesgo para las aves que están en contacto con los componentes que se encuentran en las colillas, como se demostró en un estudio posterior realizado por algunos de los mismos investigadores en 2017. Los filtros contienen nicotina e hidrocarburos que funcionan como insecticidas, entre ellos, los hidrocarburos policíclicos aromáticos y algunos otros metales que pueden ser responsables de dañar la salud de estas aves (Ecoembes, 2018).



Figura 17. (Una Ecología, 2017) Las aves usan colillas de cigarrillos en sus nidos para repeler insectos. Fotografía recuperada de la red.

No solo la toxicidad de las colillas puede ser el detonante de la destrucción de un hábitat: una colilla mal apagada abandonada en el campo o lanzada desde un vehículo en marcha puede provocar un incendio y, por ende, un grave impacto ecológico y ambiental. En 2008, el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino alertaba de que casi el 3% de los incendios forestales son originados por colillas mal apagadas y abandonadas en la naturaleza (Ecoembes, 2018).

Por otro lado, se ha revelado que, la prohibición de fumar en espacios públicos cerrados tras las investigaciones de los impactos negativos que tiene el humo de tabaco en los no fumadores no ha sido del todo efectiva ya que, sin duda ha disminuido la concentración de colillas en los espacios cerrados, pero de acuerdo a estudios publicados por Keep Britain Tidy, este es un posible motivo por el cual se ha desencadenado el aumento de colillas en los espacios públicos exteriores y espacios naturales, estos estudios revelan, por ejemplo,

que tras la prohibición de fumar en espacios públicos cerrados en Inglaterra en 2007, el país aumentó sus desechos de colillas enormemente. Además de mencionar que en el año 2004, las colillas de cigarrillos representaron el 33.3% de la basura generada en este país, (Monzonis, 2011).

La producción de filtros de cigarro

La velocidad a la que se fabrican los cigarrillos desafía la imaginación: una sola máquina fabrica cigarros con filtro a una velocidad de 15,000 o más por minuto. Esta cifra de 15,000 cigarros con filtro por minuto puede expresarse también como 250 cigarros por segundo; esto equivale a 50 cajas cada 40 segundos. Del mismo modo, los cigarros se empaquetan rápidamente: aproximadamente 450 paquetes por minuto. Las plantas de producción de las principales compañías tabacaleras operan las 24 horas del día, con múltiples máquinas para producir y empacar millones de cigarros al día. (Pauly, Mepani, Lesses, et al., 2002)

Debido a que los procesos de fabricación se realizan a velocidades máximas, el proceso de control de calidad se complica, por ello, es prácticamente imposible que todos los filtros no presenten problemas relacionados con defectos que puedan contribuir a que no cumplan con su objetivo; impedir que los fumadores reciban de manera directa los componentes tóxicos del cigarro. Un cigarro con filtro defectuoso, debería ser retirado de la línea de producción, los defectos del filtro también pueden ser las fibras de acetato de celulosa que pueden quedar liberadas fuera del mismo y que pueden ser inhaladas por los fumadores, aunque investigaciones han demostrado que la inhalación o ingestión de acetato de celulosa en su estado puro no han tenido efectos negativos en la salud de los fumadores.

Las compañías productoras de filtros de acetato de celulosa y de cigarrillos, están conscientes de que muchos cigarros de tabaco continúan en el mercado aún a pesar de contener filtros defectuosos que podrían representar problemas de salud en sus consumidores, sin embargo, esta información ha permanecido oculta del conocimiento público y científico, ya que un control riguroso de calidad por filtro implicaría disminuir su velocidad de producción. Es importante mencionar que debido a que los cigarros de tabaco no son un alimento, ni son considerados como una droga, no hay máximos legales en productos químicos agrícolas o aditivos químicos a agregar en su contenido. La lista completa de cerca de 2000 posibles aditivos que el tabaco puede llegar a contener incluyen enducolorantes: sabores como cacao, ron, regaliz azúcar y jugos de frutas, los cuales se consideran “secretos comerciales” que cada

marca maneja de manera distinta. (Kathleen, 2000)

Además de los aditivos, Rivera (2019) de acuerdo con Rodgman y Perfetti (2013), recopiló información en donde se identifican todos los compuestos presentes en el tabaco y el humo del tabaco que pasan a través de las fibras de acetato de celulosa, aunque es importante mencionar que no pueden tomarse como cifras generalizadas, debido a la diversidad de las marcas y los distintos tipos de cigarrillos existentes en el mercado. A pesar de ello, se observa que, tan sólo en cuatro años, los compuestos de los cigarrillos aumentaron de 8,622 a 9,582.

Además de los problemas que implica para el medio ambiente, en el ámbito económico y de salud pública, el tabaquismo tiene consecuencias importantes. En algunas ciudades de Estados Unidos, los costos que implica la eliminación de este desecho oscilan entre los 3 y 16 millones de dólares al año. El pequeño tamaño de las colillas hace que recogerlas resulte una tarea muy difícil y laboriosa. Contando con los servicios de limpieza existentes, tanto el uso de máquinas cribadoras de arena como métodos manuales, no son alternativas suficientes para eliminar por completo este desecho. Las campañas de recolección voluntaria han mostrado tener mayor éxito, sin embargo, no son campañas de carácter permanente y que se realicen bajo la responsabilidad o regulación de alguna dependencia gubernamental y por esta misma razón sus alcances no logran ser relevantes a gran escala.

Aterrizando el problema a nuestro país, se tienen pocas investigaciones y estadísticas que aporten información sobre la cantidad de desechos generados por colillas de cigarro, sin embargo, se conocen bien los problemas que el tabaquismo causa. Este padecimiento tiene un costo tanto en términos sociales como económicos para las familias y para el Estado, en este último sentido, cobra relevancia el costo para la Hacienda Pública: su magnitud se estimó de 81 mil 132 millones de pesos para 2017 en las finanzas del Gobierno Federal; cifra que representa 2.8% de los ingresos tributarios y 58.3% de los ingresos obtenidos por el Impuesto Especial sobre Productos y Servicios (IEPS) no petrolero, por lo que se considera como uno de los padecimientos prevenibles más costosos para el erario público, además de su alto costo social, por ser una enfermedad prevenible relacionada con distintos tipos de cáncer y con otras afecciones, como la cardiopatía isquémica, enfermedades vasculares cerebrales, bronquitis crónica, enfisema pulmonar y la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), por señalar sólo las principales (CEFP, 2018).

De acuerdo con una investigación del Pan American Journal of Public Health (2016), el tabaquismo representa la primera causa de mortalidad prevenible;

según esta investigación, para el periodo 2010 - 2050, habrá un saldo de 400 millones de muertes relacionadas con el tabaco en todo el mundo; sin embargo, el 80% de estas muertes se producirán en países de bajos y medianos ingresos.

Los costos de las enfermedades asociadas al tabaquismo ascienden a 34% del costo total de salud pública en México, convirtiéndolo en uno de los problemas de salud pública prevenible más costosos (CEFP, 2018).

Para este proyecto de investigación es fundamental rescatar las problemáticas ambientales, económicas, culturales y de salud que tienen los cigarros de tabaco, desde el momento en que son producidos, hasta finalizado su ciclo de vida, que suele ser de un periodo de tiempo muy breve comparado con todo el proceso que involucra producirlos y aún más con los problemas de salud pública y contaminación ambiental que generan tras ser consumidos, principalmente en entornos urbanos, al ser el desecho con mayor presencia en espacios abiertos, se vuelve un tema fundamental encontrar alguna solución factible y viable para su manejo, gestión y posible reutilización.

3.6.2.3 Tratamiento y disposición actual

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el consumo mundial de tabaco se ha más que duplicado en los últimos 30 años. El consumo anual mundial de cigarrillos crea suficiente desperdicio de colillas para ocupar un volumen de más de 2,800,000,000 litros (2,800,000 m³). En México, cada año los 14 millones de fumadores consumen un aproximado de 5 mil millones de cigarros con filtro y estos a su vez llegan a ser arrojados a la vía pública, bosques, playas y otros ambientes naturales. De acuerdo con la SEDEMA, potencialmente el 65% de las colillas de cigarro terminan fuera de un depósito de desechos.

No obstante, aunque las colillas de cigarro fueran depositadas en espacios destinados a tal fin, no existe un tratamiento equivalente que asegure que no terminarán en ambientes naturales. En nuestro país, las colillas de cigarro una vez que son depositadas en contenedores, son mezcladas con el resto de residuos sólidos urbanos, lo cual impide que el tratamiento que reciban las exima de contaminar el medio ambiente y principalmente suelos urbanos. Aún depositadas en vertederos, por acciones del clima que no podemos controlar, como el viento y la lluvia, son transportadas a otros sitios, liberando en el transcurso de su trayecto todas las sustancias tóxicas que contienen.

El 29 de abril del 2016, la Cámara de Diputados resaltó que los desechos de cigarro representan un problema de salud pública importante dada su alta concentración de cadmio y otros metales pesados, por lo que deberían ser tratadas como residuos peligrosos los cuales pueden llegar a tardar hasta 25 años en degradarse. Los legisladores señalaron que las colillas representan una amenaza para el medio ambiente, ya que una sola puede contaminar de manera indirecta hasta 50 litros de agua (Garduño y Méndez, 2016).

Otras iniciativas fueron presentadas posteriormente en el 2019 (Orozco), entre ellas la que busca reformar la Ley de Residuos Sólidos. Esta iniciativa considera implementar multas a quien arroje las colillas de cigarro en la calle, también imponer la obligación a establecimientos mercantiles y oficinas de gobierno a manejar contenedores especiales para colillas de cigarro, en donde éstas puedan ser depositadas. A pesar de ello, no se ha logrado concluir alguna acción contundente; no se ha logrado disminuir el consumo de tabaco, ni los desechos generados en espacios públicos, pese al aumento del IEPS (Impuesto Especial Sobre Productos y Servicios) aplicado a los productos de tabaco y la prohibición de fumar en espacios públicos cerrados. Culturalmente, se ha normalizado el arrojar las colillas al suelo, en parte porque son un desecho incómodo de conservar debido a las sustancias que desprende y el aroma. Como conducta aprendida y aceptada, es aún más difícil concientizar a los fumadores sobre el impacto negativo que el tabaquismo pueden tener para su salud y el medio ambiente, sobre todo, si a nivel gubernamental no se toman acciones reguladoras tanto en el consumo de cigarros como en la disposición de las colillas, todo esto contemplado como un seguimiento integral en donde intervengan instituciones de salud pública y dependencias del estado relacionadas con el cuidado y protección del medio ambiente como son la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

En México, organizaciones no gubernamentales e instituciones educativas públicas y privadas han trabajado en proyectos de investigación sobre posibles métodos y soluciones para mitigar su impacto. Su trabajo ha consistido en llevar a cabo campañas de concientización sobre las consecuencias del tabaquismo y los productos que contienen tabaco y otros componentes tóxicos, principalmente las colillas de cigarro; estas campañas incluyen la disposición de colectores de colillas, difusión de información sobre la problemática y en algunos casos propuestas e investigaciones que las consideran como una alternativa de material reciclado; papel, objetos de plástico, paneles aislantes termo-acústicos, insecticidas, fertilizantes, etc.

3.6.2.4 Usos como material reconfigurado

Se recuperaron diversos trabajos de investigación, proyectos de tesis, experimentación y emprendimientos de empresas dedicadas al reciclaje que han seguido un método riguroso para lograr dichas acciones y que además han logrado llegar a conclusiones que permiten sentar las bases de futuras investigaciones como esta. A pesar de existir en demasía registros de distintos usos posibles, únicamente se mencionarán los más relevantes de acuerdo a la documentación recopilada disponible sobre los procedimientos y viabilidad de los mismos, esto, con la finalidad de dar un sustento sobre las sobresalientes posibilidades que tienen las colillas de cigarro de reciclarse.

De acuerdo con Sabaté (2018), una de las principales iniciativas en materia de reciclaje parte de algunas empresas tabaqueras, como la British American Tobacco, propietaria de algunas de las marcas más importantes de cigarrillos, como Dunhill, Lucky Strike y Pall Mall, que en conjunto con la empresa TerraCycle ha desarrollado un sistema de reciclaje masivo para cada uno de los componentes de las colillas.

En cuanto al papel que envuelve el filtro, éste se separa del mismo y se aplica en capas para formar cartones de embalaje, ya que se trata de un material celulósico de gran calidad. En el caso de los filtros, conformados por fibras de acetato de celulosa, se lleva a cabo un proceso de lavado para liberarlos de los componentes tóxicos, posteriormente se mezclan con otros plásticos como el polietileno o el polipropileno, se funden con calor y se convierten en plástico duro capaz de remodelarse como pallets utilizados para distintos fines como son carcasas de bolígrafos, ceniceros para espacios públicos (que a su vez sirven para recolectar nuevas colillas que serán recicladas por TerraCycle), juegos infantiles e incluso mobiliario urbano (figura 18 y 19). A su vez, el tabaco restante presente en las colillas es utilizado como insecticida y material de compostaje para especies vegetales no comestibles, sin embargo la empresa Terracycle no ha llevado al conocimiento colectivo el procedimiento mediante el cual se realiza el reciclaje del tabaco.

Hasta ahora, de acuerdo con la empresa, se ha logrado mantener el programa a flote, e incluso se ha conseguido que la British American Tobacco patrocine sus depósitos y programas de reciclaje para continuar financiando el proceso.

Es importante mencionar que Terracycle trabaja con gran cantidad de desechos sólidos, no únicamente colillas de cigarro, el éxito en sus campañas se encuentra en que involucra a los usuarios y consumidores, recolectando de manera gratuita los desechos sólidos generados y llevando a cabo campañas



Figura 18. (TerraCycle, s.f.) Mobiliario urbano elaborado a partir del acetato de celulosa y otros plásticos reciclados. Fotografía recuperada de la red.

Otra aplicación de las colillas de cigarro es la que da la diseñadora de modas Alexandra Guerrero en la industria de la moda. Para ello, se utilizan las hebras plásticas de los filtros para crear tejidos seminaturales al mezclarlas con una base de lana de oveja (Sabaté, 2018). El proyecto se denomina Mantis y de acuerdo con Guerrero, se recolectan y purifican los filtros de las colillas de cigarro sumergiéndolas en alcohol durante 24 hrs, logrando un 95% de purificación del acetato de celulosa. Posteriormente, el material es teñido de color e hilado a mano con la lana de oveja. Cada prenda de la firma Mantis posee un 10% de colillas de cigarro purificadas y 90% de lana.

Leopoldo Benítez (2012), fundó la empresa EcoFilter, trabajó durante varios años en una investigación que permitiera la degradación de las colillas de cigarro a partir de un proceso biotecnológico. Este proceso consiste en llevar a cabo ensayos de laboratorio en donde las colillas son sometidas a un proceso de biodegradación por medio de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*.

Los hongos utilizados en la investigación tienen la capacidad de degradar materiales constituidos por celulosa, hemicelulosa y lignina, además de la capacidad de degradar un amplio abanico de contaminantes (Benítez, 2012).

La degradación y desintoxicación de las colillas en un 25%, durante aproximadamente 15 días da como resultado que el acetato de celulosa se convierta en celulosa reutilizable para conformar un nuevo material, principalmente papel y una variedad importante de otros artículos como macetas, libretas y carcasas de bolígrafos. De acuerdo con Benítez, el acetato de celulosa sustituye a la celulosa obtenida de los árboles, logrando con ello aportar un avance que permite reducir la deforestación; una tonelada de colillas de cigarro, equivale a evitar la tala de 14 árboles para la fabricación de papel (figura 20).



Figura 19. (The Grocer, 2018) Cigarette butt recycling launched by JTI. Gráfico recuperado de la red.



Figura 20. (Rivera, A. 2018) Hacen celulosa para papel con colillas de cigarro, Gaceta UNAM. Gráfico recuperado de la red.

Siguiendo esta línea de investigación, Burich (2009) describió un método para reciclar colillas de cigarrillo. Inicialmente, los filtros de las colillas se eliminan de cualquier otro material que no sea el acetato de celulosa; como el papel, el tabaco y otras impurezas, esto con la finalidad de que el producto obtenido sea más puro y consistente. Posteriormente, los filtros se muelen y se agrega un solvente hasta llegar a la saturación, el solvente más efectivo de acuerdo con el investigador es la acetona, a su vez, se agregan alcoholes minerales para luego moldear y secar el producto resultante, cuya apariencia es semejante a

la de un plástico no endurecido. Una vez que las colillas procesadas se han endurecido o curado, el material puede transformarse en objetos útiles sin lixiviación de productos químicos al entrar en contacto con el agua.

Gómez, Maderuelo, Durán et. al. (2017) presentaron un trabajo de investigación en el 48° Congreso Español de Acústica (ver figura 21 y 22); encontraron que las propiedades de las colillas de cigarro (acetato de celulosa) son las equivalentes a la de los materiales utilizados para aislar acusticamente un espacio; son altamente fibrosas y porosas. Aunque convencionalmente en la absorción acústica de recintos está muy extendido el uso de materiales industriales sintéticos, tales como lanas minerales o fibras de vidrio, en los últimos años se han realizado estudios de materiales alternativos, muchos de ellos provenientes de fuentes naturales. Los investigadores realizaron pruebas en un laboratorio bajo distintas frecuencias de sonido que permitieron medir el coeficiente de absorción acústica. De acuerdo con los resultados, las colillas de cigarro tienen rangos de absorción muy elevados mostrando su potencial como absorbente acústico, alcanzando valores de coeficientes de transmisión muy parecidos o incluso más bajos que algunos materiales aislantes utilizados comúnmente. Estas investigaciones continúan en desarrollo además de que han sido retomadas y referenciadas por otros investigadores en el área.



Figura 21. (Sinc, 2017) Medición del coeficiente de transmisión acústica en colillas de cigarro
Gráfico recuperado de la red.



Figura 22. (Sinc. 2017) Las colillas de cigarrillos comprimidas en un contenedor especial para medir el coeficiente de transmisión acústico. Gráfico recuperado de la red.

Los anteriores proyectos de investigación y aplicación de las colillas de cigarro como un material reciclado han sido los más relevantes y compatibles en cuanto alcances con el presente proyecto de investigación, sin embargo existen otras propuestas no menos importantes que rescatar:

- Uso de la sustancia resultante de lavado de las colillas como insecticida, dada la toxicidad que conllevan (Dieng et al., 2013).
- Uso de la sustancia resultante de lavado de las colillas como inhibidor químico (Zhao et al., 2010).
- Uso de colillas pirolizadas como supercondensador (Lee et al., 2014).
- Separador de ánodo y cátodo en baterías de litio, debido a su estabilidad térmica y a sus características hidrofílicas (Huang et al., 2015).
- Uso de colillas tratadas para su utilización en un prototipo de panel acústico como elemento divisorio y constructivo (Luna, 2015).
- Incorporación de colillas a ladrillos (Kadir y Mohajerani, 2015).

Este último proyecto se ha tomado como caso análogo y se le dará seguimiento para continuar con la presente investigación, por ello resulta importante profundizar en los alcances del mismo en el siguiente apartado.

4.0 Caso análogo: Material compuesto de arcilla y colillas de cigarro

En capítulos anteriores, se abordaron de manera independiente las características y propiedades de las fases que conformarán el material compuesto que se propone; la arcilla, que conforma a los ladrillos tradicionales y el acetato de celulosa que conforma a las colillas de cigarros. El presente proyecto de investigación, da continuidad y sienta sus bases en el proyecto iniciado por el Dr. Mohajerani en el año 2015 “A practical proposal for solving the world’s cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks” (Una propuesta práctica para resolver el problema de colillas de cigarrillos del mundo: Reciclar en ladrillos de arcilla cocida), cuyo desarrollo continúa en curso, trabajando a partir de las primeras investigaciones y resultados obtenidos en 2015.

Justificado como un seguimiento del caso análogo, se pretende analizar a través de un acercamiento experimental, las propiedades físicas y mecánicas del material propuesto. Clasificado como un material compuesto por dos fases, se determina a la arcilla como el material matriz (fase continua) y al acetato de celulosa presente en las colillas de cigarro como el refuerzo (fase discontinua). Su comportamiento como refuerzo será analizado mediante la observación empírica y pruebas mecánicas de resistencia a la compresión individual y como sistema de mampostería, esto con la intención de documentar su comportamiento físico- mecánico. El proceso de investigación será guiado a partir de los procedimientos, pruebas y resultados obtenidos por el investigador citado anteriormente, aunque es importante resaltar que las condiciones y variables se presume no serán las mismas, debido en parte a las diferencias entre la composición física y química de las arcillas a utilizar, el estado de las colillas recolectadas, difiriendo en marcas, tipo y componentes físicos/ químicos, el equipo y materiales disponibles para realizar las pruebas experimentales, además de los requerimientos normativos vigentes en cuanto a resistencia en materiales de construcción en México respecto a los de Australia y finalmente, las limitaciones en los alcances de la investigación, al ser de carácter únicamente académico.

Durante el procedimiento experimental, se analizará cada una de las fases componentes, el proceso de conformación y manufactura que habrá de seguirse para dar origen a las muestras del material y finalmente, el análisis de sus propiedades físicas y mecánicas para que el material propuesto cumpla con los objetivos definidos en un principio, sobre todo, la factibilidad y

viabilidad de incorporarse como un nuevo material compuesto generado a partir del reciclaje en el campo de la arquitectura y la construcción.

A pesar de que la investigación realizada por Mohajerani y su equipo, abarcaron otros parámetros importantes en cuanto al análisis de las propiedades del material, incluyendo las químicas, como el análisis de fluorescencia y propiedades microestructurales de la arcilla, en este trabajo de investigación únicamente se limitarán como prioritarias las principales propiedades físico-mecánicas para que el material pueda responder ante una aplicación estructural y no estructural, dependiendo del uso específico al que esté destinado, aspecto que se justifica de acuerdo al porcentaje de acetato de celulosa contenido en la mezcla, como se mencionará a continuación.

En la tabla 7 se observan las principales propiedades mecánicas analizadas por Mohajerani, para pruebas con contenido en colillas del 0% al 10% (ver tabla 6 y figura 23). Los resultados arrojados en pruebas arriba del 5% en contenido en colillas, muestran que no tienen las características necesarias para emplearse como material estructural, sin embargo puede resultar en un material más ligero, con una menor conductividad térmica- acústica y representar un mayor ahorro energético durante su proceso de producción.

Propiedades físicas y mecánicas de las muestras realizadas						
% colillas en mezcla	Fuerza de compresión	Fuerza de flexión	Absorción de agua	Grado inicial de absorción de agua	Contracción lineal total	Densidad promedio
0.0 %	25.65 MPa	2.79 MPa	5.0%	0.2 kg m ⁻² min ⁻¹	6.44%	2118 kg m ⁻³
2.5 %	12.57 MPa	2.48 MPa	9.0%	1.4 kg m ⁻² min ⁻¹	6.78%	1941 kg m ⁻³
5.0%	5.22 MPa	2.40 MPa	15.0%	2.3kg m ⁻² min ⁻¹	7.23%	1611 kg m ⁻³
7.5%	3.00 MPa	1.30 MPa	18.0%	4.1 kg m ⁻² min ⁻¹	9.01%	1591 kg m ⁻³
10.0%	3.00 MPa	1.24 MPa	18.0%	4.9 kg m ⁻² min ⁻¹	7.67%	1482 kg m ⁻³

Tabla 6. (Daniela Cruz Martínez, 2021). Propiedades de las muestras analizadas con base en el material de Mohajerani, Kadir y Larobina, en A practical proposal for solving the world’s cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks, 2016.



Figura 23. (Mohajerani y Kurmus, 2017) Muestras con contenido de acetato de celulosa. Recycling of Cigarette Butts in Fired Clay Bricks: A New Laboratory Investigation. Gráfico recuperado de la red.

En la tabla 7, se muestran las propiedades mecánicas de las pruebas con contenido en colillas de cigarro del 0% y 1% (ver figura 24). Para la investigación de Mohajerani, et. al. (2020), la incorporación del 1% en colillas, apenas difiere de las propiedades mecánicas de la prueba muestra, por lo que se sugiere que las colillas sean incorporadas al material de arcilla en esta cantidad, tratando de preservar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos comunes de arcilla.

Comparación de las propiedades físicas y mecánicas de muestras control (0%) y propiedades estimadas para ladrillos con 1% de colillas.						
% colillas en mezcla	Fuerza de compresión	Fuerza de flexión	Absorción de agua	Grado inicial de absorción de agua	Contracción lineal total	Densidad promedio
0.0 %	25.65 MPa	2.79 MPa	5.0%	0.2 kg m ⁻² min ⁻¹	6.44%	2118 kg m ⁻³
1.0%	19. 53 MPa	2.73 MPa	7.4 %	0.64 kg m ⁻² min ⁻¹	6.68%	2008 kg m ⁻³

Tabla 7. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Propiedades de las muestras analizadas con contenido en colillas del 0% y el 1%, con base en el material de Mohajerani, Kadir y Larobina, en Recycling of cigarette butts in fired clay bricks: a new laboratory investigation, 2020.

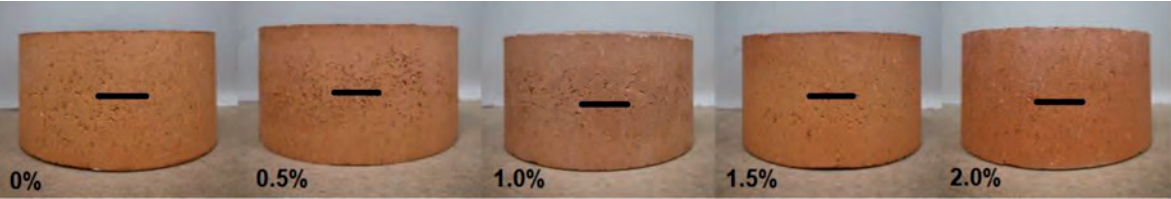


Figura 24. (Mohajerani y Kurmus, 2017) Muestras con porcentajes distintos de acetato de celulosa. Recycling of Cigarette Butts in Fired Clay Bricks: A New Laboratory Investigation. Gráfico recuperado de la red.

4.1 Consideraciones de diseño

La inclusión de colillas en los ladrillos, de acuerdo con Mohajerani, tiene el potencial de reducir el uso de energía durante la cocción del material cerámico, además de disminuir su conductividad térmica (Mohajerani y Kurmus, 2020). Actualmente, la eficiencia energética y las preocupaciones ambientales se han convertido en un problema tan grande como la calidad y costo en la fabricación de ladrillos, debido a una mayor conciencia de los efectos de su producción sobre el medio ambiente y el alto consumo energético que esto implica (Koroneos y Dompro, 2007). Se ha estimado que el consumo de energía para disparar un solo ladrillo oscila entre 2.5 y 14.9 MJ, (Zhang, 1997), según el horno y el método de cocción utilizado. El acetato de celulosa es un contenido inorgánico que podría hacer una contribución positiva al proceso de cocción en la manufactura de ladrillos. Esto a través de la reducción del tiempo de cocción, ya que la energía requerida para disparar las muestras podría reducirse significativamente debido a la presencia de este

polímero con alta capacidad calorífica.

Para comprobar que el material una vez elaboradas las muestras es apto para ser utilizado con fines constructivos y cumplir con los parámetros de funcionamiento, es necesario someterlo a una serie de pruebas físicas y mecánicas especificadas en la normativa aplicable en materiales de mampostería.

De acuerdo con las características del presente proyecto de investigación, las pruebas de resistencia mecánica a la compresión serán limitadas en número y cantidad y representarán únicamente una primera fase de las etapas que podrían desarrollarse en la investigación en un futuro, esto considerando todas las posibles propiedades a evaluar del material compuesto generado.

Se menciona de manera breve algunas de las propiedades más importantes a considerar previo a la elaboración de las muestras, algunas de estas propiedades únicamente serán observadas de manera empírica:

- Resistencia a la compresión: el material al ser sometido a una carga estructural determinada deberá cumplir sin llegar a la fractura ni propagación de grietas. Al incorporar el acetato de celulosa en la mezcla de arcilla, se deberá cuidar que la porosidad causada por el material inorgánico no reduzca de manera importante su resistencia, la cual deberá estar dentro de los límites permisibles de acuerdo con los requerimientos normativos aplicables en materiales a base de mampostería.
- Absorción de agua y fase de absorción inicial: La capacidad total de absorción de agua determina la capacidad y el rendimiento potencial del ladrillo en la colocación y durabilidad ante agentes externos como la lluvia y el vapor de agua, si el material presenta índices elevados de absorción comparado con un ladrillo convencional, su durabilidad se verá afectada, causando con el paso del tiempo desgaste físico y mecánico. La adición de acetato de celulosa en la mezcla, deben representar un incremento mínimo en la absorción de agua del material.
- Densidad: La densidad de un material también determina en parte su resistencia, por el contrario a los materiales macizos y pesados, los materiales porosos y poco densos suelen tener menor capacidad de carga y son más propensos a presentar condiciones de fragilidad.
- Porosidad: Los ladrillos son materiales porosos, lo que les permite regular su conductividad térmica, sin embargo una porosidad excesiva puede causar que el material sea excesivamente frágil y no apto para soportar cargas estructurales. Los materiales inorgánicos como los filtros de cigarro compuestos por acetato de celulosa tienen índices de combustión mucho más altos que las arcillas, por lo que al pasar por el proceso de cocción

pueden dar como resultado la formación de un mayor número de poros debido a que las mismas se queman y generan vacíos al reducir su volumen. Un aumento en la porosidad, de acuerdo con el caso análogo, podría traer una mejora en la conductividad térmica (disminución), además de aligerar el peso del material, sin embargo, también podría causar una menor resistencia mecánica.

Por otra parte, con relación a la conductividad térmica, se descubrió, de acuerdo con Erker (2002) y Galal (1985), que cuanto mayor es el consumo de energía durante el proceso de cocción, mayor es la conductividad térmica de los ladrillos. Por lo tanto, la incorporación de materiales aditivos con índices de combustión menores puede crear vacíos dentro de la estructura y reducir el consumo energético durante el proceso de cocción, esta propiedad física se plantea pueda ser analizada en una etapa posterior de la investigación.

Se consideran estas las principales propiedades a considerar para que el material pueda ser implementado en nuestro contexto, trayendo beneficios en la composición y estructura del material convencional, ahorros energéticos y ambientales durante el proceso de producción y principalmente cumplir con una función constructiva, aunque no se descarta que durante el proceso de experimentación y evaluación surjan otras variables importantes a considerar.



5.0 Fase experimental del material compuesto

5.1 Metodología experimental del material compuesto

Previo a la elaboración de muestras del material compuesto, se definieron tres variables principales a considerar en esta etapa:

- La selección de materiales involucrados en la elaboración de muestras.
- La proporción de cada uno de los materiales involucrados para generar las muestras.
- El dimensionamiento de las muestras.

5.1.1 Materias primas a utilizar en la elaboración de muestras del material compuesto

El acetato de celulosa es un residuo valioso por lo observado durante investigaciones previas; sus propiedades acústicas, térmicas y su resistencia como fibra derivada de un bioplástico, que además formando parte de los cigarrillos representa un residuo altamente contaminante que genera importantes problemas ambientales pero que a su vez es también altamente reciclable y reconfigurable.

Por otra parte, los ladrillos de arcilla son un material valorado por sus propiedades térmicas, estéticas y posibles usos dentro de la arquitectura y la construcción, sin embargo la cantidad de energía utilizada para sus procesos de producción es enorme, además de que involucra el uso de combustibles no renovables y emisiones de gases contaminantes que afectan de manera importante la atmósfera; vapor de agua (H₂O), oxígeno (O₂), monóxidos de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), amoníaco (NH₃), cloro (Cl₂) y flúor (F). Estas emisiones volátiles pueden ser graves fuentes de contaminación ambiental en altas concentraciones (Morgan, 1993).

De acuerdo con Mohajerani y Kurmus (2020), incorporar el acetato de celulosa reciclado en la producción de ladrillos de arcilla común tiene el potencial de reducir el uso de energía durante el proceso de cocción y las emisiones tóxicas liberadas hacia el medio ambiente en los hornos.

Colillas de cigarro: acetato de celulosa

El acetato de celulosa se recuperó a partir del reciclaje de colillas de cigarro, que fueron recolectadas en su mayoría en espacios públicos. De las colillas de cigarro recolectadas únicamente la fibra plástica (acetato de celulosa) fue separada, tratada e incorporada en la mezcla que conforma tradicionalmente a los ladrillos de arcilla. El porcentaje de acetato de celulosa a incorporar en la mezcla representó aproximadamente el 1% del peso final de los ladrillos (2.3 kg en total por unidad en promedio, es decir 2.3 g de acetato de celulosa por ladrillo).

A continuación, se describe el procedimiento mediante el cual a partir de las colillas de cigarro recolectadas se obtuvo el acetato de celulosa necesario para incorporar en la mezcla del material compuesto.

Obtención del acetato de celulosa

La recolección de colillas de cigarro para la obtención del acetato de celulosa se llevó a cabo durante dos meses (ver figura 25) utilizando para ello tres métodos de recolección distintos:

- **Recolección en espacios públicos:** la recolección se llevó a cabo en calles, banquetas, parques públicos, jardines, puentes y andadores peatonales. Las colillas de cigarro se recolectaron utilizando guantes quirúrgicos y depositándolas en bolsas de plástico y envases reciclados de tetrapack.
- **Recolección mediante la instalación de contenedores:** las colillas fueron recolectadas mediante la instalación de envases reciclados de tetrapack y botellas de plástico en sitios como estaciones de taxis, paradas de autobús, restaurantes y bares (ver figura 26), informando a los usuarios comunes que estos contenedores estaban destinados para ese fin, lo cual también los involucró en el proceso de recolección activa y concientización del impacto de este residuo. Las colillas que los fumadores usualmente arrojaban a la calle, comenzaron a depositarlas en los envases instalados.
- **Recolección voluntaria por parte de fumadores:** se buscó el apoyo voluntario de fumadores dispuestos a recolectar sus colillas de cigarro en envases y bolsas de plástico para después entregarlas, aunque el impacto fue menor con este método de recolección en cuanto a cantidad de colillas recolectadas, también fue una importante herramienta para concientizar a los fumadores sobre hábitos de consumo y responsabilidad en la gestión de sus desechos.



Figura 25. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Colillas recolectadas en espacios públicos durante dos meses en bolsas plásticas.



Figura 26. (Cortesía de voluntario, 2020) Recolección de colillas de cigarro en un bar de la Ciudad de México.

Tratamiento y limpieza de colillas para obtener acetato de celulosa

Las colillas recolectadas se separaron de cualquier otro residuo orgánico e inorgánico que pudieran contener (ver figura 27), también se retiraron residuos de cenizas y el papel de lino que envuelve al filtro, el cual es importante resaltar que también es altamente reciclable para la fabricación de cartones de embalaje y papel.

Se procedió a abrir los filtros por la mitad para liberarlos de cenizas, restos de tabaco y otros residuos del cigarro como cápsulas de sabor, se descomprimieron en partes más pequeñas hasta que ya no presentaron residuos aparentes, después el material resultante fue almacenado en bolsas plásticas sellables para su posterior limpieza.

La limpieza de filtros se realizó de manera manual, con el uso de guantes, cubrebocas y lentes plásticos para evitar el contacto directo con los componentes tóxicos del cigarro (ver figura 28). Posterior a la limpieza, siguiendo el procedimiento realizado por Pinzón, Moyano, et al. (2017), el acetato de celulosa fue calentado en un horno durante dos minutos para reducir la humedad generada tras el proceso de limpieza, seguido a ello, se dejó secar en un ambiente interior ventilado durante una semana, periodo de

tiempo en el cual perdió el olor a nicotina, partículas de cenizas y la humedad restante.



Figura 27. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Limpieza y separación de residuos de los filtros del cigarro.

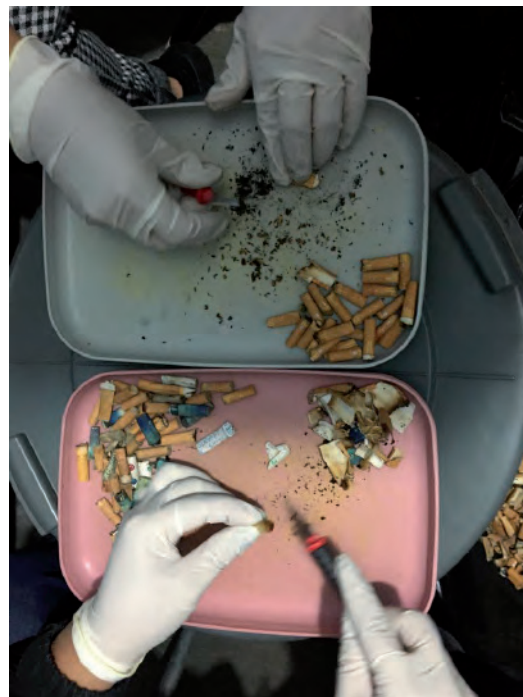


Figura 28. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Limpieza de residuos utilizando material especial.

Transcurrido el tiempo de secado, el acetato de celulosa se desintegró en fragmentos de fibras aún más pequeños para que fuera posible adherirse a la mezcla con arcilla y agua de manera uniforme. Para lograr una adecuada desintegración, tras un proceso de desmenuzado manual (ver figura 29 y 30) fue necesario utilizar una licuadora doméstica, donde por alrededor de 15 segundos el acetato de celulosa fue triturado en pequeños lotes hasta que adquirió una apariencia uniforme, similar a la lana (ver figura 31 y 32).

El papel que envuelve el filtro y el tabaco con las cenizas fueron separados para su tratamiento como desecho (ver figura 33 y 34). El residuo de tabaco y cenizas fue desechado en bolsas perfectamente selladas, asegurando que el material no se liberara al ser depositado en un vertedero. A pesar de no representar la mejor solución para este desecho, actualmente no existe un tratamiento residual efectivo para evitar su dispersión y contaminación, por lo cual sería beneficioso plantear la importancia de investigaciones futuras sobre el reciclaje de estos residuos o en su defecto, la correcta gestión para ser tratados como residuos peligrosos, ya que deberían manipularse de manera independiente a otros residuos sólidos urbanos comunes, debido a la contaminación ambiental y toxicidad que pueden llegar a liberar, como ya se ha mencionado en capítulos anteriores.



Figura 29 y 30. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Desintegración manual de los filtros de acetato de celulosa.



Figura 31 y 32. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Acetato de celulosa con apariencia similar a una fibra textil tras triturarse en la licuadora.

Arcilla

La arcilla conforma la matriz del material compuesto, es la principal materia prima utilizada en la elaboración de ladrillos. Las arcillas son un componente de los suelos que se conforman a partir de agregados muy finos de silicatos. Para que los suelos puedan considerarse aptos para elaborar ladrillos y otros



Figura 33 y 34. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Separación del tabaco y papel de lino para su adecuado tratamiento como desechos.

materiales cerámicos estructurales, las partículas que los conforman deben ser arcillas casi en su totalidad, pudiendo contener una mínima fracción de arena que ayudará a restar la plasticidad excesiva resultante en las arcillas una vez que estas son mezcladas con agua.

El suelo empleado en la elaboración de las muestras del material compuesto fue extraído directamente de la ladrillera donde se elaboraron las muestras (ver figura 35); Santa María Huexoculco, Estado de México. No se realizaron pruebas de granulometría ni caracterizaciones físicas del material, debido a que no se contó con el equipo necesario ni las instalaciones adecuadas para llevarlas a cabo. Una vez extraída la materia prima, fue almacenada en un banco durante dos días previos a la elaboración de las muestras, cubierta de la intemperie y humedecida con agua.

Agua

El agua tiene la función de dotar de plasticidad a las arcillas, de acuerdo con Cruz (2021), si se humedece arcilla seca, esta se expande y el agua se desliza entre sus estructuras laminares, cuando el agua se evapora la distancia entre estructuras laminares se reduce, generando atracción eléctrica entre partículas, lo que dota a la arcilla de fuerza aglutinante, propiedad que se verá reflejada en su resistencia y dureza posterior al periodo de secado y horneado. El agua empleada en la mezcla se obtuvo de un depósito expuesto a la intemperie ubicado en la ladrillera (ver figura 36), por lo que un control de contenido de materia orgánica, sales y otros contaminantes que pudiesen

mermar su calidad no fue posible de llevar. La cantidad de agua agregada a la mezcla en proporción con la arcilla fue del 20% aproximadamente.



Figura 35. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Obtención del suelo utilizado para la elaboración de muestras.



Figura 36. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Obtención del agua en sitio para incorporarla a la mezcla.

Aserrín

El aserrín es un material utilizado de manera común en las ladrilleras para restar plasticidad a la arcilla, volverla más moldeable y reducir la cantidad de arcilla empleada en la mezcla. El material a emplear para lograr estas condiciones puede variar de acuerdo a la región y métodos de las ladrilleras, utilizándose también la viruta de madera, cascarilla de arroz, entre otros desechos orgánicos. El aserrín fue utilizado única y exclusivamente para las muestras control (muestras sin contenido de acetato de celulosa, este se obtuvo de los depósitos existentes en la ladrillera, la proporción del material fue del 5% aproximadamente en relación con la proporción de arcilla en la mezcla.

5.1.2 Dimensiones de las muestras del material compuesto

Tomando en cuenta el número de ensayos mecánicos de resistencia indicados a realizar de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería y las Normas Mexicanas (NMX) referentes a la construcción con mampostería, se determinó fabricar 80 muestras repartidas equitativamente en dos distintos tipos de mezclas;

muestras testigo y muestras con contenido de acetato de celulosa. Las dimensiones de las muestras se ilustran en la figura 37, ambos tipos de muestras se elaboraron con las mismas dimensiones.

Dimensiones de las muestras	
a	24 cm
b	12 cm
c	5.5 cm

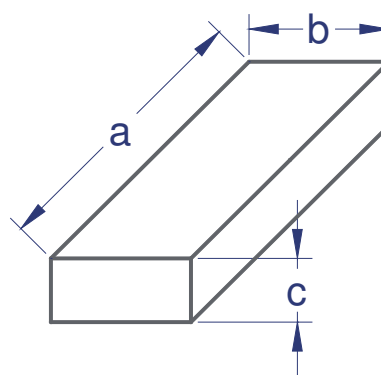


Fig. 37 (Daniela Cruz Martínez, 2021) Dimensiones estandarizadas de las muestras del material compuesto

Tamaño de moldes y muestras

Las muestras elaboradas conservaron el tamaño de los ladrillos elaborados habitualmente en la ladrillera, con la intención de no modificar sus propiedades y poder aprovechar los moldes ya existentes. Los moldes utilizados estaban conformados a partir de perfiles de PTR de 2 pulgadas, formando una rejilla con capacidad de moldear 10 piezas a la vez (ver figura 38), las rejillas a paño interno tenían como dimensiones 12 cm de ancho x 24 cm de largo y 5 cm de altura, dimensiones con las que los ladrillos fueron moldeados.

5.1.3 Diseño de las proporciones de los materiales involucrados para generación de muestras

Como se mencionó en el apartado anterior, se diseñaron 2 mezclas con variación en el contenido de acetato de celulosa. Una mezcla control con 0% contenido de acetato de celulosa y una mezcla con contenido del 1% equivalente al peso total de una muestra de ladrillo.

Por cada tipo de mezcla se fabricaron 40 muestras, el número de muestras estuvo determinado por los ensayos y pruebas mecánicas requeridos de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, así como las Normas Mexicanas (NMX) sobre Mampostería, esto con la intención de probar su resistencia estructural y verificar su cumplimiento con la normativa mencionada.

Muestras con contenido de acetato de celulosa

Las proporciones de arcilla equivalieron a un bote de 20 kg por cada 10 muestras elaboradas, agregando el 20% proporcional de agua medida en el mismo bote. No fue posible medir las cantidades exactas en sitio debido a las condiciones de elaboración, falta de instrumentos y equipo de medición exacta, por lo que todos los materiales involucrados en la mezcla se agregaron de acuerdo a proporciones estimadas obtenidas y medidas en sitio.

Inicialmente, se planteó realizar dos tipos de muestras con contenido de acetato de celulosa; con el 1% y 2.5% en contenido respectivamente, sin embargo, al ser un material demasiado ligero y por lo contrario generar un gran volumen en estado no comprimido, la proporción tuvo que reducirse con un máximo del 1%, una vez que en sitio se observó que al incrementar la cantidad de acetato de celulosa la mezcla se volvía más difícil de manipular y lograr (ver figura 39), sobre todo considerando que se llevó a cabo mediante medios manuales. De haberse utilizado las proporciones sugeridas inicialmente, la mezcla homogénea entre arcilla, agua y el acetato no se hubiera dado, además de requerir mayor cantidad de agua, lo que podía resultar en el aumento considerable de la plasticidad en la arcilla y pasar del estado plástico al fluido, comprometiendo con ello su resistencia. Con el 1% en contenido de acetato de celulosa, la mezcla pudo realizarse sin dificultades (ver figura 40 y 41).



Figura 38. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Molde de PTR utilizado para fabricar las muestras.



Figura 39. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Acetato de celulosa en la mezcla con arcilla y agua.

Cabe aclarar que el peso de cada filtro es de 0.16 g. aproximadamente (Cigabrick, 2018) en promedio, por lo que de haber continuado con la proporción sugerida al inicio, hubiese sido necesario agregar más de 200 colillas para representar apenas el 2.5% del peso total de una sola muestra, comprometiendo la cantidad de acetato de celulosa disponible.



Figura 40. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Elaboración de la mezcla con 1% de acetato de celulosa.



Figura 41. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Mezcla final con 1% de acetato de celulosa.

Muestras control

Para las muestras control, se siguió el mismo orden en las proporciones de la mezcla (1% en contenido), únicamente sustituyendo el acetato de celulosa por aserrín (ver figura 42 y 43).



Figura 42. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Mezcla con contenido del 1% de acetato de celulosa.



Figura 43. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Mezcla con contenido del 1% de acetato de celulosa.

5.2 Definición del proceso constructivo de las muestras

Teniendo definidos los materiales, dimensiones, mezclas y número de muestras a fabricar, se concretó el proceso a seguir para la fabricación del material compuesto. Dicho proceso se dividió en las etapas en las que tradicionalmente se fabrican los ladrillos de arcilla:

- Mezclado de la arcilla con agua para ganar humedad y trabajabilidad.
- Mezclado de la arcilla en estado plástico con el aserrín o acetato de celulosa, dependiendo del tipo de mezcla.
- Moldeado del material en rejillas metálicas de sección interior equivalente al tamaño de la muestra.
- Desmoldeado del material en suelo limpio cubierto con una capa ligera de arena para evitar desprendimientos en la mezcla.
- Secado de las muestras al sol durante un periodo de 15 días completos, para liberar parte importante de la humedad tras el proceso de fabricación.
- Horneado de las muestras durante un periodo de 4 días, periodo de tiempo en el que la arcilla pasaría a adquirir sus propiedades finales de resistencia.
- Enfriamiento de las muestras, durante un periodo de 4 días más al interior del horno, evitando cambios drásticos de temperatura que pudieran causar choques térmicos en el material.
- Almacenamiento de las muestras durante 3 días más en la ladrillera hasta que fueron recogidas.

5.3 Procedimiento de elaboración de las muestras

Las muestras control fueron elaboradas con el procedimiento, materiales y proporciones comúnmente utilizados en la ladrillera, en este procedimiento el aserrín es utilizado como un material adicional para restar plasticidad a la mezcla de arcilla y agua, reducir la cantidad de tierra empleada y volver al material más ligero tras el proceso de cocción. El aserrín se agregó después de mezclar la arcilla con el agua, para ello se midió la cantidad de aserrín equivalente a aproximadamente 1% del peso de la arcilla, hasta que la mezcla desarrolló la plasticidad necesaria. Posteriormente, se procedió a colocar la mezcla en el molde, desmoldar y completar las 40 muestras correspondientes. Las muestras con contenido de acetato de celulosa en 1% también se realizaron bajo los procedimientos y proporciones comúnmente empleados en

la ladrillera, a excepción de la cantidad de acetato de celulosa, que sustituyó en la mezcla al aserrín. La intención de conservar las proporciones, materiales y procedimientos fue para obtener propiedades comparables, con una sola variable; aserrín o acetato de celulosa.

Con la proporción del 1% de acetato de celulosa se observó una mezcla manejable y con suficiente plasticidad aparente. Se realizó en sitio la prueba de límite plástico con ambas mezclas (ver figura 44 y 45), ambas mostraron buena resistencia y trabajabilidad sin llegar a la ruptura. De acuerdo con Aquino (2015), la arcilla plástica de buena calidad es aquella que al momento de realizar la prueba presenta únicamente grietas pequeñas y poco profundas, lo cual la vuelve útil para la fabricación de ladrillos. Por otra parte, no se mostraron grietas o desprendimiento del material al momento de desmoldarlas (ver figura 46 y 47).



Figura 44. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Prueba de límite plástico en muestras con acetato de celulosa.



Figura 45. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Mezcla lograda de aserrín, arcilla y agua.

Proceso de secado de las muestras

Las muestras se mantuvieron en la ladrillera para el proceso de secado, durante 15 días fueron expuestas al sol, manteniendo una distancia considerable entre ellas hasta que pudieran apilarse (ver figura 48). Para que las muestras tras apilarse no adquirieran ganancias de humedad se buscó utilizar soportes para evitar el contacto directo con el suelo (ver figura 49).



Figura 46 y 47. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Mezclas desmoldadas sin desprendimiento del material.



Figura 48. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Muestras tras los primeros días del secado.



Figura 49. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Muestras desmoldeadas.

Proceso de cocción de las muestras

El proceso de cocción se llevó cabo cuando las muestras no presentaron ya humedad aparente, durante el mismo, las muestras fueron adquiriendo sus propiedades físicas y mecánicas finales, como se ha mencionado, el proceso de cocción es el más importante en la fabricación de materiales cerámicos, ya que las altas temperaturas permiten generar enlaces resistentes entre las

partículas de arcilla, eliminando los restos de agua y humedad que podrían contribuir a reducir la resistencia mecánica y a la intemperie de las muestras. El proceso de horneado se llevó a cabo en el horno artesanal de la ladrillera, construido a partir de muros de sillares de adobe y piezas de ladrillo (ver figura 50). El horno contaba con la capacidad de hornear un lote completo de la producción común de ladrillos en la ladrillera (1 millar por lote). El funcionamiento del horno se controló de manera manual por el personal encargado. Para mantener el fuego se adicionaron materiales combustibles como son el aserrín y otros residuos maderables (ver figura 51).



Figura 50. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Horno utilizado durante el proceso de cocción.



Figura 51. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Aserrín utilizado como material combustible.

Las muestras fueron colocadas con la separación suficiente para asegurar que se cocieran de manera uniforme, el aumento de la temperatura se llevó de manera gradual, aunque no se contó con equipo ni instrumentos que pudieran llevar un registro exacto, se calcula que la máxima temperatura alcanzada estuvo entre los 800°C y los 900°C.

El horno se mantuvo activo durante 4 días y 3 noches completas, periodo de tiempo en el cual se lleva a cabo el proceso de cocción de los ladrillos.

Transcurrido el tiempo de cocción, las muestras se dejaron al interior del horno, con la intención de que se enfriaran de manera progresiva y constante, evitando exponerlas a diferencias drásticas de temperatura que pudieran generar un choque térmico.

Tras el proceso de cocción y reposo de las muestras, se extrajeron sin observar rompimientos, desgaste, grietas importantes o desprendimiento del material en ninguna de las 80 muestras realizadas, por lo que se consideró que de

acuerdo con las observaciones visuales inmediatas las muestras realizadas eran aptas para continuar con las pruebas y ensayos experimentales de resistencia mecánica para comprobar su resistencia estructural.

Transcurrido el tiempo de enfriamiento, las muestras se mantuvieron 3 días más en la ladrillera al exterior. Posteriormente se transportaron para poder ser elaborados los ensayos de resistencia mecánica a la compresión en muestras individuales, muretes, pilas y absorción total de agua en piezas individuales. Durante el periodo de almacenamiento, las muestras, se cubrieron y separaron del contacto directo con el piso, para evitar el paso de humedad y contacto con el agua. No se observaron agrietamientos importantes en el material ni desprendimientos que impidieran la utilización de las muestras como probetas en los ensayos a realizar. Durante el periodo de almacenamiento, se tomó un registro fotográfico periódico de las muestras (ver figura 52) y las dimensiones de las mismas (ver figura 53). Al tomarse las dimensiones, se observó que en promedio todas las piezas disminuyeron su área, esto debido al proceso de contracción que experimenta la arcilla tras el proceso de cocción y enfriamiento, además de la pérdida del volumen de agua que provocó la contracción del material. Las dimensiones promedio finales de las muestras al momento de ser registradas fueron 23.5 cm (largo) x 11.5 cm (ancho) x 5.5 cm (alto). Hubo una disminución proporcional en las dimensiones de las muestras de aproximadamente 0.5 cm a lo largo y ancho, aunque en cada pieza se



Figura 52. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Muestras almacenadas para ser probadas.



Figura 53. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Toma de dimensiones de las muestras.

observaron dimensiones con variaciones milimétricas que no resultaron significativas.

Observaciones en las muestras durante su almacenamiento

Se observaron diferencias mínimas entre ambos tipos de muestras durante las inspecciones visuales realizadas periódicamente. No se observó de manera aparente una disminución del peso en las muestras elaboradas con el 1% en contenido de acetato de celulosa, aunque este aspecto se verificó durante la elaboración de los ensayos de resistencia mecánica, cuyos resultados se mostrarán posteriormente en el apartado 6.3.

Ambas muestras presentaron una coloración similar, textura y forma, con ligeros desprendimientos del material en las esquinas tras ser transportado desde la ladrillera. En algunas piezas pertenecientes a ambas muestras se observó una coloración no uniforme, se presume que podría ser un efecto de las variaciones de temperatura no controladas en el horno o la presencia de sales que pudieron afectar la composición de arcilla, ya que no hubo un control que permitiera eliminar elementos ajenos a la arcilla en la mezcla.

Se realizó un corte transversal en dos ejemplares pertenecientes a los dos tipos de muestra, para observar la apariencia interna del material y su nivel de porosidad, una de las principales propiedades que se consideraba podía modificarse con la adición del acetato de celulosa, pudiendo tender a volverse mayormente poroso y por tanto ligero.

En la figura 54, se observa un ejemplar de la muestra control (con contenido de aserrín), mientras que en la figura 55 se observa un ejemplar de la muestra con contenido de acetato de celulosa al 1%, ambos en su sección transversal. Al comparar ambos ejemplares, es apreciable una diferencia en la porosidad del material, ya que el ejemplar perteneciente a las muestras control muestra poros más pequeños y uniformes, mientras que el ejemplar perteneciente a las muestras con contenido de acetato de celulosa muestra mayor cantidad de poros, con mayores dimensiones e irregulares, aunque se presume no lo suficientemente importantes para considerar una afectación en la estructura del material.



Figura 54. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Ejemplar perteneciente a las muestras control en corte transversal.



Figura 55. (Daniela Cruz Martínez, 2020) Ejemplar perteneciente a las muestras con contenido del 1% de acetato de celulosa en corte transversal.

5.4 Comportamiento esperado del material

Con base en las propiedades citadas anteriormente en el caso análogo, es posible prever de qué manera se comportará el material compuesto y si cumplirá con los objetivos planteados al inicio del presente trabajo de investigación.

Se espera que la incorporación del acetato de celulosa a la matriz de arcilla modifique al mínimo sus propiedades originales. De acuerdo con Mohajerani, incorporar el 1% de acetato de celulosa en peso a la masa total de los ladrillos no causa alteraciones significativas en su comportamiento ni en sus propiedades físicas y mecánicas. Debido a que durante la fase experimental de elaboración de las muestras se continuó con esta proporción, se prevé que los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia mecánica aplicados al material puedan mantener sin variaciones importantes las mismas propiedades de resistencia observadas en las muestras control y que por tanto, sea posible plantear un uso estructural para el material compuesto.

El acetato de celulosa posee propiedades como fibra que se presume podrían contribuir a mejorar el comportamiento térmico del material compuesto, reduciendo su índice de conductividad térmica y por ende, es posible que la implementación del material compuesto en la construcción represente una reducción en el uso de aparatos eléctricos de ventilación o extracción de aire, lo cual también traería un beneficio en el costo de mantenimiento de una vivienda o cualquier espacio habitable, además de la reducción de contaminantes ambientales generados por el consumo excesivo de electricidad, principalmente en aparatos de aire acondicionado. Estudios relacionados con el tema se mencionaron con anterioridad, en donde se plantea al acetato de celulosa extraído de colillas de cigarro como un efectivo aislante térmico y también acústico. En estos estudios, los resultados fueron ventajosos y mostraron importantes ventajas con respecto a materiales aislantes convencionales.

Además, se prevé que el índice de contenido en porcentaje de acetato de celulosa determine qué tan eficiente es la reducción de la conductividad térmica en el material. Entre mayor sea el contenido de acetato de celulosa en la mezcla, la conductividad térmica podría disminuir hasta en un 38% de acuerdo con el caso análogo (incorporando el 10% de la masa total en colillas), sin embargo, esto reduciría drásticamente la resistencia mecánica del material, volviéndolo poco apto para fines estructurales. Incorporando, por lo contrario el 1% de la masa total en colillas, la conductividad podría reducirse hasta un 16% con respecto a los ladrillos de arcilla convencional.

Debido a esto, es posible prever una relación de comportamiento que defina que a mayor cantidad en porcentaje de acetato de celulosa agregado a la matriz, mayor será la ligereza, porosidad, ahorro de energía en el proceso de cocción y disminución de la conductividad térmica, pero también, a mayor cantidad en porcentaje de este compuesto, el uso del material como elemento estructural podría verse afectado y limitado, además de comprometer su resistencia ante condiciones ambientales en el caso del uso exterior, no obstante, se plantea que los ladrillos con un mayor contenido de colillas en su mezcla, puedan ser utilizados como elementos no estructurales en fachadas y muros divisorios, logrando con ello reducir la extracción de materia prima (arcilla) del suelo, ya que es un recurso natural agotable, que no es sostenible seguir explotando, además también podría beneficiar a las edificaciones representando menor peso a la estructura y reduciendo con ello las cargas muertas innecesarias. Así, el uso del material, estructural o no estructural estaría definido por la cantidad de acetato de celulosa presente en la mezcla. Se espera que el presente trabajo de investigación pueda tener un impacto positivo en la difusión de la reutilización y reciclaje de materiales en la arquitectura y la construcción, ya que este último es uno de los sectores más contaminantes, más materias primas y recursos naturales consume y desechos genera, además de que no existe un manejo adecuado de los mismos, ni interés por recuperar materiales de construcción y menos aún materiales provenientes de otras industrias.

El sugerir la incorporación de acetato de celulosa recuperado de colillas de cigarro en ladrillos convencionales, se plantea como uno de los muchos posibles usos que podría tener este material, resaltando sobre todo la importancia de que el reciclaje debe ir siempre acompañado por campañas informativas sobre educación ambiental y la adecuada gestión de desechos, señalando que lo ideal sería que la población hiciera consciencia sobre las importantes afectaciones a la salud que trae el hábito de fumar y por el otro lado, las afectaciones ambientales que generan las colillas de cigarro desechadas debido a sus múltiples componentes tóxicos liberados.

Debido a las circunstancias de pandemia bajo las cuales se desarrolló el presente trabajo de investigación y recolección del material reciclado, no fue posible llevar a cabo la instalación de colectores en la Facultad de Arquitectura, un objetivo importante planteado inicialmente, ya que con esto se esperaba medir si la cantidad de colillas de cigarro desechadas en espacios públicos disminuía una vez instalando contenedores especiales, pero se plantea que en una etapa posterior de esta investigación pueda llevarse a cabo. Hablando a una escala mayor, sería preciso presionar a los gobiernos

locales para que los programas de residuos consideren a las colillas de cigarro como un residuo peligroso, además de aplicar las sanciones correspondientes cuando estas sean arrojadas a cualquier espacio público abierto. De manera resumida, podría presumirse que la incorporación de acetato de celulosa en los ladrillos puede ser beneficiosa de dos maneras principales; en primer lugar puede contribuir a resolver el problema de la contaminación causada por las colillas de cigarrillo, ya que el acetato de celulosa resultante del reciclaje de colillas de cigarro se pueden colocar en la mezcla para producir ladrillos sin temor a la lixiviación o la contaminación (Mohajerani, 2016), cuando estas han sido previamente desinfectadas. Además implica el poder impulsar campañas de recolección con el acompañamiento de la comunidad, lo que impulsa una mayor participación colectiva y adopción de una cultura del reciclaje y gestión de residuos. En segundo lugar, los ladrillos conformados por acetato de celulosa serían más baratos de producir en términos de energía requerida y extracción de recursos no renovables, refiriéndonos a los suelos necesarios para obtener la arcilla.

Lo que se espera del material compuesto, con base en el caso análogo es que logre funcionar bajo las pruebas mínimas requeridas para un material de construcción convencional de mampostería, tanto portante como no portante mencionadas en las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y la NMX-C-037-ONNCCE-2013. Por otra parte, en un futuro desarrollo y continuación de este proyecto de investigación, se espera demostrar mediante la medición del coeficiente de conductividad térmica y acústica del material compuesto que este puede ser utilizado como un aislante térmico- acústico que, comparado con un ladrillo de arcilla convencional, permitirá disminuir pérdidas y ganancias de calor y contribuirá a disminuir la contaminación auditiva al interior de un espacio arquitectónico, además de estar fabricado a partir de materiales reciclados.



6.0 Fase experimental: evaluación de resistencia mecánica y absorción máxima de agua

6.1 Normativa aplicable

Se revisaron los lineamientos de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería y las Normas Mexicanas (NMX), esto con la intención de seguir los procedimientos para determinar mediante ensayos de resistencia mecánica si las características mecánicas del material compuesto desarrollado lo vuelven apto para ser utilizado en la construcción como un material estructural. También se definieron aspectos como el número de probetas a elaborar por cada tipo de ensayo y prueba, sus dimensiones, dosificaciones en las mezclas de mortero, materiales involucrados y la elaboración de protocolos para llevar a cabo todos los ensayos y pruebas.

Para la obtención de resultados válidos en la evaluación de las propiedades a analizar en el material compuesto y las muestras control, se utilizaron como base las siguientes Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería:

- **NMX-C-036-ONNCCE-2013:** Industria de la Construcción- Mampostería- Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines- Método de ensayo.
- **NMX-C-037-ONNCCE-2013:** Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo.
- **NMX-C-486-ONNCCE-2014:** Industria de la Construcción - Mampostería - Mortero para uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo.
- **NMX-C-464-ONNCCE-2010:** Industria de la Construcción- mampostería- Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto - Métodos de ensayo.

Estas mismas normas se utilizaron como referencia para elaborar los protocolos de ensayo (Ver Anexo). Con base en dichos protocolos, a continuación, se describe el proceso de fabricación, preparación de probetas y realización de las pruebas de resistencia mecánica y absorción de agua realizadas en el material.

6.2 Elaboración de ensayos de resistencia y absorción

Los ensayos de resistencia mecánica y absorción se realizaron tomando como punto de partida las especificaciones de las normas mencionadas en el apartado 6.1; *NMX-C-036-ONNCCE-2013*, *NMX-C-037-ONNCCE-2013*, *NMX-C-038-ONNCCE-2013* y *NMX-C-464-ONNCCE-2010*. Para la elaboración de los ensayos de resistencia se contó con el apoyo del Instituto Mexicano del Concreto y el Cemento (IMCYC). Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de concreto bajo la supervisión, tutoría y apoyo del personal técnico a cargo.

Como primer paso, se procedió a asignar un número de muestras por cada tipo de probeta a fabricar, de acuerdo con las especificaciones para cada tipo de ensayo.

Es importante mencionar que el número de probetas elaboradas fue menor a los lotes solicitados en la normativa aplicable, debido a que se elaboró un número reducido de muestras del material, sin embargo se elaboraron en un número proporcional equivalente a un 30% de las probetas a fabricar indicadas por la norma.

En el caso de la norma *NMX-C-464-ONNCCE-2010- determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad en pilas de mampostería de arcilla o de concreto*, se asignó un total de siete muestras por cada murete a fabricar y se construyeron tres muretes en total por cada tipo de muestra (muestras control y muestras con 1% de contenido de acetato de celulosa). En el caso de las pilas, se asignó un total de cuatro muestras para la construcción de cada pila y se construyeron de igual manera tres pilas en total por cada tipo de muestra.

Para el material compuesto, se fabricaron en la ladrillera 10 muestras adicionales con la intención de destinar 5 muestras a la realización de ensayos de resistencia en piezas individuales, como lo indica la norma *NMX-C-036-ONNCCE-2013- resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines* y 5 muestras para los ensayos de absorción inicial y total de agua, como lo indica la norma *NMX-C-037-ONNCCE-2013- Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones*.

Proceso de construcción de pilas, muretes y cubos de mortero

La construcción de pilas y muretes se realizó en el laboratorio de concreto del IMCYC, bajo la supervisión del personal técnico y con el apoyo de los trabajadores a cargo. Se almacenó el total de muestras en las instalaciones del IMCYC por 48 horas, posteriormente se sumergieron en agua 24 horas previas a la elaboración de las probetas (ver figura 56) y se procedió a almacenarlas apiladas a temperatura ambiente dos horas previas a la elaboración de las probetas.

Para la construcción de muretes y pilas fue necesaria la elaboración de un mortero de junteo, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, los morteros empleados en elementos de mampostería con fines estructurales deben mantener una resistencia a compresión de por lo menos 4 MPa (40 kg/cm²). El mortero elaborado en sitio fue del tipo I, se diseñó y preparó usando una proporción 1:2 cemento arena, descritas en la siguiente tabla:

Cemento para albañilería	5 kg
Arena	10kg
Agua	2.2 l. aprox.

Tabla 12. Proporción de materiales involucrados para la preparación del mortero de junteo.

Para mezclar el mortero se utilizó una mini revolvedora de concreto (ver figura 57), se procedió a agregar el cemento y la arena, el agua se fue agregando hasta que la mezcla se mantuvo lo suficientemente hidratada (aproximadamente 2.20 l). El tiempo de mezclado fue de 7 minutos aproximadamente, hasta que la mezcla mostró una consistencia homogénea entre los tres componentes involucrados. El mortero se fue elaborando conforme se ocupaba, esto para evitar la pérdida de hidratación. Para cada porción de mezcla elaborada se respetaron siempre las mismas proporciones.



Figura 56. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Muestras apiladas tras ser sumergidas en agua.



Figura 57. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Mezclado del mortero de junteo en revolvedora de concreto.

Se procedió a construir los muretes por cada tipo de muestra, de acuerdo con la norma *NMX-C-464-ONNCCE-2010*, se respetó una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura fuera igual a la longitud (ver figura 58). Los muretes se construyeron de manera cuatrapeada, se

verificaron las dimensiones de cada probeta y que las mismas estuvieran niveladas a plomo, horizontal y verticalmente (ver figura 59). La hidratación de las piezas previo a la construcción de los muretes contribuyó a que se diera una mayor adherencia entre el material y el mortero de junteo, el cual se colocó en las superficies de contacto. El material sobrante se retiró con el uso de una espátula. El espesor de la junta del mortero se definió en 15 mm, siguiendo lo especificado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería para ladrillos y bloques de arcilla artesanales. El espesor de la junta se verificó siempre por cada hilada.



Figura 58. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Elaboración de muretes con muestras control.



Figura 59. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Verificación del junteo de las muestras a plomo con nivel.

Posterior a la construcción de muretes, se procedió con la construcción de las pilas. De acuerdo con la norma *NMX-C-464-ONNCCE-2010*, las pilas debían estar conformadas mínimo por tres muestras sobrepuestas, por lo que se utilizaron cuatro muestras por cada pila (ver figura 60). Al igual que con los muretes, las muestras se juntaron con mortero en las superficies de contacto y el material sobrante se retiró con el uso de una espátula. El espesor de las juntas de mortero de igual forma se definió en 15 mm. y se verificó por cada hilada. La relación altura- espesor de la pila se mantuvo entre dos y cinco, de acuerdo con la misma norma. Se verificaron las dimensiones de cada una y que estuvieran niveladas a plomo horizontal y verticalmente (ver figura 61).

Todas las pilas y muretes contruidos se mantuvieron resguardados en el área de elaboración, sin moverse ni transportarse (ver figura 62) durante un periodo de 28 días antes de ser sometidos a los ensayos de resistencia, como lo indica la norma *NMX-C-464-ONNCCE-2010*. Las piezas individuales también se almacenaron en las

mismas condiciones hasta transcurrido este periodo de tiempo. Se realizó un registro fotográfico 14 días previos a la elaboración de ensayos de resistencia mecánica para verificar el estado de las pilas y muretes. Durante este periodo de tiempo transcurrido, el mortero había adquirido mayor resistencia y un color más opaco, lo cual indicó que los materiales habían perdido gran parte de la humedad inicial, nuevamente se verificó que todas las probetas estuvieran niveladas a plomo.



Figura 60. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Elaboración de pilas, muestras con 1% de acetato de celulosa.



Figura 61. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Verificación del junteo de las muestras a plomo con nivel.



Figura 62. (Daniela Cruz Martínez, 2021). Pilas y muretes por cada tipo de muestra elaborada, almacenadas en el laboratorio de materiales del IMCYC.

También fue necesario realizar pruebas de resistencia de compresión en el mortero empleado para el junteo de las muestras. Para ello, se fabricaron 6 cubos de mortero empleado en la construcción de las pilas y 6 cubos de mortero empleado en la construcción de los muretes. De acuerdo con la norma *NMX-C-486-ONNCCE-2014*, las pruebas de resistencia deben efectuarse a la edad de 7, 14 y 28 días posterior a su fabricación. Por cada periodo de tiempo transcurrido, se ensayaron dos cubos de mortero para pilas y dos para muretes.

El mortero empleado para la fabricación de los cubos fue el mismo que se empleó para el junto de las probetas (ver figura 63). Para su construcción, se procedió a colocar la mezcla en moldes metálicos de 5 cm x 5 cm en dimensiones internas. Las probetas permanecieron en sus moldes durante 48 horas antes de desmoldarse (ver figura 64); posteriormente se almacenaron en el gabinete a cuarto húmedo por cinco días más hasta realizada la prueba de resistencia a los 7 días; las probetas restantes se sumergieron en agua hasta alcanzar la edad de prueba a los 14 y 28 días.

Cada muestra fue identificada previo a la realización de los ensayos de resistencia.



Figura 63. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Mezcla para la fabricación de cubos de mortero de junteo.



Figura 64. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Colocación de pruebas del mortero en moldes metálicos.

6.2.1 Compresión en muestras individuales

Las pruebas de resistencia a compresión tienen como objetivo determinar el esfuerzo máximo al que puede ser sometido un material ante una carga específica ejercida sobre el mismo. La resistencia a compresión se determinó para cada tipo

de muestra de acuerdo con el ensayo especificado en la norma *NMX-C-036*. La norma menciona que se debe obtener la resistencia mecánica en al menos tres muestras, cada una conformada por diez piezas de lotes diferentes de la producción, en este caso se emplearon únicamente cinco muestras del mismo lote del material compuesto. El ensayo realizado fue de carácter únicamente demostrativo, con la intención de observar algunas de las propiedades mecánicas del material en muestras individuales.

Los ensayos de resistencia mecánica se realizaron en las instalaciones del laboratorio de concreto del IMCyC, siguiendo las especificaciones mencionadas en la norma citada. Para llevar a cabo los ensayos, se utilizó la máquina de ensayos universal del IMCyC, marca AMSLER (ver figura 65). Cada muestra sometida al ensayo fue cabeceada con mortero de azufre en una capa de 5 mm. aplicada en el área de contacto con la placa metálica (aplicación de la carga) de la máquina universal, esto para lograr que las superficies de contacto fueran totalmente paralelas a las placas y así la carga fuera aplicada de manera uniforme (ver figura 66). La carga se aplicó a velocidad constante y progresiva hasta que el material finalmente cedió ante la falla.



Figura 65. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Máquina de ensayos universal AMSLER utilizada para los ensayos.



Figura 66. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Cabeceo de muestras individuales con mortero de azufre para elaboración de ensayo de resistencia.

6.2.2 Compresión diagonal y módulo de cortante en muretes

La resistencia a compresión en diagonal y módulo de cortante para los muretes se determinó siguiendo la metodología señalada en la norma *NMX-C-464-ONNCCE-2010*.

De acuerdo con la norma, es necesario realizar el ensayo en al menos nueve muretes construidos con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes, en este caso al ser un ensaye únicamente de carácter demostrativo, se construyeron tres muretes por cada tipo de muestra elaborada; muestras control y muestras del material compuesto.

Los muretes se cabecearon con mortero de cemento en las esquinas que conformaron la diagonal de aplicación de la carga en una capa de aproximadamente 10 mm. de espesor (ver figura 67) y se identificaron previamente al ensayo. Los muretes se apoyaron en sentido diagonal en cabezales metálicos rígidos, esto con la intención de distribuir la carga de manera uniforme a lo largo de la diagonal del murete. La longitud de apoyo que cubrió las alas de los cabezales fue de 7 cm. Se aseguró que los cabezales metálicos asentaran correctamente en las esquinas, alineando cuidadosamente el eje de la probeta con el centro de la rótula del bloque de carga superior y colocando el cabezal superior. La aplicación de la carga se realizó de manera uniforme y constante (ver figura 68) hasta que el material finalmente cedió ante la falla. Este procedimiento se repitió con cada una de las probetas a ensayar, en cada una se verificó que el murete asentara perfectamente en el cabezal metálico y estuviera colocado a plomo.



Figura 67. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Muretes para ser sometidos al ensayo de resistencia a compresión diagonal.



Figura 68. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Colocación de cabezales metálicos y alineación con máquina de ensayos universal.

6.2.3 Compresión en pilas

La resistencia a compresión para las pilas se determinó siguiendo la metodología señalada en la norma *NMX-C-464-ONNCCE-2010*. De acuerdo con la norma, es

necesario realizar el ensaye en al menos nueve pilas construidas con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes, en este caso al ser un ensaye únicamente de carácter demostrativo, se construyeron tres pilas por cada tipo de muestra elaborada.

Cada pila fue identificada previo al ensayo. La superficie de las pilas que quedaron en contacto con las placas de aplicación de la carga de la máquina de ensayo se cabecearon con mortero de azufre, en una capa de 5 mm. aproximadamente (ver figura 69), con ello se logró que estas superficies fueran totalmente paralelas (ver figura 70) y la carga aplicada se repartiera de manera uniforme en la superficie de contacto de las pilas. La aplicación de la carga se realizó de manera uniforme y constante, hasta finalmente ceder ante la falla, este procedimiento se repitió con cada una de las probetas, en cada una se verificó que las piezas de contacto asentarán perfectamente en la placa metálica y estuvieran colocadas a plomo.



Figura 69. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Pilas cabeceadas de mortero de azufre para ensaye.



Figura 70. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Colocación de la pila al centro del eje de la máquina de ensayos universal.

6.2.4 Compresión en cubos de mortero

La resistencia a compresión en cubos de mortero se determinó siguiendo la metodología señalada en la norma *NMX - C - 486 - ONNCCE - 2014*. De acuerdo con la norma, es necesario realizar el ensaye en al menos una muestra, cada una de 6 especímenes cúbicos de 50 mm por lado.

Se fabricaron 6 especímenes para cada tipo de ensayo en pilas y muretes. Los ensayos de resistencia se realizaron a los 7, 14 y 28 días de edad y las muestras fueron previamente identificadas (ver figura 70). Para cada ensayo se colocaron los especímenes directamente en las placas de aplicación de la carga de la máquina universal, asegurando que la carga aplicada se repartiera de manera uniforme en la superficie de contacto de los cubos de mortero (ver figura 71). La aplicación de la carga se realizó de manera uniforme y constante hasta finalmente ceder ante la falla, este procedimiento se repitió con cada espécimen a la edad especificada.

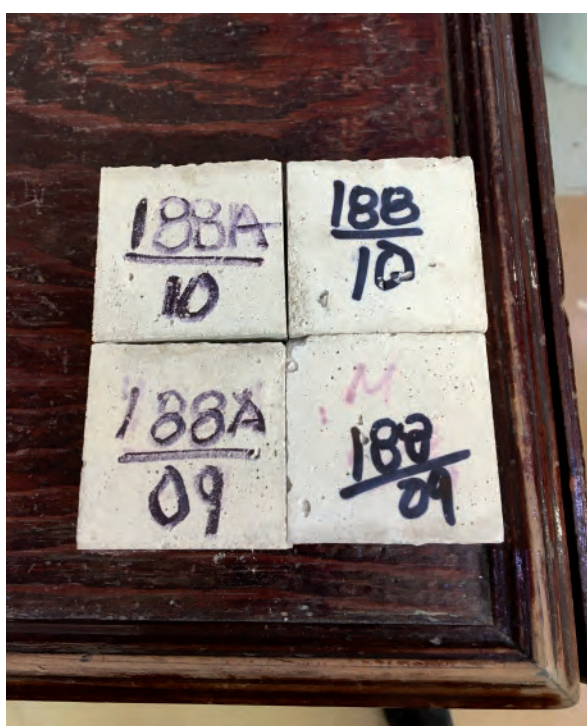


Figura 71. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Cubos de mortero a ensayar previamente identificados.



Figura 72. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Aplicación de la carga a un espécimen de mortero.

6.2.5 Absorción total de agua a 24 horas

El ensayo de absorción total de agua a 24 horas se realizó para determinar la máxima cantidad de agua que absorbe el material compuesto y evaluar las condiciones de resistencia a la intemperie que podrían presentar en caso de su implementación como material constructivo. Dicho ensaye fue realizado siguiendo la metodología señalada en la norma mexicana *NMX-C-037-ONNCCE-2005*. La prueba de absorción se realizó únicamente en 5 ejemplares del material compuesto. Las muestras que fueron sometidas a la prueba se mantuvieron almacenadas durante 24 horas continuas en el área de muestras del laboratorio, a temperatura ambiente y completamente secas. Transcurrido este tiempo, se procedió a medir la masa inicial de cada muestra

utilizando para ello una báscula electrónica. Las muestras se pesaron en estado seco, se identificaron, se ataron a un alambre y se colgaron del brazo de la misma balanza. Posteriormente se sumergieron en un contenedor de agua por un periodo de 24 horas (ver figura 72) y se registró constantemente el cambio en la masa de cada muestra estando sumergidas en agua. Transcurridas las 24 horas, se retiraron del recipiente, se eliminó el agua superficial con un paño seco y nuevamente se procedió a determinar la masa por cada muestra en estado húmedo (ver figura 73).



Figura 73. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Muestra sumergida en el agua.



Figura 74. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Pesado de la muestra 3 después de ser sumergida.

6.3 Reporte de resultados en ensayos de compresión y absorción

Los ensayos se realizaron siguiendo todos los parámetros y procedimientos aplicables mencionados en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México y los estándares *NMX-C-464-ONNCCE-2010*, *NMX-C-036-ONNCCE-2013*, *NMX-C-037-ONNCCE-2013* y *NMX-C-038-ONNCCE-2013*. En la tabla 13 se especifica el contenido de estas normas.

Norma	Contenido
NMX-C-036-ONNCCE-2013	Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines-Resistencia a la compresión- Método de prueba
NMX-C-037-ONNCCE-2013	Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones- Método de ensayo
NMX-C-464-ONNCCE-2010	Determinación de la Resistencia a Compresión Diagonal y Módulo de Cortante de Muretes y Pilas
NMX-C-486-ONNCCE-2014	Industria de la Construcción - Mampostería - Mortero para uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo

Tabla 13. Normativa aplicable para la realización de ensayos en muestras obtenidas a partir del material compuesto y muestras control.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión mecánica en los dos tipos de muestras, posteriormente se detallará el alcance de cada ensayo, descripciones del comportamiento del material, así como los resultados individuales obtenidos.

Resumen de resultados		Resistencia Promedio
Material compuesto	Resistencia a compresión promedio en piezas individuales	68.5 kg/cm2
	Absorción total de agua a 24 hrs en piezas individuales	25.4%*
	Esfuerzo cortante resistente de diseño en la mampostería (v)	6.2 kg/cm2
	Resistencia de diseño a compresión en la mampostería (f*m),	31.2 kg/cm2
Muestras control	Esfuerzo cortante resistente de diseño en la mampostería (v)	5.8 kg/cm2
	Resistencia de diseño a compresión en la mampostería (f*m),	30.7 kg/cm2

*Porcentaje absorción de agua

Tabla 14. Resumen de resultados de resistencias obtenidas en los ensayos de compresión y tensión.

6.3.1 Compresión en muestras individuales

El ensayo de resistencia a compresión en muestras individuales se realizó únicamente en cinco ejemplares del material compuesto. Previo al ensayo, cada muestra fue identificada, se midió su masa, dimensiones, y se registró el área de contacto (área neta). Una vez calibrado el equipo por el personal técnico del IMCYC, las muestras se sometieron a compresión (ver figura 72) hasta llegar a la carga máxima resistida y finalmente ceder ante la falla. Los resultados obtenidos por cada muestra, su área neta, masa y resistencia a compresión individual se ilustran en la tabla 15:

Resistencia a compresión en muestras del material compuesto						
Espécimen	Área	Masa	Carga máxima soportada		Resistencia Individual	
	cm2	g	kg	kN	kg/cm2	MPa
188B-01	264.5	2194	15700	154.0	59.4	5.83
188B-02	254.3	2041	14600	143.2	57.4	5.63
188B-03	262.2	2127	20300	199.1	77.4	7.59
188B-04	263.4	2180	20100	197.1	76.3	7.48
188B-05	262.2	2174	18900	185.3	72.1	7.07

Tabla 15. Valores obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión en muestras individuales del material compuesto.

Para poder obtener la resistencia a compresión individual se dividió la carga máxima soportada (kg) entre el área neta (cm2) de cada muestra.

Los datos resultantes en los ensayos a compresión en muestras individuales mostraron variaciones importantes entre dos de las muestras y el resto de los especímenes ensayados, por una parte podría asumirse una relación que determina que entre menor sea el área neta y la masa, la resistencia ante la carga será menor y en el espécimen 188B-02 se observó este comportamiento, ya que fue la muestra que cedió primero ante la falla y tuvo menor resistencia. El espécimen 188B-01 mostró un comportamiento similar en cuanto a menor resistencia, con valores muy similares al espécimen 188B-02, sin embargo este fue el que mostró mayores valores en relación al área neta y masa. Se puede asumir que en este caso podrían haber otros factores que afectaron su resistencia, como la porosidad, la fragilidad del material después del proceso de cocción o mayor concentración de acetato de celulosa, ya que no se controló la uniformidad, posición y distribución del acetato con respecto a la composición general de la mezcla.

En las tres muestras restantes se observó una mayor resistencia ante la carga, con valores por arriba de los 7.0 Mpa. En cuanto a las características físicas y el comportamiento observado durante y después del ensayo realizado, se mostraron inicialmente fisuras verticales en las caras laterales del material y posteriormente al

centro conforme la aplicación de la carga fue aumentando. El desprendimiento y fractura del material se dio de manera progresiva, en un inicio en las caras laterales, principalmente en las esquinas. Este comportamiento se observó en todas las muestras (ver figura 74), como si la carga solo se hubiera aplicado de manera puntual en estas zonas (ver figura 75 y 76), sin embargo todas las muestras fueron colocadas con su eje de simetría alineado a la placa de carga de la máquina de ensayos universal. El mortero de azufre con el que fueron cabeceadas las muestras también sufrió fracturas considerables predominantemente en las esquinas (ver figura 77).



Figura 75. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Muestra de material compuesto en ensayo a compresión.



Figura 76. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Falla del material tras ser sometido a una carga máxima.



Figura 77. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Muestras del material compuesto tras ensayo a compresión.



Figura 78. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Fractura de las muestras y el mortero de cabeceado.

6.3.2 Compresión diagonal y módulo de cortante en muretes

Los ensayos a compresión en diagonal se realizaron en muretes contruidos a partir de muestras del material compuesto y muestras control. Se contruyeron tres muretes por cada tipo de muestra, anterior a realizar el ensayo, los muretes fueron debidamente identificados con una clave, se tomaron dimensiones en su largo, alto, ancho y diagonal, también se realizó el cálculo del área neta de cada ejemplar. La resistencia mecánica a compresión en diagonal fue calculada aplicando la siguiente fórmula, especificada en el Estándar *NMX-C-464-ONNCCE-2010*:

$$V^* = \frac{v}{1 + 2,5 C_v}$$

Dónde:

v^* = Esfuerzo cortante resistente de diseño

v = Promedio de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados

C_v = coeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados

En las tablas 16 y 17 se muestran los resultados de resistencia obtenidos en los ensayos realizados en cada tipo de muestra; material compuesto y muestras control respectivamente.

Resistencia a compresión en muretes contruidos a partir del material compuesto				
Espécimen	Diagonal	Área	Carga	$\overline{v}$
	cm	cm2	kg	kgf/cm2
188/01	48.5	557.8	3950	7.1
188/02	50.0	575.0	3000	5.2
188/03	50.5	580.8	3600	6.2

Tabla 16. Resultados de ensayos a compresión en diagonal en muretes contruidos con muestras del material compuesto.

Resistencia a compresión en muretes contruidos a partir de muestras control				
Espécimen	Diagonal	Área	Carga	$\overline{v}$
	cm	cm2	kg	kgf/cm2
188/01	50.5	580.8	2380	4.1
188/02	50.0	575.0	4620	8.0
188/03	50.0	575.0	3040	5.3

Tabla 17. Resultados de ensayos a compresión en diagonal en muretes contruidos con muestras control.

Los datos resultantes observados en las tablas 16 y 17 mostraron variaciones considerables de acuerdo al tipo de muestra, sin embargo al obtener el promedio de resistencia a tensión, se obtuvo un valor superior para los muretes construidos por muestras del material compuesto, con un promedio de 6.16 kg/cm², mientras que para los muretes construidos por muestras control la resistencia promedio fue de 5.8 kg/cm². Contrario a lo que se esperaba antes de realizar el ensayo, los muretes que en promedio mostraron mayor resistencia ante la carga fueron los construidos a partir del material compuesto, además de que mostraron valores de resistencia mayormente constantes entre cada uno de las probetas ensayadas. Se desconoce si en este caso, las fibras provenientes del acetato de celulosa pudieron haber generado una mayor adherencia con las partículas de arcilla y volvieron al material más resistente ante la carga ejercida en los muretes.

Baqueiro (2009) identifica que las fallas típicas en muretes de mampostería sujetos a compresión diagonal pueden ser de tres tipos (ver figura 78): 1) Falla por tensión diagonal en bloques: se produce una grieta en sentido diagonal que atraviesa predominantemente las piezas, su trayectoria es aproximadamente recta. 2) Falla por tensión diagonal en juntas: se produce debido a la falla por adherencia entre bloque-mortero, su trayectoria es de forma escalonada, aproximadamente al centro del murete. 3) Falla por deslizamiento: se produce una falla entre las piezas y el mortero, causando el desprendimiento de una junta horizontal.

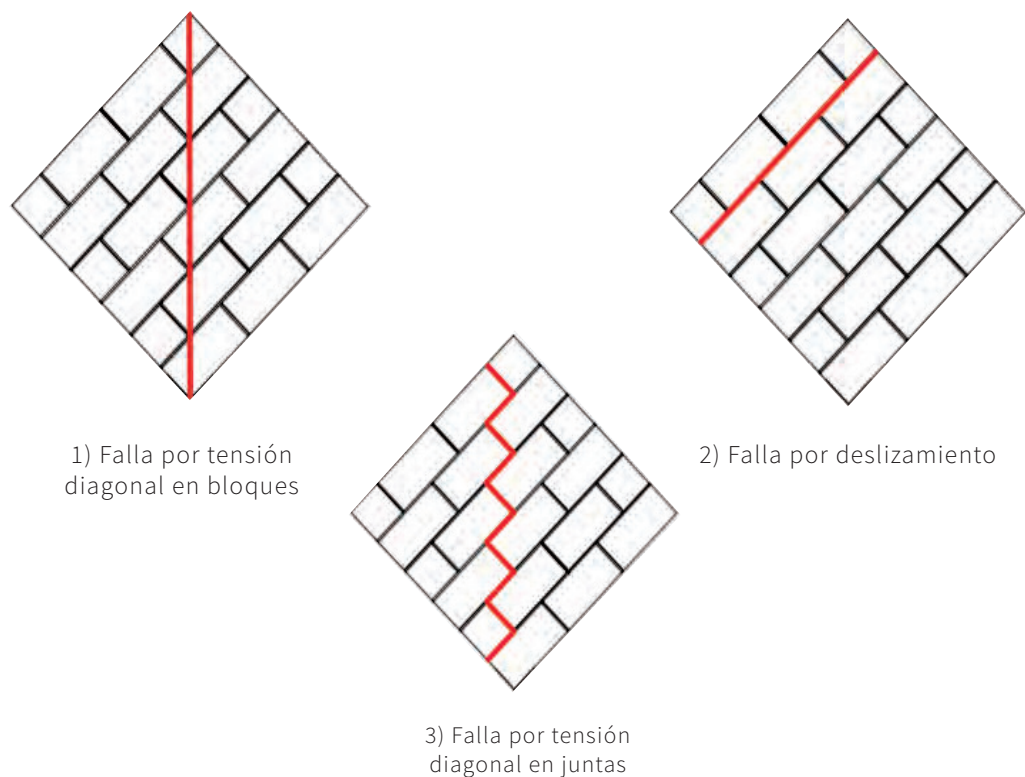


Figura 79. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Fallas típicas en muretes de mampostería sujetos a compresión en diagonal, material elaborado con base en la investigación realizada por Baqueiro (2009).

De acuerdo con las fallas típicas identificadas por Baqueiro en muretes construidos con mampostería y lo registrado durante la realización de los ensayos a compresión en diagonal, se observa en la figura 79 y 80 referentes a las probetas 188-01 y 188-02 que las fallas generalmente presentadas en los muretes construidos a partir del material compuesto se dieron por deslizamiento, de acuerdo con Baqueiro debido a la falta de adherencia entre las piezas y el mortero. En este caso, se dio un desprendimiento mayor en sentido perpendicular a la aplicación de la carga entre las muestras y el mortero de junteo. Por el contrario, en la figura 81 y 82, referentes a las probetas 188-04 y 188-05, se observa una falla por tensión diagonal en juntas y en bloques, causada en el primer caso por la falta de adherencia entre el material y el mortero y en el segundo caso, como resultado de la falta de resistencia a la carga, esta falla se origina en las muestras mismas, no debido a la adherencia de la probeta con el mortero. Como se observa en la figura 81, en las probetas elaboradas con muestras control, el desprendimiento y fractura del material fue mayor. Se asume que de acuerdo con los resultados, los muretes que mostraron mayor resistencia ante la cortante fueron los construidos a partir del material compuesto, al igual que lo observado en el ensayo de resistencia a la compresión en muestras individuales.

En las imágenes, la línea punteada amarilla representa el eje simétrico del murete, mientras que la línea punteada roja representa la falla presentada.

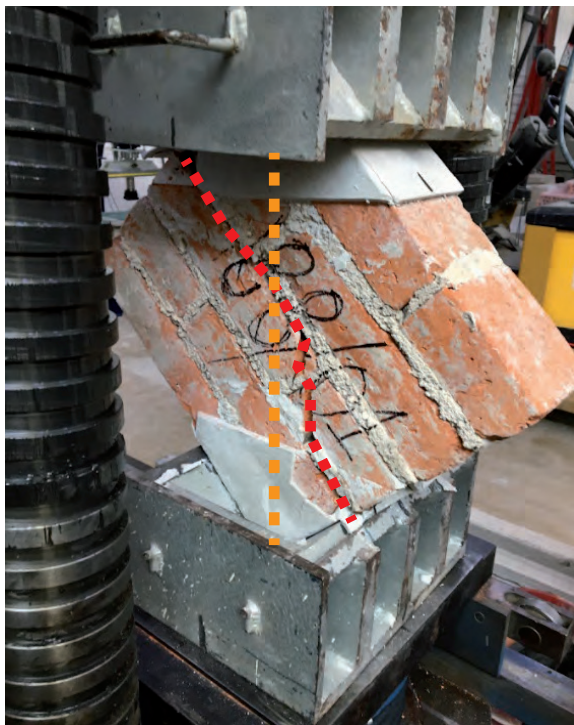


Figura 80. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Falla identificada en la probeta por tensión en diagonal en bloques y desplazamiento.



Figura 81. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Falla identificada en la probeta por deslizamiento y tensión en diagonal en juntas.

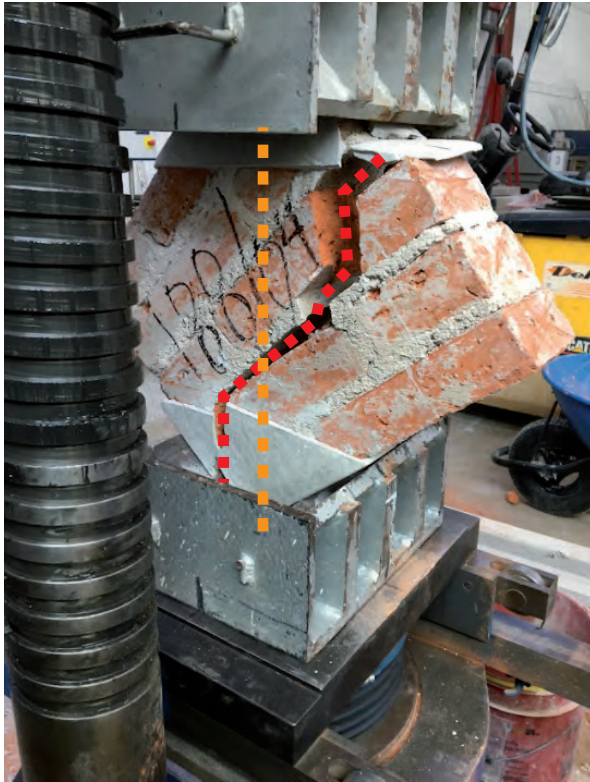


Figura 82. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Falla identificada en la probeta por tensión diagonal en juntas.



Figura 83. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Falla identificada en la probeta por tensión en diagonal en juntas.

6.3.3 Compresión de pilas

Los ensayos para determinar el esfuerzo de diseño a compresión se realizaron en pilas construidas a partir de muestras del material compuesto y muestras control. Se construyeron tres pilas por cada tipo de muestra, las cuales fueron debidamente identificadas con una clave, se tomaron dimensiones en largo, alto y ancho y al igual que en las muestras individuales, las muestras que recibirían la carga, fueron cabeceadas utilizando mortero de azufre en un espesor de 5 mm. La resistencia mecánica a la compresión fue calculada aplicando la siguiente fórmula, especificada en el Estándar *NMX-C-464-ONNCCE-2010*:

$$f^*m = \frac{fm}{1 + 2,5 C_m}$$

Dónde:

f^*m = Resistencia de diseño a compresión

fm = Promedio de la resistencia de las pilas ensayadas y corregidas por esbeltez

C_m = coeficiente de variación de la resistencia de las pilas ensayadas

En las tablas 18 y 19 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados por cada tipo de muestra; material compuesto y muestras control.

Resistencia a compresión en pilas construidas a partir del material compuesto					
Espécimen	Área	Relación de esbeltez	Factor Corrección	Carga	$\overline{f_m}$
	cm ²			kg	kg/cm ²
188A-01	264.5	2.30	1.023	10100	39.1
188A-02	264.5	2.33	1.023	11500	44.5
188A-03	264.5	2.27	1.023	11600	44.9

Tabla 18. Resultados de ensayos a compresión en pilas construidas a partir del material compuesto.

Resistencia a compresión en pilas construidas a partir de las muestras control					
Espécimen	Área	Relación de esbeltez	Factor Corrección	Carga	$\overline{f_m}$
	cm ²			kg	kg/cm ²
188A-01	264.5	2.31	1.023	10000	38.7
188A-02	264.5	2.32	1.023	12200	47.2
188A-03	264.5	2.31	1.023	10500	40.6

Tabla 19. Resultados de ensayos a compresión en pilas construidas a partir de muestras control.

Como se observa en las tablas 18 y 19, al obtener el promedio de resistencia a la compresión, se obtuvieron valores mayores en las pilas construidas a partir del material compuesto, con 31.2 kg/cm², mientras que para las pilas construidas a partir de muestras control la resistencia fue de 30.7 kg/cm². Los mayores valores de resistencia se presentaron en las probetas construidas a partir del material compuesto aunque en este caso no hubo gran diferencia entre los valores promedio obtenidos para los dos tipos de muestra. De acuerdo con el apartado 3.4.4, los materiales compuestos reforzados por fibras permiten que el material matriz (en este caso la arcilla) transfiera sus cargas a las fibras y le otorgue a este mayor resistencia, puede asumirse que este comportamiento fue observado durante los ensayos realizados, sin embargo, también podría asumirse que en este caso, las fibras de acetato de celulosa funcionan más bien como un agregado, ya que no existió un control en el número de partículas (fibras de acetato) agregadas y su orientación en la mezcla fue aleatoria. En el caso de los materiales reforzados con fibras, su orientación controlada permite que soporten las cargas relevantes de tracción en la dirección longitudinal. Dicho esto, se desconoce si el acetato de celulosa se comportó como una fibra o una partícula, lo que si puede asumirse de acuerdo con los resultados es que posiblemente el acetato de celulosa contribuyó a mejorar la resistencia.



Figura 84. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Momento de falla tras aplicación de la carga en probeta 188A-01.



Figura 85. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Momento de falla tras aplicación de la carga en probeta 188A-06.

En cuanto a la apariencia física de las probetas, la aparición de grietas se dio predominantemente en los costados (ver figura 83 y 84), al principio pequeñas grietas que fueron aumentando su tamaño conforme se fue aplicando mayor carga. Hubo desprendimiento del material en las esquinas principalmente, mientras que al centro las probetas mostraron mayor resistencia. No se observó desprendimiento entre la muestras y el mortero de junteo, sin embargo en la probeta 188A-03 (ver figura 85) perteneciente a las muestras de material compuesto, se observó una falla en sentido diagonal que provocó la fractura total, aunque también fue la que mayor resistencia mostró antes de ceder a la falla. Para el resto de probetas, como se observa en la figura 86, la aparición de pequeñas grietas y desprendimiento del material en las esquinas fue un comportamiento comúnmente observado.



Figura 86. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Probeta 188A-03 (material compuesto) tras ceder a la falla.



Figura 87. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Probeta 188A-04 y 188A-05 tras ceder ante la falla.

6.3.4 Compresión en cubos de mortero

Se realizó un ensayo para determinar el esfuerzo de diseño a compresión del mortero utilizado para el junteo de las muestras en pilas y muretes, para ello se construyeron 6 probetas cúbicas por cada tipo de ensayo.

Las probetas fueron debidamente identificadas con una clave, se tomaron dimensiones en largo, alto y ancho. El ensayo se realizó de acuerdo con lo establecido en el estándar *NMX-C-061-ONCCE*, a los 7, 14 y 28 días de edad. En cada ensayo el procedimiento fue el mismo, las probetas fueron sometidas a la carga máxima hasta finalmente ceder ante la falla. En las tablas 20 y 21 se muestran los resultados obtenidos por cada tipo de ensayo (murets y pilas). La resistencia mecánica a la compresión simple fue el resultado de la división de la carga máxima soportada (kg) entre el área neta de aplicación de la carga (cm²).

Resistencia a compresión simple en probetas de mortero para junteo en muretes				
Especimen	Edad	Área	Carga	Resistencia
	días	cm ²	kg	kg/cm ²
188/07	7	25.0	3400	136
188/08	7	25.0	3300	132
188/09	14	25.0	3860	154
188/10	14	25.0	4440	178
188/11	28	25.0	4600	184
188/12	28	25.0	4780	191

Tabla 20. Resultados de ensayos a compresión simple en probetas de mortero para junteo en muretes.

Resistencia a compresión simple en probetas de mortero para junteo en pilas				
Espécimen	Edad	Área	Carga	Resistencia
	días	cm2	kg	kg/cm2
188A/07	7	25.0	2520	101
188A/08	7	25.0	2560	102
188A/09	14	25.0	3460	138
188A/10	14	25.0	3440	138
188A/11	28	25.0	3620	145
188A/12	28	25.0	3500	140

Tabla 21. Resultados de ensayos a compresión simple en probetas de mortero para junteo en pilas.

De acuerdo con las tablas 20 y 21, se observaron mayores valores de resistencia en las probetas pertenecientes a los muretes. Las diferencias fueron importantes, considerando que la resistencia final (28 días) alcanzada en el mortero para la fabricación de pilas fue casi la misma que en el caso de la resistencia inicial (7 días) del mortero para la fabricación de muretes. Estas importantes diferencias pudieron deberse a variaciones en las proporciones de los materiales en la mezcla del mortero, principalmente en el agua, ya que el resto de los componentes (cemento y arena) fueron controlados de manera proporcional, mientras que el agua se fue agregando conforme lo requería la mezcla. A pesar de las diferencias entre los valores de resistencia obtenidos, en ambos casos se cumple con los valores mínimos solicitado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Mampostería : 4 MPa (40 kg/cm²).



Figura 88. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Momento de la falla del mortero de junteo para muretes.



Figura 89. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Probeta 188-09 después de ceder ante la falla.



6.4 Análisis de resultados en ensayos de resistencia mecánica y absorción total de agua a 24 horas

Tras los resultados correspondientes a los ensayos en el material compuesto y muestras control, es necesario realizar una evaluación comparativa respecto a los valores obtenidos y los requerimientos en la normativa y estándares mencionados en el capítulo anterior, esto con la intención de evaluar si el material compuesto cumple con los requerimientos de resistencia mínima requerida y que por tanto, puede ser utilizado con los fines planteados a lo largo del presente trabajo de investigación. Para ello, se presenta a manera de gráficas y tablas la comparativa entre los requerimientos normativos y los resultados obtenidos. Dichas gráficas y tablas fueron elaboradas con base en el reporte de resultados elaborado por el personal técnico encargado del laboratorio de concreto del IMCyC, dicho reporte se puede consultar en el apartado 11. Anexo.

Resistencia Individual en muestras del material compuesto

Los valores de resistencia a compresión mínimos para piezas fabricadas a partir de arcilla artesanal, de acuerdo con el ensayo especificado en la norma NMX-C-036-ONNCCE se muestran en la tabla 23, en la misma tabla se muestra el resultado promedio obtenido en las muestras individuales pertenecientes al material compuesto.

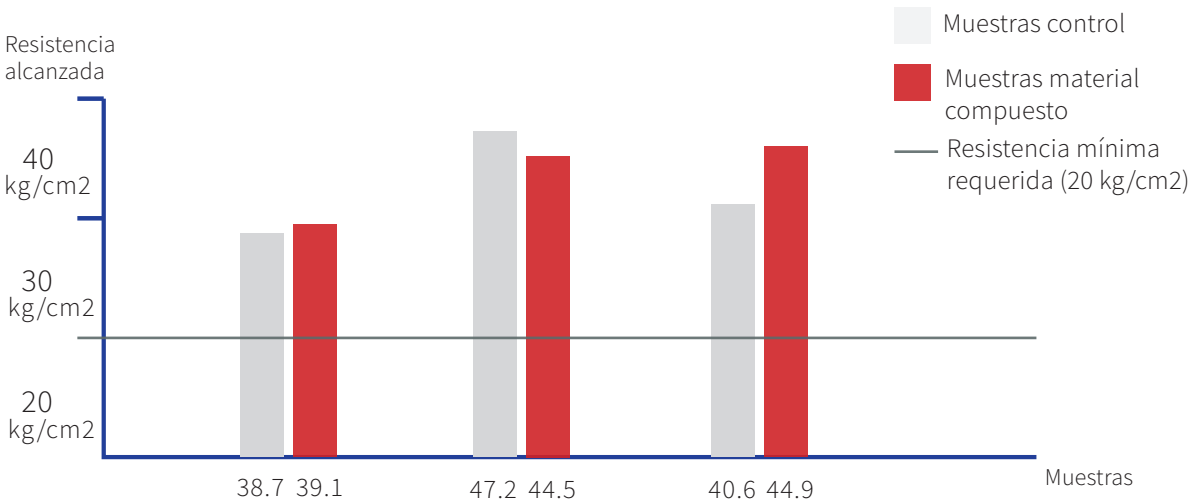
Resistencia de diseño (f'p) por Normativa	Resistencia promedio Material Compuesto MPa (kg/cm2)
6 MPa (60 kg/cm2)	6.85 MPa (68.5 kg/cm2)

Tabla 23. Comparativa entre la resistencia de diseño establecida en la norma NMX-C-036-ONNCCE y resistencia en piezas individuales del material compuesto.

De acuerdo con los valores mínimos de resistencia requeridos por normativa, el 60% de los ejemplares ensayados (3 de 5 muestras) muestran valores por arriba del mínimo, y dos ejemplares se encuentran mínimamente por debajo de los valores requeridos. Sin embargo, no puede sustentarse que el alcanzar apenas la resistencia mínima requerida se debe a la presencia del acetato de celulosa, sino que probablemente si se hubiese realizado el mismo ensayo en muestras control, se hubieran obtenido valores similares, esto debido al proceso de fabricación artesanal de los ladrillos, en donde el control de calidad para cumplir con los parámetros establecidos en la normativa se ve limitado por la dificultad que implica mantener variables controladas, además de acuerdo con el personal técnico del IMCyC, es común que las muestras procedentes de ladrilleras artesanales difícilmente alcancen valores superiores a los mínimos requeridos.

Resistencia a compresión simple en pilas

Los valores mínimos de resistencia a compresión permitidos para pilas construidas a partir de tabique de barro recocido empleando un mortero de junteo tipo I y resistencia obtenida en piezas individuales ($f'p$) de 6 MPa (60 kg/cm²) corresponde a 2.0 MPa (20 kg/cm²), de acuerdo con lo especificado en el estándar *NMX-C-464-ONNCCE-2010*. En la gráfica 2, se muestra a modo de comparativa el resultado promedio de resistencia obtenido en pilas pertenecientes al material compuesto y muestras control con respecto a los valores mínimos requeridos por la normativa.



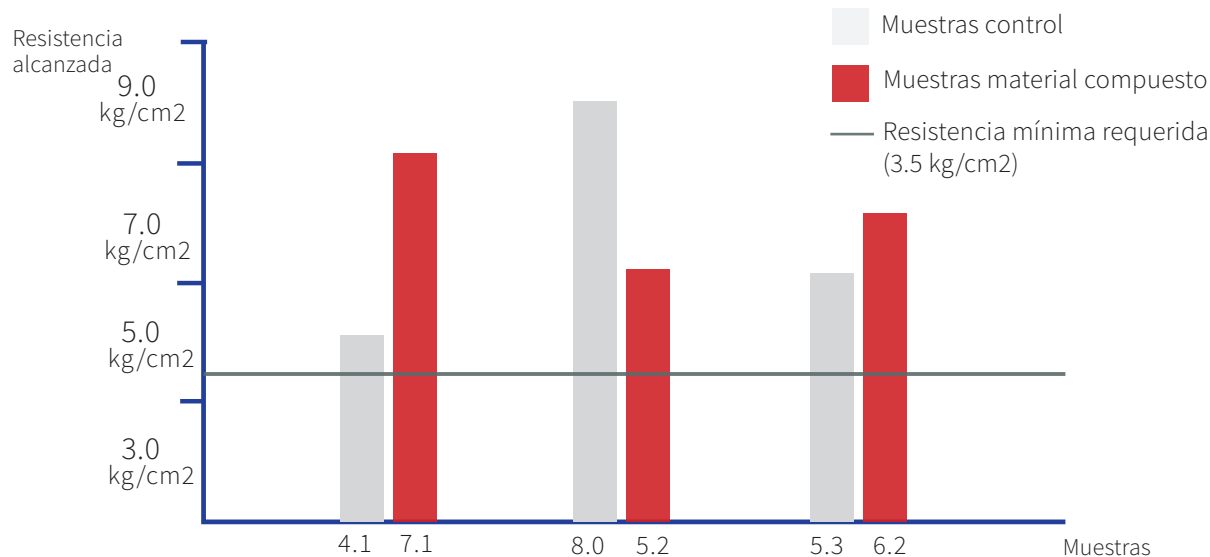
Gráfica 2. Resistencia de diseño establecida en el estándar *NMX-C-464-ONNCCE-2010* y resultado obtenido en resistencia en pilas construidas a partir del material compuesto y muestras control.

En la comparativa gráfica, se observa que todas las probetas fabricadas con ambos tipos de muestra cumplen con los valores mínimos requeridos por la normativa, e incluso se superan en más de un 50%, alcanzando una resistencia promedio de 30.7 kg/cm² para probetas del material control y 31.2 kg/cm² para probetas del material compuesto. Contrario a lo que se esperaba previo al ensayo, las probetas que mostraron un mejor comportamiento fueron las fabricadas a partir del material compuesto, esto en el 66% de los casos, aunque la diferencia con respecto a los valores de resistencia obtenidos en ejemplares fabricados a partir de muestras control fueron mínimos. A pesar de que en ambos casos se obtuvieron valores mayores a los esperados, se considera que la realización de un ensayo a compresión individual en muestras control hubiera resultado en un mayor y acertado margen de comparativa para sostener que el acetato de celulosa contribuyó a mejorar la resistencia mecánica del material.

Resistencia a compresión diagonal en muretes

Los valores mínimos de resistencia a compresión en diagonal permitidos para muretes construidos a partir de tabique rojo recocido empleando un mortero de junteo tipo I y resistencia obtenida en piezas individuales ($f'p$) de 6 MPa (60 kg/cm²) corresponde a 0.35

MPa (3.5 kg/cm²), de acuerdo con lo especificado en el estándar *NMX-C-464-ONNCCE-2010*. En la gráfica 3, se muestra a modo de comparativa el resultado promedio de resistencia a cortante obtenido en muretes pertenecientes al material compuesto y muestras control con respecto a los valores mínimos requeridos por la normativa.



Gráfica 3. Resistencia de diseño establecida en la norma *NMX-C-464-ONNCCE-2010* y resultado obtenido en resistencia con pilas construidas del material compuesto y muestras control.

En la comparativa gráfica se observa que todas las probetas elaboradas con ambos tipos de muestra cumplen con los valores mínimos requeridos por la norma y se alcanzan valores aún mayores a los necesarios, con una resistencia promedio de 5.8 kg/cm² para muestras control y 6.2 kg/cm² para muestras de material compuesto, respecto a la resistencia de 3.5 kg/cm² requerida por la normativa.

Al igual que en el caso de las pilas y contrario a lo que se esperaba previo al ensaye, las probetas que mostraron un mejor comportamiento fueron las elaboradas a partir de muestras del material compuesto, aunque de manera individual, la probeta que mostró mayor resistencia fue la 188/02 perteneciente a las muestras control, en este caso las variaciones entre los valores de resistencia obtenidos entre los tipos de muestra fueron más significativos, incluso entre ejemplares pertenecientes al mismo tipo. Por otra parte, en ambos casos se obtuvieron valores mayores a los esperados, principalmente en ejemplares de las muestras control, ya que la adición de la fibra de acetato de celulosa, se esperaba que contribuyera a reducir la resistencia.

Resistencia a absorción total de agua a 24 horas

La pruebas de absorción de agua a 24 horas únicamente se realizó en muestras del material compuesto, por lo que en este caso no hubo parámetros comparativos entre los dos tipos de muestras. De acuerdo con lo establecido en la *NMX-C-037-ONNCCE-2013*, el porcentaje de absorción total de agua no debe ser mayor al 23% de la masa de los ejemplares ensayados. Considerando el valor máximo permitido, ninguna de las muestras

ensayadas se encuentra por debajo del mismo, en promedio se presentó un porcentaje de absorción del 25.4%. El que en las tres muestras ensayadas se haya mostrado valores constantes arriba del máximo permitido compromete la resistencia del material ante condiciones de intemperie (agentes como la lluvia y la humedad), esto solo en caso de que la aplicación requerida del material sea en exteriores. Se considera que a pesar de que el ensayo arrojó resultados importantes para saber cuál sería el comportamiento del material ante condiciones externas, es necesario plantear para una etapa futura de esta investigación que la prueba se realice también en ejemplares de muestras control, para tener un parámetro comparativo más objetivo y poder concluir si las condiciones de absorción se deben a la presencia del acetato de celulosa en la mezcla o al proceso de fabricación de los ladrillos, ya que los tamaños de partículas (arcillas, contenido de arena y otros componentes orgánicos) no se controlaron de manera estricta ni se realizaron tamizados, lo que pudo causar la adición de otros elementos como fragmentos de rocas que generaran mayores irregularidades en el material y por tanto mayor porosidad, independientemente de la adición del acetato de celulosa.

Es posible que el material compuesto pueda tener requisitos adicionales y características especiales de diseño y calidad, por razones de exigencias acústicas, térmicas, de resistencia al fuego, arquitectónicas o constructivas que podrían verificarse en ensayos futuros, pero principalmente y como objetivo del presente trabajo de investigación, deben cumplir con los requisitos de valores máximos y mínimos de absorción de agua y resistencia mecánica respectivamente.

De los resultados obtenidos, se observa que en el caso del mortero de junteo, para ambos tipos de ensaye (pilas y muretes) se cumplió con la resistencia requerida por normativa y los valores obtenidos estuvieron muy por arriba de los mínimos requeridos, también que la resistencia mecánica en los ladrillos fabricados con material compuesto y muestras control, se encuentra dentro de los estándares mínimos establecidos en la normativa aplicable, a excepción de los valores obtenidos en la prueba de absorción de agua, los cuáles se encuentran ligeramente arriba de los valores máximos permitidos. Durante los ensayos, se observó un aumento de la resistencia en las probetas elaboradas a partir del material compuesto, lo cual es favorable para el presente proyecto de investigación.

Con base en este análisis, se inquiere que la concentración de acetato de celulosa sí afecta la resistencia mecánica de los ladrillos y que la presencia de la fibra, puede influir en generar mayor adherencia entre las partículas de arcilla y por tanto volver al material mayormente resistente, al menos de acuerdo con lo observado en el caso de estudio. También, se observa que la adición del 1.0% de acetato de celulosa, no reduce la resistencia mecánica, aunque si se puede suponer que contribuye a aumentar mínimamente la porosidad del material y por tanto la capacidad de absorción de agua, lo que podría limitar el uso del material en exteriores, principalmente bajo determinadas condiciones climáticas en donde la exposición a la humedad sea mayor.

7.0 Beneficios de la implementación del material compuesto

De acuerdo con lo observado durante el proceso de fabricación de las muestras, los ensayos realizados para estudiar algunas de las propiedades físicas del material y el caso análogo de estudio en el que se basa esta investigación, se pueden presumir los siguientes beneficios de la implementación del material compuesto:

●**Beneficios ambientales:** Mientras se llevó a cabo la etapa de recolección de colillas, se observó que en espacios abiertos como calles, parques, estaciones de transporte público, escuelas y puntos de concentración como explanadas, las colillas de cigarro fueron los desechos más abundantes y los más normalizados, ya que, de acuerdo con lo observado los fumadores ni siquiera lo perciben como un desecho. Esta problemática confirma lo que se observó en el apartado 3.6.2.2; de acuerdo con el Ocean Conservancy International Coastal Cleanup (2017), la primera fuente de desechos mundial no son los plásticos desechables de un solo uso, sino las colillas de cigarro, representando el 13% del total de residuos recolectados en su campaña anual.

Así, la recolección de este desecho representaría reducir de manera considerable su presencia en espacios abiertos, sobre todo en suelos urbanos y cuerpos de agua (ver figura 91), donde existe mayor riesgo y vulnerabilidad ambiental debido a que las sustancias tóxicas liberadas a partir de las colillas pueden afectar ecosistemas vegetales, animales y estratos fértiles de la tierra. También se contribuiría a fomentar la implementación de materiales reciclados en la arquitectura y el sector de la construcción, lo que permite revertir de un proceso lineal a uno circular el ciclo de vida de los materiales, en donde el concepto de desecho no existe, por lo que el valor recae en el máximo aprovechamiento de recursos existentes y la reducción de la explotación de nuevos recursos naturales, en este caso suelos fértiles para obtener arcilla (ver figura 92).



Figura 92. (Público, 2017) Las colillas, la principal fuente de basura. Día Mundial del medio ambiente, Madrid.



Figura 93. (Müller, 2001) Degradación ambiental en la actividad ladrillera de Buenos Aires Argentina, Gestiópolis.

● **Beneficios sociales:** Una manera de concientizar de manera activa a la población sobre el impacto negativo que tiene el cigarro y los desechos producidos tras su consumo es mediante campañas de recolección de colillas. Estas campañas pueden ir acompañadas de programas educativos ambientales permanentes, que contemplen temas relacionados con la gestión de residuos y su aprovechamiento para fabricar nuevos materiales reciclables. En ciudades como Córdoba, Argentina (ver figura 93) por ejemplo, programas piloto de gestión integral de residuos de colillas de cigarro se han llevado a cabo en los últimos años (ver figura 94), acompañados también por el apoyo de universidades públicas regionales. Con ello, se ha logrado avanzar en políticas ambientales para sancionar el arrojar colillas de cigarro en espacios públicos, además de que los fumadores han comenzado a hacerse responsables de sus desechos una vez que han comprendido el impacto de los mismos. Esta responsabilidad también ha llegado incluso a no fumadores, por lo que en México podrían esperarse proyecciones similares en un futuro cercano si se convierte en un tema de interés compartido entre autoridades, organizaciones medioambientales públicas o privadas y la ciudadanía en conjunto.

Por otra parte, es posible despertar el interés de empresas de higiene urbana y reciclaje (como es el caso de TerraCycle) tras conocer el valor de este material y las altas posibilidades de reciclaje no sólo en materiales como los ladrillos sino en distintos productos como los que se han investigado anteriormente y se mencionan en el apartado 3.6.2.4, por lo que podría representar también futuras fuentes de empleo en etapas como la recolección, limpieza y gestión de los residuos, así como la investigación y manufactura de nuevos materiales generados a partir de los desechos.



Figura 94. (Universidad Nacional de Córdoba, 2021) Convocatoria abierta a la jornada “Córdoba sin Colillas”, Argentina.



Figura 95. (Gobierno de Argentina, 2021) Campaña "Marzo Sin Colillas" en el Parque Nacional Tierra del Fuego, Argentina.

Las investigaciones mencionadas, realizadas en el ámbito de la universidad pública no solamente apuntan a la sensibilización ante esta problemática, sino que pretenden desarrollar herramientas que, aplicadas al manejo de residuos, promuevan una mirada más abierta para transitar el camino hacia una ciudad más resiliente, tomando en cuenta distintas variables de la sustentabilidad.

- **Beneficios a la salud:** De acuerdo con el Centro de Estudios de Finanzas Públicas los problemas a la salud causados por el consumo de tabaco en fumadores lo llevan a ser uno de los problemas más costosos para el erario público (las enfermedades asociadas al tabaquismo ascienden al 34% del costo total de salud pública en México), además de su alto costo social, por ser una enfermedad prevenible relacionada con distintos tipos de cáncer y otras afecciones pulmonares (CEFP, 2018). Por esta razón, tanto desde el ámbito ambiental hasta el ámbito de salud pública es importante prestar atención a este residuo. Como se mencionó en los beneficios ambientales, los programas educativos son un punto importante para abordar la problemática, en este caso, es importante que el sector salud pública se involucre de manera activa.

También es necesario plantear la importancia de desarrollar futuras investigaciones en el ámbito de los impactos en la salud causados por la presencia de colillas de cigarro en espacios públicos abiertos, ya que las cenizas quedan expuestas a transportarse en el aire y cuerpos de agua y como se ha mencionado, estas y otros componentes del cigarro contienen sustancias tóxicas que se expulsan con gran facilidad una vez que el cigarro es consumido. Además, se debe contemplar que la presencia de una colilla en el medio ambiente antes de llegar a la degradación por completo puede ser mayor a 10 años. De esta manera podría reforzarse la necesidad de prohibir arrojar este residuo en espacios públicos abiertos y entornos naturales, facilitando alternativas para su gestión y reciclaje.

- **Beneficios de su uso e implementación como un material arquitectónico:**

La implementación de este material como un material fabricado a partir de componentes reciclados se considera muy posible después de efectuados los ensayos de resistencia mecánica en muestras individuales, pilas y compresión en diagonal en muretes. Como se observó en los resultados, se cumple con la resistencia mínima requerida de acuerdo con la normativa mexicana aplicable y los estándares establecidos, además de que se conservan las características estéticas y aparentes de un ladrillo común (ver figura 95 y 96), aunque es importante considerar que, para la aplicación a escala real de esta alternativa se vuelve necesario llevar a cabo estudios detallados de caracterización y análisis elemental de la influencia y comportamiento del acetato de celulosa con relación a la arcilla (si actúa como fibra o partícula y su comportamiento como refuerzo, por ejemplo), la calidad de las arcillas utilizadas, además de otras de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, con el afán de conocer de manera precisa su composición

a escala microscópica y establecer así su grado de compatibilidad y efectividad como un posible material estructural y aplicaciones en exteriores.

También, se considera la posibilidad de incorporar en el material una proporción mayor de acetato de celulosa para lograr una variante de ladrillos con mejores propiedades de aislación térmica, acústica y mucho más ligeros, que si bien no resultarían aptos para soportar cargas en los edificios, bien podrían utilizarse en la construcción de muros divisorios, siendo además mucho más livianos y ahorrando por lo tanto materiales en los elementos estructurales de las edificaciones.

También es necesario señalar que las fibras de celulosa que forman parte de una mezcla cementicia, aportan a los materiales mayor liviandad, aislación térmica y acústica que productos similares de mercado, además de que contribuye a la regulación de la humedad en espacios interiores.

Independiente de estas condiciones, se recalca la relevancia que tiene el incorporar materiales reciclados en la arquitectura y la necesidad de sumar importancia a investigaciones desarrolladas desde este ámbito, ya que los materiales considerados como “tradicionales” han generado grandes impactos negativos al medio ambiente y han repercutido en la salud de quienes habitan esos espacios, además la industria de la construcción es una de las más contaminantes y que más residuos genera, a pesar de que, de acuerdo con la Asociación de Empresas Gestoras de Residuos de la Construcción y Demolición de Castilla y León (AGERDCYL) el 90% de los residuos de construcción y demolición puede valorizarse y reincorporarse a un ciclo de vida.



Figura 96. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Ladrillos fabricados a partir de la mezcla de arcilla con acetato de celulosa, muestras individuales.



Figura 97. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Muretes contruidos por muestras del material compuesto (al frente) y muretes contruidos por muestras control (fondo lateral).

8.0 Beneficios del material compuesto ante otros materiales de mampostería

De acuerdo con Miranda, E. (2015), se define como mampostería al sistema constructivo que consiste en la conformación de muros por unidades individuales de un material determinado, juntado por medio de un mortero. A pesar de existir variantes importantes entre los distintos materiales que pueden conformar un sistema de mampostería, como son el concreto, arcilla y piedra, dentro de la industria de la construcción, los materiales comúnmente utilizados son los industrializados, pudiendo incluirse en esta categoría el bloque/ tabique de concreto y el ladrillo/ tabique de arcilla.

También, de acuerdo con las Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcciones e Instalaciones (INIFED, 2015), los materiales que pueden ser utilizados como piezas estructurales en los sistemas de mampostería y que deberán cumplir con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE, son el tabique de barro recocido y el bloque/ tabique de concreto. Por ello, nos limitaremos a hacer un análisis comparativo entre dichos materiales a base de concreto y barro (arcilla).

A pesar de que todos los materiales de mampostería involucran la extracción de materias primas en distintos yacimientos minerales y la explotación de suelos, la complejidad en el proceso de extracción y manufactura no es el mismo, ni involucra el mismo uso de energía y recursos durante su ciclo de producción. Considerando que el ciclo de vida de un edificio inicia desde el momento en el que los materiales empleados en su construcción son producidos, entonces habría que considerar qué materiales son los que menor impacto ambiental, social y económico generan desde su extracción- manufactura, transportación -puesta en obra- demolición y posible reaprovechamiento (reciclaje del material). De manera sintética y sin profundizar en aspectos que, en esta investigación no se plantea analizar como lo serían las propiedades físicas, químicas y mecánicas de otros materiales, se realizará una comparativa de los posibles beneficios sobre todo ambientales que puede tener la incorporación del material compuesto estudiado en el presente trabajo de investigación con respecto a otros materiales de mampostería convencionales, en este caso los fabricados a base de concreto y ladrillos convencionales.

Bloque y tabique de Concreto

Para hablar del impacto ambiental que trae consigo la producción del bloque/tabique de concreto, se especificará el proceso involucrado para el principal material que los conforman; el cemento.

Usamos más de 4 mil millones de toneladas de cemento cada año en todo el mundo. Solo su producción genera alrededor de 2500 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) al año, lo que representa alrededor del 8% del total de la producción mundial (Science Museum2021). La producción de cemento es el tercer mayor consumidor de

energía del mundo, siendo responsable del 7% de todo el uso de energía industrial (WBCSD, 2018) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible pronostica un aumento del 12 al 23 % en la producción de cemento para 2050. Para su producción, es necesario llevar a cabo complejos procesos desde la extracción de las materias primas, hasta su transformación química y física utilizando una gran cantidad de energía y recursos naturales de por medio, como se muestra en la figura 93.

Dado que las emisiones de CO₂ en la industria del cemento han sido investigadas en los últimos años, sabemos que solo el 10% de las emisiones de carbono provenientes de la producción de cemento provienen del transporte de materias primas y la electricidad consumida por las plantas de producción (Benhelal et al., 2012; Ishak y Hashim, 2015), el resto, son resultado directo de la producción del clinker. El clinker constituye el componente base del cemento y es una mezcla de piedra caliza, arcilla y otras materias primas, que se cocinan en hornos a temperaturas de hasta 1450 °C para formar nuevos compuestos. En la producción de cemento, el 40% de las emisiones de carbono resultan de la combustión que ocurre en los hornos, y el 50% restante es liberado por la reacción química para producir óxidos de calcio y magnesio que constituyen el clinker. En la figura 97, se ilustra de manera esquemática el proceso de producción del cemento.

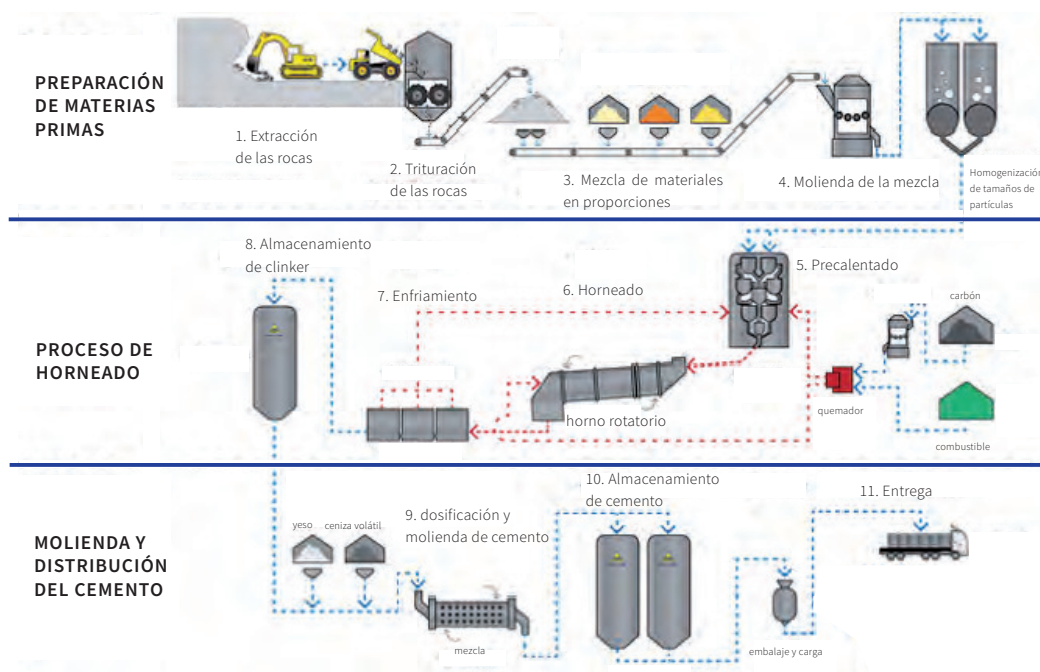


Figura 98. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Proceso de producción del cemento, recuperado de IQR Ingeniería química, Proceso de fabricación del cemento, de: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/11/proceso-de-fabricacion-del-cemento.html>

A partir del cemento, se genera la producción del concreto. El concreto es el material manufacturado más abundante en la tierra. Proporciona los cimientos literales de la vida moderna, pero esto tiene un alto costo ambiental. Convencionalmente se elabora con cemento Portland, siendo éste el material que más energía incorporada tiene en la mezcla.

Tras la fabricación del cemento, se elabora el concreto mediante la adición de arena, agua, grava y si es el caso, algunos aditivos para mejorar su estructura o cambiar su aspecto y propiedades. Dependiendo de la complejidad del concreto a elaborar, se determinará la cantidad de procesos involucrados en su producción, sin embargo al estar conformado por un mayor número de componentes e involucrar la extracción de al menos piedra caliza, arena de sílice, arcilla, esquisto, marga y óxidos de tiza, sílice, aluminio y hierro en forma de arena, arcilla, bauxita, esquisto, mineral de hierro y escoria de alto horno (Vilca, N, s/f), el impacto ambiental se vuelve más complejo de analizar, además de que cada componente requiere de un proceso independiente previo, como se explicó en el caso del cemento.

Este uso generalizado de concreto también está agotando las reservas cada vez menores de arena utilizable. Además, el concreto consume casi el 10% de los suministros de agua industriales del mundo. Al ser el material más utilizado debido a las posibilidades de formas, acabados, uso estructural y apariencia estética, muchas veces es utilizado sin considerar la disponibilidad del mismo en los sitios donde se emplea, por lo que es común observar grandes trayectos de traslado desde el sitio de producción hasta la puesta en obra, además de la falta de adaptabilidad a las distintas condiciones climáticas y ambientales del sitio donde se emplea. De acuerdo con O'Reilly D., Vitervo A.; et. al (2010) las principales afecciones producidas por el uso de este material son: emisiones atmosféricas de polvo y gases, ruido, contaminación y compactación de suelos, afectaciones a la calidad edáfica y a la biodiversidad, emisiones atmosféricas de polvo y gases, contaminación por el uso de aceites y lubricantes en su producción, contaminación del suelo por residuos de la producción, incremento de la generación de residuos sólidos de papel y otros materiales involucrados en el proceso.

A pesar de no representar el mismo porcentaje de uso en la industria de la construcción que el concreto, el bloque de concreto es un material ampliamente utilizado en sistemas de muros de carga y divisorios, la mecanización de los procesos de fabricación le dio un gran impulso, permitiendo la manufactura en serie de piezas con dimensiones uniformes, alto rendimiento y bajo costo.

Se fabrican a partir de la mezcla de cemento, agregados y agua. De acuerdo con las propiedades del material a desarrollar, se determina el tipo de cemento a emplear, de acuerdo con Gamboa, O. (2005), el tipo de cemento comúnmente utilizado para la producción de blocks de concreto es el cemento Portland tipo 1. En cuanto a los agregados, son de dos clases; los convencionales para concreto, conformados por gravas, arenas naturales de río o mina, piedrines de trituración de roca de canteras o de canto rodado y los livianos o ligeros, que son granulados volcánicos de distintos tipos y procedencia, que incluyen principalmente las granzas y arenas pómez, amarillas, blancas, y escorias volcánicas. Se pueden utilizar también cascarilla de arroz o desperdicios industriales con el fin de aligerar el peso del bloque.

El material se moldea, compacta y cura en condiciones controladas, que garantizan la obtención de las propiedades buscadas tales como densidad y alta resistencia, baja

absorción y uniformidad. Los bloques de concreto se elaboran según diferentes modalidades que van desde una producción manual, hasta una fabricación totalmente automatizada. A pesar de representar un menor impacto ambiental que el concreto, debido a la reducción en la intensidad de su uso, y la cantidad del material cementante a emplear en la mezcla, la fabricación del bloque continúa involucrando la incorporación de cemento, que, como se revisó, el proceso de producción implica la extracción importante de recursos no renovables, la emisión de gases altamente contaminantes a la atmósfera como el CO₂, el uso de energía para la transformación de la materia prima en el material final mediante un proceso industrializado y la distribución hasta los puntos de uso, también se debe considerar los distintos agregados minerales y pétreos que son extraídos de minas y campos abiertos y que conforman en mayor proporción la mezcla que genera el material.

En nuestro país es un material sumamente empleado, debido a la rapidez de incorporar el sistema en el proceso de construcción, el costo económico y la disponibilidad en el mercado, además de que su uso ha sido perpetuado por mucho tiempo y es un sistema constructivo muy conocido y práctico de emplear. Sin embargo, poco se habla sobre el impacto ambiental que tiene su producción, no solo hablando del producto final, sino también de todos los materiales que están involucrados y que cada uno de ellos llevan un proceso de manufactura independiente. Su uso, sobrepasa en la actualidad al del ladrillo de arcilla, debido a que es mayormente asequible y se conserva la idea de que es un material “moderno” mientras que el ladrillo, debido a su producción un tanto más artesanal y rudimentaria, además de que es mas costoso que el bloque o tabique de cemento y es menos comercial se ha visto mayormente menospreciado.

Ladrillo y tabique de arcilla

Debido a que en apartados anteriores ya se ha hecho referencia a las materias primas involucradas en la producción de ladrillos, así como el proceso detallado de su manufactura, únicamente se retomará el tema desde el ámbito de los impactos ambientales causados por su fabricación, para a partir de ello, lograr un acercamiento a los beneficios generales que podría traer el material compuesto que se propone.

Se tratará de hacer mayor énfasis en la producción artesanal de los mismos, ya que fue mediante este método como se fabricaron los ladrillos utilizados en el presente trabajo de investigación, además que, de acuerdo con lo observado y documentado por varios autores, es mediante este proceso donde se perciben mayores impactos ambientales, debido a la irregularidad de las condiciones de operación y extracción de suelos en áreas naturales de reserva, uso de materiales combustibles prohibidos y tratamiento inadecuado de desechos en las ladrilleras, muchas de ellas operando de manera ilegal. Para llevar a cabo esta actividad, se utilizan combustibles altamente contaminantes como llantas, aceites, residuos industriales, por mencionar algunos. Dicho proceso genera dioxinas y furanos, distintas especies de hidrocarburos y volúmenes masivos de

partículas, además de otros contaminantes como el monóxido de carbono, óxidos de azufre y de nitrógeno (ver figura 98). Los combustibles empleados para la alimentación del horno dependen tanto de los materiales y residuos disponibles en la zona de ubicación de la ladrillera, como del grado de industrialización del proceso. Entre los combustibles que se emplean con mayor frecuencia en México están la madera, el aserrín, combustóleo y aceites gastados, además del diésel, basura doméstica y en procesos generalmente más industrializados, el gas natural o LP (CENICA, 2002).

También, debido a la falta de regularización de operación de muchas ladrilleras, la materia prima arcillosa es extraída de zonas con valor ambiental invadidas, debido a que cada vez se da un mayor agotamiento de los suelos disponibles para su extracción. Esto además representa una condición de vulnerabilidad, ya que el extraer la materia prima de zonas no aptas para tal actividad provoca deslaves, tala de árboles y otras especies vegetales, contaminación de cuerpos de agua, desplazamiento y contaminación de suelos, convirtiéndolos en poco fértiles.

Los residuos producidos por la industria ladrillera están constituidos por material sobrante y desperdicio de la producción, cenizas y moldes desechados. La descarga y acumulación de residuos en sitios peri-urbanos, urbanos o rurales producen polvos irritantes y también afectan los suelos y cuerpos de agua inmediatos.



Figura 99. (Fotografía de la red, 2018) Humos cancerígenos podrían generarse en la producción de ladrillos. Red Universitaria de Jalisco, de: <https://udg.mx/es/noticia/humos-cancerigenos-podrian-generarse-produccion-ladrillos>

Es evidente que cualquier material utilizado en la industria de la construcción tiene repercusiones en el medio ambiente, y a pesar de los esfuerzos desarrollados los últimos años por mitigar esta problemática, los materiales convencionales seguirán

implementándose durante mucho tiempo más, hasta que progresivamente se haga una transición a los nuevos materiales reciclados y tecnológicos que buscan impactar en menor medida al medio ambiente, como ocurrió con el concreto durante el siglo pasado y que posiblemente no se dejará de implementar, pero sin duda se está buscando desarrollar tecnologías que permitan reducir su impacto ambiental.

No se puede argumentar que la producción de ladrillos no genera un alto impacto ambiental, ya que, cualquier material que ocupe como materia prima recursos naturales no renovables e implique un proceso de transformación con energía y uso de combustibles fósiles, emitirá importantes contaminantes a la atmósfera, aunque es importante recalcar que no todos los materiales contaminan en la misma medida. Como se revisó anteriormente, el concreto es el material de construcción más usado a nivel mundial, uno de los que más recursos hídricos consume y mayor transportación implica, además de que su impacto va más allá de solo causar problemáticas en la escala ambiental. Para producirlo, es necesario el cemento, otro de los materiales con mayor índice de consumo de recursos naturales y emisiones de gases nocivos a la atmósfera. Cuando comparamos la producción de ladrillos con la producción de cemento o concreto, es posible observar que la cantidad de materia prima involucrada a extraer, los procesos de transformación de materia prima, manufactura y producción de éstos, no representa la misma complejidad, siendo el ladrillo de estos dos el que menor impacto ambiental tiene, aunque contrariamente representa un menor porcentaje de producción y uso a nivel mundial (ver gráfica 1- pág. 49).

Es posible considerar que la mejor solución para detener la contaminación ambiental por la producción de estos materiales sea deteniendo su producción y consumo, pero esa es una solución aún lejana, lo que si bien puede plantearse es, como lo presenta esta investigación, buscar reducir su impacto ambiental mediante el reaprovechamiento de materiales, la reducción de las emisiones que implica su producción, mejorar sus propiedades térmicas y acústicas para volverlos energéticamente más eficientes y también incentivar a que la producción de los materiales se convierta cada vez más en un proceso sostenible. Así, si bien los impactos ambientales generados por el material propuesto aún existirían, con su incorporación, a diferencia de ladrillos convencionales o mayor aún, que el concreto y cemento, podríamos hacer una contribución a reducir la problemática causada por la contaminación por colillas de cigarro, no solo desde su gestión, sino en su reaprovechamiento, que podría contribuir a reducir el tiempo de cocción de los ladrillos, y con ello las emisiones de gases contaminantes emitidos a la atmósfera, también podría contribuirse a reducir su conductividad térmica y acústica contribuyendo no solo a la reducción del impacto ambiental, sino también a generar espacios mayormente confortables para sus usuarios, esto sin invertir en extraer un material virgen de la tierra, como sería el caso de la producción tradicional de cemento, concreto, bloques de concreto y ladrillos conformados únicamente por arcilla.



9.0 Conclusiones

Este proyecto de investigación, contempló desde sus inicios la premisa de desarrollar un material arquitectónico a base del rescate y recuperación de un desecho que pudiera volver a ser integrado a un nuevo ciclo de vida, y que además el reaprovechamiento del mismo contribuyera a reducir las problemáticas ambientales relacionadas con su producción, fuera éste de la industria de la construcción o no.

Así, tras un proceso de acercamiento al área de estudio, se decidió tomar como caso práctico la incorporación del acetato de celulosa proveniente de las colillas de cigarro como material de reuso, justificado en ser a nivel mundial el primer residuo producido en núcleos urbanos, su mala gestión, la contaminación producida por su lixiviación y la problemática de salud a nivel mundial que representa, tanto por el consumo del cigarrillo como por la disposición de las colillas en suelos, cuerpos de agua y ambientes naturales. Así, este desecho se planteó como un aditivo a un material tradicional en la arquitectura como es el ladrillo tradicional de arcilla.

A partir de esta adición y generación de un nuevo material compuesto, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

1. La recolecta de colillas de cigarro para la obtención del acetato de celulosa, además de representar el reaprovechamiento de un importante residuo urbano, representa también la oportunidad de regular su tratamiento como desecho, fomentar y formalizar campañas de recolección permanente, principalmente en centros urbanos y la instalación de contenedores específicos para su depósito final, como se observó en otros tantos proyectos de investigación o campañas de recolección realizadas por instituciones públicas o privadas.
2. El proceso de tratamiento del acetato de celulosa como residuo para su reaprovechamiento no es complejo, puesto que no involucra llevar a cabo procesos químicos en el que otras variables y componentes deban ser controlados, ni involucra el uso de materiales costosos o complicados de manipular, al menos en el procedimiento de reciclaje planteado en este trabajo de investigación.
3. Los residuos restantes que conforman a las colillas de cigarro como son el papel de lino que envuelve el filtro, las cenizas y tabaco residual pueden ser reutilizados. A pesar de que en el presente proyecto de investigación no se plantee, es posible reciclarlos, esto debido a las benéficas propiedades encontradas hasta el momento en investigaciones anteriormente realizadas y citadas en el presente proyecto de investigación; en el caso del papel de lino es posible usarse como material de embalaje o para la producción de papel de alta calidad, en el caso de los residuos de tabaco y cenizas, es posible utilizarlos como insecticidas en plantas y vegetales no comestibles aunque habría que validar que estas teorías realmente se estén llevando a la práctica actualmente o bien, aún se encuentren en etapa de desarrollo o investigación.

4. Las fibras de acetato de celulosa se integran de manera efectiva en la mezcla de arcilla y agua, sin embargo es importante controlar el volumen de acetato de celulosa agregado para no comprometer la trabajabilidad de la mezcla. También se recalca la posibilidad de poder controlar la cantidad de acetato de celulosa presente en la mezcla de acuerdo al uso y necesidades del material: estructural o no estructural. En el caso de priorizar el uso no estructural, la adición de un mayor porcentaje de acetato de celulosa podría representar un beneficio en el material al mejorar sus propiedades de aislamiento acústico y térmico. Además de beneficiar su ligereza y con ello la reducción de cargas muertas en los edificios, conservando las mismas características estéticas y formales que un ladrillo de arcilla común.

Durante el proceso de experimentación, se determinaron dos variables a considerar para los ensayos de resistencia mecánica y absorción total de agua a 24 hrs, siendo:

1. Matriz aislada de arcilla (control), 2. Matriz reforzada con fibras de acetato de celulosa.

Los resultados obtenidos tras la definición de las variables mencionadas, se resumen de la siguiente forma:

La matriz reforzada con fibras de acetato de celulosa (2), mostró mínimamente un mejor comportamiento en los ensayos mecánicos de resistencia a la compresión realizados, contrario a lo esperado anterior al ensayo, al suponer que contribuiría a reducir la resistencia del material. Así, las muestras con contenido del 1% en peso de acetato de celulosa ensayadas en compresión individual, pilas y muretes, mostraron un comportamiento aceptable ante la carga ejercida, cumpliendo además con los valores mínimos requeridos por la normativa mexicana correspondiente al diseño de sistemas de mampostería. La matriz control (1) también cumplió con la resistencia necesaria.

Por otra parte, la resistencia a la absorción no se benefició, estando ligeramente abajo de la mínima requerida por normativa, sin embargo no se realizó el ensayo en muestras pertenecientes a la variable 1, por lo que no fue posible determinar si esta condición se debió a las características generales de fabricación y materialidad (arcilla) de todas las muestras o se debió a la adición del acetato de celulosa. Cabe mencionar que el desarrollo de un material aplicable a elementos estructurales conlleva el cálculo, ensayo y análisis de múltiples variables que pueden influir en un entorno práctico, además de que es necesario evaluar las condiciones ambientales que generará, no solo basta con utilizar materiales reciclados, sino que se deberá evaluar su adaptabilidad, ciclo de vida, las condiciones de habitabilidad que genera, impacto en la calidad del aire interior y sus demás propiedades físicas, químicas y mecánicas, principalmente.

Por último, el mercado de materiales reciclados incorporados todavía es pequeño comparado con la oferta de materiales constructivos tradicionales, y a pesar del potencial que representan, estos requieren mayor desarrollo para su inmersión y aceptación, sin embargo es un hecho inevitable que en unas décadas estarán presentes

y tendremos que hacer esa transición hacia una nueva forma de hacer arquitectura; un proceso de deconstrucción que no inicia con la planificación de materiales desde cero.

Propuestas de líneas de investigación a seguir

Analizar el desempeño térmico, acústico y propiedades físicas en ladrillos de arcilla con un mayor porcentaje en contenido de acetato de celulosa, con la intención de observar si la resistencia mecánica se ve afectada cuando el desempeño térmico y acústico pueden llegar a incrementarse, como lo planteo la investigación realizada por A. Mohajerani (2016), trabajo en el cual se basó el presente trabajo de investigación.

Comparación y análisis de resultados obtenidos al realizar la fabricación de las muestras control y muestras con contenido de acetato de celulosa en un laboratorio en donde puedan controlarse rigurosamente todas las variables involucradas: cantidades, proporciones, instrumentos de medición, tiempos de fabricación y mezclado, materias primas utilizadas, con respecto a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Adición de acetato de celulosa en la fabricación de otros materiales constructivos como bloques de cemento, bloques de tierra comprimida y adobe, con la intención de estudiar los beneficios acústicos, térmicos y cambios en sus propiedades mecánicas y físicas que pudiera tener dicho material, realizando una comparativa con respecto a los resultados observados en los ladrillos de arcilla con contenido de celulosa.

Determinar técnicas y métodos para realizar mediciones de las emisiones de CO₂ durante el proceso de fabricación de ladrillos de arcilla con contenido de acetato de celulosa en una ladrillería tradicional, realizando una comparativa con respecto a las emisiones de CO₂ producidas durante la fabricación de ladrillos tradicionales sin contenido de acetato de celulosa, además de la comparación en los tiempos de cocción respectivamente.

Implementación del prototipo de ladrillo estudiado en el presente trabajo de investigación en un proyecto de vivienda piloto en el que se analicen las emisiones de componentes tóxicos y lixiviados que pudieran liberarse en el ambiente interior/exterior a causa de la presencia del acetato de celulosa (componentes tóxicos del tabaco), además de la durabilidad del material expuesto a condiciones ambientales naturales.

Posibilidades de reciclaje del material cerámico al concluir su ciclo de vida.

10. Bibliografía:

Building with reclaimed components and materials

Addis, B. (2006). Building with reclaimed components and materials. A design handbook for reuse and recycling. Reino Unido: earthscan.

Ciencia e ingeniería de los materiales

Askeland, D. (1998). Ciencia e ingeniería de los materiales. México: Thomson editores

La basura: manual práctico para el reciclamiento urbano

Aguilar, M. y Salas, H. (2004). La basura: manual práctico para el reciclamiento urbano. Trillas: México.

Material: del desecho a la arquitectura

Bahamón, A. & Sanjinés, M. (2008). Rematerial. Del desecho a la arquitectura. España: Parramón arquitectura y diseño.

Degradación de los residuos sólidos del cigarrillo por crecimiento de pleurotus ostreatus (jacq: fr) kumm y trametes versicolor (l.: fr.) Pilát

Benítez, L. (2012). Degradación de los residuos sólidos del cigarrillo por crecimiento de pleurotus ostreatus (jacq: fr) kumm y trametes versicolor (l.: fr.) Pilát. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Process and method for recycling cigarette butts. Patentdocs

Burich, B. (2009) Process and method for recycling cigarette butts. Patentdocs. Recuperado el 28 de abril de 2020, de: <http://www.patentsencyclopedia.com/app/20090113789>

Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales

Callister, W. (1995). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Departamento de ciencia de los materiales e ingeniería. Utah: Reverté

Reutilización de materiales de construcción. Un paso intermedio necesario

Campo, R. (s.f.), Reutilización de materiales de construcción. Un paso intermedio necesario.

España: R+S=F ORG. Recuperado el 18 de abril de 2020, de:

http://www.rs2010.org/files/u1/B03_Campo_Lozano__Rebeca.pdf

CANACEM. (s.f.). Proceso de producción del cemento. Recuperado el 11 de mayo de 2022, de:

<https://canacem.org.mx/proceso-de-produccion/>

El Tabaquismo y su efecto en las Finanzas Públicas: 2007-2017

CEFP. (2018). El Tabaquismo y su efecto en las Finanzas Públicas: 2007-2017. Nota Informativa.

Recuperado el 22 de abril de 2020, de:

<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2018/notacefp0042018.pdf>

Hacia un reciclaje de materiales de la construcción

De la Rosa, A. y Falcón, J. (2013). Hacia un reciclaje de materiales de la construcción. Principios fundamentales. Ingeniería civil sostenible y urbanismo. Researchgate. Net, núm.3. Recuperado el 19 de abril de 2020, de:

https://www.researchgate.net/publication/304498116_Hacia_un_Reciclaje_de_Materiales_de_Construccion

¿Escombros o material de reciclaje?

Del cueto, B. (2013). ¿escombros o material de reciclaje? Arquitectura: construcción, p. 36-37.

Material compuesto para arquitectura a base de una matriz de cartón y un refuerzo de tejido de fibras de carbono 12K twill: estructuras ligeras de gran claro.

Díaz, A. (2019). Propiedades de los materiales. Material compuesto para arquitectura a base de una matriz de cartón y un refuerzo de tejido de fibras de carbono 12K twill: estructuras ligeras de gran claro. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Colillas en espacios naturales. Informe libera 2018.

Ecoembes.(2018). Colillas en espacios naturales. Informe libera 2018. Recuperado el 24 de abril de 2020, de:

<https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2018/07/Informe-Colillas-LIBERA-2018.pdf>

Optimización del proceso de fabricación de bloques de concreto del estándar 15x20x40 cm con grado de resistencia 28 kg/cm², caso específico fuerte-block máquinas #1 y #2

Gamboa, L. (2005). Optimización del proceso de fabricación de bloques de concreto del estándar 15x20x40 cm con grado de resistencia 28 kg/cm², caso específico fuerte-block máquinas #1 y #2. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Materias primas para la industria cerámica.

Galán, E y Aparicio, P. (sin fecha). Materias primas para la industria cerámica. Universidad de Sevilla. Recuperado el 09 de abril de 2020, de:

http://www.ehu.eus/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_031.pdf

Resistencia de materiales para arquitectos.

García, C. (2001). Resistencia de los materiales para arquitectos. México: Pearson

Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto

García, A., Gil, E., Galván, L. (2015). Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto. Enfoque UTE, 6(4), p. 67-80. Recuperado el 11 de mayo de 2022, de: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n4.79>

Se desechan 5 mil millones anuales de colillas en México, advierte Salud

Garduño, R. y Méndez, E. (2016, 3 de agosto). Se desechan 5 mil millones anuales de colillas en México, advierte Salud, p. 32. Recuperado el 27 de abril de 2020, de:

<https://www.jornada.com.mx/2016/08/03/sociedad/032n2soc>

Ciencia de materiales para ingenieros.

Güemes, A., y Martín, N. (2012). Ciencia de materiales para ingenieros. Madrid: Pearson

El concreto y otros materiales para la construcción.

Gutiérrez, I. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad de Colombia: Manizales.

Building from waste: recovered materials in architecture

Hebel, D., Wisniewska, M., & Heisel, F. (2014). Building from waste: recovered materials in architecture. Alemania: EthZurich.

Residuos como nuevos materiales de construcción.

Herrero, A. (2019). Arquitectura reciclada. Residuos como nuevos materiales de construcción. Trabajo de fin de grado. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 18 de abril de 2020, de: http://oa.upm.es/53939/1/TFG_Herrero_Olavarri_Alejandra.pdf

El Concreto en la obra: problemas, causas y soluciones. Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines.

IMCYCY (2015). El Concreto en la obra: problemas, causas y soluciones. Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines. Núm. 92. Recuperado el 16 de diciembre de 2020, de: <http://imcyc.com/revistacyt/pdf/abril2015/problemas.pdf>

El Concreto en la obra: problemas, causas y soluciones. Cemento para albañilería: (Mortero)/Especificaciones y métodos de prueba.

IMCYC. (2011). El Concreto en la obra: problemas, causas y soluciones. Cemento para albañilería: (Mortero)/Especificaciones y métodos de prueba. Núm. 41. Recuperado el 17 de diciembre de 2020, de: <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas41.pdf>

Cabeceo de especímenes

INATEK. (2019) NMX-C-109-ONNCCE-2013. Cabeceo de especímenes. Recuperado el 10 de enero de 2020, de: <https://es.scribd.com/document/396751430/Protocolo-NMX-C-464-ONNCCE-2010>

Conocimientos de materiales en ingeniería

John, B. (1976). Conocimientos de materiales en ingeniería. Temas básicos de ingeniería. Barcelona: Gustavo Gili

The environmental impact of cement production in Europe: A holistic review of existing EPDs

Juarez, R., Finnegan, S. (2021). The environmental impact of cement production in Europe: A holistic review of existing EPDs. Cleaner Environmental Systems. Vol. 3. Recuperado el 09 de mayo de 2022, de: <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100053>.

Manufactura, ingeniería y tecnología

Kalpakjian, S., y Schmid, R. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Pearson Educación

Cigarette Butts as Litter—Toxic as Well as Ugly

Kathleen M. (2000). Cigarette Butts as Litter—Toxic as Well as Ugly. Underwater Naturalist. Recuperado el 14 de abril de 2020, de: <http://www.longwood.edu/cleanva/ciglitterarticle.html>

La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento

Linares, J., Huertas, F y Capel, J. (s.f.). La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento. España: Universidad de Granada. Recuperado el 10 de abril de 2020, de: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cpag/article/download/1224/1415>

Procesado de filtros de cigarro desechados para la construcción de paneles divisorios

Luna, R. (2015). Procesado de filtros de cigarro desechados para la construcción de paneles divisorios. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional.

El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios: propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos

Maccarani, L. (2011). El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios: propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos. Tesis de Maestría. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado el 19 de abril de 2020, de: <https://tdx.cat/handle/10803/369>

MANTIS. Prendas y accesorios con colillas de cigarro purificadas

MANTIS. (s.f.), Prendas y accesorios con colillas de cigarro purificadas. Recuperado el 27 de abril de 2020, de:

<http://mantis-mantis.blogspot.com/2012/01/prendas-y-accesorios-concolillas-de.html>

Arquitectura alternativa: construcción low-cost. Reciclar y construir con el desecho

Martínez, A. (2016). Arquitectura alternativa II: construcción low-cost. Reciclar y construir con el desecho. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 15 de marzo de 2020, de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78417/MART%C3%8DNEZ%20-%20PRA-F0036%20Arquitectura%20Alternativa%20II%3A%20Construcci%C3%B3n%20Low-cost.%20Reciclar%20y%20construir%20con....pdf?sequence=1>

Reciclaje de arquitectura vs restauración arquitectónica, ¿herramientas contrapuestas?

Martínez, M. (s.f.) Reciclaje de arquitectura vs restauración arquitectónica, ¿herramientas contrapuestas? Hábitat y Sociedad, 2012, nº 5, p. 23-33. Recuperado el 19 de abril de 2020, de: <https://revistascientificas.us.es/index.php/HyS/article/view/4131>

Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI

Mijangos, C. y Serafín, J. (2007). Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Materiales cerámicos en la arquitectura: mampostería reforzada

Miranda, E. (2018). Materiales cerámicos en la arquitectura: mampostería reforzada. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: recycling in fired clay bricks

Mohajerani, A., Abdul, A. y Larobina, I. (2016). practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: recycling in fired clay bricks. Elsevier: waste management. 228-244.

Recycling of Cigarette Butts in Fired Clay Bricks: A New Laboratory Investigation. School of Engineering

Mohajerani, A. y Kurmus, H. (2020). Recycling of Cigarette Butts in Fired Clay Bricks: A New Laboratory Investigation. School of Engineering. RMIT University. Recuperado el 03 de mayo de 2020, de: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/3/790/htm#cite>

Estudio para la minimización del residuo de colillas de tabaco y su posible reutilización

Monzonis, J. (2011). Estudio para la minimización del residuo de colillas de tabaco y su posible reutilización. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperada el 21 de abril de 2020, de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11025/Memoria.pdf?sequence=1>

Moreno, P. (2004). Estimación de riesgos ambientales causados por la industria ladrillera. Tesis de Licenciatura. UNAM: Programa de maestría y doctorado en Ingeniería. Recuperado el 07 de mayo de 2022, de: <http://132.248.9.195/ppt2004/0337915/0337915.pdf>

Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería

Newell, J. (2011). Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería. México: AlfaOmega

Ecofilter recicla colillas de cigarros para elaborar objetos

Noticiero Científico y Cultural Iberoamericano. (2018, 25 de mayo). Ecofilter recicla colillas de cigarros para elaborar objetos. Recuperado el 27 de abril de 2020, de: <http://noticiasncc.com/cartelera/articulos-o-noticias/05/25/ecofilter-recicla-colillas-cigarros/>

Consumption and production waste: another externality of tobacco use

Novotny, E., y Zhao, F. (1999). Consumption and production waste: another externality of tobacco use. Tobacco control 8, p.75-80. Recuperado el 24 de abril de 2020, de: <https://tobaccocontrol.bmj.com/content/8/1/75>

International Coastal Cleanup 2017 Report

Ocean Conservancy. (2017). International Coastal Cleanup 2017 Report. International Coastal Cleanup. Recuperado el 24 de abril de 2020, de:

https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/06/International-Coastal-Cleanup_2017-Report.pdf

Hacen celulosa para papel con colillas de cigarros

Olvera, L. (2018, 31 de mayo). Hacen celulosa para papel con colillas de cigarros. GacetaUNAM. Recuperado el 27 de abril de 2020, de:

<https://www.gaceta.unam.mx/hacen-celulosa-para-papel-con-colillas-de-cigarros/>

Iniciativa que reforma los artículos 13 y 16 de la Ley General para el Control del Tabaco.

Orozco, J. (2016). Iniciativa que reforma los artículos 13 y 16 de la Ley General para el Control del Tabaco. Recuperado el 27 de abril de 2020, de:

http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2016/10/asun_3424838_20161012_1475861484.pdf

Impacto económico del tabaquismo en los sistemas de salud de América Latina: un estudio en siete países y su extrapolación a nivel regional

Pan American Journal of Public Health. (2016). Impacto económico del tabaquismo en los sistemas de salud de América Latina: un estudio en siete países y su extrapolación a nivel regional. Recuperado el 25 de abril de 2020, de:

https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/31302/v40n4a05_213-21.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cigarettes with defective filters marketed for 40 years: what Philip Morris never told smokers Tobacco Control

Pauly, J., Mepani, A., Lesses, J., et al. (2002). Cigarettes with defective filters marketed for 40 years: what Philip Morris never told smokers Tobacco Control. BMJ Journals: Tobacco control, 11:i51-i61. Recuperado el 14 de abril de 2020, de:

https://tobaccocontrol.bmj.com/content/11/suppl_1/i51.full

Materiales Cerámicos

Pinto, A. (2011). Materiales cerámicos. Materiales y materias primas. Cap. 6, p. 6-29. Buenos Aires, Argentina: INET

Materiales de construcción: cerámica y vidrio

Polanco, J., Cavia, S. y García T. (s.f.). Materiales de construcción. Cerámica y vidrio. Recuperado el 12 de abril de 2020, de:

<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/280/course/section/205/Leccion13.pdf>

Desarrollo de un proceso para el reciclaje de colillas de cigarro.

Rivera, D. (2019). Desarrollo de un proceso para el reciclaje de colillas de cigarro. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción a los materiales cerámicos

Rocha, E. (2005). Introducción a los materiales cerámicos. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

The Chemical Components of Tobacco and Tobacco Smoke

Rodgman, A., y Perfetti, T. (2013). The Chemical Components of Tobacco and Tobacco Smoke. EUA: CRC Press. Recuperado el 23 de abril de 2020, de:

https://www.researchgate.net/publication/294261119_The_Chemical_Components_of_Tobacco_and_Tobacco_Smoke

Degradación de filtros de cigarro por medio de *Pleurotus ostreatus* var. crema BPR-1

Ruiz, J. (2019). Degradación de filtros de cigarro por medio de *Pleurotus ostreatus* var. crema BPR-1. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 20 de abril de 2020, de: https://www.researchgate.net/publication/336045909_Degradacion_de_colillas_por_medio_del_hongo_ostra_Pleurotus_ostreatus_var_crema_BPR-1_final

El impacto del ser humano en el planeta. Arquitectura, cambio global y desarrollo sustentable
Salas, H. (1997). El impacto del ser humano en el planeta. Arquitectura, cambio global y desarrollo sustentable. México: Edamex

Propiedades de los materiales

Saavedra, J. (2013). Propiedades de los materiales. Tecnología de los Materiales. Facultad de ingeniería, p. 1-14.

Colillas de cigarrillos: ¿se pueden reciclar?

Sabaté, J. (2018, 12 de junio). Colillas de cigarrillos: ¿se pueden reciclar? Recuperado el 27 de abril de 2020, de: https://www.eldiario.es/consumoclaro/ahorrar_mejor/Colillascigarrillos-pueden-reciclar_0_779373155.html

Building the modern world: concrete and our environment. Everyday technology

Science Museum. (2021) Building the modern world: concrete and our environment. Everyday technology. Recuperado el 03 de mayo de 2022, de :

<https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/everyday-wonders/building-modern-world-concrete-and-our-environment>

Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013

SEDEMA (2015). Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013. Recuperado el 20 de abril de 2020, de:

<http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/NADF-024-AMBT-2013.pdf>

Clasificación, reciclaje y valoración de los RSU

SEMARNAT. (s.f.) Clasificación, reciclaje y valoración de los RSU. Recuperado el 20 de abril de 2020, de: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf

Residuos Sólidos urbanos: la otra cara de la basura

SEMARNAT. (s.f.). Residuos Sólidos urbanos: la otra cara de la basura. Recuperado el 21 de abril de 2020, de:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39412/RESIDUOS_SOLIDOS_URBANOS-_ENCARTE.pdf

Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros

Shackelford, J. (2010). Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. España: Pearson.

Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish

Slaughter, E., Gersberg, R., Watanabe, K., et al. (2011). Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. Tobacco Control 20, i25-i29. Recuperado el 25 de abril de 2020, de: https://tobaccocontrol.bmj.com/content/20/Suppl_1/i25

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería SMIE. (2017). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Recuperado el 17 de diciembre de 2020, de:
<https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicascomplementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-mamposteria-2017.pdf>

Incorporation of cigarette butts into nests reduces nest ectoparasite load in urban birds: new ingredients for an old recipe?

Suárez, M., López, I., y Macías, C. (2013). Incorporation of cigarette butts into nests reduces nest ectoparasite load in urban birds: new ingredients for an old recipe? Recuperado el 25 de abril de 2020, de:

https://www.researchgate.net/publication/233879971_Incorporation_of_cigarette_butts_into_nests_reduces_nest_ectoparasite_load_in_urban_birds_New_ingredients_for_an_old_recipe

Cigarette Waste Recycling Program

TERRACYCLE. (s.f.) Cigarette Waste Recycling Program. Recycling with TerraCycle. Recuperado el 27 de abril de 2020, de:

<https://www.terracycle.com/en-CA/brigades/cigarette-waste-en-ca#resources>

Construção sustentável, caso dos materiais de construção

Torgal, F., y Jalali, S. (2007) Construção sustentável. O caso dos materiais de construção. En: Congresso Construção 2007. Lisboa.

Materiales Cerámicos. Propiedades, aplicaciones y elaboración

Vázquez, E. (2005). Materiales Cerámicos. Propiedades, aplicaciones y elaboración. México: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial. Facultad de Arquitectura UNAM.

La cerámica en el diseño industrial, algunas propuestas metodológicas para el desarrollo de pastas y vidriados

Vázquez, E. (2001). La cerámica en el diseño industrial, algunas propuestas metodológicas para el desarrollo de pastas y vidriados. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

6.3.5 Absorción total de agua a 24 horas

La prueba de absorción total de agua a 24 horas se realizó siguiendo los procedimientos especificados en el Estándar *NMX-C-037-ONNCCE-2005* y únicamente se realizó en tres ejemplares del material compuesto. Las muestras se sumergieron en agua por un periodo de 24 horas, posterior al tiempo transcurrido, se retiraron del contenedor, se retiró el exceso de agua y se obtuvo nuevamente su peso, esto con la intención de medir la cantidad de agua que había absorbido el material durante el tiempo transcurrido. La absorción total se obtuvo de la diferencia de peso entre las muestras en estado completamente seco y su peso en estado húmedo. En la tabla 22 se muestran los resultados obtenidos:

Prueba de absorción total a 24 hrs. en muestras del material compuesto					
Espécimen	Masa seca	M.S.S.S Masa saturada y superficie seca (g)	Masa sumergida en el agua(g)	Absorción total	Absorción total
	g			dm3/m3	%
01	2133	2672	1216	370.2	25.3
02	2040	2574	1185	384.4	26.2
03	2149	2684	1242	371.0	24.9

Tabla 22. Resultados presentados en 3 muestras del lote del material compuesto en prueba de absorción total de agua.

De acuerdo con lo observado en la tabla 22, el resultado promedio de absorción de agua fue del 25.4%, lo que es equivalente a 537 g., es decir; las muestras absorbieron una cuarta parte de su peso promedio en agua (ver figura 89 y 90). No se observó algún cambio físico en las muestras, sin embargo se asume que debido al posible aumento en la porosidad del material por la adición del acetato de celulosa, pudo haber sido propenso a absorber una mayor cantidad de agua, como se sugirió en el apartado 5.3 (pág. 93).



Figura 90. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Muestra 2, medición de la masa saturada con agua.



Figura 91. (Daniela Cruz Martínez, 2021) Muestra 3, medición de la masa saturada con agua.

11. Anexo:

Reporte de resultados. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. A.C. (IMCyC)
Referencia: Pilas y Muretes



Instituto Mexicano del
Cemento y del Concreto, A.C.

Insurgentes Sur No. 1846 Col. Florida
Del. Álvaro Obregón
C.P. 01030, Ciudad de México
Tels. (0155) 5322-5740
imcyc@mail.imcyc.com

Constitución No. 50 Col. Escandón
Del. Miguel Hidalgo
C.P. 11800, Ciudad de México
Tels. (0155) 5276-7200
www.imcyc.com

Ciudad de México, a 26 de julio de 2021
Orden de Trabajo No. 704
Informe Técnico No. 188

**FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM
CIUDAD UNIVERSITARIA
COYOACÁN, CIUDAD DE MÉXICO
C.P. 04510**

Referencia: "PILAS Y MURETES"

At'n: Daniela Cruz Martínez

Se anexa a la presente los resultados de los ensayos a compresión de piezas individuales de tabique rojo, así como los resultados de los ensayos a compresión diagonal de **MURETES** para obtener el esfuerzo cortante resistente de diseño (v^*), así como el ensaye a compresión de **PILAS** para obtener la resistencia a compresión (f^*_m). Las Pilas y Muretes fueron fabricadas con el tabique rojo, por personal del IMCYC.

Los ensayos se realizaron de acuerdo con lo especificado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México y los estándares NMX-C-464-ONNCCE-2010, NMX-C-036-ONNCCE-2013, NMX-C-037-ONNCCE-2013, NMX-C-038-ONNCCE-2013.

Sin otro particular y seguros que la presente información le será de gran utilidad, quedamos a sus órdenes para cualquier aclaración al presente.

Atentamente


Ing. Ángel Emmanuel Ponce Jaramillo
Laboratorio de Concreto


Ing. Héctor Germán López Andraca
Coordinador de Laboratorio de Concreto


Ing. Mario Alberto Hernández Hernández
Gerente Técnico

INFORME

1. Tipo de pieza

“Tabique rojo”

2. Objetivo

Ensayo a compresión de piezas individuales para determinar la resistencia a compresión de acuerdo con NMX-C-036-ONNCCE-2013.

Ensayo a absorción total de piezas individuales para determinar la absorción total a 24 hrs. de acuerdo con NMX-C-037-ONNCCE-2013.

Elaboración y ensayo a compresión de Pilas para determinar el esfuerzo de diseño a compresión ($f'm$)

Elaboración y ensaye a compresión diagonal de Muretes para determinar el esfuerzo cortante resistente de diseño (v')

Ensayo a compresión de cubos de mortero utilizado para el junteo de pilas y muretes para determinar la resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días.

3. Alcances

- I. Elaboración de pilas y muretes en las instalaciones del laboratorio del Instituto.
- II. Elaboración de cubos de mortero de la mezcla para el junteo de pilas y muretes.
- III. Ensayo a compresión de 6 pilas, 3 testigo y 3 de prueba.
- IV. Ensayo a compresión diagonal de 6 muretes, 3 testigo y 3 de prueba.
- V. Ensayo de piezas individuales a compresión, especímenes de prueba.
- VI. Ensayo de piezas individuales a absorción total, especímenes de prueba.

Los resultados de todos los ensayos podrán ser revisados a detalle en el reporte de resultados de cada prueba, anexos en el presente documento.

Preparación de Pilas y Muretes

Los muretes y pilas se elaboraron en las instalaciones del laboratorio por personal del IMCYC. Las pilas se construyen con 3 piezas sobrepuestas y los muretes constan de dos y media piezas con cinco hiladas.

Para el junteo de las piezas se utilizó un mortero tipo I con la dosificación recomendada por el Cliente y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de

Mampostería del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México; se elaboraron cubos de mortero para verificar la resistencia a compresión del mismo.

El cálculo del esfuerzo cortante de diseño (v^*) y la resistencia de diseño a compresión (f^*m) como muretes y pilas, se calcula de acuerdo a lo establecido por el estándar NMX-C-464-ONNCCE-2010.

Esfuerzo cortante de diseño:

$$v^* = \frac{\bar{v}}{1 + 2,5Cv}$$

Dónde:

v^* = Esfuerzo cortante resistente de diseño

$\bar{v}$ = Promedio de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados

Cv = coeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados

Resistencia de diseño a compresión:

$$f^*m = \frac{\bar{fm}}{1 + 2,5Cm}$$

Dónde:

f^*m = Resistencia de diseño a compresión

$\bar{fm}$ = Promedio de la resistencia de las pilas ensayadas y corregidas por esbeltez

Cm = coeficiente de variación de la resistencia de las pilas ensayadas

Estos cálculos se pueden revisar a detalle en el anexo de resultados.

Ensayos

La resistencia a compresión y absorción total de los bloques se realizó de acuerdo con lo establecido en los Estándares NMX-C-036-ONNCCE-2013 y NMX-C-037-ONNCCE-2013.

Los ensayos para determinar la resistencia de diseño a compresión (f^*m) en pilas y el ensayo para determinar el esfuerzo cortante de diseño (v^*) en muretes, se realizaron de acuerdo con lo establecido en el Estándar NMX-C-464-ONNCCE-2010.

4. Resumen de Resultados: Rojo

CONCEPTO	RESUMEN DE RESULTADOS
1. Resistencia a compresión promedio de piezas individuales (prueba), kg/cm ²	68,5
2. Absorción total a 24 hrs de piezas individuales (prueba), %	25,4
3. Resistencia de diseño a compresión de la mampostería (f*m), prueba, kg/cm ²	31,2
4. Resistencia de diseño a compresión de la mampostería (f*m), testigo, kg/cm ²	30,7
5. Esfuerzo cortante resistente de diseño de la mampostería (v*), prueba, kg/cm ²	4,1
6. Esfuerzo cortante resistente de diseño de la mampostería (v*), testigo, kg/cm ²	5,8
7. Resistencia del mortero de junteo de las pilas a 28 días de edad, kg/cm ²	143
8. Resistencia del mortero de junteo de los muretes a 28 días de edad, kg/cm ²	188

Ver resultados a detalle en reporte de resultados anexo.

Cualquier asunto relacionado con este documento puede dirigirse nuevamente a nosotros.

Sin más por el momento, agradecemos su preferencia y nos ponemos nuevamente a sus órdenes, aprovechando la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Elaboró



Ing. Ángel Emmanuel Ponce Jaramillo
Laboratorio de Concreto

Revisó



Ing. Héctor Germán López Andraca
Coordinador de Laboratorio de Concreto



Instituto Mexicano del
Cemento y del Concreto, A.C.

Insurgentes Sur No. 1846 Col. Florida
Del. Álvaro Obregón
C.P. 01030, Ciudad de México
Tels. (0155) 5322-5740
imcyc@mail.imcyc.com

Constitución No. 50 Col. Escandón
Del. Miguel Hidalgo
C.P. 11800, Ciudad de México
Tels. (0155) 5276-7200
www.imcyc.com

ANEXO I

REPORTE DE RESULTADOS

INFORME DE PRUEBAS DE LABORATORIO

Nombre del cliente: **FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM**

Datos del cliente: **DANIELA CRUZ MARTINEZ**
beatriz.martinez@pv.inblock.com.mx

Dirección: **CIUDAD UNIVERSITARIA
COYOACÁN, CIUDAD DE MÉXICO
C.P. 04510**

Obra: **-**

Orden de Trabajo N°: **704**

Informe Técnico N°: **188**

Fecha recepción: **2021-06-21**

Fecha ensaye: **2021-07-26**

Descripción de muestras: **Tabique rojo de dimensiones 6.0cm x 12.0cm x 24.0cm.**

Pruebas realizadas: **Elaboración y ensayo de 6 pilas a compresión y 6 muretes a compresión diagonal con tabique rojo de dimensiones 6.0cm x 12.0cm x 24.0cm.
Ensayo a compresión de 12 cubos de mortero utilizados para el junteo de pilas y muretes.
Ensayo a compresión simple de 5 tabiques rojos.
Absorción a 24h de 3 tabiques.**

Resultados: **Ver hojas anexas**

Referencias: **NMX-C-036-ONNCCE-2013; NMX-C-037-ONNCCE-2013
NMX-C-038-ONNCCE-2013; NMX-C-464-ONNCCE-2010***

Condiciones Ambientales: **Temperatura: - °C
Humedad relativa: - %**

Procedimientos Utilizados: **PO-GTLC0-041; PO-GTLC0-042; PO-GTLC0-043 y *NMX-C-464-ONNCCE-2010**

Laboratorio de Ensayo acreditado por ema, a.c. con acreditación No. C-053-039/11, vigente a partir de 2011-03-24

*Fuera del alcance de acreditación

Realizó (Nombre y Cargo):

Claudio Rentería Valdez

Ricardo Rentería Valdez

Técnico(s) Laboratorio de Concreto

Revisó y autorizó (Nombre, Firma y Cargo):

Ing. Héctor Germán López Andraca

Signatario Autorizado

Fecha de emisión:

2021-07-26

Hoja N° 1 de 7

FIG-GTLCO-019
Versión 07



Instituto Mexicano del
Cemento y del Concreto, A.C.

Insurgentes Sur No. 1846 Col. Florida
Del. Álvaro Obregón
C.P. 01030, Ciudad de México
Tels. (0155) 5322-5740
imcyc@mail.imcyc.com

Constitución No. 50 Col. Escandón
Del. Miguel Hidalgo
C.P. 11800, Ciudad de México
Tels. (0155) 5276-7200
www.imcyc.com

ANEXO II

REPORTE FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA 1



FOTOGRAFÍA 2



FOTOGRAFÍA 3

Fotografías 01 a 03: Ensayo a compresión de piezas individuales conforme al Estándar NMX-C-036- ONNCCE-2013



FOTOGRAFÍA 4



FOTOGRAFÍA 5

Fotografías 04 y 05: Ensayo a absorción total conforme al Estándar NMX-C-037- ONNCCE-2013



FOTOGRAFÍA 6

Fotografías 06. Pilas y muretes previo al ensayo.



FOTOGRAFÍA 7



FOTOGRAFÍA 8



FOTOGRAFÍA 9



FOTOGRAFÍA 10



FOTOGRAFÍA 11



FOTOGRAFÍA 12



FOTOGRAFÍA 13

Fotografías 07 a 13: Ensayo a compresión de pilas conforme a NMX-C-464- ONNCCE-2010



FOTOGRAFÍA 14



FOTOGRAFÍA 15



FOTOGRAFÍA 16



FOTOGRAFÍA 17



FOTOGRAFÍA 18



FOTOGRAFÍA 19



FOTOGRAFÍA 20



FOTOGRAFÍA 21

Fotografías 14 a 21: Ensayo a compresión diagonal de muretes conforme a NMX-C-464- ONNCCE-2010