



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
FACULTAD DE ARQUITECTURA

BIOCOMPUESTO DE EPS PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES PREFABRICADOS

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN ARQUITECTURA
EN EL CAMPO DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍAS

PRESENTA:

Arq. Carolina Galicia Guerrero

TUTOR/A PRINCIPAL

Dr. José Diego Morales Ramírez
Facultad de Arquitectura, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Dr. Mikhail Zolotukhin
Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM

Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet
Arquitectura, UAM Azcapotzalco

CIUDAD UNIVERSITARIA CDMX, ENERO 2023



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.

“Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, considerado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí contenidas, manifiesto que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Las citas de otras obras y las referencias generales a otros autores, se consignan con el crédito correspondiente”



Biocompuesto de EPS

Elaboración de bloques
prefabricados

POSTULANTE

Arq. Carolina Galicia Guerrero



TUTOR PRINCIPAL

Dr. José Diego Morales Ramírez



COMITÉ TUTOR

Dr. Mikhail Zolotukhin

Dr. Víctor Fuentes Freixanet

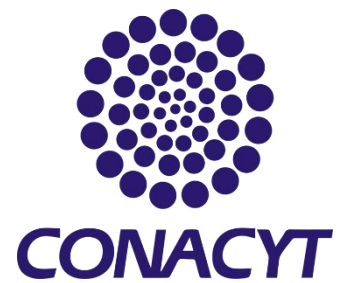


SINODALES

Dra. Ana Flores Sandoval

Dra. Ilse García Villalobos





AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA POR EL APOYO
ECONÓMICO OTORGADO PARA EL DESARROLLO DE ESTA
INVESTIGACIÓN

Dedicatoria

A mis padres Patricia y Andrés, por siempre apoyarme en mis decisiones y proyectos. Gracias mamá por ayudarme a usar el corazón para seguir mis sueños y gracias papá por darme la inteligencia de lograrlos.

A mi abuelita Rosa por siempre creer en mí y reírse conmigo de la vida. También a mis hermanos Andrés y Fanny, por compartir su vida conmigo y llenarme de la alegría mas sincera.

A Ricardo por desarrollar mi curiosidad y hacerme ver desde lo cuántico hasta lo cosmológico. Por estar a mi lado y querer seguir aprendiendo juntos.

A mis amigas Jazmín y Frida que nunca dejaron de darme cariño y ánimos para seguir aprendiendo.

A Esteban, compañero de generación y amigo, que sin su apoyo y conocimiento esta investigación hubiera tenido un final diferente.

A mi tutor el Dr. Diego Morales por emprender este proyecto conmigo y darme su mayor apoyo, al igual que la Dra. Ilse Villalobos al abrirme las puertas de su laboratorio. Agradezco infinitamente la participación del Dr. Zolotukhin por mostrarme lo fascinante que es la química y permitirme experimentar en el IIM. De igual forma a la Dra. Ana Flores y el Dr. Freixanet por sus valiosos comentarios y aportes a esta investigación.

A la naturaleza y la vida, que sin ellas no hay inspiración.

Índice

Introducción.....	- 1 -
1° Cambio climático.....	- 4 -
1.1 Impacto ambiental mundial de la construcción.....	- 6 -
1.2 La industria de los plásticos en el mundo.....	- 8 -
1.3 El reciclaje de residuos en México.....	- 10 -
2° ¿Qué son los materiales?.....	- 14 -
2.1 Materiales poliméricos.....	- 16 -
2.1.1 Poliestireno expandido (EPS).....	- 17 -
2.2 Materiales compuestos (MC).....	- 22 -
2.2.1 Fibras orgánicas.....	- 23 -
3° Plásticos y construcción.....	- 28 -
3.1 Aplicación de los polímeros en construcción.....	- 29 -
3.2 Reciclaje de polímeros en la construcción.....	- 31 -
4° Una nueva alternativa.....	- 35 -
4.1 Justificación de la investigación.....	- 36 -
4.2 Objetivos de la investigación.....	- 36 -
Objetivo general.....	- 36 -
Objetivos específicos.....	- 36 -
4.3 Propuesta de biocompuesto.....	- 37 -
4.3.1 Obtención de REPS.....	- 37 -
4.3.2 Obtención de aserrín.....	- 39 -
5° Experimentación.....	- 42 -
5.1 Plan experimental.....	- 44 -
5.2 Caracterización de polímeros.....	- 45 -
5.2.1 Análisis térmicos.....	- 45 -
5.2.2 Análisis físicos.....	- 50 -
5.3 Caracterización de la mezcla de aserrín.....	- 52 -
5.3.1 Análisis físicos.....	- 52 -

5.4	Producción de muestras	- 55 -
5.4.1	Preparación de componentes	- 55 -
5.4.2	Inyección de muestras.....	- 56 -
5.4.3	Horneado de muestras	- 57 -
5.4.4	Lavado de impurezas del REPS.....	- 59 -
5.5	Propiedades mecánicas.....	- 61 -
	Fuerza de compresión	- 61 -
5.6	Propiedades térmicas.....	- 63 -
	Conductividad térmica.....	- 63 -
	Difusividad, calor específico y resistividad.....	- 64 -
5.7	Propiedades físicas.....	- 65 -
	Intemperismo	- 65 -
6°	Resultados.....	- 69 -
6.1	Propiedades mecánicas.....	- 69 -
6.2	Propiedades térmicas.....	- 76 -
6.3	Propiedades físicas.....	- 79 -
7°	Conclusiones.....	- 84 -
7.1	Diseño de producto final	- 87 -
	Prototipo	- 87 -
7.2	Generalidades del material.....	- 88 -
	Bibliografía	- 90 -

Resumen

El propósito de esta investigación es caracterizar las propiedades mecánicas y térmicas de un nuevo material con matriz polimérica de EPS (poliestireno expandido) reciclado. Una máquina universal de ensayos permite medir la capacidad de carga del material compuesto, mientras que un analizador TEMPOS mostrará los valores necesarios para definir su capacidad de conductividad y resistividad térmica. Los resultados preliminares demuestran que, el polímero a utilizar no contiene una cantidad considerable de agentes contaminantes que afecten su procesamiento; sin embargo, sí afecta a la estética del producto final. Debido a su semejanza con el poliestireno virgen se espera que al unirse al aserrín muestre adecuadas propiedades mecánicas y térmicas, con el fin de ser utilizado como bloque no estructural en casas habitación y otras edificaciones.

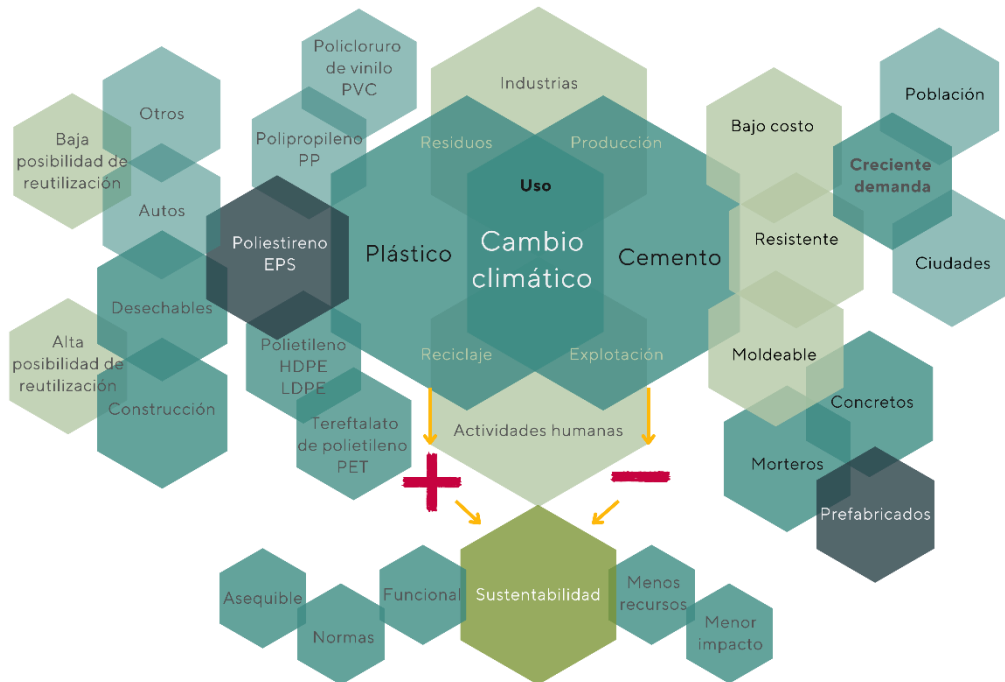
Abstract

The purpose of this research is to characterize the mechanical and thermal properties of a new recycled EPS (expanded polystyrene) polymer matrix material. A universal testing machine allows to measure the load capacity of the composite material, while a TEMPOS analyzer will show the necessary values to define its conductivity and thermal resistivity. Preliminary results show that the polymer to be used does not contain a significant amount of contaminants that affect its processing; however, it does affect the aesthetics of the final product. Due to its resemblance to virgin polystyrene, it is expected that, when bonded to sawdust, it will show adequate mechanical and thermal properties, to be used as a non-structural block in houses and other buildings.

Palabras clave

poliestireno expandido - polímeros reciclados - residuos - aserrín - fibras
material compuesto - bloque prefabricado- muros no portantes - arquitectura

Introducción



Crear un nuevo material de componentes reciclados, para su uso en la arquitectura surge de la situación ambiental que se vive en todo el mundo: *el cambio climático*. El primer capítulo de esta investigación describe de forma muy breve la situación mundial de esta problemática y los procesos de producción de un par de industrias (construcción y plásticos) con altos índices contaminantes. Para luego abordar la situación del reciclaje de plásticos en México centrándose en el poliestireno expandido (EPS).

En el segundo capítulo se abre la incógnita: *¿Qué son los materiales?* Se explica desde su clasificación hasta sus propiedades y aplicaciones, específicamente de los polímeros y materiales compuestos con fibras orgánicas. Mientras que el tercer capítulo aborda el uso de los *plásticos en construcción*, comenzando con la descripción de materiales comerciales para después ahondar en nuevos materiales de plástico reciclado.

El cuarto capítulo presenta *una nueva alternativa*, que es la propuesta de un biocompuesto, donde se describen sus componentes, justificando su producción y presentando los objetivos que se pretenden alcanzar con él. Posteriormente, en el capítulo cinco se describe el proceso de *experimentación* comenzando con la caracterización física y química individual de los componentes del material compuesto. A continuación, se sigue con la descripción de las pruebas realizadas para medir sus propiedades mecánicas y físicas. Mientras que el capítulo sexto presenta los *resultados* de dichas pruebas.

Finalmente, el capítulo séptimo contiene las *conclusiones* y el diseño del producto final con un prototipo básico para entender su fabricación y montaje en muros.



Cementera en Monterrey © Carolina Galicia

1

Cambio climático

*“La certeza de nuestra muerte es
fuente de vida, y en religiosidad
implícita en la obra de arte triunfa
la vida sobre la muerte”*

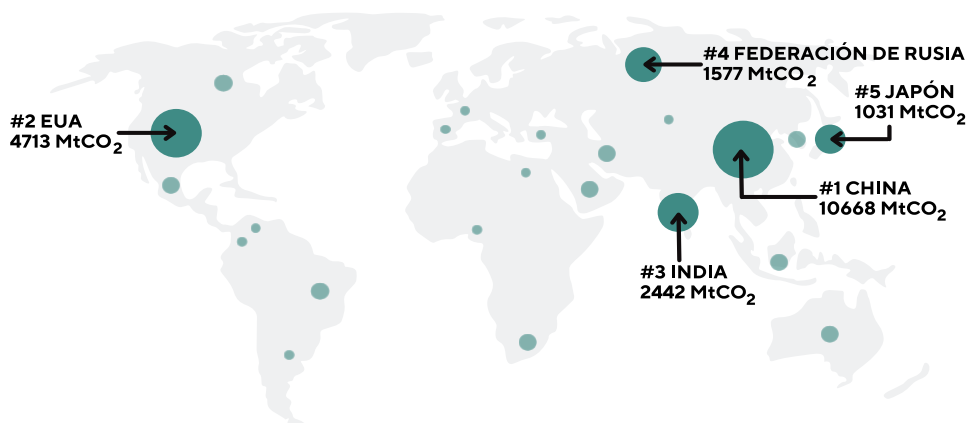
- Luis Barragán

1° Cambio climático

Actividades diarias como viajar en automóvil, consumir productos empaquetados o construir viviendas y oficinas son acciones que requieren la explotación de petroquímicos o alguno de sus derivados, llegando a utilizar el 14% del petróleo existente en el mundo (IEA, 2018). Estas acciones destruyen poco a poco nuestro hogar, es decir, la Tierra. No solo los actos a pequeña escala afectan, también el cambio de uso de suelo para la construcción de nuevas fábricas o edificios; ya que el entorno debe adaptarse a los recientes procesos que desequilibran su naturaleza. El daño que se provoca cada día va en ascenso, pero las medidas para prevenirlo también.

Cada país genera diferente cantidad de emisiones, estas suelen medirse en toneladas métricas de dióxido de carbono (MtCO₂). Durante el año 2020, los países más desarrollados como Estados Unidos de América (EUA), China, Rusia y Japón fueron quienes generaron la mayor cantidad de MtCO₂ (Andrew, Robbie & Peters, Glen, 2021). Sin embargo, en la [imagen 1.1](#) se aprecia que India también generó una gran cantidad de gases a pesar de no ser un país tan desarrollado. La razón puede deberse a que muchos países de primer mundo utilizan este territorio para tirar sus desechos, e incluso para instalar algunas fábricas que no cumplen con las normas ambientales.

Imagen 1.1 Emisiones de CO₂ por países en 2020



Fuente: Elaboración propia con información de Global Carbon Project (Andrew, Robbie & Peters, Glen, 2021)

Las consecuencias del exceso de estos gases en la atmósfera no son solo ambientales, también provocan tormentas, huracanes y mega incendios que impactan socialmente a las comunidades ya que representa una pérdida enorme de recursos y del patrimonio material que tardó tanto tiempo en construir. De igual forma, se producen riesgos en la salud al dañarse las cosechas y, por lo tanto, hay una menor producción alimentaria. Las más afectadas siempre son las regiones tercermundistas que, en su mayoría aún dependen de actividades agrícolas o no cuentan con la infraestructura suficiente para poder refugiarse de los fenómenos naturales.

Aunque se conocen ampliamente las causas y consecuencias de este problema mundial, son pocas las acciones que se toman para corregir el camino. No obstante, existen propuestas como el histórico acuerdo de París firmado el 12 de diciembre de 2015 por las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

El acuerdo de París propone que los 195 países participantes cumplan acciones específicas, con el fin de tener un futuro más sostenible con bajas emisiones de carbono. El objetivo principal propone mantener el promedio de calentamiento por debajo de los 2 °C, aunque hace un par de años se buscó que cambiara con el fin de mantener un límite de 1.5 °C. Si los integrantes del acuerdo no cumplen con las acciones estipuladas entonces se llegaría a superar con creces los 3 °C. Llegando a este escenario entonces surgirían eventos climáticos extremos, pérdida de especies y destrucción de ecosistemas, incluso del posible abandono de grandes áreas agrícolas. De acuerdo con Greenpeace, para buscar mayores beneficios y menores riesgos en estos tratados es necesario plantear estrategias que se dirijan a la innovación social, económica y tecnológica. Deben centrarse en la eficiencia tanto energética como de recursos para reducir a corto plazo y de forma acelerada las emisiones (Greenpeace, 2018).

Situación global actual

De acuerdo con el reporte de brecha de emisiones publicado por las Naciones Unidas (N.U.) se esperaba un fuerte repunte de las emisiones en 2021. Las estimaciones preliminares sugerían que las emisiones de CO₂ de la energía fósil podrían crecer un 4,8 % en 2021 (excluyendo cemento), y las emisiones globales en 2021 se esperaba que fuesen sólo ligeramente inferior a la nivel récord de 2019 (Kuramochi, den Elzen, et al., 2021).

Otro paso importante contra el cambio climático se desarrolló en el año 2015; la llamada agenda 2030 que pretende el desarrollo sustentable por medio de 17 objetivos tiene como fin acabar con la pobreza, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y hacer frente al cambio climático sin que nadie quede rezagado para el 2030. Este documento fue adoptado por los 193 estados miembros de las Naciones Unidas (NU). Un par de puntos de esta agenda se relacionan con esta investigación ya que están ligados a la construcción o el reciclaje de residuos, tal como lo muestra la **imagen 1.2** se trata del objetivo #11 referente a las ciudades y comunidades sostenibles; mientras que el #12 alude a la producción y consumo responsables.

El objetivo #11 resalta temas como una mejor planeación urbanística que sea inclusiva y sostenible, la reducción del impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo (Naciones Unidas, 2018). Respecto a la finalidad del objetivo #12 indica que se debe garantizar las modalidades de consumo y producción sostenibles, mencionando que debe lograrse una gestión sostenible y un uso eficiente de los recursos humanos. También subraya que, se debió haber logrado una gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos sus desechos en ese año límite; para así reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo.

Imagen 1.2 Objetivos de desarrollo sostenible



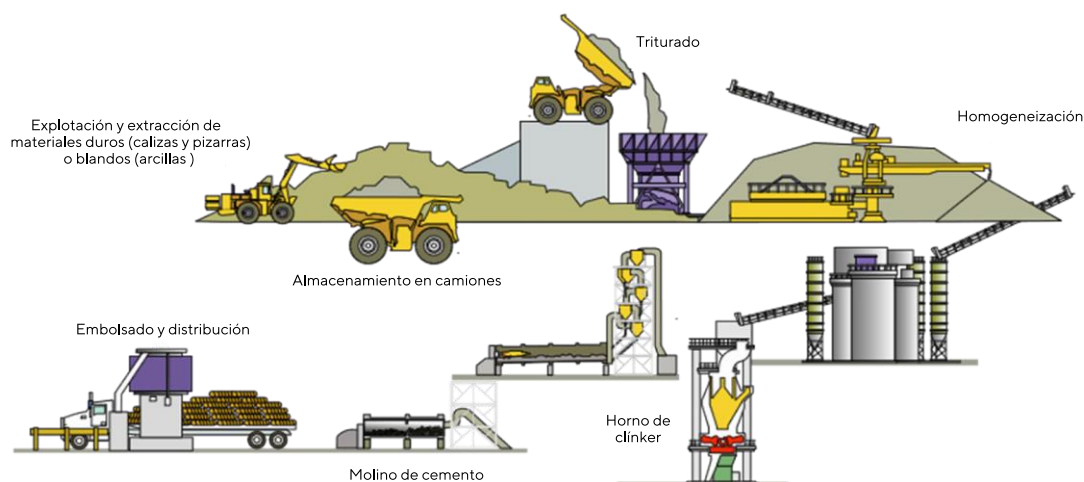
Fuente: www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

Sin embargo, el hecho de redactar, conocer y plantear soluciones al cambio climático solo es una parte, se requiere de la cooperación mundial y de cada individuo para lograr resultados que sean benéficos y visibles para todos.

1.1 Impacto ambiental mundial de la construcción

La revista “The Guardian” en el año 2019 aseguraba que después del agua, el concreto es una de las sustancias más utilizadas en la Tierra. Es tanto su uso que se calcula que si la industria del cemento fuera un país, sería el tercer emisor más grande de dióxido de carbono con 2.8 bn (término en inglés) de toneladas, por arriba de él solo estaría China y E.U.A. (Watts, 2019).

Imagen 1.3 Proceso de obtención del cemento



Fuente: Elaboración propia a partir de la imagen obtenida de http://cementopropiedadesquimicasugcgrupo2.blogspot.com/2014/11/proceso-de-elaboracion_9.html

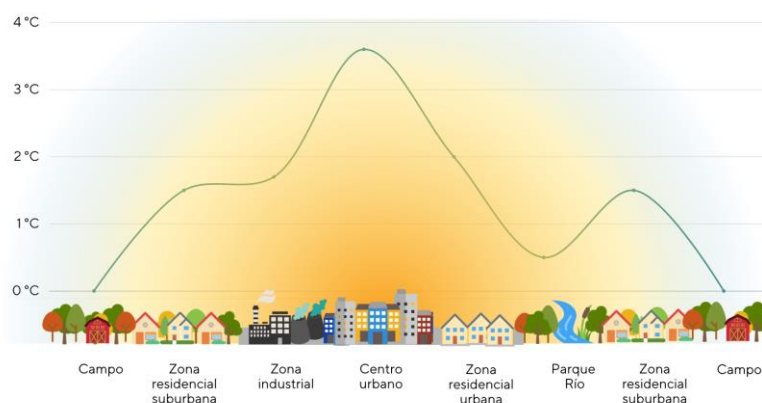
El proceso para fabricar cemento comienza con la extracción de piedra caliza y arcilla, posteriormente estas se calcinan a una temperatura entre los 1350 y 1450 °C para obtener como resultado el clínker. Este último paso, al necesitar tanta energía, genera la mitad del porcentaje de emisiones que se emiten al crear el concreto, el cual es de 4-8% de CO₂ en el mundo (Watts, 2019).

En el caso de los componentes para la fabricación del concreto (arena, grava, cemento, etc.) es relativamente fácil su obtención, ya que ésta se hace mediante la explotación minera. Para ello se requieren estudios previos de impacto ambiental, y entonces las autoridades deciden si procede la explotación de canchales para esta actividad. Desafortunadamente muchas veces se hace de forma clandestina por múltiples razones, generando afectaciones ecológicas y sociales. El concreto también necesita del agua para poder activar sus propiedades, esto significa el consumo de más recursos naturales. Se estima que la décima parte del agua del mundo se destina a la conformación de este material (Watts 2019), siendo que es un recurso que prioritariamente se destina en algunos lugares al riego de tierras o para beber.

El problema con el uso del concreto es que en realidad no lo parece, levantamos la mirada y ahí está, su presencia en todas partes es algo normal. Su perpetuidad y asequibilidad es ventaja para los constructores y habitantes de los espacios, pero desventaja para el planeta. La cuestión se acrecienta porque las viviendas y los edificios continúan creciendo incontrolablemente, y no es relevante si se trata de lugares que de verdad brinden confort o funcionen. Tan desmedido es la utilización del concreto que se abarcan espacios naturales protegidos, que son imprescindibles para el equilibrio del ciclo de la vida debido a que generan oxígeno. No solo los campos se ven afectados, también las ciudades. Al ser el mayor constituyente en la edificación de las ciudades actuales y la nula existencia de espacios verdes en estas, se genera un fenómeno denominado isla de calor.

Las islas de calor urbana están ligadas con el bajo nivel del albedo de los materiales que se utilizan para construir, ya que su capacidad para reflejar la energía solar es casi nula y, al contrario, la absorben. Esto genera un microclima urbano con temperaturas muy altas, dejando a los habitantes de los edificios fuera de su rango de confort (Nuruzzaman, 2015).

Imagen 1.3 Perfil referencial de temperaturas urbanas



Fuente: Elaboración propia a partir de la imagen obtenida de <https://www.cartomex.com/termografia-islas-de-calor.html>

En la **imagen 1.4** se evidencia como la temperatura es mayor cuando existe una gran concentración de edificios. El cúmulo de edificios no permiten un libre paso del aire para generar ventilación dentro de ellos, es tan baja la velocidad del viento que el calor interior se incrementa. Aunado a ello, hay ausencia de espacios verdes y no existe la suficiente vegetación para generar humedad en el ambiente. Las consecuencias las sufren los usuarios, ya que durante la época de verano por las altas temperaturas interiores es necesario el uso de aire acondicionado, contradictoriamente también contribuye a las islas de calor por el calor que genera hacia el exterior. Por otro lado, se genera un alto costo económico y energético al tratar de lograr temperaturas confortables.

Las soluciones para mitigar el calor excedente en las ciudades no son complicadas. Una opción es replantear los esquemas de planificación urbana de las ciudades antes de seguir construyendo, tomando en cuenta el uso de suelo y la altura máxima permitida para construir. Con este primer paso se puede incluir el diseño de espacios con vegetación endémica, que además de mantener un ambiente fresco tanto interior como exterior puede llegar a purificar el aire. Otra alternativa más sencilla y accesible actualmente, es el construir con materiales alternativos y sustentables que cumplan con los niveles de absorción y albedo necesarios.

Durante el 2020 en el World Economic Forum (WEF) se trataron temas relacionados con *grupos de interés para un mundo coherente y sostenible*, respecto a ello Volker Sick comentó:

Los nuevos materiales se convertirán en habilitadores críticos para los avances en la construcción.

Pues argumenta que:

Es una gran oportunidad centrar la investigación y desarrollo en el concreto y materiales compuestos similares a este, que incorporan el CO₂ capturado como ingrediente.

Hoy por hoy, ya es una prioridad en el desarrollo de nuevos materiales el enfoque para sustituir al concreto o de modificarlo con componentes menos contaminantes. Entre ellos han surgido materiales con plásticos reciclados, arcillas, fibras naturales, etc.

Por otro lado, en la misma reunión del WEF se dialogaron temas alusivos a los edificios de cero emisiones que también es un asunto clave para la mejora de ciudades. Para Clay Nesler (Nesler, 2020), vicepresidente de asuntos regulatorios y de sostenibilidad global, las tendencias principales para diseñar edificios de cero emisiones de carbono son:

<ul style="list-style-type: none"> ❑ Descarbonización de la red de energía eléctrica. 	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Mejoras de eficiencia para reducir la demanda de energía.
<ul style="list-style-type: none"> ❑ Electrificación de espacios de construcción y calentamiento de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Digitalización para proporcionar la flexibilidad necesaria para satisfacer las necesidades de los ocupantes del edificio y la red energética.

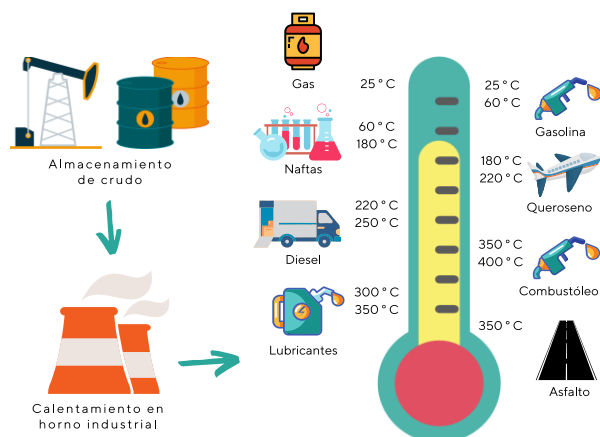
Estos puntos resumen las perspectivas que ya se plantean en algunas ciudades, sin embargo, sin el apoyo de las autoridades y habitantes no es posible tener un verdadero éxito. Reglas, opiniones, normas, tratados y objetivos ligados a la construcción hay demasiados, todos intentan solucionar o prevenir las consecuencias de la actual forma de urbanizar y edificar. Son válidos y necesarios, lo que ya no es permitido es ignorarlos, está ya de ser una opción.

1.2 La industria de los plásticos en el mundo

Al observar los objetos que nos rodean en este momento, no será difícil encontrar que por lo menos la mitad de ellos están compuestos parcial o totalmente de algún plástico. ¿Es de verdad una innovación y ventaja el utilizar este material para la mayor parte de las cosas que fabricamos? Realmente sí lo es, hace la vida diaria más fácil por los múltiples productos que pueden fabricarse con él, aparte de que su costo tan bajo lo hace irremplazable. A pesar de ser un material tan imprescindible, el exceso de su producción tiene un costo ambiental desmesurado debido a la cantidad de recursos que requiere y las emisiones que genera esta industria. Entre estas consecuencias están las fugas y quemaduras de metano, emisiones de la combustión del combustible y el masivo consumo de energía en el proceso de perforación en busca de petróleo o gas. Por ello, no es sorprendente escuchar en los medios informativos que este tipo de catástrofes ocurren muy a menudo, lamentablemente el castigo más duro es para aquellos que dependen de los recursos naturales afectados.

El procesamiento de los combustibles fósiles comienza con la extracción del petróleo y el gas de los pozos, luego estos últimos dos entran a un proceso de separación por componentes químicos, y de aquí algunos se envían a *plantas de craqueo* para ser convertidos en olefinas, específicamente en etileno y propileno que son las materias principales con que se producen los plásticos. Estos monómeros al tener un tamaño pequeño necesitan pasar por un proceso de polimerización para formar cadenas largas o polímeros, algunos de ellos incluso se mezclan con plastificantes.

Imagen 1.5 Procesamiento de combustibles fósiles



Fuente: Elaboración propia a partir de diferentes fuentes de información.

Finalmente se dejan enfriar y se trituran, para convertirlos en una especie de pellets y poder comercializarlos como plástico virgen. El diferente giro de las empresas se encargará de moldear esta materia por diferentes métodos para fabricar diferentes artículos como botellas, juguetes, bolsas, desechables, etc.

El Centro de Derecho Ambiental Internacional (CIEL) informa que la energía requerida para la fabricación del plástico produce emisiones significativas a través del agrietamiento de alcanos en olefinas, la polimerización y plastificación de olefinas en resinas plásticas, y otros procesos de refinado químico (Moon & Morris, 2019). También indica que:

A nivel mundial en 2015, las emisiones por agrietamiento para producir etileno fueron 184,3–213,0 millones de toneladas métricas de CO₂, lo que equivale a hasta 45 millones vehículos de pasajeros conducidos en un año.

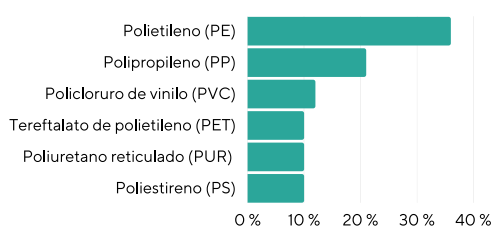
Es inquietante esta comparación, porque la cantidad de gases de contaminantes crece de tal manera que es casi imposible que el planeta por sí solo llegue a un equilibrio saludable. La calidad del aire seguirá empeorando porque en los procesos de las industrias la menor prioridad es reducir sus emisiones.

Alerta ambiental

Si el crecimiento de la producción e incineración de plásticos continua según lo previsto, el efecto invernadero acumulativo de las emisiones de gas para 2050 superarán las 56 giga toneladas de CO₂ (Moon & Morris, 2019).

En general la industria del petróleo puede llegar a una transición para cambiar los combustibles por energías limpias, aunque esto solo sería un punto de partida. Aún estaría la producción descontrolada de los plásticos, pero dejar de utilizar el plástico de un día para otro es imposible, no basta tampoco con la nueva tendencia de crear *plásticos biodegradables*. Se trata de hacer un uso consiente de ellos o generar alternativas de verdad eficientes que desde su producción hasta su desecho tengan un menor impacto.

Gráfica 1.1 Porcentaje de plásticos producidos entre 1950 y 2015 en el mundo



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Geyer et al., 2017.

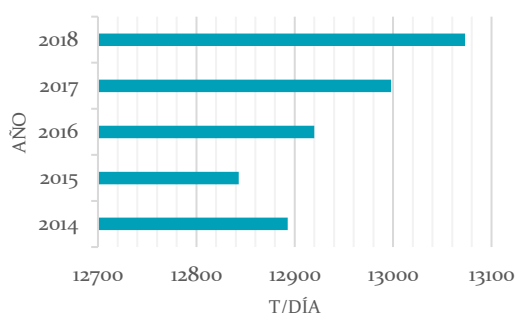
Entre los años 1950 y 2015 se produjeron en el mundo 7,300 millones de toneladas de resinas plásticas y fibras, en la **gráfica 1.1** se indica que con un 36% el polietileno (PE) fue el más producido. Muy por debajo del PE está el tereftalato de polietileno (PET), el Poliuretano reticulado (PUR) y el poliestireno (PS) con una producción que abarco el 10%. Sin embargo, la mayoría de estos plásticos tiene como objetivo el ser utilizado como empaques, ya sea para envasado de alimentos, productos de limpieza o algún otro tipo de embalaje. Es entonces el sector de la comercialización de estos productos el que más contribuye al uso de los plásticos con un 42 %, en segundo lugar, están las industrias automotriz, eléctrica, electrónica y de maquinaria industrial con 39%. El restante 19% está en la industria de la construcción (Geyer et al., 2017). Estos datos son de interés cuando se busca una solución al consumo inconsciente de estos productos, porque permite visualizar cuales son las actividades que más repercuten en el ámbito ambiental y entonces plantear nuevas estrategias que generen cambios positivos.

1.3 El reciclaje de residuos en México

Las huellas de carbono en las ciudades no se crean únicamente por la energía que consumen las industrias o por las actividades que se realizan, también se forman por los residuos producidos con las acciones anteriores. Todos estos desperdicios que se van acumulando son conocidos como residuos sólidos urbanos (RSU).

Los RSU se producen en las casas habitación, vía pública o establecimientos y entre ellos es más común encontrar empaques, o residuos orgánicos. A medida que las ciudades crecen estos residuos también lo hacen, tan solo en la República Mexicana se generan anualmente más de 44 millones de toneladas de residuos. Aproximadamente el 90% de los residuos termina en tiraderos a cielo abierto o rellenos sanitarios, que generalmente no cumplen con la normatividad y son mal operados (González & Sánchez, 2019). Pero el problema comienza desde que estos se producen, ya la separación de residuos no es obligatoria y por lo tanto no es práctica común del mexicano.

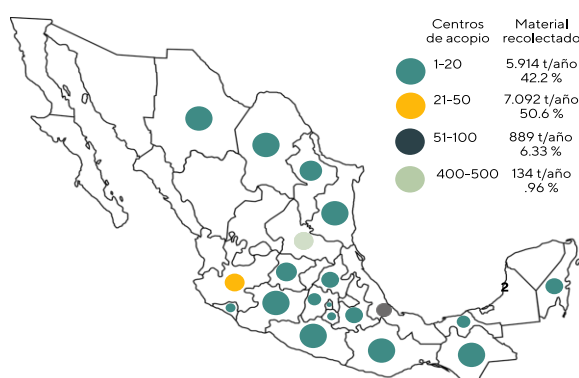
Gráfica 1.2 Generación de RSU en la CDMX durante 2014 a 2018



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la SEDEMA, 2018.

En 2020 la ciudad de México a pesar de su pequeño territorio es la segunda más poblada en el territorio con 9 209 944 personas que habitan en 2 756 319 viviendas particulares (Censo de población y vivienda 2020, 2021), espacios que no paran de dar lugar a desechos. Aunque, en un top 3 de los espacios que más generan basura están en primer lugar las viviendas en construcción, debido a que muchos de los materiales o mobiliario vienen empaquetados. En segunda posición los comercios, debido una situación parecida a la anterior. Por último, los restaurantes, hoteles, oficinas, etc. La **grafica 1.2** muestra cómo se pasó de originar 12,893 a 13,073 toneladas al día, teniendo un incremento anual promedio de 45 toneladas al día (SEDEMA, 2018).

Imagen 1.6 Distribución de centro de acopio en México



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Greenpeace, 2016.

De acuerdo con el INEGI en el 2016, de los 2 mil 458 municipios y alcaldías del país, solo 77, es decir 3.13 %, contaban con centros de acopio registrados (1,060 centros), mismos que captaron solo 0.03 % de las 40 millones de toneladas de RSU valorizables (plásticos, metales, vidrio, papel etc.) (Greenpeace, 2016). En la **imagen 1.6** se muestran totalmente en blanco los 11 Estados que no tienen ni un solo centro de acopio registrado, mientras que en otros 17 Estados llegan a existir entre 1 y 20 centros. Resalta la situación de San Luis Potosí que cuenta con más de 400 instalaciones para reciclaje.

Las anteriores cifras se centran a los residuos en general, pero dentro del mundo de los residuos plásticos las cifras se vuelven más alarmantes. En algunos casos estos no se reciclan porque los procesos son complicados y el producto resultante puede llegar a no ser tan útil como lo fue antes. Incluso puede pasar que en realidad ese nuevo producto no es tan solicitado en el mercado.

Reciclaje de plásticos en México

Los productos de PET son comunes de encontrar cotidianamente, su reciclaje es más viable y tiene un alto precio de venta comparado con otros plásticos. El PE (HDPE-PEAD) no se recupera del todo ya que requiere de cierto acondicionamiento para su tratamiento. El PP y PS se reciclan escasamente, debido a su bajo precio de venta y que las condiciones que requieren para ser transformados son difíciles o no tan comunes. En el caso del PVC su reciclaje para el año 2016 era totalmente nulo (Lugo et al., 2016).

El poliestireno expandido y su proceso de reciclado es un poco más complejo que con otro tipo de plásticos, ya que debido a su forma el volumen que ocupa es demasiado. Esto hace que su transporte y acumulación se entorpezca por la cantidad de espacio que se requiere para poder almacenarlo. A su vez complica la existencia de centros de reciclaje, en la actualidad en la Ciudad solo se cuentan con 77 espacios para las .7 millones de toneladas que se generan en el año (Lugo et al., 2016). Y muchos de ellos son privados, ya que las empresas lo toman como un camino para reutilizar la materia prima que ellos mismo generan. En la [tabla 1.1](#) se señalan los usos principales del EPS, la mayor porción se encuentra en la construcción, que como se comentaba anteriormente es una de las actividades que más produce RSU.

Tabla 1.1 Producción total de EPS en México

Producción total anual en México	125,00 toneladas	100%
Construcción y embalaje	95,750 toneladas	75%
Artículos desechables	32,250 toneladas	25%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Lugo et al., 2016.

A principios del 2020 se reformó la Ley de Residuos Sólidos con el fin de beneficiar al medio ambiente; esta Ley propone que para diciembre de este año quedara prohibida la distribución y entrega de bolsas de plástico, mientras que para enero del 2021 lo mismo pasara para los popotes, cubiertos y otros productos de plástico. Se esperaba que esta ley tuviera un gran éxito, aunque la realidad es más complicada porque existe demasiado comercio informal que no considera estas regularizaciones. Incluso ha sido contraproducente ya que se han comenzado a explotar otros recursos limitados como el papel y cartón, con el fin de sustituir principalmente al EPS y PP.

Las nuevas soluciones que se están planteando para la reducción del uso y producción del plástico deben ser bastantes sólidas, solo así se podrá de verdad abordar los impactos que tiene en el ambiente este material. Pero esto no se logra solo con la participación de la ciudadanía, es necesario que tanto políticos como otras organizaciones mundiales muestren su apoyo. Las cuestiones del reciclaje en México serán invisibles para los habitantes si no se da más difusión, y se torna un tema más serio. Reciclar no es la única opción, reutilizar y reusar también reditúa cambios notables.



Maison de l'Homme de Zürich © Carolina Galicia

2

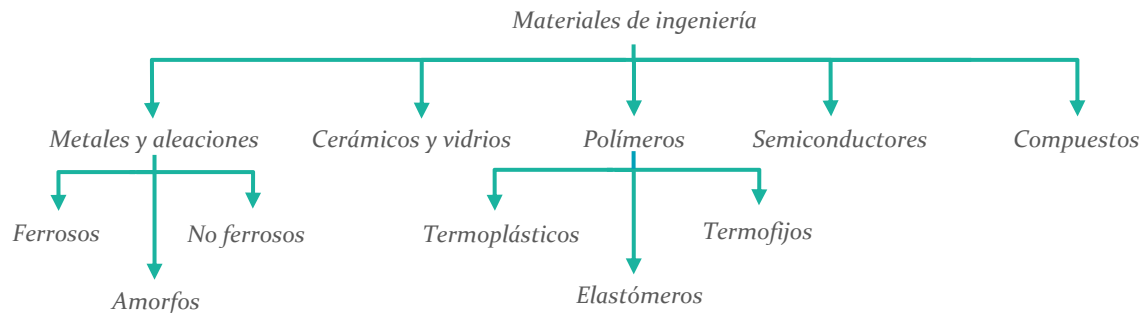
¿Qué son los materiales?

“Homo chemicus: ser humano es transformar la materia. Y las transformaciones materiales que hagamos -siendo humanos- reflejarán lo mejor y lo peor de nosotros”

-Michal Meyer

2° ¿Qué son los materiales?

Si se visualiza una canica, una moneda, un molinillo o una botella es fácil distinguir de que están fabricados. Sin embargo, mientras más compleja es la aplicación del producto más difícil se vuelve distinguir de que está hecho. Los cohetes espaciales, las bicicletas y hasta los implantes médicos están compuestos de diferentes materiales, cada uno de ellos fue modificado para cumplir con el fin de obtener mejores o diferentes propiedades. Para lograr lo anterior es necesario conocer la naturaleza de los materiales, es decir, de donde provienen. Los materiales suelen clasificarse básicamente en cinco categorías:



Cada familia de materiales tiene diferentes características, algunos pueden llegar a ser muy rígidos o elásticos, altamente aislantes o muy conductores; entre las propiedades más comunes se encuentran las:

- *Propiedades mecánicas:* Resistencia, tenacidad, ductibilidad, dureza, elasticidad, fatiga y termofluencia.
- *Propiedades físicas:* Densidad, calor específico, dilatación y conductividad térmica, punto de fusión, y propiedades eléctricas y magnéticas.
- *Propiedades químicas:* Oxidación, corrosión, degradación general de las propiedades, toxicidad e inflamabilidad (Serope & Steven R., 2008).

Pero para obtener estas propiedades dependerá de su estructura y la forma en que sean procesados para crear algún producto.

La estructura es el arreglo de los átomos a nivel microscópico y los divide en cristalinos y amorfos. En el primer caso, los átomos del material están ordenados de forma periódica, mientras que en el segundo se encuentran de forma aleatoria. A su vez, dentro de los cristalinos pueden dividirse en monocristales (que están en forma de un cristal) y policristales (que tienen múltiples cristales o granos) (Askeland & Wright, 2016).

Mientras que el procesamiento de cada material varía de acuerdo con su tipo, ya sea que se moldeen por medio de calor, por la aplicación de alguna fuerza, etc. También es importante la cantidad de producto que se vaya a producir, ya que el proceso de producción puede variar y por lo tanto las propiedades finales serán diferentes. Por último, el factor económico puede influir debido a la utilización de materia prima de baja calidad.

Por ello, es importante tener en cuenta que existe una clasificación en cuanto a la aplicación del producto que puede ir desde materiales sin uso estructural hasta aeroespaciales.

Los efectos ambientales también deben tomarse en cuenta, ya que afectan al producto cuando se coloca en ciertas condiciones, entre ellos están:

- *Temperatura*, cuando esta aumenta generalmente se reduce la resistencia del material. Por ejemplo, en el caso de los polímeros estos solo son adecuados a bajas temperaturas, mientras que algunos metales que se han endurecido por tratamiento térmico pierden su resistencia cuando se calientan.
- *Corrosión*, afecta principalmente a los metales y cerámicas ya que pueden desintegrarse, mientras que los polímeros y cerámicas sin óxido pueden llegar a oxidarse.
- *Fatiga*, se da cuando se carga y descarga el material múltiples veces provocando pequeñas fisuras y que el material falle cuando estas se vayan agrandando. Por ello, cuando un material se diseña esto debe tomarse en cuenta.
- *Velocidad de deformación*, ya sea que el material se “estire” de forma lenta o rápida existe una deformación en cierto nivel que debe considerarse de acuerdo a la función (Askeland & Wright, 2016).

Si el producto se hizo para estar en ciertas condiciones y se traslada a otras diferentes es probable que no trabaje de la misma manera y quede inutilizado. La **tabla 2.1** menciona algunos ejemplos de cada una de las familias básicas de materiales, en ella se muestra que a pesar de pertenecer a la misma categoría pueden llegar a tener propiedades diferentes dependiendo de la aplicación.

Tabla 2.1 Aplicaciones y propiedades de los materiales

	Ejemplo	Aplicación	Propiedades
Metales y aleaciones	Cobre	Alambre conductor eléctrico	Conductividad eléctrica alta, buena formalidad.
	Aceros de aleación	Llaves inglesas, chasis de automóviles	Endurecimiento significativo por tratamiento térmico
Cerámicos y vidrios	$\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO}$	Vidrios de ventanas	Ópticamente transparente, aislante térmico
	Sílice	Fibras ópticas para la tecnología de la información	Índice de refracción, pérdidas ópticas bajas
Polímeros	Polietileno	Empaquetamiento de alimentos	Fácilmente convertible a películas delgadas, flexibles y herméticas
	Epoxi	Encapsulado de circuitos integrados	Aislante eléctricamente y resistente a la humedad
Semiconductores	Silicio	Transistores y circuitos integrados	Comportamiento eléctrico único

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Askeland & Wright, 2016.

Muchos de los metales tienen una buena conductividad térmica y eléctrica; inclusive algunas aleaciones tienen resistencias y rigidez relativamente altas, son dúctiles y resistentes al impacto. Mientras que los cerámicos son malos conductores de calor debido a la alta porosidad en su estructura, son muy resistentes y duros, pero de igual forma quebradizas. Por otro lado, la conductividad eléctrica de los semiconductores se encuentra entre la de los aislantes cerámicos y los conductores metálicos (Askeland & Wright, 2016). De los polímeros y materiales compuestos se hablará más adelante.

2.1 Materiales poliméricos

La goma laca, el ámbar y hasta el caucho, son de los polímeros más antiguos, algunos fueron utilizados por los egipcios desde el año 2000 a.C. para embalsamar o crear alguna figurilla. Luego, hasta el siglo XIX se descubrieron los precursores que darían paso al diseño de los plásticos más actuales como el caucho, la caseína, la ebonita y el celuloide (García, 2009). En 1930, se desarrollan algunos de los commodity plastics como el policloruro de vinilo (PVC) y el poliestireno (PS), incluso otros plásticos como las poliolefinas y el polimetacrilato de metilo (PMMA). También, se sumó el diseño de una técnica para elaborar termoplásticos, generando un mayor conocimiento de procesos para los materiales que surgían (García, 2009).

Los polímeros son cadenas largas de moléculas que se forman por polimerización, se hacen mediante el enlace cruzado de diferentes monómeros. Un monómero es el elemento básico de un polímero. La palabra mero (del griego meros, significa “parte”) indica la unidad repetitiva más pequeña, por lo tanto, el término polímero significa “muchos meros” (o unidades), por lo general repetidos cientos o miles de veces en una estructura similar a una cadena. Las propiedades de los polímeros dependen en gran medida de las estructuras de sus moléculas individuales, la forma y el tamaño de la molécula, y cómo se arreglan para formar la estructura de un polímero (Serope & Steven R., 2008)

Imagen 2.1 Polímeros sintéticos y naturales



Fotografía de autoría propia.

De izquierda a derecha: Costal de polipropileno (PP), hojuelas de goma laca y tabla de bambú.

Los polímeros de acuerdo con su origen pueden ser sintéticos o naturales. En el primer caso son los que mayor demanda y uso tienen, tal es el caso del polietileno, polipropileno, poliestireno, cloruro de polivinilo, hules sintéticos, la baquelita, neopreno, nailon, silicona, etc. Mientras que entre los de origen natural se encuentran el cáñamo, la goma laca, el ámbar, la lana, la seda y el hule. Incluso la madera y el papel se componen principalmente de un polímero natural: la celulosa.

Los polímeros también se dividen en tres categorías de acuerdo con su comportamiento ante el sometimiento a altas temperaturas:

Termoplásticos

Termofijos

Elastómeros

En la [tabla 2.2](#) se resume parte de su estructura y un par de ejemplos. Sin embargo, sus diferencias son notables puesto que para producir algún producto no puede lograrse de la misma manera. Los termoplásticos se distinguen por volverse blandos a temperaturas elevadas

facilitando su moldeo; cuando se enfrían, regresan a sus propiedades originales. Su comportamiento mecánico se puede caracterizar mediante diversos modelos de resorte y amortiguador, incluyendo fenómenos como la termofluencia y relajación de esfuerzos, cuarteaduras y absorción de agua. En el caso de los termofijos, se obtienen uniendo transversalmente cadenas de polímeros y no se ablandan de manera significativa al aumentar la temperatura. Son más rígidos y duros que los termoplásticos y ofrecen menos opciones de colores. Los elastómeros tienen una deformación elástica superior a 200%. Es posible que se trate de termoplásticos o de termoestables ligeramente entrelazados. Las cadenas poliméricas tienen forma de moléculas en espiral que pueden estirarse de manera reversible al ser sometidos a una fuerza (Askeland & Wright, 2016).

Tabla 2.2 Clasificación de polímeros

Categoría	Estructura general	Ejemplo
Termoplásticos	Cadenas lineales flexibles (con o sin ramificación)	PET, PE, PS, PP, PVC
Termofijos	Red rígida tridimensional (las cadenas pueden ser lineales o ramificadas)	Melamina, resinas epóxicas, poliuretanos
Elastómeros	Termoplásticos o termoestables ligeramente entrelazados; consisten en moléculas semejantes a resortes	Silicona, neopreno, goma natural, caucho

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Askeland & Wright, 2016.

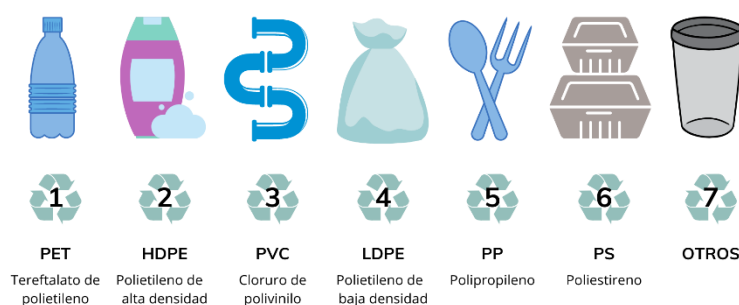
2.1.1 Poliestireno expandido (EPS)

En América, poco después de la segunda guerra mundial, la producción de poliestireno (PS) tuvo un hito importante en su producción, dicha mezcla de benceno con etileno formaba parte de una técnica llamada “El de los Diez Galones”, la cual consistía en llenar bidones de diez galones con esta solución para después ponerla en una especie de baño maría por varios días para generar una polimerización del 99%. Posterior a este descubrimiento la compañía Koopers Chemical introduciría un proceso de polimerización por suspensión que ayudaría a crear las espumas de poliestireno (EPS) (Ortiz, 2019).

El EPS es un producto donde su componente básico es el estireno, este monómero se encuentra naturalmente en bajas cantidades en las plantas y muchos alimentos (Burger, Dumas, y Michel 2008). Es conocido como unicel, icopor, hielo seco, etc. o por sus siglas: EPS, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 1043-1:2011 que de

igual forma le asigno el no.6 para identificar su reciclaje. Es parte de los seis plásticos más utilizados por múltiples industrias y suele ser inerte, biológicamente neutro y estable a temperatura ambiente. Se aplica en empaques desechables, aislantes, electrodomésticos, componentes automovilísticos, de radio y televisión, partes de juguetes y muebles, etc.

Imagen 2.2 Clasificación de los plásticos de acuerdo con su número de reciclaje



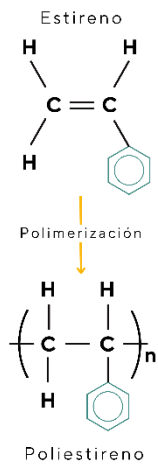
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 0.1 Tipos de poliestireno



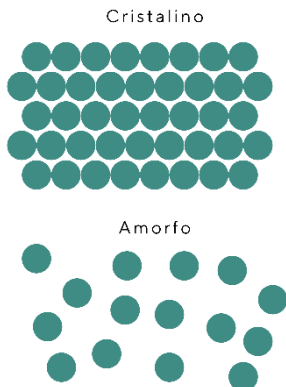
Fuente: Autoría propia.
De izquierda a derecha: PS cristalino y EPS.

Imagen 0.1 Polimerización del estireno



Fuente: Elaboración propia

Imagen 0.1 Disposición de moléculas en polímeros



Fuente: Elaboración propia

Morfología

Visualmente el PS de uso general es naturalmente muy transparente y, debido a eso, ciertos grados son especialmente diseñados para aplicaciones ópticas adecuadas. Su rango de transmisión de luz va desde 80% hasta 98% (Lynwood, 2014). Por otro lado, el poliestireno en su forma expandida es frecuentemente de color blanco, muy suave al tacto debido a la cantidad de aire que contiene y se quiebra con facilidad cuando su espesor es menor a 2 cm.

Estructura química

Para producir moléculas más largas se puede lograr mediante un proceso químico llamado polimerización donde los monómeros se unen como polímeros en unidades repetitivas, este puede ser mediante condensación o por adición. En el caso de los termoplásticos tienen cadenas que no están químicamente unidas entre sí, lo que permite que pueda ser fácilmente conformado en figuras útiles, con buena ductilidad y reciclado asequible (Askeland & Wright, 2016). El PS es un hidrocarburo de cadena larga donde los centros de carbono alternos están unidos a grupos fenilo (un derivado del benceno). Su fórmula química es $(\text{C}_8\text{H}_8)_n$ y contiene carbono (C) e hidrógeno (H).

Cristalinidad

El arreglo de las moléculas en polímeros puede ser de dos formas: cristalino o amorfo. El PS es un polímero amorfo, es decir, las cadenas de polímeros existen sin un patrón repetitivo de largo alcance. El grado de cristalinidad afecta en gran medida las propiedades mecánicas y físicas de los polímeros: a medida que la cristalinidad aumenta, los polímeros se vuelven más rígidos, más duros, menos dúctiles, más densos, menos flexibles, y más resistentes a los solventes y al calor. El grado de cristalinidad también afecta las propiedades ópticas, la reflexión de la luz en los límites entre las regiones cristalina y amorfa del polímero provoca opacidad. Los polímeros que son totalmente amorfos pueden ser transparente (Serope & Steven R., 2008).

Peso molecular

Es la suma de los pesos moleculares de los meros en una cadena representativa. La mayoría de los polímeros comerciales tienen un peso molecular entre 10,000 y 10,000,000 (Serope & Steven R., 2008). Debido a que la polimerización es un evento aleatorio, no todas las cadenas de polímero que se producen son de igual longitud: ésta cae dentro de una curva de distribución tradicional. El peso molecular promedio del poliestireno comercial varía entre 100.000 y 400.000 g/mol (Scheirs & Priddy, 2003). Cuanto menor es el peso molecular, mayor es la fluidez y por tanto la facilidad de uso del material, pero menor es su resistencia mecánica.

Temperatura de transición vítrea (Tg)

Aunque los polímeros amorfos no tienen un punto de fusión específico, sufren un cambio claro en su comportamiento mecánico en un intervalo de temperatura muy reducido (Serope & Steven R., 2008). A bajas temperaturas son duros, rígidos, frágiles y vítreos; a altas temperaturas son gomosos o correosos. La temperatura a la cual ocurre dicha transición se le llama temperatura de transición vítrea (Tg), también llamada punto o temperatura vítreos.

Tabla 2.3 Temperaturas de Tg, Tm y procesamiento de algunos polímeros

Polímeros (Por adición)	Intervalo de temperatura de transición vítrea (Tg)	Intervalo de temperatura de fusión (Tm)	Intervalo de temperatura de procesamiento (°C)
Polietileno de baja densidad (LD)	-90 a -25	98-115	149-232
Polietileno de alta densidad (HD)	-110	130-137	177-260
Polipropileno (PP)	-25 a -20	160-1880	190-288
Poliestireno (PS)	85-125	240	180-220

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Askeland & Wright, 2016.

La [tabla 2.3](#) muestra la Tg del PS entre los 85 °C y 125 °C, por debajo de esta es duro y quebradizo. El PS se ablanda a temperaturas relativamente bajas y fluye como un líquido casi a partir de 100 °C o bajo tensión, lo que facilita su termoformado o extrusión (Lynwood, 2014).

Densidad

La norma ASTM C578-19 marca que esta depende del tipo de EPS que se vaya a fabricar, pero varía entre los 12 kg/m³ y 48 kg/m³.

Tabla 2.4 Densidad de los tipos de EPS

Clasificación	Tipo													
	XI	I	VIII	II	IX	XIV	XV	XII	X	XIII	IV	VI	VII	V
Densidad min. (kg/m ³)	12	15	18	22	29	38	48	19	21	26	23	29	35	48

Fuente: Elaboración propia a partir de datos la ASTM C578-19.

La densidad está sujeta al tipo de aplicación, dependiendo si se requiere mayor resistencia a carga o aislamiento.

Propiedades mecánicas

El PS se caracterizan por un bajo alargamiento a la rotura y fragilidad a la temperatura ambiente (Lynwood, 2014). Mientras que el EPS proporciona un excelente rendimiento mecánico, ya que se puede utilizar como aislante bajo pavimentación de una vivienda unifamiliar y naves industriales para recibir cargas pesadas. De hecho, el EPS, visto bajo un microscopio, parece un panal, es esta peculiaridad la brinda tan buena resistencia mecánica (Burger et al., 2008).

Tabla 2.5 Propiedades mecánicas de polímeros

Material	Resistencia a tensión (MPa)	Porcentaje elongación (%)	Modulo elástico (MPa)
Polietileno de tereftalato (PET)	72	300	4140
Polietileno de baja densidad (LD)	21	800	276
Polietileno de alta densidad (HD)	38	130	1241
Cloruro de polivinilo (PVC)	62	100	4140
Polipropileno (PP)	41	700	1517
Poliestireno (PS)	55	60	3103

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Askeland & Wright, 2016.

Tabla 2.6 Propiedades térmicas de materiales

Material	Conductividad térmica (W/m.K)
Aluminio	230
Acero	50
Piedra	3.5
Madera	De 0.13 a 0.29
Poliestireno	De 0.030 a 0.038

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Burger et al., 2008.

Propiedades térmicas

El uso del EPS reduce el consumo de calefacción y logra ahorros significativos en comparación con una casa sin aislamiento. Por su baja conductividad térmica se denomina aislante, contribuyendo al confort en invierno y verano. Su rendimiento se expresa en:

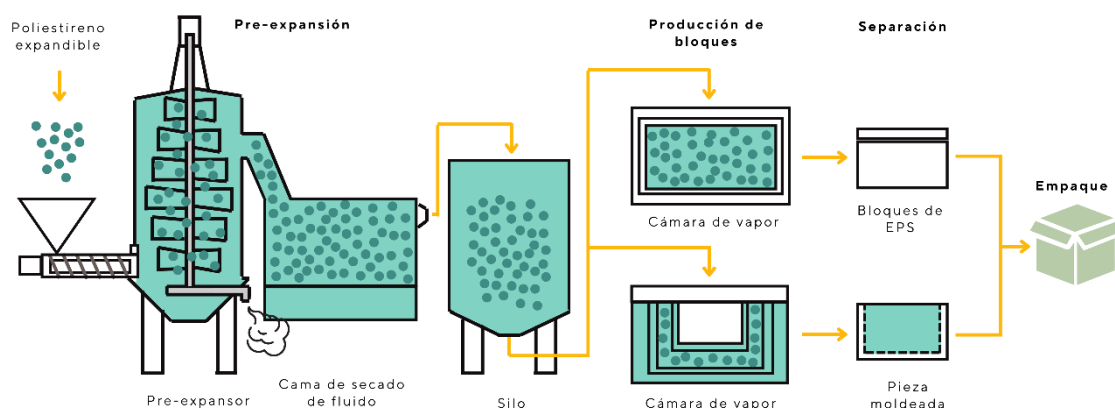
□ **Conductividad térmica:** Se expresa en W/m.K. Se refiere a la capacidad de un material para transmitir calor. Cuanto más baja es la conductividad y más grueso es el producto entonces será más aislante.

□ **Resistencia térmica (R):** Se expresa en m².K/W. Depende del espesor del producto y expresa la capacidad del producto para aislar. Cuanto mayor es el valor de R, entonces más aislante es el producto (Burger et al., 2008).

Propiedades acústicas

Al emitir un sonido en el aire, la primera pared vibra, luego la capa de aire y el aislamiento ralentizan estas vibraciones, y solo una pequeña parte llega a la segunda pared. Cuanto menos denso es el material, mejor será su rendimiento acústico (Burger et al., 2008). Debido a que el EPS está compuesto de hasta un 98% de aire, se ha convertido en un perfecto aislante de muros y losas. Tal como se mencionaba con las propiedades térmicas, el grosor también es un factor importante que puede incrementar el índice de aislamiento.

Imagen 2.3 Producción de productos de EPS



Fuente: Elaboración propia a partir de imagen de ecoplas.org

En términos generales, los termoplásticos de ingeniería pueden ser procesados por moldeo por inyección, extrusión, moldeo por soplado, termoformado, rotomoldeo o espumado (Meyers, 2001). En el caso del EPS el vapor de agua expande las perlas de PS hasta 50 veces su volumen inicial, hasta obtener un material con 98% de aire (Burger et al., 2008).

Inflamabilidad

Todos los materiales orgánicos como el papel, la lana o madera, EPS se incendian fácilmente. Sin embargo, el EPS casi nunca se expone directamente a fuentes de ignición directas. Si este se quema, libera energía, dióxido de carbono, vapor de agua y hollín. Un estudio del Centro de Seguridad contra Incendios (Países Bajos) ha demostrado que el humo negro emitido por la combustión de EPS es menos dañino que los de otros materiales orgánicos (Burger et al., 2008). Otro estudio realizado por la Haute Qualité Environnementale (HQE) confirma que los humos producidos son mucho menos tóxicos que los liberados por el abeto y aglomerado. En la [tabla 2.7](#) se evidencia que materiales como la tabla de aglomerado liberan mayor cantidad de gases que el EPS.

Tabla 2.7 Valores de toxicidad de diversos materiales (ppm)

Material	Gases emitidos	Temperatura alcanzada			
		300°C	400°C	500°C	600°C
EPS (Calidad estándar)	Monóxido de carbono	50*	200*	400*	1000*
	Monoestireno	200	300	500	50
	Compuestos aromáticos	Fracciones	10	30	10
EPS (Calidad retardante)	Monóxido de carbono	10*	50*	500*	1000*
	Monoestireno	50	100	500	50
	Compuestos aromáticos	Fracciones	20	20	10
	Bromuro de hidrógeno	10	15	13	11
Madera de pino	Monóxido de carbono	400*	6000*	12000*	15000*
	Compuestos aromáticos	-	-	-	300
Tabla de aglomerado	Monóxido de carbono	14000**	24000**	59000**	69000**
	Compuestos aromáticos	fracciones	300	300	1000

*brasa **llama

Fuente: Elaboración propia a partir del informe de ANAPE, 2013.

2.2 Materiales compuestos (MC)

Este tipo de materiales surgen de la combinación de dos o más materiales, su propósito es mejorar las propiedades físicas, químicas, mecánicas, etc. de alguno de ellos. Algunas de las razones para utilizar materiales compuestos (MC) son la reducción de peso, su resistencia a la corrosión y reducción del número de piezas. Otras ventajas de estos incluyen aplicaciones específicas, como su transparencia electromagnética, resistencia al desgaste y fatiga, el aislamiento térmico/acústico, la baja expansión térmica, conductividad térmica alta o baja, etc. aplicaciones aeroespaciales en general y en particular (Barbero, 2010).

¿Qué son los materiales compuestos?

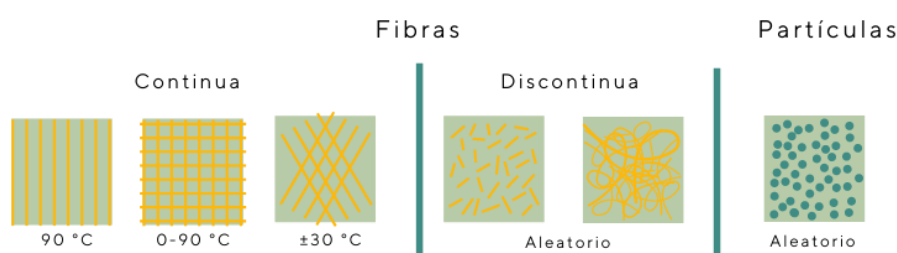
Están compuestos de una fase continua conocida como matriz (pueden ser metales, cerámicos o polímeros), junto con una o más fases discontinuas que son denominadas refuerzos (ya sean partículas o fibras).

Una forma de clasificar los materiales compuestos es de acuerdo con la *matriz* que los compone:

- ❑ *Compuestos de matriz metálica (MCM)*: Son mejores que los materiales convencionales en términos de propiedades mecánicas y térmicas mejoradas que abarcan una buena resistencia al desgaste y una conductividad térmica excepcional.
- ❑ *Compuestos de matriz cerámica (MCC)*: Se puede reforzar con cerámica, metales, vidrios y polímeros. Tienen una resistencia a la corrosión excepcional, altos puntos de fusión, resistencia a la compresión superior y estabilidad a altas temperaturas.
- ❑ *Compuestos de matriz polimérica (MCP)*: La matriz generalmente se refuerza con fibras cerámicas ya que tienen una alta resistencia en comparación con el material de la matriz. Estos son bien conocidos por su precio razonable y el método fácil de producción (Sharma et al., 2020).

Otra clasificación se puede hacer por medio del *refuerzo* que están utilizando, el cual básicamente es por medio de partículas o fibras.

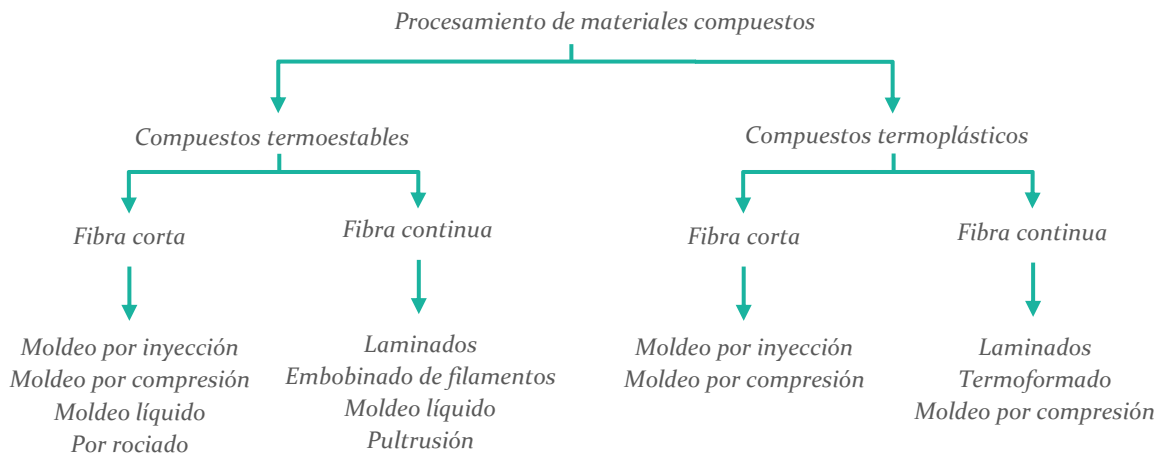
Imagen 2.4 Disposiciones más comunes de los refuerzos en CMs



Fuente: Elaboración propia.

Las partículas o escamas al ser utilizadas como refuerzos no son tan eficaces como las fibras, de hecho, se prefiere el refuerzo de fibra porque la mayoría de los materiales son mucho más fuertes en forma de fibra que en partículas. Esto se atribuye a la fuerte reducción en el número de defectos en las fibras en comparación con las de forma masiva. La alta resistencia de las fibras poliméricas, como la aramida, se atribuye a la alineación de las cadenas poliméricas a lo largo de la fibra en oposición a la disposición entrelazada al azar en el polímero a granel. Los materiales cristalinos, como el grafito, también se alinean a lo largo de la fibra, lo que aumenta la resistencia (Barbero, 2010).

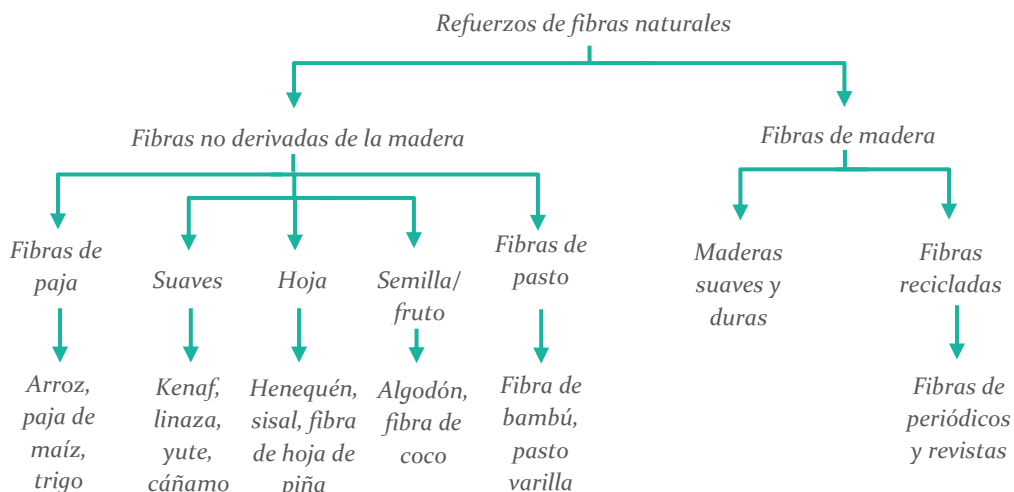
La cantidad de materiales compuestos sigue en aumento, por lo que los procesos para producirlos también. Sin embargo, su procesamiento puede verse resumido en el siguiente diagrama.



Los procesos son parte importante de los MCs ya que ellos también son clave para lograr ciertas propiedades específicas. En algunos casos llegan a ser compatibles entre sí con el fin de formar algún producto, ya que algunas partes pueden ser fabricadas con cierta técnica y unirse por medio de otra.

2.2.1 Fibras orgánicas

En un MCP reforzado con fibras estas sirven como refuerzo ya que brindan resistencia y rigidez a la estructura, mientras que la matriz polimérica sirve como adhesivo para mantener a estas en su lugar de modo que se puedan fabricar los componentes estructurales adecuados. Las fibras pueden ser de origen natural o sintético y a su vez subdividirse en varios grupos dependiendo de su procedencia, una de ellas contiene a las derivadas de la madera y otras que pertenecen a otro grupo de plantas, árboles o residuos (Mohanty, Misra, y T. Drzal 2005).



Todas las fibras naturales, ya sean de madera o no, contienen celulosa y lignina. La cantidad de celulosa, en sistemas lignocelulósicos, puede variar dependiendo de la especie y edad de la planta. Todas las fibras naturales son de naturaleza hidrofílica y aunque la estructura química de la celulosa de diferentes fibras naturales es igual, el grado de polimerización (gp) varía. Incluso las propiedades mecánicas de una fibra dependen significativamente del gp (Mohanty, Misra, y T. Drzal 2005).

Fibras de madera

Las fibras de madera consisten en células vivas y muertas de la madera, según la ubicación y la edad del árbol del que se extraen. La estructura jerárquica de las fibras de madera confiere a este material fibroso excelentes propiedades de rendimiento, como la relación de alta resistencia a peso. Se pueden obtener fibras de madera mediante procesos químicos, mecánicos, biológicos y muchos procesos combinados (Dai & Fan, 2014).

A nivel microscópico (normalmente de 0,01 a 6 mm), dos tipos de células de madera con diferentes estructuras jerárquicas pueden ser identificadas: las traqueidas (en maderas blandas y maderas duras) y vasijas (solo en maderas duras). En la [tabla 2.7](#) se muestran las características de cada una de ellas.

Hay que recordar que la diferencia principal entre la madera dura y blanda es que los árboles de madera dura normalmente son de crecimiento más lento y se consideran *angiospermas*, es decir que son árboles de hoja caduca (mudan hojas anualmente), lo que provoca que su madera sea más densa. Mientras que los árboles de madera blanda son *gimnospermas*, lo que significa que son árboles de hoja perenne (no mudan hojas). Básicamente se trata de una diferencia que es evidente en la semilla que produce el árbol y no en la densidad de su madera (*Hardwood vs Softwood*, 2021).

Composición

Desde el punto de vista molecular, los principales componentes químicos de las fibras de madera son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina (Dai & Fan, 2014). Existen diferentes tipos de fibra de madera y principalmente se diferencian en su composición, la cual cambia al ser sometidas a procesos de blanqueamiento.

Tabla 2.8 Composición de los diferentes tipos de maderas

Tipos de fibras de madera	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Extractivos (%)
Fibras de madera originales				
Madera blanda	40-45	25-30	26-34	0-5
Madera dura	45-50	21-35	22-30	0-10
Fibras de madera TMP*				
Madera blanda	69.0 + 2.5	22.0 + 0.7	8.8 + 1.8	0.2 + 0.1
Madera dura	78 + 0.5	19.3 + 0.1	2.4 + 0.4	0.3 + 0.2
Fibras de madera blanqueadas				
Madera blanda	79.2 + 0.2	20.0 + 0.1	0.8 + 0.1	0 + 0
Madera dura	78 + 0.2	20.3 + 0.1	1.3 + 0.1	0.5 + 0.1

*Pulpas termo mecánicas

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Dai y Fan, 2014.

Tabla 2.7 Dimensiones de fibras de maderas típicas

Tipos de fibras	Largo (mm)	Ancho (μm)
Madera blanda	2-6	20-40
Madera dura	1-2	10-50

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Dai y Fan, 2014.

Propiedades mecánicas

La propiedad de la superficie es una de las propiedades clave de las fibras de madera; puede afectar la adhesión interfacial de la resina sobre la superficie de las fibras y las propiedades mecánicas del composite a base de fibras. Esta propiedad está influenciada por la morfología de las fibras, composición química, productos químicos de extracción y condiciones de procesamiento (Dai & Fan, 2014).

La siguiente tabla muestra las propiedades superficiales de las fibras de madera en comparación con otras fibras naturales y algunas de sus propiedades mecánicas.

Tabla 2.9 Propiedades mecánicas de fibras orgánicas

<i>Tipos de fibras</i>	<i>Área de superficie (m²/g)</i>	<i>Densidad (g/cm³)</i>	<i>Elongación (%)</i>	<i>Fuerza de tensión (MPa)</i>	<i>Módulo de Young (GPa)</i>
<i>Lino</i>	.31-.79	1.5	1.2-3.2	345-2000	15-80
<i>Cáñamo</i>	.75	1.48	1.6	550-900	26-80
<i>Sisal</i>	1.63	1.5	3.0-7.0	468-700	9.4-22
<i>Fibra de coco</i>	.48	1.2	17-47	175	4.0-6.0
<i>Madera blanda</i>	.97	1.5	-	600-1020	18-40
<i>Madera dura</i>	1.34	1.2	-	-	37.9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Dai y Fan, 2014.

Como puede observarse la densidad de estas maderas es muy parecida sin embargo su fuerza de tensión difiere bastante al igual que su módulo de Young. En el caso del lino, al ser el material más denso tiene un máximo de fuerza de tensión comparado con otros. El cáñamo tiene valores similares al lino mientras que la fibra de coco es la que menor fuerza de tensión tiene y por lo tanto un bajo valor de módulo de Young.



Panel W © Carolina Galicia

3

Plásticos y construcción

“El presente es lo que más debería interesar a un arquitecto. Hacemos el futuro enfrentando al presente”

- Teodoro González de León

3° Plásticos y construcción

La demanda de nuevos materiales adecuados a ciertas aplicaciones es creciente, ya que su uso responde a las nacientes necesidades de las personas e industrias. En general es el contexto social, político y económico quienes afectan el ámbito científico que desarrolla estos productos, ya que ellos demandan la calidad y tipo del producto final. Y aunque, muchas veces los materiales de mejor calidad no son costeables para todas las personas, o los de baja calidad llegan a tener un alto impacto ambiental, siempre es posible encontrar alguna opción que se adapte a lo que se necesita. Tal es el caso de la construcción, donde esta actividad ha ido cambiando con el tiempo debido a estas nuevas alternativas. Antes era común que los edificios se construyeran casi totalmente de concreto, lo cual era una desventaja por no tener la ligereza o flexibilidad de los edificios de hoy.

Los materiales más utilizados en la arquitectura

Actualmente, dependiendo del proyecto o lugar donde se construya, siempre será fácil encontrarse con alguna estructura de metal, muros de concreto o ladrillos, con puertas, ventanas y pisos de madera o vidrio y tuberías o techos de plástico.

En la construcción es evidente como los polímeros van sustituyendo ciertos elementos arquitectónicos, o se incluyen para trabajar en conjunto con algún otro material. Particularmente el uso del EPS, un derivado del petróleo que ha logrado consolidarse como un material de bajo costo y resistente, ha sido muy eficaz en aplicaciones de aislantes y aligerante de losas. De hecho, si se reflexiona en el impacto ambiental que el uso del EPS ha logrado disminuir en la construcción de losas sería enorme. Simplemente causa un menor impacto utilizar un material compuesto de 2-3% de plástico a emplear uno con mayor densidad como el concreto que requirió de más recursos y energía para ser fabricado.

La aplicación de polímeros en la construcción ha derivado en ventajas y desventajas, cada una de ellas es relativa al proyecto. Entre ellas se encuentran:

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Diseño de estructuras y fachadas más innovadoras | <input checked="" type="checkbox"/> Algunos tienen baja durabilidad en ciertas condiciones |
| <input checked="" type="checkbox"/> Fácil montaje y mantenimiento | <input checked="" type="checkbox"/> No todos son estéticos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Brindan ligereza y resistentes a la corrosión | <input checked="" type="checkbox"/> Tienen mayor impacto ambiental que otros materiales más comunes |
| <input checked="" type="checkbox"/> En general son económicos | <input checked="" type="checkbox"/> Parte de ellos no se reciclan |

Las ventajas pueden multiplicarse cuando el proyecto está bien ejecutado, es decir, cuando cumple las normativas de construcción específicas del lugar; o cuando se tiene un previo conocimiento de las características de los elementos poliméricos. Sin embargo, la situación puede convertirse en lo contrario ya que muchas veces se antepone el tiempo de entrega. No priorizar en el uso de elementos correctos, ya sean de polímeros o cualquier otro material compuesto puede ser perjudicial a corto y largo plazo.

3.1 Aplicación de los polímeros en construcción

Ya se han mencionado algunas de las aplicaciones de los polímeros en la arquitectura, estos productos son totalmente hechos de algún tipo de polímero, de igual forma, pueden ser materiales compuestos. A continuación, se presentan algunos ejemplos.

Tuberías



Su utilización más común es para el transporte de agua y asilamiento de cableado eléctrico. Las tuberías hidrosanitarias suelen estar fabricadas totalmente de PE, PP o PVC o algún otro compuesto ya que no generan olores, sabores o colores. Mientras que los poliductos se fabrican de LDPE y resisten muy bien la humedad, generalmente su identifican por ser de color naranja.

Pisos



Las losetas vinílicas hechas a partir de resinas de PVC se han vuelto una excelente opción para espacios de uso rudo, que requieren de poco mantenimiento o estarán expuestos a la intemperie. Por otro lado, los pisos epóxicos compuestos de resinas poliméricas brindan una larga durabilidad, incluso pueden ser de grado farmacéutico u hospitalario para impedir el crecimiento de bacterias.

Losas y techumbres



Para aligerar el peso de los entrepisos, es común utilizar elementos como casetones de EPS, además de ser económicamente viables pueden llegar a ser altamente aislantes dependiendo de su densidad. También es común encontrar techumbres de policarbonato corrugadas de diferentes colores, sus ventajas están en su rápida y fácil colocación, ligereza y son muy económicas.

Paneles prefabricados



Entre los más utilizados están el panel W y el durock, el primero se trata de una placa de EPS con una malla electrosoldada de alambre de acero y coloca tanto en muros como en techos. El segundo producto se trata de una placa de 1/2" hecha a partir de cemento, malla de fibra de vidrio y pequeñas partículas de EPS; su uso no es estructural por lo que normalmente se combina con estructuras de acero.

Aislantes termoacústicos



Uno de los productos más comunes es el hule espuma que está hecho a partir de poliuretano flexible, este tiene diferentes geometrías y densidades que pueden cambiar sus propiedades. Su presentación normalmente es en rollos de diferentes grosores o en placas. Otra opción muy eficiente, son las placas de EPS las cuales dependiendo las características deseadas se utilizarán diferentes presentaciones.

Concretos poliméricos y selladores



Son utilizados con el fin de brindar una mayor resistencia a compresión y durabilidad. Los concretos poliméricos están compuestos de una resina termoestable, metacrílicas o modificadas (que sustituyen por completo el uso del cemento) y algún tipo de agregado mineral. Mientras que los selladores generalmente son de poliuretano.

La mayoría de los productos poliméricos son prefabricados, derivado de esto se vuelven muy accesibles, fácil de instalar y transportar. El hecho de que vayan emergiendo nuevos productos con estas características logrará muy pronto reemplazar en gran parte a los materiales tradicionales. Afortunadamente esto permitirá sobreexplotar en menor manera otros recursos, el problema sería que este desarrollo tecnológico sobrepase el uso de otros recursos más dañinos como el petróleo.

Impermeabilizantes



Aunque la variedad de materiales para este fin es diversa, los polímeros son una excelente opción para impermeabilizar. Estos pueden ser acrílicos o a base de elastómeros. Una gran parte de ellos está hecha de diferentes tipos de resinas, aunque también existen algunos que contienen caucho reciclado provenientes de llantas recicladas. Cualquiera de las dos opciones es altamente perdurable.

Decoración



Para fachadas o interiores se venden elementos decorativos de EPS los cuales se recubren con algún tipo de mortero. El fin es meramente decorativo, ya que se tratan de molduras para puertas o ventanas. Otra aplicación de los polímeros está en las placas de acrílicos o policarbonatos de colores, estas se colocan a modo de celosías o ventanas.

3.2 Reciclaje de polímeros en la construcción

Construir es una actividad que genera grandes cantidades de basura como se mencionó anteriormente, por ello si se quiere disminuir su impacto una forma de hacerlo es reutilizando materiales o reciclándolos. Específicamente los polímeros que se vuelven un problema ambiental son una gran opción para la aplicación en la arquitectura, debido a su fácil obtención y moldeo.

Actualmente, en la ingeniería de materiales, abundan las investigaciones relacionadas con la reutilización y reciclaje de polímeros. Específicamente las relacionadas con la construcción exploran la producción de morteros y concretos con aditivos plásticos (PET, PEAD, EPS, etc), estas investigaciones en su mayoría sugieren la sustitución de cierto porcentaje de los agregados por residuos poliméricos.

Una reseña dedicada al tema del reciclaje en la construcción muestra la breve revisión de 103 artículos (Almeshal et al., 2020), algunas de las conclusiones fueron las siguientes:

- Las mezclas poliméricas son más rígidas que un concreto convencional por lo tanto más difíciles de manipular o moldear.
- El peso unitario de las mezclas poliméricas es menor debido a la baja densidad de los polímeros.
- Una mayor proporción de plástico en las mezclas poliméricas, disminuyen sus valores de resistencia a la compresión, flexión y tracción.
- En las pruebas de comportamiento del fuego las mezclas poliméricas producen humo blanco con un mal olor y probablemente tóxico.
- Las mezclas poliméricas son más permeables que las de concretos y morteros.

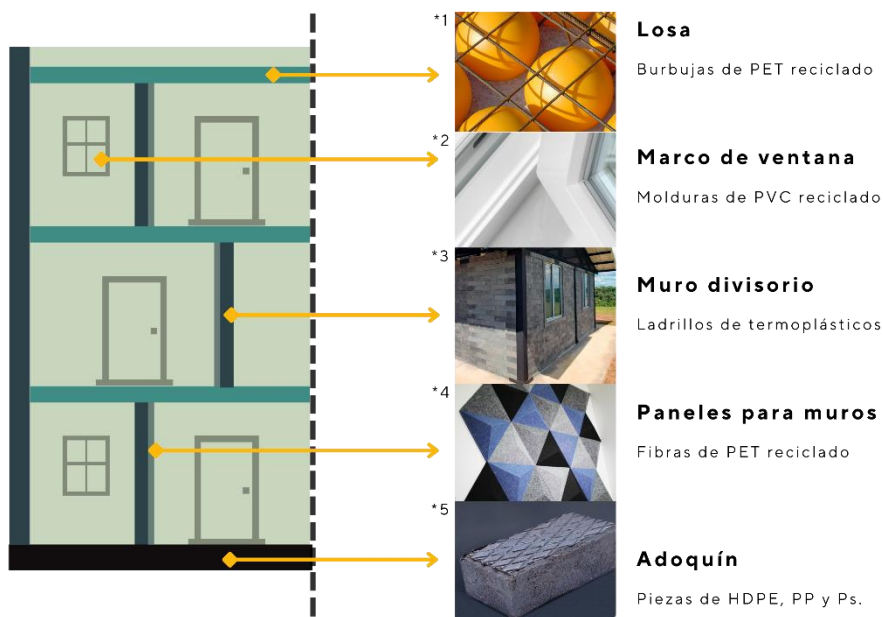
Por otro lado, también se han explorado los *concretos poliméricos (CP)* los cuales al contrario de las mezclas poliméricas anteriores no tienen una matriz cerámica o compuesta, sino que es polimérica. Este tipo de concretos suelen reforzarse con diferentes cantidades de fibras de acero, vidrio, carbono, poliéster, orgánicas, etc. con el fin de brindar diferentes propiedades.

De acuerdo a Alhazmi et al. (2021) la revisión de literatura acerca de este tema ha derivado en conclusiones como:

- Incorporar fibras de vidrio al CP mejora el comportamiento posterior a la carga máxima. Incluso un procesamiento previo con silano a estas fibras mejora las propiedades mecánicas hasta en un 25%.
- Para minimizar la contracción por secado se agrega un microrelleno a la mezcla como carbonato de calcio, humo de sílice o cenizas volantes. En especial las últimas han demostrado que mejoran las propiedades mecánicas y minimizan la absorción de agua en el CP.
- Los huecos abiertos formados en el CP pueden eliminarse utilizando una variedad de resinas, como el poliéster-estireno, el epoxi y el éster de vinilo. Ya que al ser hidrofóbicos por naturaleza llegan a soportar condiciones duras
- Suelen ser inflamables y degradan las propiedades estructurales y de adhesión a altas temperaturas

No todos los nuevos materiales constructivos obtenidos del reciclaje se encuentran aún en investigación, muchos de ellos han logrado comercializarse en diferentes partes del mundo. En la **Imagen 3.1** se presentan ejemplos de sus aplicaciones, las cuales van desde paneles decorativos y acústicos hasta sistemas de aligeramiento de losas. Cada uno de ellos emplea diferentes tipos de polímeros y por lo tanto diferentes procesos para obtenerlos, de hecho, es común encontrar elementos hechos a partir de HDPE Y PET. Su uso no solo tiene ventajas ambientales, de igual forma llegan a ser más asequibles o de fácil instalación comparados con otros materiales más comunes.

Imagen 3.1 Productos comerciales hechos a partir de polímeros reciclados



Fuente: Elaboración propia con imágenes de *1 Bubbledeck México, *2 REHAU España, *3 Conceptos plásticos Colombia, *4 Fynotej México y *5 Gjenge Kenia

Actualmente, existen muchas certificaciones en el mundo tales como la LEED¹ de Estados Unidos o BREEAM² de Reino Unido, que de cierta forma califican lo *sustentable* o *sostenible* que puede ser un edificio, basándose en varios aspectos como:

- Calidad ambiental
- Uso de agua
- Energía y atmosfera
- Innovación
- Materiales y recursos
- Gestión
- Residuos
- Contaminación

Tener estas certificaciones son un incentivo para que más constructores se sumen a en primer lugar lograr una gestión correcta de sus residuos, que generalmente son polímeros. En segundo lugar, a utilizar las nuevas alternativas que se crean a partir del reciclaje de estos residuos, ya sea nuevamente en la construcción o alguna otra industria.

¹ Leadership in Energy & Environmental Design (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental)

² BRE Environmental Assessment Method (Metódo de Evaluación Ambiental BRE)



Muestras de biocompuesto © Carolina Galicia

4

**Una nueva
alternativa**

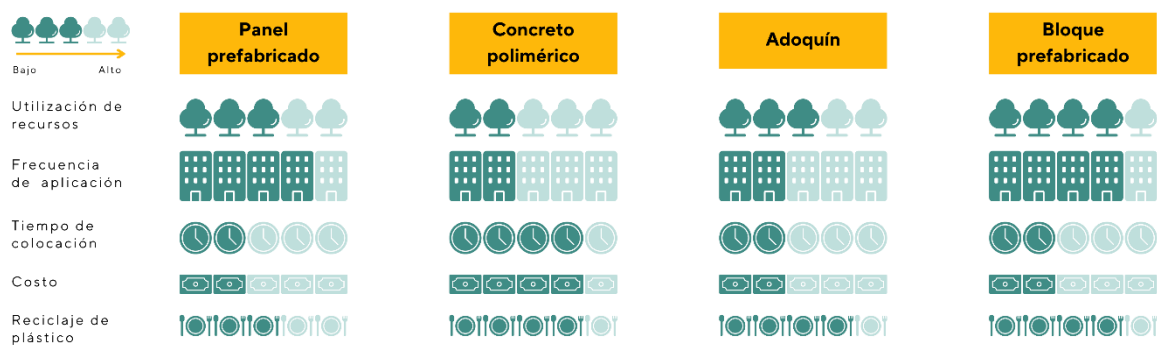
“Nadie puede construir un mundo mejor sin mejorar a las personas. Cada uno debe trabajar para su propia mejora.”

-Marie Curie

4° Una nueva alternativa

De la creación de un nuevo material (biocompuesto) pueden surgir múltiples productos, sin embargo, es imprescindible decidir la aplicación final. En este caso se encaminó hacia dos objetivos: el primero debía ser reutilizar o reciclar los residuos de EPS, el segundo sustituir o disminuir el uso de cemento de materiales ordinarios en la construcción. Tomando en cuenta lo anterior, se valoraron algunos escenarios finales de la aplicación que tendría el producto final (imagen 4.3). Se tomaron en cuenta puntos (de forma cualitativa) como la utilización de recursos, es decir la cantidad cemento, agua, petróleo, etc. que se requiere para fabricar cada uno de ellos. También se valoró la frecuencia en que son empleados dentro las construcciones y el tiempo que requieren para ser colocados. Por último, también se puntuó cualitativamente la cantidad de reciclaje de plásticos que podría lograrse con cada producto.

Imagen 4.1 Escenarios para la utilización del material



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se mencionan estas posibilidades y las razones del porque fueron descartadas.

- ❑ **Paneles prefabricados:** Se descartó esta idea debido a que es un elemento que se ha logrado sustituir muchas veces con otro tipo de materiales reciclados o que no están compuestos en gran medida de cemento.
- ❑ **Concreto polimérico (CP):** Se propuso el uso de este material como un reparador de grietas, debido a que muchos CP tienen estas funciones. Se descartó esta opción ya que el impacto ambiental de los CP no es mayor al de algún elemento que contenga cemento o algún plástico virgen.
- ❑ **Adoquines:** Ya que su uso no era estrictamente dentro de un edificio y tampoco sustituye algún elemento de concreto entonces se dejó de lado.

Por último, el escenario ideal se decidió que consistiera en:

- ✅ **Bloques prefabricados:** Por la composición primaria de este producto permite el reciclaje de grandes cantidades de unicel. Su producción no requiere de procesos que consumen enormes cantidades de energía o que sean contaminantes (comparado con el cemento), y su utilización como elemento de aislamiento térmico y de fácil instalación lo hacen un material que puede ser utilizado con más frecuencia.

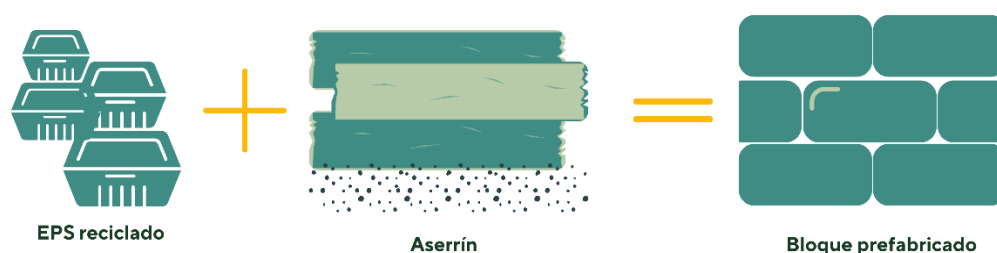
Elegir que material de construcción se puede sustituir con polímeros fue un proceso complejo ya que se debieron tomar en cuenta múltiples aspectos que incluían, normativas, fabricación, utilización de recursos y energía. Sin embargo, sustituir un bloque que normalmente está hecho de concreto es un gran paso para disminuir el impacto en las construcciones.

4.1 Justificación de la investigación

Las enormes cantidades de energía que se requieren para la obtención del clínker, y los gases que se emanan durante esta fusión son solo el comienzo para la obtención del cemento, un material que está destinado ser reemplazado en el futuro por algún otro que conlleve menos sacrificios ambientales. Debido a esta situación, se planteó el desarrollo de un nuevo material que recicle los residuos plásticos, con el fin de sustituir un elemento arquitectónico que comúnmente se fabrica con cemento.

4.2 Objetivos de la investigación

Objetivo general



Utilizar plásticos reciclados y residuos de maderas, mezclarlos y obtener un material para la elaboración de bloques prefabricados ligeros que funcione idealmente de forma mecánica, térmica y física en los muros que no sean de carga en las edificaciones en la CDMX.

Objetivos específicos



- Medir la fuerza de compresión con el fin de rectificar que sus valores sean de acuerdo con lo indicado en la normativa de la CDMX referente a los bloques no estructurales (PROY-NMX-C-441-ONNCCE-2011).
- Medir las propiedades térmicas (conductividad térmica, calor específico, resistividad, difusividad) del material con el fin de conocer su nivel de inercia térmica y contrastarlos con los de otros materiales y la normativa que indica las características de los materiales aislantes.
- Medir la durabilidad del material por medio de una prueba de intemperismo para conocer su comportamiento bajo los rayos UV y así determinar su funcionalidad en el caso de un muro expuesto al exterior.

4.3 Propuesta de biocompuesto

Retomando los capítulos anteriores, se menciona que uno de los materiales elegidos para crear el nuevo biocompuesto son los residuos de EPS, debido a su bajo índice de reciclaje en México. Mientras que el otro material son los residuos (aserrín) de una maderería, la cual específicamente en su mayoría vendía triplay y aglomerados. Más adelante se detalla el proceso de obtención de cada uno de ellos.

4.3.1 Obtención de REPS

El reciclaje del EPS suele hacerse de dos formas diferentes: química o mecánicamente (Akovali, 2005).

- **Reciclaje químico:** Se basa en técnicas que degradan las macromoléculas (pirólisis, oxidación, combustión para recuperación de energía, etc.), dando lugar a monómeros (como estireno, metacrilato de metilo) que pueden reutilizarse en tecnologías de polimerización o para producir productos similares al aceite.
- **Reciclaje mecánico:** Los productos se funden, mientras que el polímero en sí no sufre ningún cambio. Sólo los termoplásticos que forman el más alto volumen de los residuos, califican para este tipo de reciclaje.

En la CDMX los centros de reciclaje de unisel son contados, incluso existen algunas campañas ambulantes que se encargan de su recolección. En la alcaldía Cuauhtémoc se encuentra “Tecnologías Rennueva S.A. de C.V.” una empresa en crecimiento que se dedica principalmente al reciclaje de EPS o PS. Ahí se recolectan desde los desechables llevados por las personas, hasta los residuos de diferentes empresas. Hasta julio del 2021 llevaban reciclado 1,451.79 toneladas, lo que equivale a 514 millones de litros de agua ahorrados y 1,141.2 toneladas de huella de carbón mitigada (Rennueva, 2021).

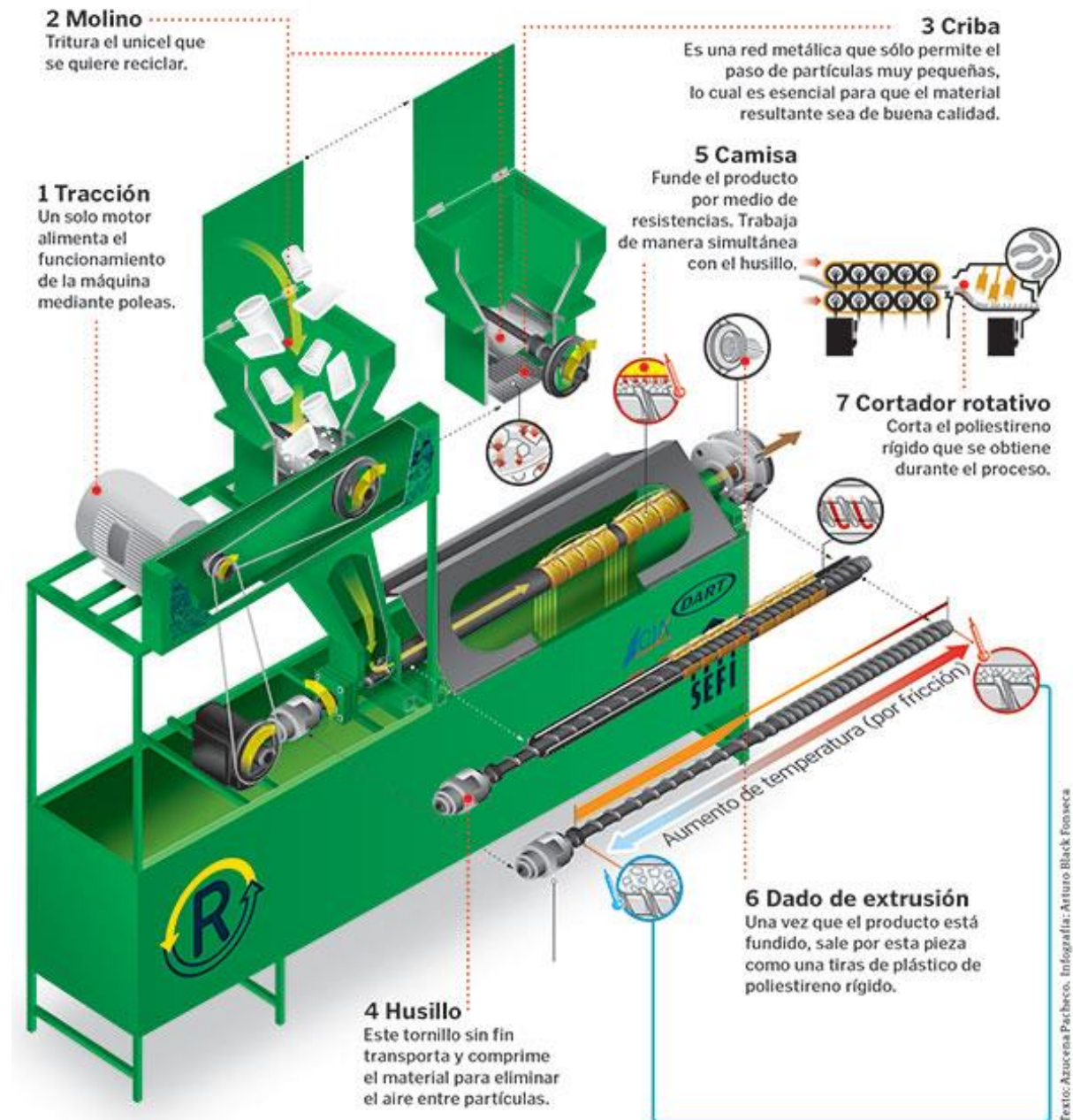
Imagen 4.2 Almacenamiento de EPS en las instalaciones de Rennueva



Fotografía de autoría propia

En la **imagen 4.3** se encuentra el proceso que sigue esta empresa mexicana para el reciclaje del EPS, básicamente se trata de una extrusión del material para desaparecer el mayor porcentaje de aire disponible. Parte del plástico solo pasa por un proceso de trituración y densificación con el que se obtienen pequeñas esferas blancas con menos de 80% de aire, mientras que la otra parte que pasa por extrusión presenta mayor rigidez, compactación y evidentemente menor cantidad de aire (menos de 85%).

Imagen 4.3 Reciclaje mecánico de EPS



Fuente: <https://rennueva.com/plandemanejoplasticos/wp-content/uploads/2020/06/Explosivo-REPS.jpg>

La materia prima resultante llega a venderse en \$10 el kilo de EPS densificado y \$13.50 el kilo de EPS extruido (precios del año 2021). Los productos que se realizan con estos tipos de pellets van desde marcos fotográficos hasta cajas para CD's, reglas o plumas. Se recomienda que para la elaboración de productos se utilicen los pellets más rígidos, ya que con ellos se puede trabajar de mejor manera en una inyectora o extrusora.

4.3.2 Obtención de aserrín

La presencia de las partículas de madera dentro del material compuesto se pensó por varias razones. Una de ellas fue para aligerar el peso del bloque prefabricado, que por el hecho de no ser un material tan denso tuviera una menor conductividad térmica y a la vez una menor rigidez. Otra razón importante fue elegir un tipo de aserrín que no estuviera compuesto solamente de madera de pino, ya que la presencia de partículas de triplay o aglomerados les favorecerían, en el sentido de que estas contienen resinas, las cuales supuestamente ayudarían a mejorar la adhesión del aserrín con el polímero.



Conseguir el aserrín solamente de aglomerado o triplay no es algo sencillo, ya que la mayoría de las madererías juntan todos los desperdicios de los diferentes tipos de maderas que trabajan, En la alcaldía de Azcapotzalco se acudió a la maderería “Aglomerados y Triplay Vic” donde se obtuvieron los residuos de corte de manera gratuita, lo cual es un punto a favor al reutilizar residuos que estaban destinados a simplemente desechados.

Imagen 4.4 Almacenamiento de aglomerados y triplay Vic



Fotografía de autoría propia



EPS bajo microscopio © Carolina Galicia

5

Experimentación

“La arquitectura es una ciencia adornada con numerosas enseñanzas teóricas y con diversas instrucciones, que sirven de dictamen para juzgar todas las obras que alcanzan su perfección mediante las artes. Este conocimiento surge de la práctica y razonamiento”

-Marco Vitruvio Polión

5° Experimentación

Al tratarse de una investigación dedicada a la evaluación de un material fue necesario realizar trabajo experimental. Este proceso se dividió dos etapas: teórica y práctica, ya que primero de acuerdo con la información presentada en el marco teórico, se hizo un análisis y se definieron los objetivos que previamente se mencionaron en el capítulo 4, la hipótesis de investigación y las variables. Posteriormente en la parte práctica se vería ya evaluado como tal material en las diferentes pruebas propuestas.

Dentro de la experimentación se propuso el análisis de cuatro mezclas con diferentes dosificaciones:

- 100% REPS
- 70% REPS y 30% aserrín
- 60% REPS y 40% aserrín
- 50% REPS y 50% aserrín

La mezcla de REPS se propuso como una mezcla de control y poder comparar su comportamiento con las que contienen aserrín.

Hipótesis de experimentación

Al incorporar pellets de poliestireno expandido reciclado (REPS) con la mezcla de aserrín en diferentes proporciones, se determinará que la que contiene una menor cantidad de polímero (REPS) presentará mejores propiedades térmicas, mecánicas y físicas, comparado con las mezclas de mayor contenido polimérico. Resultando ser un material ideal para la elaboración de bloques prefabricados y su aplicación en muros no portantes de la CDMX.

Variables de la experimentación

Se definieron las variables independientes, las cuales son aquellas que no serán manipuladas durante la experimentación. Al ser una experimentación la escala de medición es cuantitativa tanto en las dependientes como las independientes.

<i>Variable</i>	<i>Definición conceptual</i>	<i>Definición operacional</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de medición</i>
Independientes				
Pellets de EPS	Partículas en forma de cilindros delgados comprimidas resultado del reciclaje por inyección del unicel	Matriz del material compuesto	gr	Cuantitativa
Mezcla de aserrín	Residuos del corte y refinamiento de maderas de pino, triplay, aglomerado	Refuerzo del material compuesto	gr	Cuantitativa

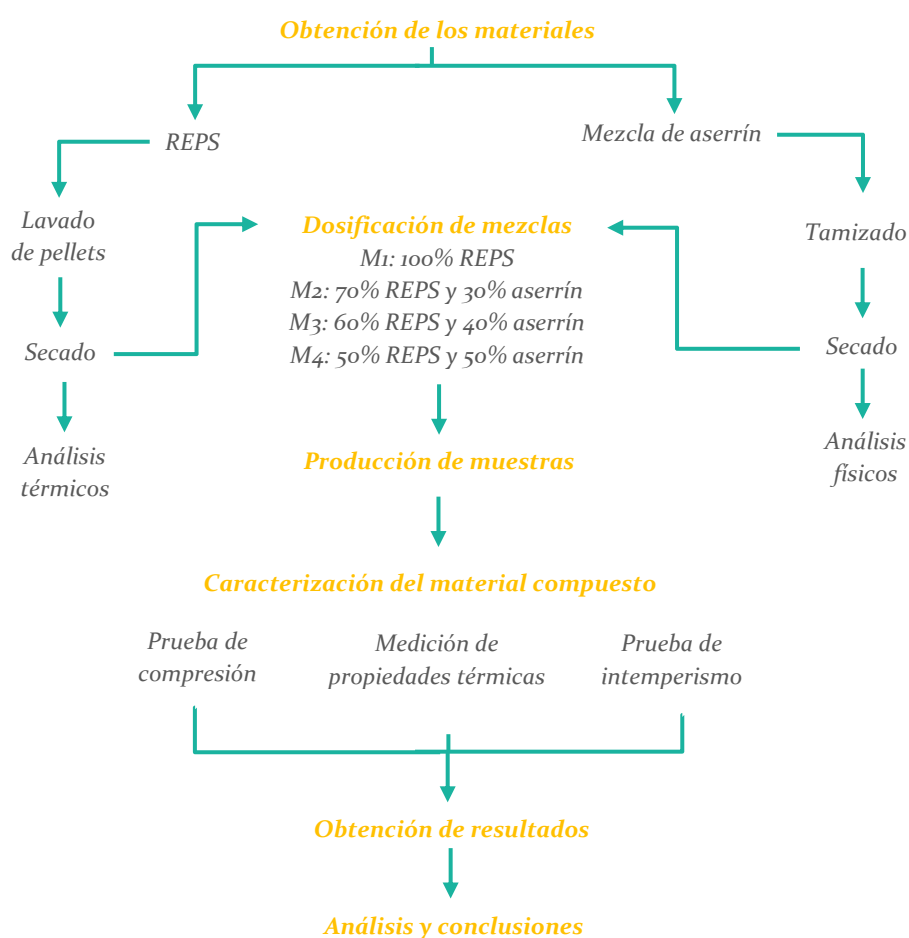
Mientras que las variables dependientes son aquellas miden el comportamiento de las independientes en diferentes circunstancias. Estas tienen diferentes unidades de indicadores ya que evidentemente varían de acuerdo con lo que se vaya a medir.

<i>Variable</i>	<i>Definición conceptual</i>	<i>Definición operacional</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de medición</i>
<i>Dependientes</i>				
<i>Conductividad térmica</i>	Describe el transporte de energía en forma de calor a través de un cuerpo con masa como resultado de un gradiente de temperatura.	Cuanto mayor sea la conductividad térmica del material, mejor conductor del calor resultará, y cuanto menor sea, el material será más aislante.	W/(m·K)	Cuantitativa
<i>Calor específico</i>	Se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa para elevar su temperatura en una unidad	La cantidad de calor que necesite el material para que eleve su temperatura	W/(m·K)	Cuantitativa
<i>Resistividad térmica</i>	Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de oponerse al paso del calor.	Su oposición al paso del calor a través de él se definirá de forma cuantitativa	W/(m·K)	Cuantitativa
<i>Difusividad</i>	Mide la velocidad a la que la temperatura cambia dentro de una sustancia	Es el valor obtenido al dividir la conductividad térmica dividida entre el producto del valor de densidad y la capacidad calorífica específica	W/(m·K)	Cuantitativa
<i>Resistencia a la compresión</i>	La cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria.	La máxima resistencia a la compresión medida de un espécimen del material compuesto.	MPa	Cuantitativa
<i>Durabilidad</i>	Resistencia de un material de permanecer inalterable al paso del tiempo	Es la cantidad de cambios físicos y químicos que sufre el material al ser expuesto a radiación UV	%	Cuantitativa

5.1 Plan experimental

El plan experimental comenzó con la obtención de los materiales, y tanto al REPS como al aserrín se les realizaron pruebas individuales de caracterización térmica y física respectivamente. Cada uno recibió diferentes tratamientos para posteriormente poder elaborar la dosificación de las mezclas. Ya con las mezclas, se produjeron las muestras de diferentes tamaños dependiendo de la prueba a la que serían sometidas. Después de ser sometidas a las pruebas mecánicas, térmicas y fisicoquímicas se obtuvieron los resultados y se analizaron para obtener las conclusiones de cada prueba. Finalmente, con estas conclusiones fue posible determinar una conclusión general y especificar las ventajas y desventajas de este material.

A continuación, se muestra un diagrama que muestra de forma general el plan experimental antes descrito.



Este plan se fue desarrollando conforme a las necesidades que iban apareciendo en el camino, incluso debió a la situación actual de contingencia sanitaria algunos de los procesos se hicieron de forma casera. En los siguientes subcapítulos se detallan los pasos a seguir, los materiales, el tamaño de las muestras, el espacio y condiciones en que se fue realizando cada etapa de experimentación.

5.2 Caracterización de polímeros

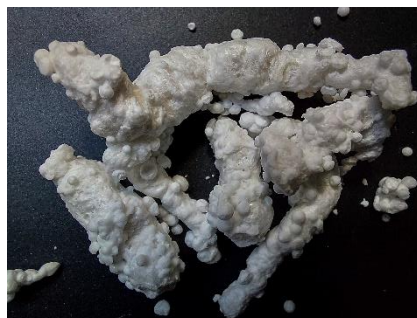
En la creación del material compuesto el REPS juega el papel de la matriz, por lo que es importante conocer sus características. La empresa recicladora de donde se obtuvieron los pellets de EPS cuenta con dos tipos de presentación para este material:



Fotografía de autoría propia. Pellets obtenidos de Rennueva SA. De CV.

Tipo I

- Densificado y extruido
- 90% menos aire que el EPS normal
- Tonos oscuros
- Presentación en forma de tubos delgados y cortos
- \$13.50 el kg



Fotografía de autoría propia. Pellets obtenidos de Rennueva SA. De CV.

Tipo II

- Densificado
- 80% menos aire que el EPS normal
- Tonos claros
- Presentación en pequeñas esferas unidas entre si
- \$10 el kg

Para seleccionar el tipo de pellet ideal para producir el material compuesto fue necesario evaluar sus propiedades térmicas y parte de las físicas.

5.2.1 Análisis térmicos

Este tipo de análisis incluyen un análisis termogravimétrico (TGA) y una calorimetría diferencial de barrido (DSC), con el fin de encontrar el punto de degradación del material y el punto de transición vítrea (tg) de cada tipo de pellet. Así, se podría definir si su temperatura de procesamiento es similar al de EPS virgen y si puede procesarse de la misma manera.

Espacio de experimentación

Instituto de investigaciones en materiales (IIM)-UNAM
Departamento de polímeros
Laboratorio de Análisis Térmicos
A cargo de Ing. Eriseth Reyes Morales



Para cada una de las pruebas fue necesario contar con pequeñas muestras de aprox. 10 mg o menos, que hubieran sido previamente limpiadas con jabón neutro y agua.

Análisis termogravimétricos (TGA)

Se trata de una descomposición que se hace al polímero en función del calor dentro de una atmósfera controlada, en este caso se hizo en aire y nitrógeno. Se realizó con el fin de obtener el punto de degradación (onset) de cada uno de los tipos de pellets.

Condiciones de experimentación

Equipo

TGA Q5000 Analizador térmico

Rampa de calentamiento

10 °C/min

Intervalo de temperatura

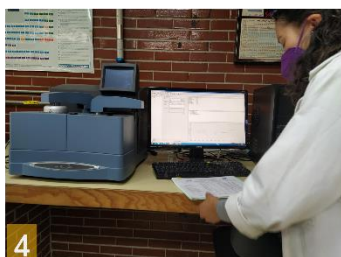
Tipo I: Tamb-600°C

Tipo II: Tamb-600°C

Gas de purga

Aire y nitrógeno (N₂)

Procedimiento

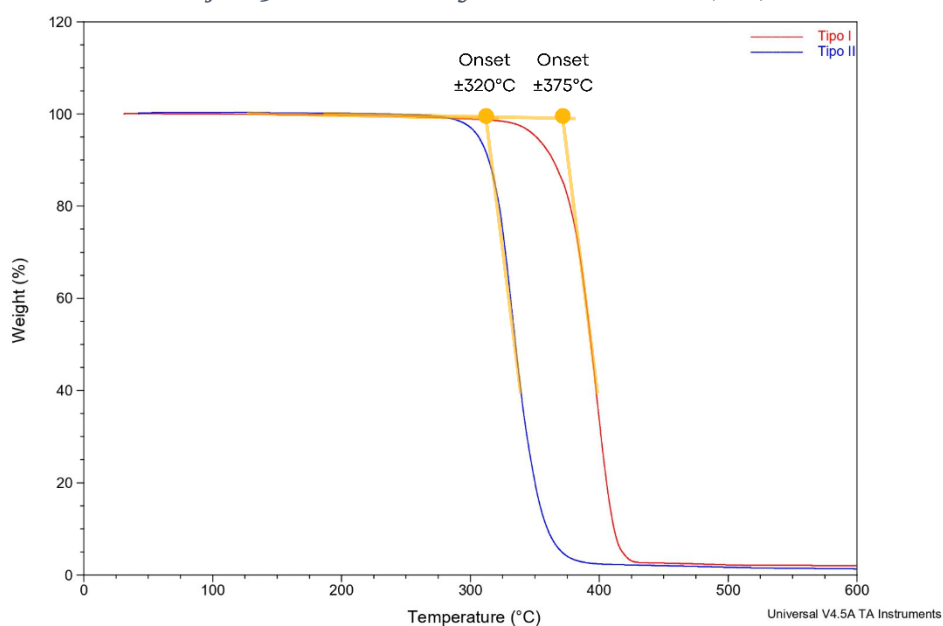


1. Limpiar los crisoles metálicos con un algodón y pinzas.
2. Tarar los crisoles en la báscula de precisión, luego colocar las muestras de REPS con pinzas en cada uno de ellos para posteriormente pesarlos
3. Colocar los crisoles en orden con una muestra de cada tipo de pellet en la portacrisoles de la máquina TGA.
4. Programar la máquina TGA con los valores de las condiciones de experimentación previamente mencionados.
5. Comenzar la prueba.
6. Esperar los resultados en forma de gráfica (peso/temperatura).

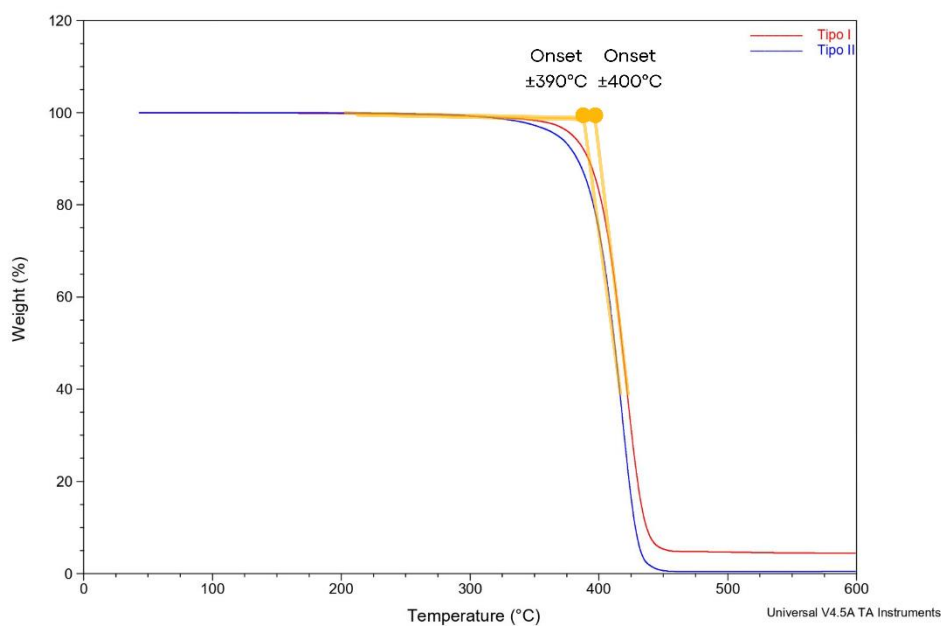
Al final lo único que queda dentro de los crisoles son los residuos de los polímeros, aunque es una cantidad mucho menor que la que se introdujo al iniciar la prueba.

Resultados

Gráfica 5.1 análisis termogravimétrico de REPS (aire)



Gráfica 5.2 análisis termogravimétrico de REPS (N₂)



En la atmósfera de aire, el punto de degradación (onset) de los dos tipos de REPS fue más baja que en la de nitrógeno. En la atmósfera de aire el punto de onset fue de 375°C para el tipo I y 320°C para el tipo II, mientras que en N₂ fue de 400°C para el tipo I y 390°C para el tipo II. Finalmente se concluye que el punto de degradación de los dos tipos de pellets sucede en un promedio de 380°C en aire y 400°C en nitrógeno.

Los resultados obtenidos se asemejan a los obtenidos en la caracterización de EPS virgen donde los grados de degradación se encuentran entre 325-425 °C en aire y 375-450°C para nitrógeno (Mohd Rawi & Jaapar, 2018).

Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Este análisis consiste en determinar el punto en que cada tipo de pellets mostraba su punto de transición vítrea, es decir el punto en que el polímero tiene una transición de un estado duro a uno viscoso. Primero se realizó a los dos tipos de pellets, sin embargo, a que el tipo I mostró un comportamiento más estable en un intervalo de temperatura de Tamb-600 °C se decidió volver a hacer un DSC con menor intervalo de temperatura.

Condiciones de experimentación

Equipo
DSC Q100

Rampa de calentamiento
10 °C/min

Intervalo de temperatura
Tipo I: Tamb-200°C

Gas de purga
Nitrógeno (N₂)

Procedimiento

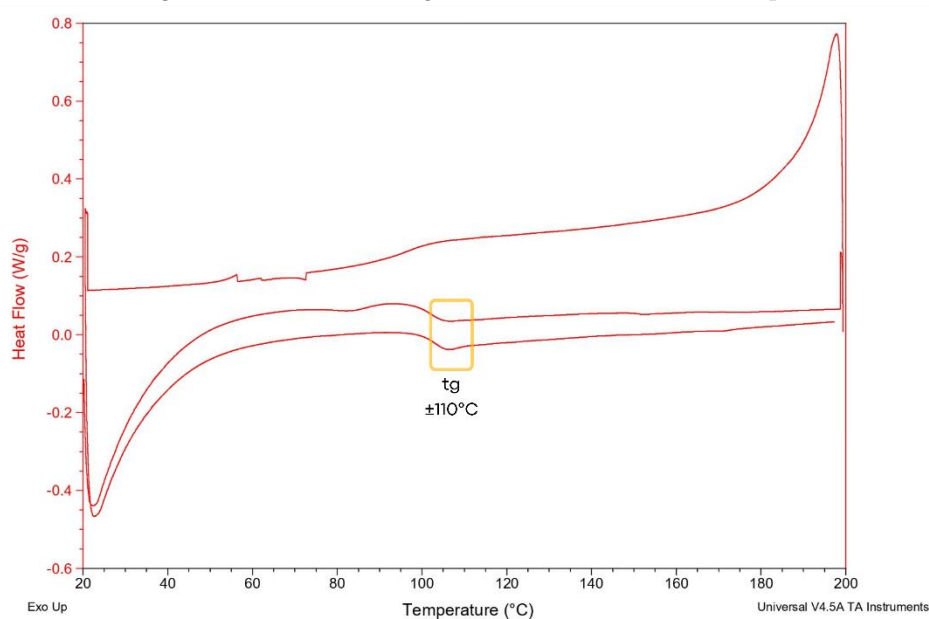


1. Limpiar uno de los crisoles metálicos con un algodón y pinzas.
2. Tarar los crisoles en la báscula de precisión, luego colocar la muestra (tipo I) de REPS con pinzas en uno de ellos para posteriormente pesarlo.
3. Colocar el crisol en orden con la muestra en la portacrisoles de la máquina DSC.
4. Programar la máquina DSC con los valores de las condiciones de experimentación previamente mencionados.
5. Comenzar la prueba.
6. Esperar los resultados en forma de gráfica (peso/temperatura).

Al igual que en el TGA la muestra pierde gran parte de su peso debido a la alta temperatura a que es sometida.

Resultados

Gráfica 5.3 Calorimetría diferencial de barrido de REPS tipo I (N₂)



La temperatura de transición vítrea (t_g) sucedió a los 110°C aproximadamente para los dos tipos de REPS. Aunque el tipo II mostró un estado más inestable, mientras más subía la temperatura entonces se volvía mucho más líquido que el tipo I. Finalmente, al realizar nuevamente el DSC al tipo I se rectificó que la t_g sucedía a los 110°C.

Conclusiones preliminares



- El punto de comienzo de descomposición del REPS obtenido en el TGA, que es literalmente la temperatura en que el plástico comienza a degradarse y pierde todas sus propiedades, tuvo un valor en promedio de 390° C.
- El punto de transición vítrea obtenido en el DSC, donde el punto en que el polímero tiene una transición de un estado duro a viscoso fue de 110°C. A esta temperatura el REPS ya comienza a ser más trabajable para ser moldeado.
- Al obtener estas temperaturas es posible hacer un promedio de la temperatura ideal de procesamiento, la cual está entre 200 a 220°C, esta se acerca a la del procesamiento del PS virgen que es de 250-300°C (Mariano, 2011).

Se propuso como temperatura promedio de procesamiento 210°C ya que el hecho de aumentar más la temperatura podría deteriorar sus propiedades. Incluso podría llegar a ser una desventaja económica, ya que alcanzar una mayor temperatura requiere de mayor energía y por lo tanto de recursos económicos.

5.2.2 Análisis físicos

Determinar las propiedades físicas de los materiales es fundamental para clasificarlos en familias, estas suelen ser medibles y observables. La estructura interna de los materiales brinda la forma, color, o densidad que tendrá finalmente, e inclusive otras propiedades como su solubilidad o resistencia mecánica y química.

Espacio de experimentación

*Instituto de investigaciones en materiales (IIM)-UNAM
Departamento de polímeros
Laboratorio de polímeros
A cargo del Dr. Mikhail Zolotukhin*



Las muestras utilizadas no superaron los 50 mg y se tomó una de cada tipo de pellet de REPS.

Solubilidad

La solubilidad de un polímero varía en función de su estructura química y del peso molecular, siendo más fácilmente solubles las fracciones de bajo peso molecular (Mariano, 2011). En este caso se realizó la prueba con el fin de determinar la forma ideal del producto final.

Condiciones de experimentación

Instrumentos

Tubos de ensayo

Disolventes

- Cloroformo (CHCl_3)
- *N*-metil-2-pirrolidona (NMP)

Procedimiento



1. Preparar cuatro tubos de ensayo: 2 con CHCl_3 y 2 con (NMP)
2. Sumergir muestras del tipo I y tipo II en cada una de las soluciones y esperar 5 min aprox. para ver cambios.

Al final si las muestras si no tienen una densidad alta entonces pueden quedar disueltas en la solución.

Resultados

Imagen 5.1 Muestras de REPS disolviéndose en cloroformo



Al entrar en contacto con las sustancias el tipo II obtuvo una mejor solubilidad que el tipo I en las dos soluciones. Sin embargo, el cloroformo fue quien más logro disolver los dos tipos de pellets. Incluso en la imagen del tipo I se evidencia como debido a su alta densidad no flota en la solución, mientras que el tipo II se queda flotando.





Conclusiones preliminares

- La alta solubilidad en las diferentes sustancias indica que sería un material muy ligero si llegara a trabajarse en forma de películas.
- Se evidenció que no existe entrecruzamiento, por lo tanto, no existe formación de cristales como es el caso de los plásticos termoestables.
- El tipo de plástico ideal para utilizar es el que se encuentra más compacto (tipo I), ya que tiene una mayor durabilidad al ser colocado en solventes. Por lo tanto, esto podría brindarle mejores propiedades mecánicas, específicamente una mayor fuerza de compresión comparado con el plástico que tiene una menor densidad (tipo II).

5.3 Caracterización de la mezcla de aserrín

Las partículas de aserrín juegan el papel de refuerzo del material compuesto, por ello se buscó que fueran de un material ligero y de tamaño homogéneo. No obstante, cuando el aserrín se obtuvo de la maderería, el tamaño de las partículas no era similar ya que se trataba de los residuos de diferentes tipos de madera.

Con el fin de conocer la proporción granulométrica del aserrín se tomó 1 kg de esta mezcla, seguidamente se tamizó con coladores caseros que tenían aperturas de 1.8 mm y .8 mm. A continuación, se detalla en tabla de abajo las cantidades aproximadas que se obtuvieron.

			
<i>Sin tamizar</i>	$\phi < 1.8 \text{ mm}$	$1.8 \text{ mm} > \phi < .8 \text{ mm}$	$\phi > .8 \text{ mm}$
1 kg =	24 gr	198 gr	778 gr

Debido a que la mezcla se compone en su mayoría por partículas menores de .8 mm se decidió trabajar con esa medida, aunado a ello el tamaño pequeño de las partículas han demostrado en otras investigaciones de materiales compuestos una mejor integración a la matriz.

Mas adelante, se realizaron fotografías microscópicas a cada uno de los tamaños de partículas que se obtuvieron de la mezcla.

5.3.1 Análisis físicos

Este análisis consistió en la toma de fotografías con un microscopio estereoscópico, con el fin de ahondar en la composición de la mezcla de aserrín. Básicamente se buscaba observar de forma muy general la forma y tipo de madera que esta mayormente presente en cada grupo de los diferentes tamaños de partículas.

Espacio de experimentación

Facultad de Arquitectura C.U.-UNAM
Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural
A cargo de la Dra. Ilse Villalobos García



En cada una de las pruebas fue necesario contar con pequeñas muestras de aprox. 10 gr o menos de cada uno de los tamaños de partículas.

Microscopía

Con esta técnica se pueden observar las superficies en alta resolución y finalmente obtener imágenes en diferentes dimensiones dependiendo el tipo de microscopio. Este análisis permite observar la superficie de los materiales en áreas específicas para conocer diversos parámetros como su rugosidad, forma, etc.

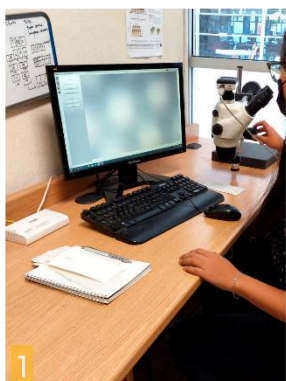
Condiciones de experimentación

Equipo

Microscopio estereoscópico Motic SMZ-171

Computadora

Procedimiento



1. Calibrar el microscopio y colocar la muestra centrada bajo el objetivo.
2. Definir el aumento al que se serán tomadas las fotografías y enfocar el aserrín.

Resultados

Imagen 5.2 Imágenes microscópicas de los cuatro grupos de aserrín obtenidos con diferentes aumentos



Imagen 5.3 Imágenes microscópicas de diferentes tamaños de partículas de aserrín



Al ser analizadas las diferentes muestras bajo el microscopio fueron notables unos detalles, en primer lugar, la muestra de aserrín sin tamizar dejó ver partículas de diferentes tipos. En la imagen de arriba se señala dentro del círculo una especie de partícula muy fibrosa diferente a las que la rodean, que en su mayoría apuntan a ser partículas de pino. En la segunda imagen se muestran partículas menores de 1.8 mm, en ella se señala dentro del círculo una partícula de color más oscuro que probablemente sea otro tipo de madera. En la imagen de las partículas menores de 1.8 mm sucede algo parecido que en la anterior, se aprecia dentro del círculo una partícula de tono más oscuro que probablemente sea un desperdicio de otro material que es ajeno a la madera. Por último, en la imagen de partículas menores a .8 mm se señala una partícula con un tono café claro, esta puede indicar la presencia de madera de aglomerado debido a la similitud de color.

Conclusiones preliminares

- Al tratarse de un desperdicio de la industria maderera es común encontrarse con que no está compuesta simplemente de partículas de madera, sino que es posible que contenga agentes externos como plásticos, pelusas, metales, etc.
- Aunque en la mezcla existan “contaminantes” no se encuentran en grandes cantidades o tienen un tamaño mayor que afecte la función del aserrín en el material compuesto.
- En la mezcla de aserrín que tiene un tamaño menor a .8 mm es posible discernir que existe una mayor presencia de partículas o fibras de aglomerado, lo cual es útil para que tenga una buena adhesión al REPS.

5.4 Producción de muestras

Este proceso se llevó a cabo de dos formas, por medio de inyección y horneado. Esto debido a que la inyección de las muestras era más compleja ya que influían muchos factores, entre ellos el material del molde, la dosificación de la mezcla, la temperatura etc. Sin embargo, para cualquiera de las dos formas fue necesario la limpieza de pellets y secado del aserrín. Posteriormente, al hacer las primeras muestras en inyección se llegó a la conclusión que debían ser molidos los pellets para lograr un producto final más homogéneo. Este proceso de molido también fue necesario para las muestras fabricadas en horno. El molido se hizo por medio de una licuadora y posteriormente tamizado en partículas menores de 1.8 mm.

5.4.1 Preparación de componentes

Limpieza superficial de pellets



1. Colocar los pellets en un contenedor que permita el almacenaje de agua.
2. Vaciar agua con jabón neutro en el contenedor y revolver para lograr una especie de lavado entre los pellets.
3. Poner a secar los pellets en una superficie seca, absorbente y con luz de sol por dos días.

Secado de aserrín



1. Tamizar la mezcla de aserrín para obtener partículas menos de .8 mm y separarlas en un contenedor.
2. Colocar las partículas obtenidas en un contenedor seco expuesto a la luz solar por una semana.

Dosificación de mezclas



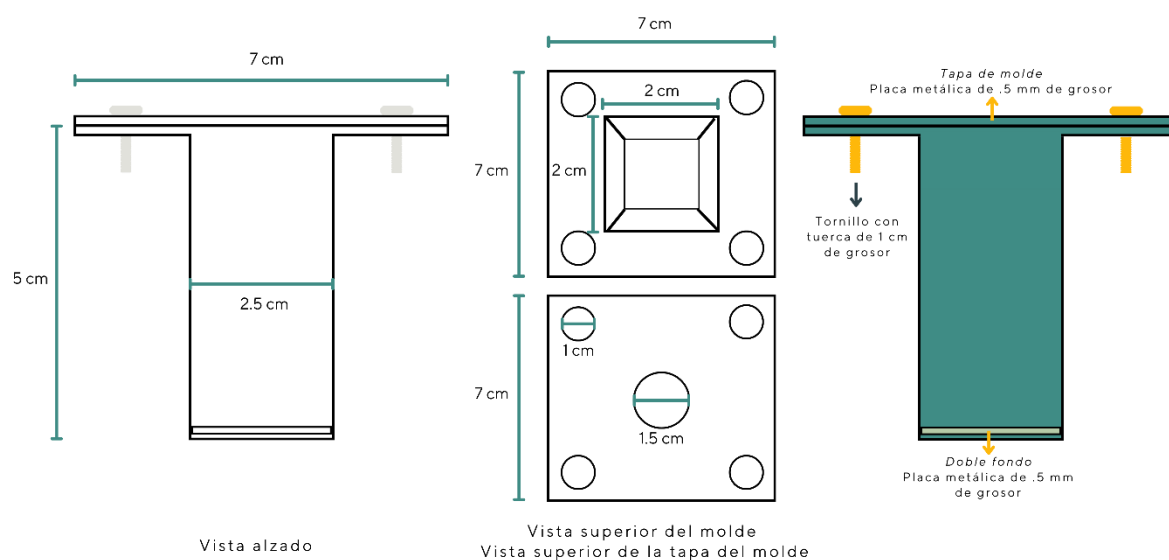
1. Pesar la cantidad de REPS necesario para generar las tres dosificaciones propuestas:
 - M₂: 70% REPS y 30% aserrín
 - M₃: 60% REPS y 40% aserrín
 - M₄: 50% REPS y 50% aserrín
2. Pesar la cantidad de aserrín (partículas menores a .8 mm) necesaria para cada mezcla.
3. Mezclar en un recipiente el REPS y aserrín hasta obtener una mezcla homogénea y rectificar su peso.

5.4.2 Inyección de muestras

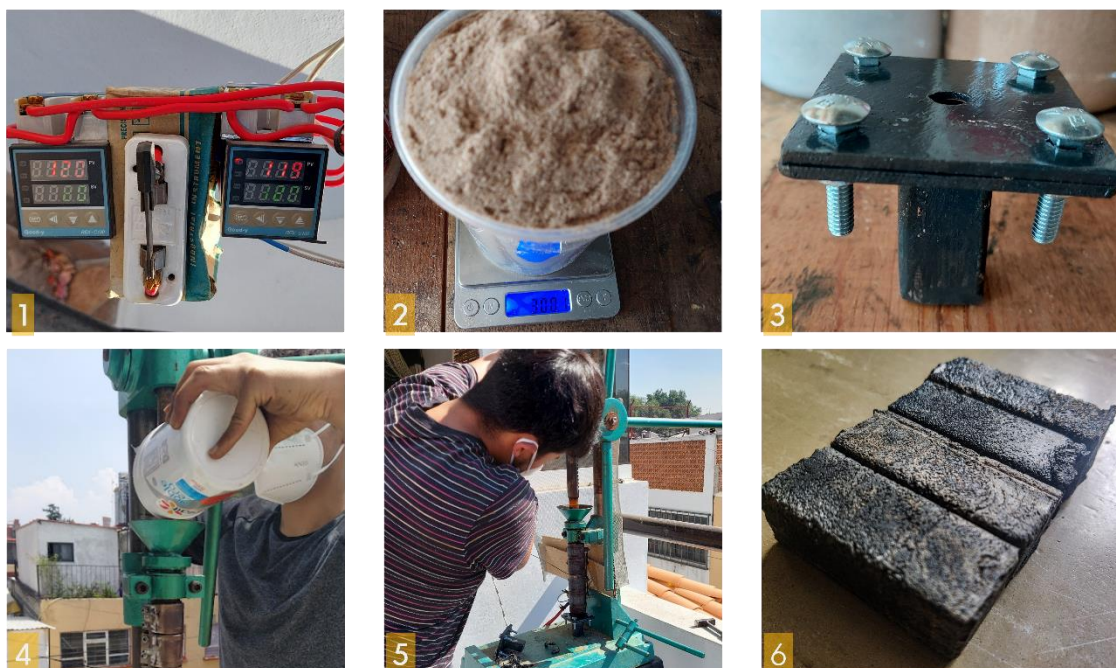
Debido a la situación de pandemia, la fabricación de las muestras no pudo realizarse en una inyectora y extrusora industrial como se planteó al inicio de la investigación. Sin embargo, se llevó a cabo en una inyectora manual con capacidad de 40 gr aprox.

Los moldes utilizados fueron hechos a medida con perfiles y placas de acero (*imagen 5.1*), mientras que para desmoldar se utilizó cera desmoldante AZ-90 de marca reaxsol. Las muestras que se realizaron por inyección fueron utilizadas para la evaluación de las propiedades mecánicas del material propuesto.

Imagen 5.4 Medidas y componentes del molde de acero



Para su fabricación el proceso a seguir fue el siguiente:



1. La inyectora se precalentaba a una temperatura entre los 120 °C a 150 °C, dependiendo de la composición de la mezcla. Las mezclas con más aserrín necesitaban una mayor temperatura ya que se necesitaba que el REPS se fundiera mejor y pudiera acoplarse homogéneamente con el aserrín.
2. Se llenaban botes con aproximadamente 30 gr, esta cantidad era suficiente para inyectar una muestra de 2x2x5 cm.
3. El molde se enceraba por dentro, se le colocaba el doble fondo y era colocado en la parte de debajo de la inyectora.
4. Se vaciaba la mezcla en la inyectora y se precalentaba por un minuto.
5. Se inyectaba la muestra en el molde e inmediatamente se colocaba en una cubeta con hielos para generar un choque térmico.
6. Pasados 5 min. se desmoldaba con ayuda de un martillo y tornillos.

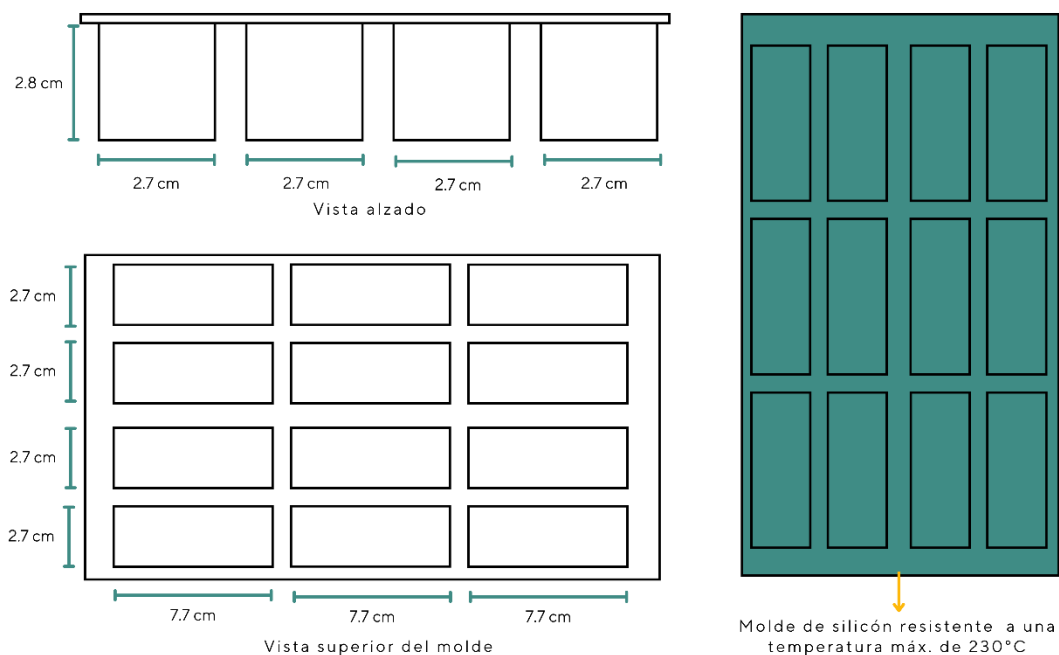
Para quitar las rebabas de la inyección las muestras se cortaron con una sierra de mesa para emparejar las caras más pequeñas y quedarán finalmente de 2x2x4 cm.

5.4.3 Horneado de muestras

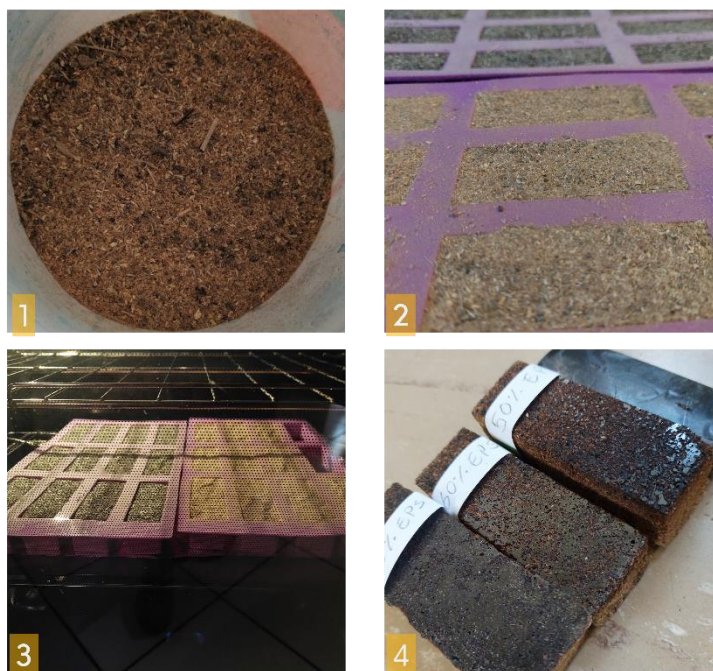
La inyección de muestras fue en parte complicada ya que la inyectora no permitía la elaboración de piezas más grandes, esto debido a su capacidad de inyección y la facilidad con que el material se endurecía dentro del molde. Incluso el tiempo para elaborar una sola muestra era muy extenso por todos los preparativos previos que incluía como el hecho de contar con pocos moldes y no poder hacer una inyección continua.

Por lo que, para la elaboración de las muestras de evaluación de propiedades térmicas, se utilizó un método de horneado con un molde de silicón (*imagen 5.1*). Esto facilitó la fabricación de muestras ya que podían elaborarse varias al mismo tiempo, de hecho, no fue necesario utilizar ningún otro desmoldante ya que el REPS no mostró adherencia al silicón.

Imagen 5.5 Medidas del molde de silicón



El procedimiento por seguir fue el siguiente:



1. Colocar las mezclas con las diferentes dosificaciones en recipientes.
2. Vaciarlas al molde de silicón procurando que queden compactas dentro de las cavidades y así obtener muestras de 2.5x2.5x7.5 cm aprox.
3. Precalentar el horno a una temperatura de 150 °C y meterlos a hornear por una hora con la misma temperatura.
4. Retirar y dejar enfriar por 15 min. aprox. para luego desmoldar las muestras.

Las muestras variaron un poco en cuanto a su tamaño quedando entre los $\pm 2x2x7$ cm. aprox.

5.4.4 Lavado de impurezas del REPS

El REPS utilizado para la elaboración de las muestras al ser sometido al calor toma un tono oscuro, especialmente en las muestras inyectadas el color negro domina. Este aspecto no es muy estético por lo que se decidió realizar un proceso de lavado, con el fin de que el REPS tuviera un tono más cercano al blanco.

Espacio de experimentación

Instituto de investigaciones en materiales (IIM)-UNAM
Departamento de polímeros
Laboratorio de polímeros
A cargo del Dr. Mikhail Zolotukhin
Con apoyo del Dr. Enoc Cetina Mancilla



Para realizar este proceso fue necesario dividir el REPS en cuatro lotes con los tonos generales que componían la mezcla (*imagen 5.1*). Se utilizaron aproximadamente 5 gr de cada lote.

Imagen 5.6 Diferentes tonos de la mezcla de REPS



Mezcla de REPS

Lote 1

Lote 2

Lote 3

Lote 4

Al realizar la separación por tonos resulto que el tono del lote 3 fue el que más abundo en la mezcla y el lote 4 era el menos presente.

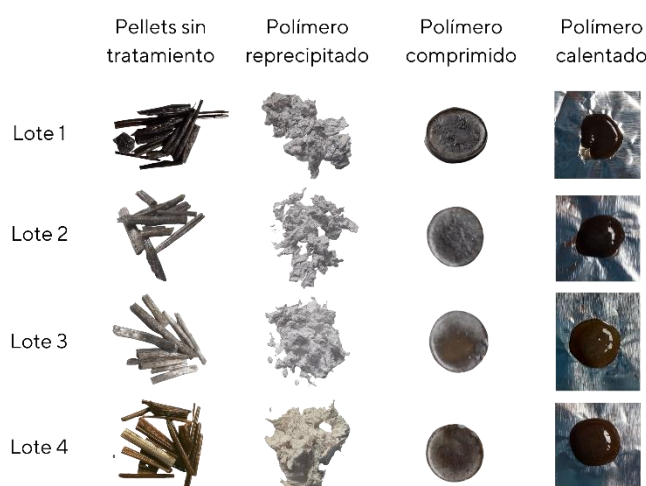
Procedimiento



1. Pesar cada uno de los lotes y hacer el cálculo de p/v para una solución al 30%. En este caso dio como resultado sumergir cada lote en 17 ml aprox. de NMP y dejar reposar hasta que se disuelva. De igual forma puede colocarse en una parrilla con agitación magnética para acelerar este proceso.
2. Cuando los pellets estén bien disueltos, se reprecipitan vaciando la solución a un vaso de precipitado con 200 ml aprox. de etanol. Mientras se va vaciando con un agitador de vidrio deben irse formando circunferencias en el vaso con el propósito de formar fibras. Las fibras más grandes se separan en otro vaso de precipitado.
3. Luego se realiza un lavado por extracción tipo Soxhlet, donde se retira todo el etanol y se coloca metanol. Esto se hace a una temperatura de 235 °C y 500 rpm de velocidad.
4. Pasado un día de lavado se retira del extractor y se deja secar a temperatura ambiente.
5. Crear pastillas con el material obtenido de cada lote.
6. Colocar en una parrilla de calentamiento a 200°C por 5 min aprox. Finalmente se retiran para observar si su color cambio.

Resultados

Imagen 5.7 Tabla comparativa de los pellets sin tratamiento y su estado final



Como puede observarse en la *imagen 5.7* cada lote del polímero al ser reprecipitado mostro un color muy cercano al blanco, que era lo que se esperaba. Luego, cuando este se comprimó para formar pastillas evidencio un tono oscuro nuevamente, Finalmente, cuando se le colocó en una parrilla de calentamiento, a una temperatura cercana a la de su procesamiento, fue evidente como volvió a obscurecerse.

Conclusiones preliminares

- Al tratarse de un material reciclado significa que está contaminado de muchas maneras que no siempre son superficiales, debido a esto es que cuando el REPS se recicla no puede utilizarse nuevamente para empaacar alimentos.
- El proceso de reciclaje que sigue la empresa que vende el REPS es muy básico, por lo que podría recomendarse un reciclaje de forma química con el fin de evitar algunos contaminantes en el material.

5.5 Propiedades mecánicas

La medición de estas propiedades es clave para determinar la función final del material, ya que permite conocer su comportamiento cuando se le aplican fuerzas en diferentes direcciones. La resistencia mecánica de los materiales puede medirse a través de su elasticidad, plasticidad, maleabilidad, ductilidad, dureza, tenacidad y fragilidad.

Espacio de experimentación

Instituto de investigaciones en materiales (IIM)-UNAM
Departamento de metálicos y cerámicos
Laboratorio de pruebas mecánicas
A cargo del M.en C. Eliezer Hernández Mecinas



Las muestras utilizadas se realizaron de acuerdo con la ASTM D695 – 02a, la cual indica que deben ser prismas rectangulares donde su longitud sea el doble de su ancho (*imagen 5.8*).

Imagen 5.8 Medidas de las muestras requeridas



Fuerza de compresión

Esta prueba consiste en aplicar fuerzas externas que compriman un cuerpo, las cuales se dirigen hacia el interior de este en una misma dirección. Los resultados obtenidos son de ayuda para conocer la carga máxima soportada por el material, su esfuerzo máximo y desplazamiento, luego, esta información se contrastaría con lo requerido en las normas mexicanas.

Condiciones de experimentación

Equipo

Máquina universal Instron 1125 con sistema para su manejo por medio de ordenador

Temperatura

23.6 °C

Norma

ASTM D695 – 02a
Compressive Properties of Rigid Plastics

Velocidad de carga

1.3 mm/min

Procedimiento



1. Tomar las medidas externas de cada una de las muestras de las diferentes dosificaciones.
2. Calibrar la máquina con las condiciones de experimentación antes descritas.
3. Colocar la muestra a evaluar, dejar correr la máquina y esperar a que fracture.
4. Retirar los restos de la muestra evaluada.

Se utilizó un plato autonivelante en la parte de abajo, ya que algunas de las muestras no estaban enteramente parejas de las superficies que hacían contacto con los platos.

El análisis de los resultados se presenta en el capítulo 6.

5.6 Propiedades térmicas

Debido a que la aplicación del material es en bloques para muros, es necesario conocer sus propiedades térmicas para darle un uso correcto. Este tipo de propiedades indica como es el comportamiento del material ante la presencia del calor, ya sea por la facilidad con que este lo conduce, o por la capacidad que tiene de retenerlo o bloquearlo.

Espacio de experimentación

Facultad de Arquitectura C.U.-UNAM
Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales
Con apoyo del Mtro. César Guillen Guillen



Las muestras se realizaron de acuerdo con puntos de la ASTM D5334-22, en ella marca que las muestras deben estar perforadas en el centro de acuerdo con el ancho y longitud de las agujas a utilizar. Las muestras se realizaron a partir de prismas rectangulares que fueron unidos con ligas para formar cubos más grandes (*imagen 5.9*).

Imagen 5.9 Medidas de las muestras requeridas



Conductividad térmica

Se trata de la capacidad que tiene un material de conducir calor, en este caso se mide a través de una aguja que es insertada en el material y se va calentando internamente. El valor de conductividad térmica es indispensable para conocer el comportamiento térmico de un material, sin embargo, no es el único y es un valor muy general.

Condiciones de experimentación

Equipo

Analizador de propiedades térmicas TEMPOS

Aguja gruesa

RK-3 (60 mm de largo y 3,9 mm de diámetro)

Norma

ASTM D5334-22

Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Rock by Thermal Needle Probe Procedure

Difusividad, calor específico y resistividad

Para conocer mejor el comportamiento térmico de un material se pueden medir otras propiedades como su difusividad, calor específico y resistividad. En el caso de la difusividad este describe la rapidez con la que el material reacciona a un cambio de temperatura, mientras que el calor específico es la cantidad de calor que se suministrar al material con el fin de elevar su temperatura en una unidad. Por último, la resistividad, como su nombre lo dice, es el resistencia u oposición de un material al paso del calor.

Condiciones de experimentación

Equipo

Analizador de propiedades térmicas TEMPOS

Aguja doble

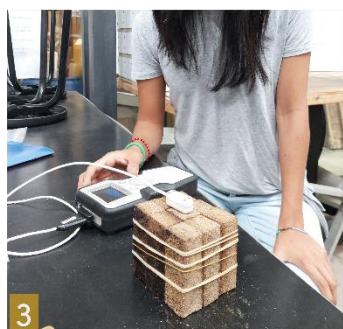
SH-3 (35 mm de largo y 1,3 mm de diámetro)

Norma

ASTM D5334-22

Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Rock by Thermal Needle Probe Procedure

Procedimiento



1. Colocar grasa térmica en todos los prismas rectangulares que forman el cubo, de igual forma colocar grasa en las perforaciones para las agujas.
2. Calibrar y configurar el TEMPOS de acuerdo con la aguja a utilizar, para cualquier medición se configura para que tome 5 lecturas en total.
3. Introducir la aguja o agujas a la muestra, esperar 15 min hasta que esta se caliente y tome la medición.
4. Se repite lo mismo con las otras muestras de diferentes dosificaciones.

5.7 Propiedades físicas

Generalmente este tipo de propiedades pueden observarse a simple vista, o detectarse de manera sencilla. Pueden ser desde el color de un material hasta su forma, En este caso se busca describir una propiedad física del material por medio de técnicas químicas, básicamente para conocer su desgaste ante la intemperie.

Espacio de experimentación

Facultad de Arquitectura C.U.-UNAM
Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural
A cargo de la Dra. Ilse Villalobos García



Las muestras realizadas fueron de acuerdo con la Practice G151, la cual es un complemento de la ASTM G-154 que refiere que el tamaño de las muestras depende del método de prueba a realizar, en este caso se fabricaron muestras en forma de láminas delgadas (*imagen 5.10*).

Imagen 5.10 Medidas de las muestras requeridas



Intemperismo

La prueba de intemperismo consiste en someter muestras del material a un periodo de tiempo determinado con ciertas condiciones que asemejan a un ambiente en específico. En dichas condiciones puede variar la radiación, humedad y calor.

Condiciones de experimentación

Equipo

Máquina de intemperismo acelerado
QUV/Spray

Balanza de precisión Pioneer

Microscopio estereoscópico Motic SMZ-171

Computadora

Norma

ASTM G154-16

Standard Practice for Operating Fluorescent
Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for
Exposure of Nonmetallic Materials

Tiempo de exposición

168 horas

En la norma ASTM G154-16 se recomiendan las condiciones de exposición para diferentes tipos de materiales. Para esta investigación se utilizará el ciclo #6 que especifica se utilizase ara condiciones de exposición a alta radiación, y para revestimientos y plásticos.

Condiciones de exposición ciclo #6

Modelo de lámpara

UVA-340

Irradiancia típica

1.35 W/m²/nm

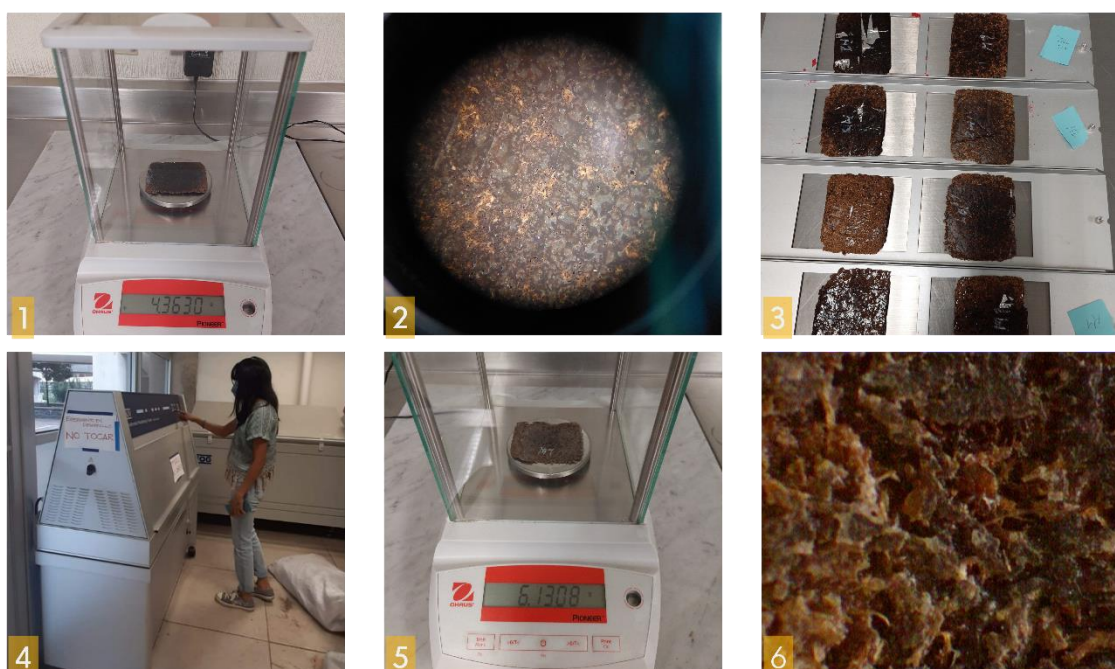
Ciclo de exposición

8 h UV a 60 (±3) °C Temperatura de panel negro
4 h de Condensación a 50 (±3) °C Temperatura de panel negro.

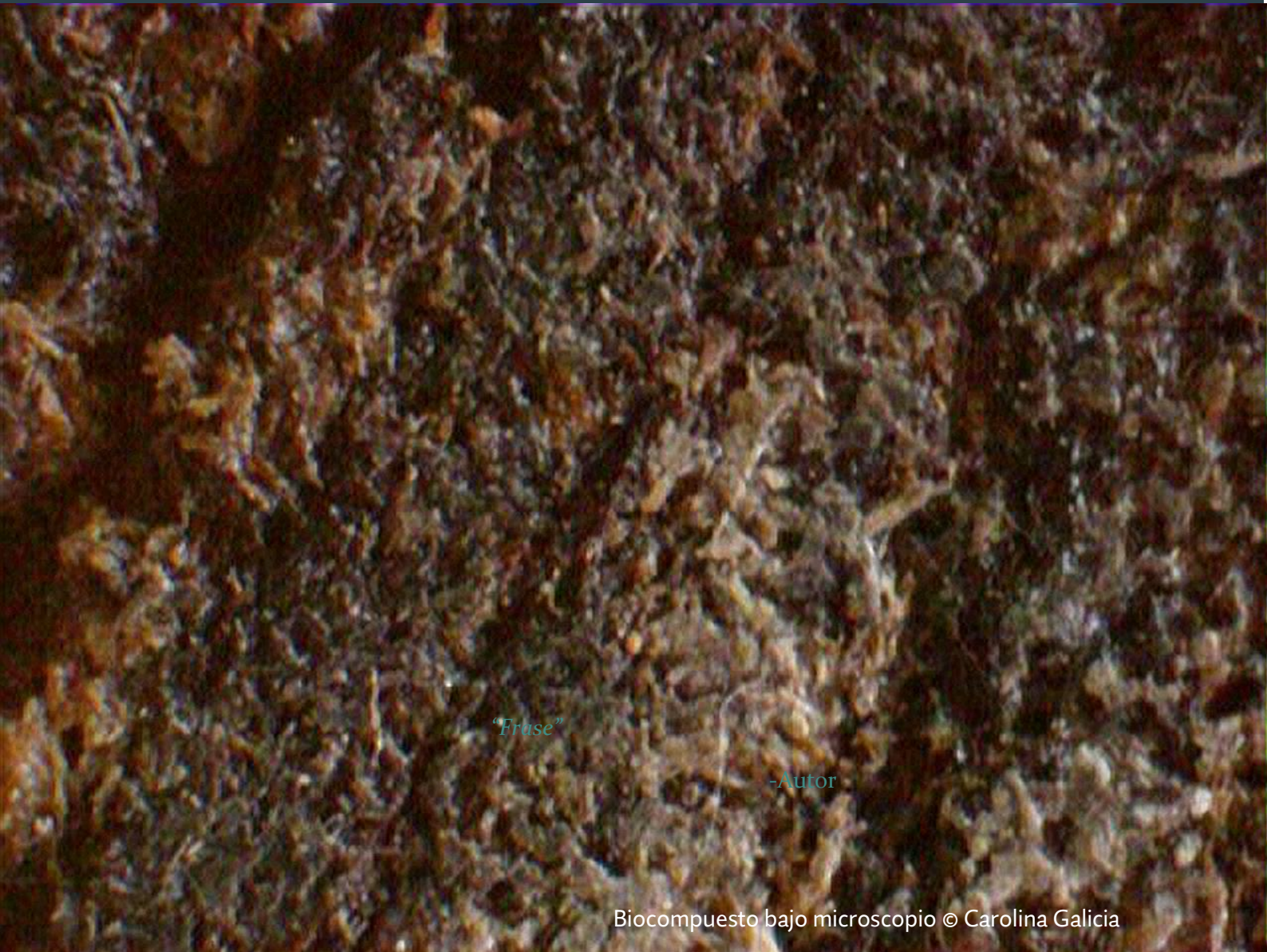
Longitud de onda aproximada

340 nm

Procedimiento



1. Tomar medidas y peso de cada una de las muestras.
2. Tomar fotografías microscópicas de las muestras para observar su composición.
3. Colocar en el porta muestras de la maquina el material a evaluar.
4. Colocar las muestras en la máquina y configurar la máquina con las condiciones del ciclo #6 antes mencionadas. Dejar correr el ciclo y esperar las 168 horas.
5. Pasado el tiempo se retiran de la máquina. Vuelven a tomarse medidas y pesarse.
6. Nuevamente tomar fotografías microscópicas para observar los cambios superficiales.



"Fruse"

-Autor

Biocompuesto bajo microscopio © Carolina Galicia

6

Resultados

“La arquitectura es el punto de partida del que quiera llevar a la humanidad hacia un porvenir mejor”

-Le Corbusier

6° Resultados

Cada una de las pruebas realizadas obtuvo en su mayoría resultados cuantitativos, de los cuales varían su unidad de medición. En este capítulo se describirán los datos obtenidos de acuerdo con el tipo de propiedad que se midió.

6.1 Propiedades mecánicas

Se sometieron a prueba 5 muestras de cada tipo de mezcla (M_1 , M_2 , M_3 , M_4) y se obtuvieron valores como el esfuerzo máximo, carga máxima, desplazamiento y módulo de Young. De igual forma se muestran la desviación estándar (D.E), y el coeficiente de variación (C.V.) de los valores obtenidos en cada lote de mezclas.

Mezcla 1



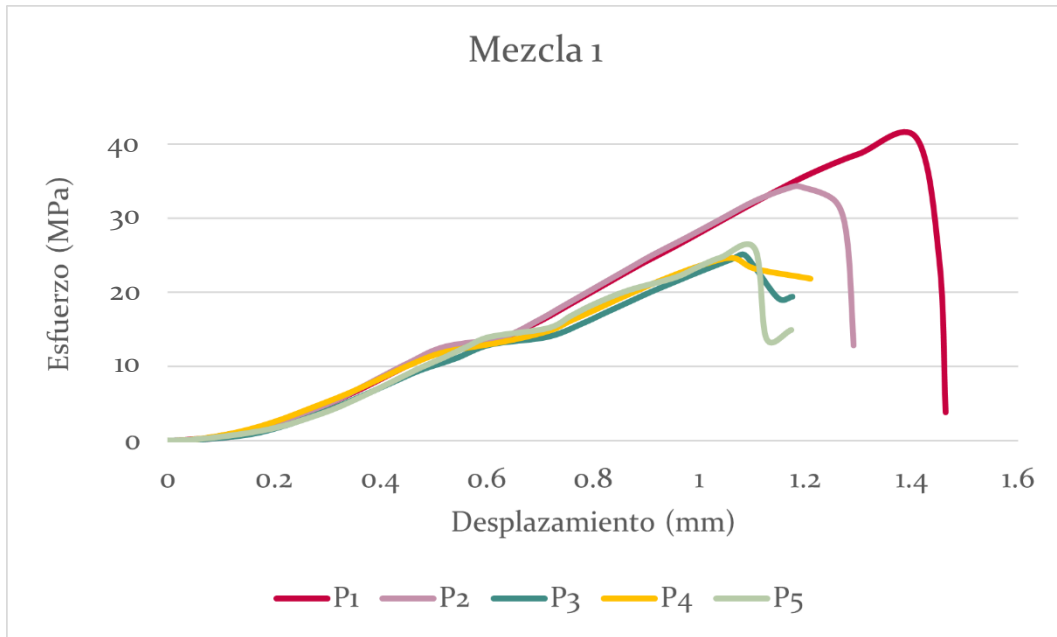
En la *tabla 6.1* se muestra que la M_1 tuvo un esfuerzo máximo promedio de 29.542 MPa, siendo el valor máximo de 40.017 MPa y el mínimo de 24.190 MPa. Por otro lado, la media de la carga máxima fue de 11.817 kN donde la muestra P1 fue la que obtuvo una mayor carga con 16.007 kN. Mientras que el módulo de Young se mantuvo con un promedio de 1387.443 MPa, la muestra P2 fue la que obtuvo el valor más alto de todas y la P4 el más bajo.

Tabla 6.1 Valores obtenidos en la prueba a compresión (M_1)

# Muestra	Medidas l x l x h (cm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga máxima (kN)	Desplazamiento (mm)	Módulo de Young (MPa)
Mezcla 1 (M1)					
P1	2.19 x 2.20 x 3.95	40.017	16.007	1.408	1531.856
P2	2.15 x 2.20 x 4	33.520	13.408	1.192	1609.426
P3	2.11 x 2.11 x 3.99	24.629	9.852	1.083	1288.924
P4	2.20 x 2.19 x 3.99	24.190	9.676	1.062	1143.515
P5	2.09 x 2.09 x 3.99	25.354	10.142	1.105	1363.493
Media		29.542	11.817	1.170	1387.443
D.E.		6.998	2.799	0.142	187.024
C.V.		23.687	23.687	12.140	13.480

Algunas de las muestras, de esta mezcla específicamente, cuando se inyectaron formaron algunas burbujas internas, por lo que su densidad y estructura interna variaba. En este caso, por ejemplo, puede reflejarse en los resultados del módulo de Young, donde la muestra P4 obtuvo el valor más bajo; esta baja elasticidad pudo deberse a que el material era mucho más denso y por lo tanto muy rígido.

Gráfica 6.1 Valores obtenidos en la prueba a compresión (M1)



En la *gráfica 6.1* se ve de forma más clara el comportamiento de las muestras. La mayoría de las muestras tienen un punto entre los .5 y .6 mm de desplazamiento donde comienzan a generar fallas en su estructura, sin embargo, el verdadero punto de quiebre se genera en el punto más alto de la cresta de la curva.



Las muestras posteriores al ensayo dejaron ver que algunas tenían grandes cavidades y no eran totalmente macizas, cuando llegaron a romperse en su mayoría se desprendían pedazos grandes. Algunas de ellas mostraban grietas por en medio de su estructura, otras conservaron algunas de sus caras intactas y otras se partieron por la mitad. Al final la M1 resultó ser un material muy quebradizo, a pesar de que el REPS es un polímero termoplástico.

Mezcla 2

Imagen 6.3 Muestras sometidas a la prueba de compresión



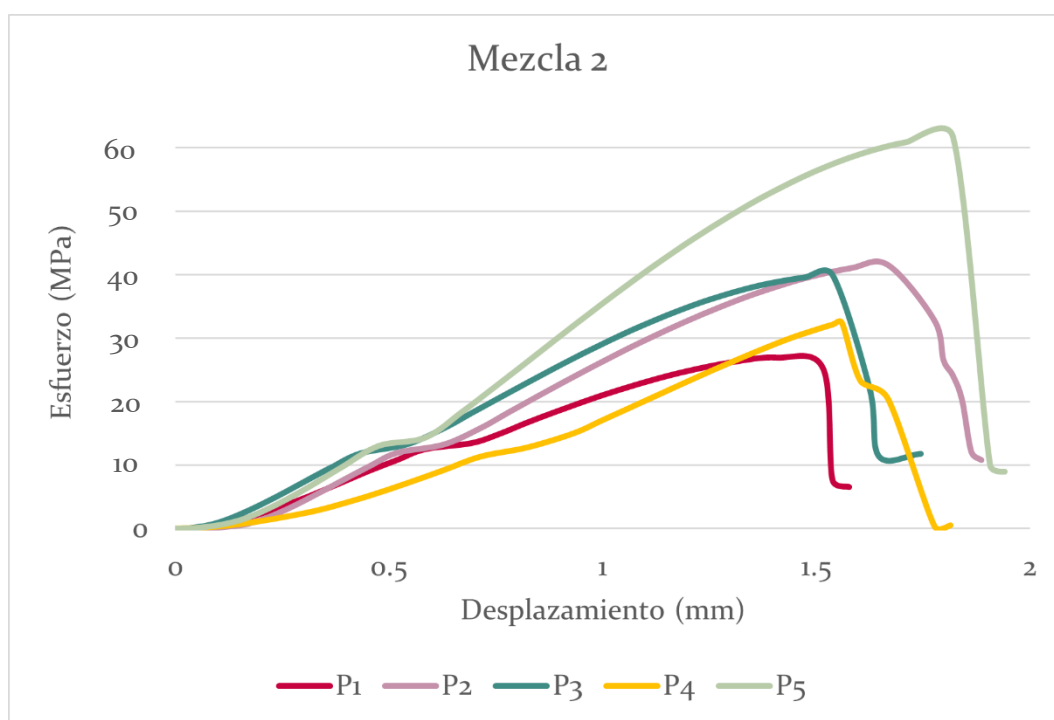
La *tabla 6.2* demuestra como la M2 promedio un esfuerzo máximo de 39.714 MPa, siendo que la muestra P4 con 31.781MPa fue la que menos carga soporto mientras que la P5 llegó a soportar casi el doble con un valor de 60.445. En cuanto a la carga máxima media fue de 15.885 kN donde la P5 fue la única en rebasar los 20 kN. Finalmente, el módulo de Young refleja una media de 1449.040 MPa, que es un valor cercano a la P2 y P3.

Tabla 6.2 Valores obtenidos en la prueba a compresión (M2)

# Muestra	Medidas l x l x h (cm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga máxima (kN)	Desplazamiento (mm)	Módulo de Young (MPa)
Mezcla 3 (M3)					
P1	2.11 x 2.15 x 3.99	26.447	10.579	1.408	1102.715
P2	2.11 x 2.19 x 4	40.751	16.300	1.668	1472.470
P3	2.12 x 2.11 x 3.99	39.144	15.658	1.538	1417.909
P4	2.18 x 2.12 x 3.98	31.781	12.713	1.560	1199.989
P5	2.11 x 2.19 x 3.99	60.445	24.178	1.820	2052.118
Media		39.714	15.885	1.599	1449.040
D.E.		12.943	5.177	0.154	369.861
C.V.		32.591	32.591	9.650	25.525

Anteriormente se mencionaba que el proceso de inyección de muestras podía variar la densidad de las muestras, tal es el caso de la P5. En esta última muestra resulta que su composición la volvió una pieza rígida, debido a ello resistió una mayor carga llegando casi a duplicar los valores obtenidos con las primeras muestras. Al contrario de la P5 la P1 fue la que obtuvo un menor módulo de Young y por lo tanto la que menor carga máxima soporto.

Gráfica 6.2 Valores obtenidos en la prueba a compresión (M2)



El comportamiento general de las 5 muestras se manifiesta en la [gráfica 6.2](#), ya que se observa como la curva de la P5 se aleja de las otras muestras. Es entre los puntos de .4 y .5 mm que se hace aparente como las muestras comienzan a fallar, sin embargo, su curva aún sigue creciendo hacia arriba hasta que llegan a su punto de quiebre. También es visible como la curva de la muestra P5 es la que sobresale del promedio y tiene una curva más alta, llegando a rebasar los 60 MPa.

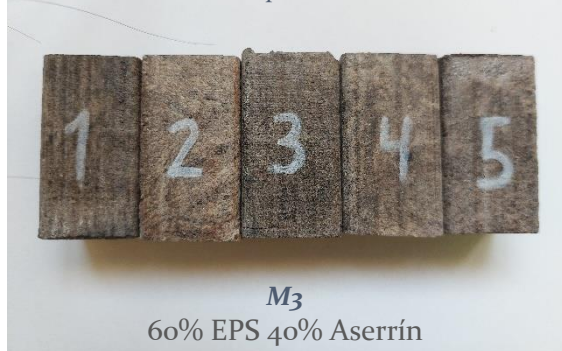
Imagen 6.4 Muestras posteriores a la prueba de compresión



Las muestras después del ensayo no se vieron tan afectadas superficialmente como la M₁, ya que al contener aserrín dejaron de ser tan rígidas. Algunas muestras mostraron fisuras en la parte posterior o inferior, dando a entender que la fuerza aplicada en el centro estaba resquebrajando las caras exteriores. Otras muestras tuvieron hendiduras en algunas caras, sin embargo, ninguna llegó a romperse totalmente.

Mezcla 3

Imagen 6.5 Muestras sometidas a la prueba de compresión



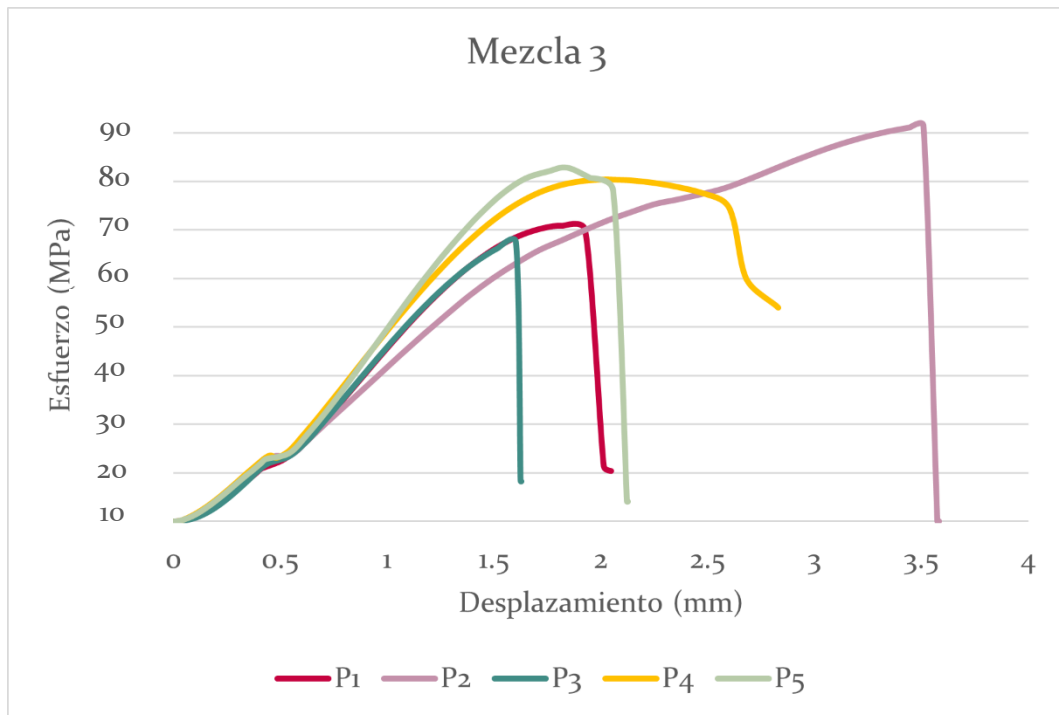
En la **tabla 6.3** se encuentra el promedio de la fuerza de compresión, este es de 67.306 MPa, sin embargo, la muestra P₂ llegó a soportar hasta 79.880 MPa, mientras que la P₃ se acercó con 56.466 MPa. La carga máxima media se mantuvo en un promedio de 26.923 kN y la muestra P₂ fue la única que rebasó por poco los 30 kN. Por último, el módulo de Young tampoco tuvo una gran variación entre los 5 resultados de las muestras llegando a promediar 2044.105 Mpa.

Tabla 6.3 Valores obtenidos en la prueba a compresión (M₃)

# Muestra	Medidas l x l x h (cm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga máxima (kN)	Desplazamiento (mm)	Módulo de Young (MPa)
Mezcla 3 (M3)					
P1	2.11 x 2.19 x 3.99	59.728	23.891	1.820	2029.822
P2	2.11 x 2.18 x 3.98	79.880	31.952	3.510	1607.171
P3	2.11 x 2.18 x 3.98	56.466	22.586	1.603	2039.878
P4	2.11 x 2.18 x 3.98	69.022	27.609	2.037	2181.367
P5	2.11 x 2.18 x 3.91	71.436	28.574	1.842	2362.285
Media		67.306	26.923	2.162	2044.105
D.E.		9.395	3.758	0.769	278.932
C.V.		13.958	13.958	35.563	13.646

La M₃ al contener una mayor cantidad de aserrín comparada con la M₁ y M₂ logra que su modulo de Young sea mayor, lo que se traduce como mayor elasticidad gracias a la presencia del aserrín. En este caso que la P₂ fue la menor modulo de Young obtuvo probablemente se debio a que en su composición había mas REPS que aserrín, o que se compacto más el material a la hora de la inyección.

Gráfica 6.2 Valores obtenidos en la prueba a compresión (M_3)



La *gráfica 6.2* abarca el comportamiento de las 5 muestras haciendo evidente como la mayoría de las muestras al llegar a su punto de quiebre lo hicieron de forma abrupta, lo que provocó que se formará una línea recta después del punto más alto en la cresta de la curva.

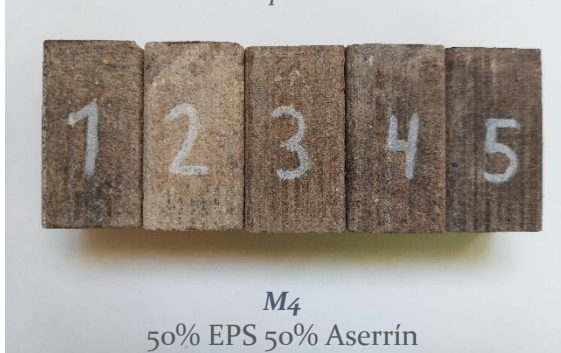
Imagen 6.4 Muestras posteriores a la prueba de compresión



Estas muestras fueron las que más tipos de fractura tuvo, algunas de ellas se partieron por la horizontal media, quedando en dos piezas o resquebrajadas de uno de sus lados. La #4 presento fisuras en dos de sus caras, pero no llego a quebrarse totalmente. Nuevamente la fuerza aplicada en sentido vertical hizo que las fisuras se vieran reflejadas en la parte exterior de las muestras y no internamente.

Mezcla 4

Imagen 6.5 Muestras sometidas a la prueba de compresión



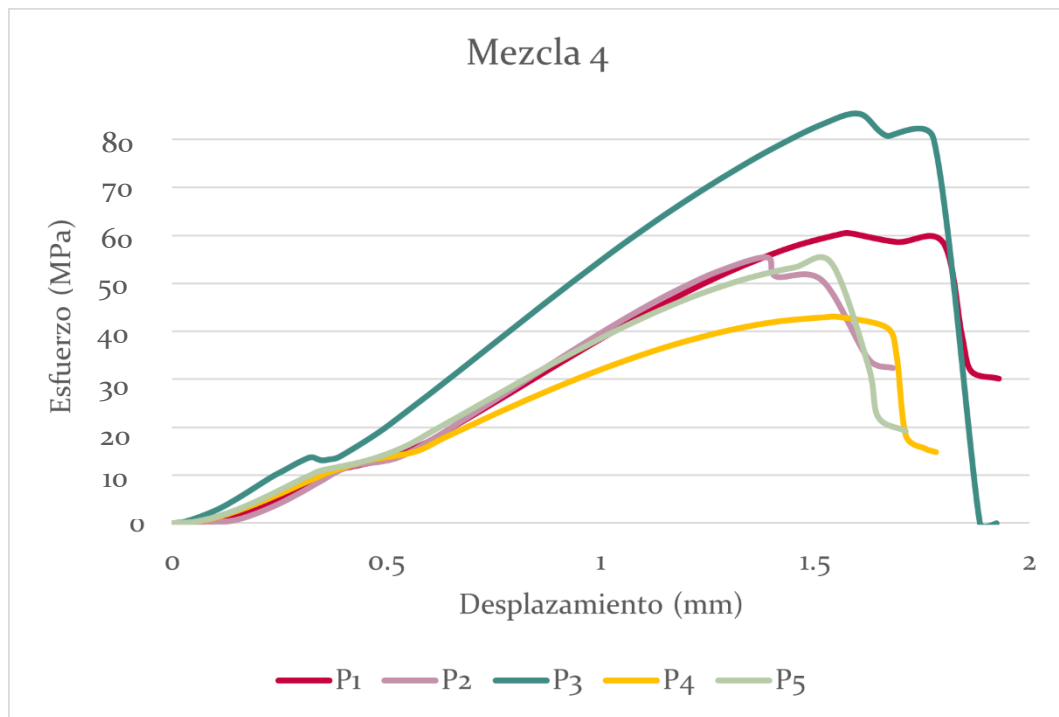
En la *tabla 6.4* se muestra el promedio de la fuerza de compresión, este llego a ser de 58.580 MPa, siendo la muestra P3 la que mayor peso soporto y que de hecho llego a casi a duplicar el valo de la muestra P4 que fue la más baja. La carga máxima tuvo en promedio 23.432 kN, la P3 fue la muestra que sobrepaso los 30 kN. Finalmente, el módulo de Young promedio 2152.516 MPa. La muestra P4 fue la que menor modulo de elasticidad mostro.

Tabla 6.4 Valores obtenidos en la prueba a compresión (M₄)

# Muestra	Medidas l x l x h (cm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga máxima (kN)	Desplazamiento (mm)	Módulo de Young (MPa)
Mezcla 4 (M ₄)					
P1	2.11 x 2.19 x 3.98	59.336	23.734	1.582	2115.647
P2	2.11 x 2.18 x 3.99	54.431	21.773	1.387	2247.119
P3	2.11 x 2.19 x 3.99	83.797	33.519	1.603	2771.220
P4	2.15 x 2.20 x 3.98	42.153	16.861	1.560	1651.659
P5	2.11 x 2.19 x 4	53.181	21.272	1.538	1976.934
Media		58.580	23.432	1.534	2152.516
D.E.		15.433	6.173	0.086	410.728
C.V.		26.345	26.345	5.597	19.081

La M₄ fue de las mezclas más complicadas de inyectar debido a que la cantidad de REPS era menor, esto resulto en muestras más ligeras y también más elásticas. No obstante, su esfuerzo y carga máxima se vio disminuida comparada con las otras mezclas. Los valores obtenidos en general no estuvieron tan dispersos y tuvieron comportamientos similares.

Gráfica 6.3 Valores obtenidos en la prueba a compresión (M₄)



En la *gráfica 6.3* puede verse como las curvas de las muestras P₂, P₄ y P₅ siguen un comportamiento similar y tienen un pequeño punto de falla entre los .5 mm de desplazamiento. Incluso estas muestras logran tener un punto de quiebre final similar llegando cerca de los 1.5 mm de desplazamiento. También puede observarse como la muestra P₃ logra rebasar los 80 MPa de esfuerzo y sobrepasar en parte los 1.5 mm de desplazamiento, cabe mencionar que la P₁ es otra de las muestras que sobrepasa los 1.5 mm.

Imagen 6.6 Muestras posteriores a la prueba de compresión



En esta mezcla las muestras sufrieron aún menos daños, las fisuras son más pequeñas e incluso en algunas no son tan evidentes como en la muestra #2. La forma en que las muestras presentaron fallas es similar a las otras mezclas en el sentido que fueron resquebrajamiento exterior (muestra 1 y 5), solo la muestra #3 llegó a partirse por la mitad en sentido vertical. La muestra 4 fue la única en mostrar una grieta en sentido vertical diagonal.

6.2 Propiedades térmicas

Se midieron las propiedades de 2 muestras de cada tipo de mezcla (M₁, M₂, M₃, M₄), dando un total de 8 muestras. A continuación, se describen los siguientes valores obtenidos:

- Difusividad
(a)
- Calor específico
volumétrico (ρC_p)
- Resistividad
(Rho)
- Conductividad
(λ)

El valor de incertidumbre (S_{yx}) fue automáticamente marcado por el TEMPOS. Posteriormente con los datos anteriores se calculó su efusividad (b), mientras que la densidad (ρ) de cada muestra se calculó de acuerdo con su masa y volumen.

Mezcla 1

Imagen 6.7 Muestras utilizadas para la prueba



En la [tabla 6.5](#) se muestra que S_{yx} en cada caso tiene en promedio 0.0002 y 0.0121 de incertidumbre, los cuales son valores bajos e indican que los resultados obtenidos en la prueba son confiables. La densidad del PS cuando se encuentra expandido es de 50 kg/m³, en este caso la M₁ tiene 1066 kg/m³ de densidad, el REPS al encontrarse comprimido por la inyección llega a ser 21 veces mayor que el EPS. Incluso su densidad podría ser mayor si el método de fabricación fuera más controlado.

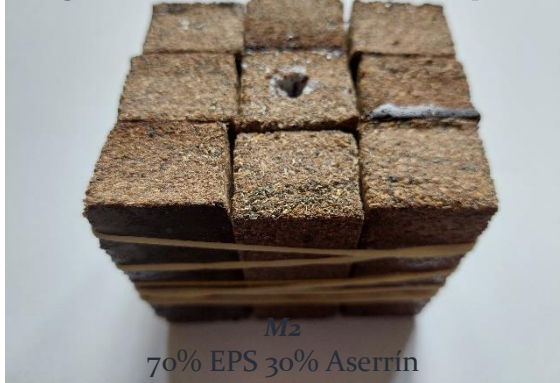
Tabla 6.5 Valores obtenidos con aguja RK-3 y SH-3 (M₁)

# Muestra	λ (W/m•K)	Rho (°C•cm/W)	S_{yx} (λ) (Rho)	ρC_p (J/m ³ •K)	a (m ² /s)	b (J/m ² K ¹ s)	S_{yx} (ρC_p) (a) (b)
Mezcla 1 (M1)							
P1	0.1467	681.479	0.0002	1022680	1.35E-7	387.3861	0.0118
P2	0.1456	686.864	0.0002	1018330	1.35E-7	385.0423	0.0126
P3	0.1458	685.660	0.0003	1005680	1.34E-7	382.9796	0.0119
P4	0.1458	688.906	0.0002	1008760	1.34E-7	382.6611	0.0121
P5	0.1452	686.901	0.0003	1005650	1.33E-7	382.6271	0.0118
Media	0.1456	685.962	0.0002	1012220	1.34E-7	384.1406	0.0121

Debido a su alta densidad el valor de conductividad térmica también es mayor en comparación con las otras muestras. La resistividad térmica se mantuvo en un promedio de 685.962 °C•cm/W, que comparado con las otras muestras es la mitad de lo que soportan las que contienen aserrín. Mientras que la difusividad obtuvo una media de 1.34E-7, el cual es un valor que no varía mucho comparado con las otras muestras. Sin embargo, el valor de efusividad fue hasta 100 J/m²K¹s más que con las mezclas de aserrín.

Mezcla 2

Imagen 6.8 Muestras utilizadas para la prueba



Los valores de S_{yx} que se muestran en la [tabla 6.6](#) tienen en promedio 0.0003 y 0.0103 de incertidumbre, estos valores son bajos y por lo tanto confiables gracias a la grasa térmica que se coloca en cada una de las piezas que forman el cubo. La densidad de la M2 resultó en 564.27 kg/m³, que al ser comparado con la M1 es menor. Debido a que la muestra contiene aserrín es menos compacta y existe mayor presencia de aire lo que la vuelve una mezcla de peso ligero.

Tabla 6.6 Valores obtenidos con aguja RK-3 y SH-3 (M2)

# Muestra	λ (W/m•K)	Rho (°C•cm/W)	S_{yx} (λ) (Rho)	ρC_p (J/m ³ •K)	a (m ² /s)	b (J/m ² K!s)	S_{yx} (ρC_p) (a) (b)
Mezcla 2 (M2)							
P1	0.0684	1461.360	0.0003	1003160	1.27E-7	262.0031	0.0094
P2	0.0684	1461.000	0.0003	994460	1.28E-7	260.8964	0.0102
P3	0.0686	1457.480	0.0002	994700	1.28E-7	261.2433	0.0110
P4	0.0687	1456.320	0.0003	993583	1.28E-7	261.2001	0.0106
P5	0.0684	1462.320	0.0003	992868	1.28E-7	260.5705	0.0106
Media	0.0685	1459.696	0.0003	995754	1.27E-7	261.1827	0.0103

El valor de conductividad térmica disminuyó en comparación la M1 llegando a tener un promedio de 0.0685 W/m•K. Mientras que la resistividad térmica obtuvo una media de 1459.696 °C•cm/W, siendo mayor que el de la M1 debido que contenía más aire. En cuanto a la difusividad tuvo 1.27E-7 y en efusividad llegó a 261.1827 J/m²K!s m, valor que nuevamente se encuentra ligado con la densidad del material.

Mezcla 3

Imagen 6.9 Muestras utilizadas para la prueba



La [tabla 6.7](#) muestra el valor de incertidumbre de las dos agujas (RK-3 y SH-3) que midieron la M3, donde en promedio es de 0.0003 y 0.0109, nuevamente estos valores son aceptables y hacen confiables los valores térmicos obtenidos. La densidad de esta muestra es de 543.75 kg/m³, este valor es menor que el de la M2 debido a que contiene mayor cantidad de aserrín. Sin embargo, su densidad no es menor que la muestra 3 que en su composición contiene la mitad de aserrín.

Tabla 6.7 Valores obtenidos con aguja RK-3 y SH-3 (M₃)

# Muestra	λ (W/m•K)	Rho (°C•cm/W)	Syx (λ) (Rho)	pCp (J/m ³ •K)	a (m ² /s)	b (J/m ² K ¹ s)	Syx (pCp) (a) (b)
Mezcla 3 (M3)							
P1	0.0615	1625.080	0.0003	824159	1.31E-7	225.1996	0.0093
P2	0.0677	1476.520	0.0004	812982	1.31E-7	234.6503	0.0109
P3	0.0680	1469.550	0.0004	808220	1.31E-7	234.5160	0.0112
P4	0.0678	1475.980	0.0003	804736	1.31E-7	233.4998	0.0112
P5	0.0680	1471.400	0.0003	804352	1.31E-7	233.8070	0.0121
Media	0.0666	1503.7060	0.0003	810890	1.31E-7	232.3345	0.0109

El promedio de la conductividad térmica llegó a ser de 0.0666 W/m•K, siendo esta capacidad y la resistividad ligeramente más altas que la de M₁. En cuanto a la difusividad se conservó su promedio de 1.31-7 m²/s y el de efusividad se asentó en 232.3345 J/m²K¹s.

Mezcla 4

Imagen 6.10 Muestras utilizadas para la prueba



El valor de incertidumbre se encuentra entre 0.0008 y 0.0098 para cada una de las agujas, el cual marca valores válidos en los resultados. La **tabla 6.8** contiene el pCp que fue obtenido con la densidad de la muestra, la cual en este caso es de 448.18 kg/m³. Esta es la menor densidad registrada en las 4 muestras ya que es la que contiene mayor cantidad de aserrín. El hecho de contener tanto aire se verá reflejado en sus propiedades térmicas, principalmente en su baja conductividad que llega a 0.0595 W/m•K.

Tabla 6.8 Valores obtenidos con aguja RK-3 y SH-3 (M₄)

# Muestra	λ (W/m•K)	Rho (°C•cm/W)	Syx (λ) (Rho)	pCp (J/m ³ •K)	a (m ² /s)	b (J/m ² K ¹ s)	Syx (pCp) (a) (b)
Mezcla 4 (M4)							
P1	0.0532	1879.110	0.0012	978578	1.11E-7	228.2030	0.0103
P2	0.0545	1834.340	0.0011	981211	1.10E-7	231.2815	0.0098
P3	0.0632	1581.050	0.0006	978598	1.10E-7	248.7878	0.0097
P4	0.0633	1579.930	0.0006	976924	1.09E-7	248.6629	0.0098
P5	0.0634	1576.240	0.0006	975194	1.09E-7	248.7335	0.0096
Media	0.0595	1690.1340	0.0008	978101	1.09E-7	241.1337	0.0098

Su baja resistividad también se relaciona con su conductividad, ya que no permite tan fácil el paso del calor. Finalmente, su capacidad de difusividad es más baja que las otras muestras, pero su efusividad se vuelve alta llegando a un promedio de 241.1337 J/m²K¹s.

6.3 Propiedades físicas

La prueba de intemperismo se realizó a la M₂, M₃ y M₄ con muestras que fueron horneadas. A continuación, se muestran los resultados del desgaste sufrido por la intemperie de forma macroscópica y microscópica.

Mezcla 2



La [tabla 6.9](#) indica los pesos iniciales de las muestras, el cual se encuentra en 4.87 gramos en promedio, luego de ser sometidas a la prueba el cambio de su peso aumento hasta un 21.29 % en promedio. El aumento de peso se debió probablemente a la cantidad de aserrín que contenía la mezcla, aunque el porcentaje no es tan alto comparado con las otras mezclas. Cabe mencionar que algunas muestras también sufrieron algunas fracturas en las orillas debido a que su grosor era más delgado que en el centro.

Tabla 6.9 Valores con las características de las muestras (M₂)

# Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Cambio de peso (%)	Color inicial	Color final
Mezcla 2 (M ₂)					
P1	4.7579	6.3417	33.29	7.5 YR Value: 2.5/ Chroma: /1 2.5/1 black	10 YR Value: 5/ Chroma: /8 5/8 yellowish brown
P2	4.6969	5.1857	10.41	10 YR Value: 3/ Chroma: /3 3/3 dark brown	10 YR Value: 5/ Chroma: /8 5/8 yellowish brown
P3	5.1690	6.2105	20.15	10 YR Value: 3/ Chroma: /3 3/3 dark brown	10 YR Value: 5/ Chroma: /4 5/4 yellowish brown
Media	4.8746	5.9126	21.28		

Con apoyo de la tabla de Munsell se definieron los colores de las muestras antes y después de la prueba, ya que también se vio afectado. En un principio tenían tonos negros-café muy oscuros debido al EPS, posteriormente se volvieron de tonos más claros cercanos a un café-amarillo.



En la [tabla 6.10](#) se encuentran los pesos de las muestras antes de la prueba, estos indican en promedio un peso de 4.41 gramos. Al finalizar su exposición a intemperismo este peso aumento un 52.89% debido a que la composición de la M₃ es casi 50% aserrín, lo que hace que guarde más humedad. En las [imágenes 6.12](#) y [6.13](#) puede apreciarse como nuevamente las muestras sufrieron de resquebrajamiento en las orillas, de igual manera algunas otras sufrieron un poco de pandeo.

Tabla 6.10 Valores con las características de las muestras (M₃)

# Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Cambio de peso (%)	Color inicial	Color final
Mezcla 3 (M ₃)					
P1	4.5139	6.1332	35.87	7.5 YR Value: 2.5/ Chroma: /1 2.5/1 black	10 YR Value: 5/ Chroma: /8 5/8 yellowish brown
P2	4.3581	6.2502	43.42	10 YR Value: 2/ Chroma: /1 2/1 black	10 YR Value: 6/ Chroma: /8 6/8 browniish yellow
P3	4.3629	7.8271	79.40	7.5 YR Value: 3/ Chroma: /1 3/1 very dark gray	10 YR Value: 5/ Chroma: /4 5/4 yellowish brown
Media	4.4116	6.7368	52.89		

El color de las muestras se definió con ayuda de las tablas de Munsell indicando tonos negros-grises oscuros para las muestras antes de la prueba. Después, estas cambiaron a tonos amarillos-cafés más claros. Más que nada fue el REPS quien sufrió los cambios de tonos tan drásticos, ya que el color del aserrín ya se encontraba en tonos cafés claros y probablemente fue el agua quien intensificó su color.



Los pesos iniciales de las muestras se muestran en la [tabla 6.11](#), ahí se indica que en promedio fue de 4.25 gr. Después de la prueba este aumento hasta un 83.67 %, debido a que la M₄ es quien más aserrín tiene en su composición. Sin embargo, las muestras no mostraron un mayor desgaste en las orillas, comparado con las otras y a pesar de contener menos REPS que la mantuviera unida.

Tabla 6.11 Valores con las características de las muestras (M₄)

# Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Cambio de peso (%)	Color inicial	Color final
Mezcla 4 (M ₄)					
P1	4.0607	7.5187	85.16	10 YR Value: 2/ Chroma: /2 2/2 very dark brown	10 YR Value: 5/ Chroma: /4 5/4 yellowish brown
P2	3.7090	5.5064	48.46	10 YR Value: 2/ Chroma: /1 2/1 black	10 YR Value: 5/ Chroma: /4 5/4 yellowish brown
P3	4.9811	10.8292	117.41	7.5 YR Value: 3/ Chroma: /4 3/4 dark brown	10 YR Value: 5/ Chroma: /4 5/4 yellowish brown
Media	4.2502	7.9514	83.67		

Finalmente, los tonos de inicio en las muestras fueron negros-cafés oscuros fueron similares a los de la M₂ y M₃. Igualmente a las anteriores mezclas, los tonos finales tuvieron una tendencia hacia los tonos amarillos-cafés claros.



Biocompuesto bajo microscopio © Carolina Galicia

7

Conclusiones

“Hay una delgada línea entre elegancia y vulgaridad, belleza y fealdad. Pienso que un trabajo radical puede ser bello u horrible, aunque nadie desee hacer cosas feas. El verdadero reto del arte son las ideas.”

-Zaha Hadid

7° Conclusiones

El método de producción (inyección y horneado) a pesar de ser diferente demostró en las imágenes 7.1 y 7.2 que la adherencia del REPS con el aserrín resultó eficiente, no obstante, las muestras inyectadas resultaron estar más comprimidas que las horneadas.

Imagen 7.1 Muestra inyectada (M2-2x)

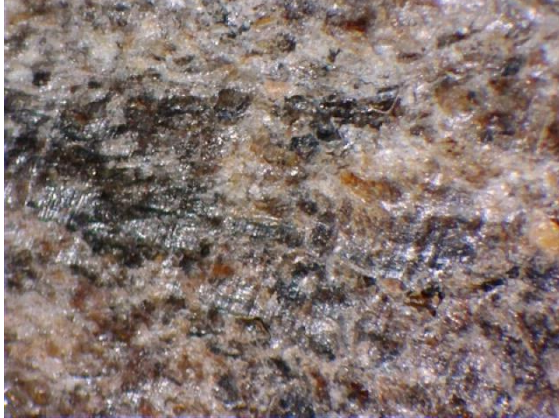
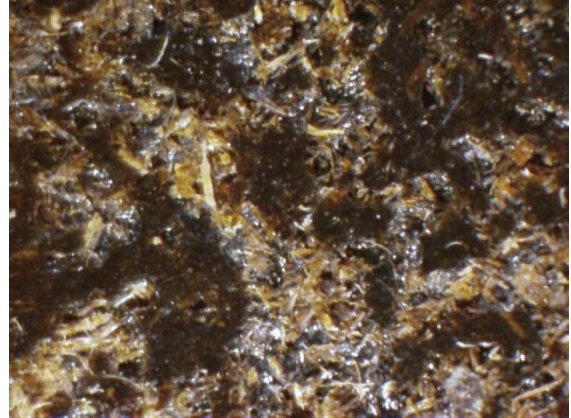
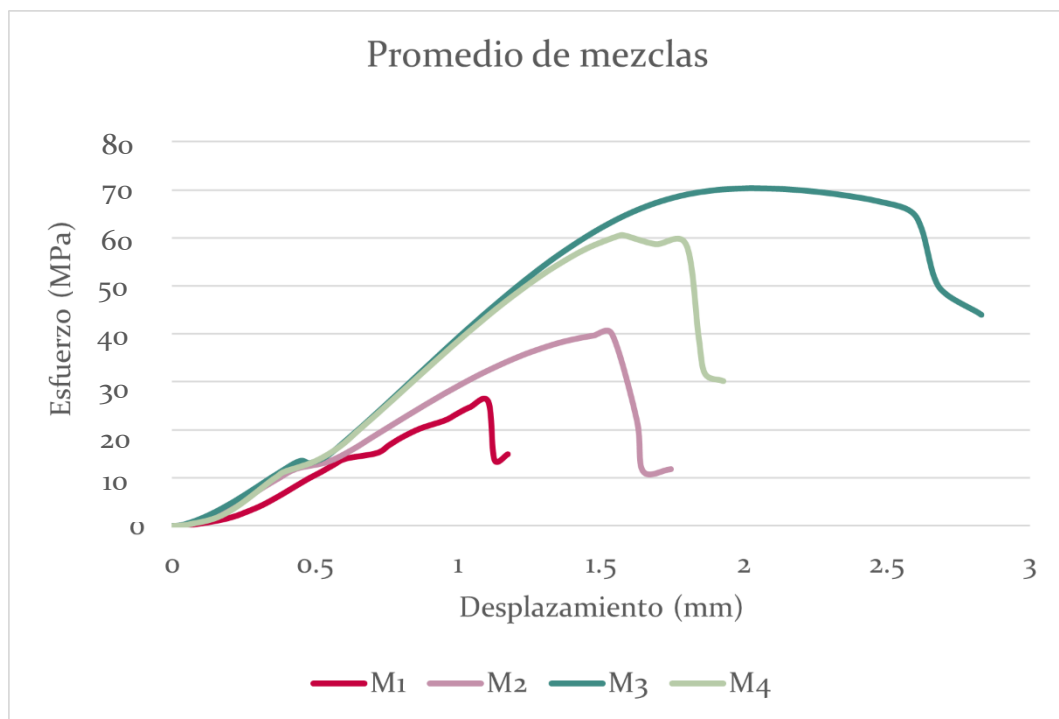


Imagen 7.2 Muestras horneada (M3-.75x)



Los resultados de las propiedades mecánicas en la prueba de compresión mostraron que la M1 fue la que soportó una menor carga y que la M3 fue la que mayor capacidad de carga obtuvo. Esto concluye que la presencia de aserrín en las mezclas favorece su comportamiento mecánico en cierto porcentaje, ya que de cierta forma se vuelve más flexible el material. Sin embargo, utilizar una mezcla 50-50 disminuye el comportamiento mecánico y lo afecta tal como lo muestran los valores de la gráfica 7.1.

Gráfica 7.1 Valores promedio de todas las mezclas en la prueba a compresión



Por otro lado, en la tabla 7.1 se destaca que la M3 fue la que soportó mayor carga, llegando hasta 686 kg/cm² en promedio. Mientras que la M1 resistió una carga de 301 kg/cm² siendo la más baja de las 4 mezclas. La importancia de estos resultados radica en que la resistencia

mínima individual requerida para bloques no estructurales según la norma NMX-C-441-ONNCCE-20059 es de 30 kg/cm², por lo que en este caso la M₃ es casi 23 veces más alta que lo que se exige. Siendo que gracias a estos valores es viable utilizar la M₃ para el material propuesto y la fabricación de los bloques prefabricados.

Tabla 7.1 Valores obtenidos en la prueba a compresión (M₄)

Mezcla	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Carga máxima (kN)	Desplazamiento (mm)	Módulo de Young (MPa)
M1	301.244	11.817	1.170	1387.443
M2	404.970	15.885	1.599	1449.040
M3	686.306	26.923	2.162	2044.105
M4	597.349	23.432	1.534	2152.516

Otro aspecto que se observó en las pruebas mecánicas fue que cuando se fracturaban las muestras lo hacían de forma muy sólida, es decir que las fibras debido a su tamaño pequeño se quedaban unidas al plástico. La grieta de la fractura era fácil de identificar ya que no se desmoronaba la muestra como se muestra en las imágenes 7.3 y 7.4.

Imagen 7.3 Muestra inyectada (M₄-75x)



Imagen 7.4 Muestras horneada (M₄-4x)



En cuanto a las propiedades térmicas todas las mezclas que contenían un porcentaje de aserrín obtuvieron valores similares entre ellas. En la tabla 7.2 se recalca como los valores de conductividad térmica (λ) son menores que los de un mortero de cemento/arena y un ladrillo de arcilla, los cuales son materiales que comúnmente se utilizan para muros divisorios. Esta situación quiere decir que el material propuesto es menos conductor de calor y ruido que los anteriores, lo cual puede ser una ventaja o desventaja dependiendo el clima en que se aplique.

Tabla 7.2 Valores promedio del material propuesto y otros

Mezclas / Materiales	λ (W/m•K)	Rho (°C•cm/W)	ρC_p (J/m ³ •K)	α (m ² /s)	b (J/m ² K s)
M1	0.1456	685.962	1012220	1.34E-7	384
M2	0.0685	1459.696	995754	1.27E-7	261
M3	0.0666	1503.7060	810890	1.31E-7	232
M4	0.0595	1690.1340	978101	1.09E-7	241
EPS	0.0350		83750	4.18E-7	54
Madera de pino	0.148		1607680	9.19E-8	487
Mortero cemento/arena	0.530		1570000	3.38E-7	912
Ladrillo de arcilla	0.814		1657800	4.91E-7	1160

Incluso el calor específico volumétrico (pC_p) se relaciona con la conductividad pues mientras este sea menor entonces la conductividad, difusividad (a) y efusividad (b) también, debido a la cantidad de aire que existe dentro el material y su escasa conductividad de calor.

Por otro lado, la prueba de intemperismo mostró un resultado interesante que fue el cambio de color del REPS, en general las muestras no estaban tan desgastadas pero el REPS pareciera que se volvió totalmente transparente con un tono más amarillo (*imágenes 7.5 y 7.6*). Se podría estudiar más a fondo si su cambio se debió a la exposición a humedad o a los rayos UV.

Imagen 7.5 Muestra inyectada ($M1-75x$)

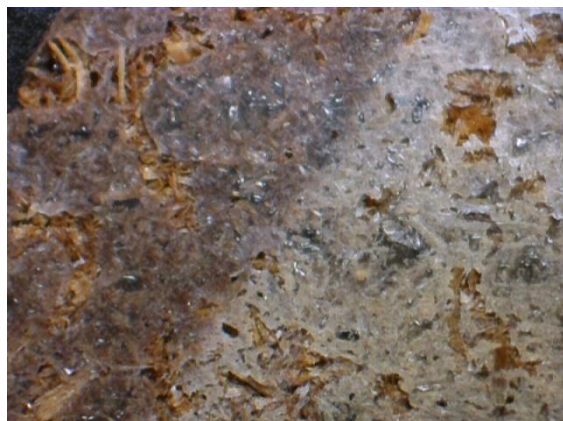
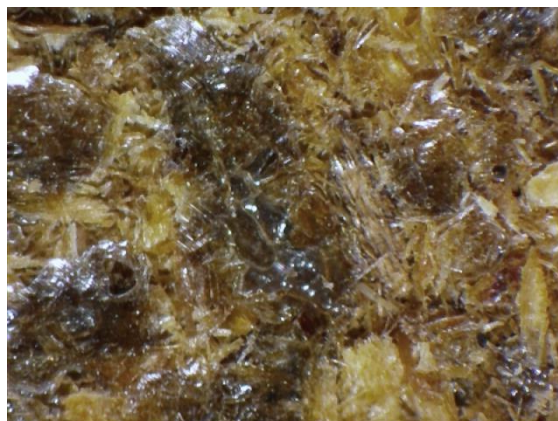


Imagen 7.6 Muestras horneada ($M2-2x$)



Finalmente, se deduce que el REPS utilizado no tiene una profunda limpieza en su reciclaje, ni un procesamiento tan homogéneo ya que a pesar de haber utilizado los pellets más compactos aun así se colaron algunas partículas que aún contenían aire o eran basura (*imágenes 7.7 y 7.8*). También se concluyó que debido a la presencia del calor y estas impurezas era que el tono del REPS era oscuro, por lo que para obtener tonos más estéticos el PEAD podría ser una opción u otra forma de reciclaje químico que no involucre el calor.

Imagen 7.7 Muestra inyectada ($REPS-2x$)

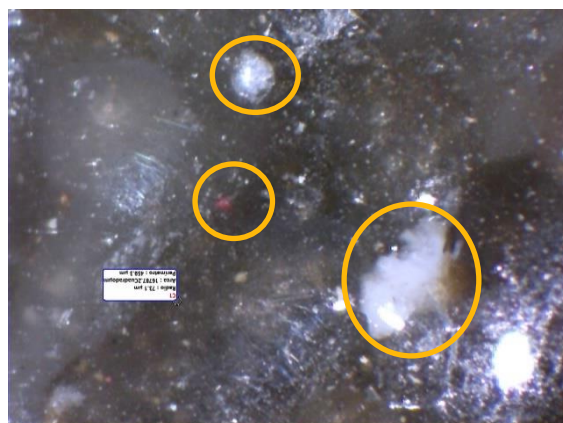
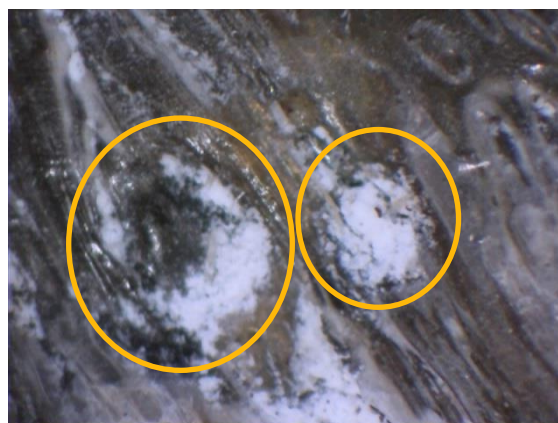


Imagen 7.8 Muestras horneada ($REPS-2x$)



El material compuesto resultante puede ser aplicado para la creación de bloques prefabricados, sin embargo, si se busca su industrialización la forma en que se fabrica debe ser mejorada. Lo anterior incluye la fabricación de moldes con las medidas propuestas y materiales que permitan su fácil desmoldamiento.

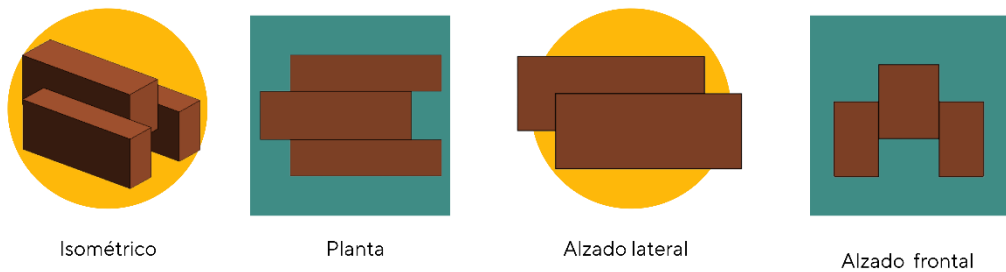
7.1 Diseño de producto final

Parte de la evaluación de un nuevo material también involucra trabajar con un diseño de producto final, que pueda ser utilizado dentro de la arquitectura. El hecho de proponer bloques prefabricados para muros no portantes surge de la idea de reemplazar aquellos elementos que comúnmente son de concreto y se utilizan en grandes cantidades.

Prototipo

La idea fue generar una pieza que tuviera dimensiones parecidas a las de un block hueco y pudiera ensamblarse tanto en forma horizontal como vertical sin la necesidad de algún pegamento. Por ello se tomó como referencia la geometría y ensamble de “Conceptos plásticos”, una empresa colombiana que también se dedica a la construcción con bloques plásticos. En la *imagen 7.9* se muestran los detalles de la geometría de los bloques con el material compuesto propuesto.

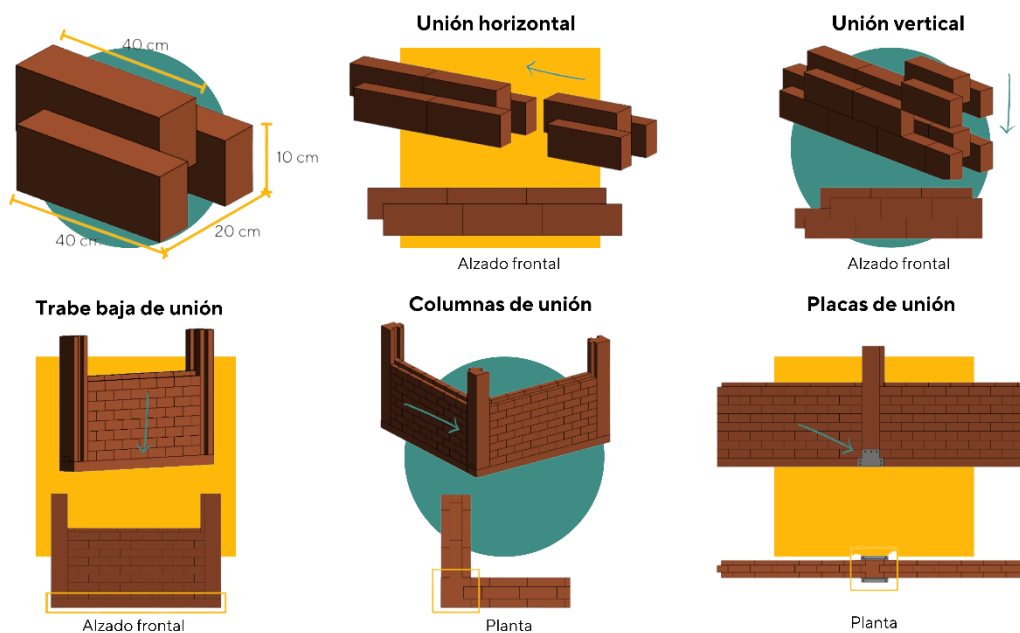
Imagen 7.9 Geometría de los bloques prefabricados



Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción de estructuras las trabes y columnas para unir los bloques al suelo o para extender los muros se proponen del mismo material, pero de diferente forma y longitud. Mientras que para dar mayor rigidez estas se unirían a un firme por medio de placas de acero y pernos.

Imagen 7.10 Geometría de los bloques prefabricados



Fuente: Elaboración propia.

7.2 Generalidades del material

En resumen, se destacan a continuación las ventajas () , desventajas () y puntos a seguir investigando () de los diferentes aspectos que componen al material.

- Producción de muestras:
 - Fabricarlas por medio de horneado es la manera más rápida, permite tamaños más grandes y formas menos limitadas.
 - Los moldes de acero al ser recubiertos con cera desmoldante facilitan la extracción de muestras.
 - La inyección manual es deficiente al tomar más tiempo para producirlas y se logran muestras de menor tamaño.
 - Realizar la inyección por medio de una extrusora y posteriormente una inyectora.

- Propiedades mecánicas:
 - La combinación del REPS con aserrín (30-40-50%) le brinda una resistencia mayor que la utilizada en los bloques de muros divisorios.
 - Agregar más de 50% de aserrín a la mezcla de REPS debilita su comportamiento mecánico.
 - Someter a prueba de compresión a las mezclas horneadas, para comparar su comportamiento mecánico contra las muestras que fueron inyectadas.
 - Realizar la prueba de compresión al sistema constructivo completo de bloques.

- Propiedades térmicas:
 - Las muestras horneadas al ser no tan densas aíslan de mejor manera el paso del calor que pueda provocarse en las ciudades.
 - Las mezclas con aserrín presentan una menor conductividad que el EPS por lo que puede utilizarse en espacios que requieran de un mayor aislamiento.
 - Si el material fuera colocado en un ambiente frío entonces provocaría que el espacio interior se calentara de forma más lenta con los rayos solares.
 - Medir las propiedades térmicas de muestras fabricadas por medio de inyección y compara los parámetros con las muestras horneadas y otros materiales aislantes existentes.
 - Calcular un ejemplo teórico de eficiencia energética para conocer el desempeño del material dentro de la CDMX.

- Propiedades físicas:
 - Las mezclas con aserrín no presentan mayores daños al ser expuestas a la intemperie, simplemente cambian de color.
 - Cuando el material se desgasta su cambio de color no afecta su estética, incluso puede decirse que la mejora ya que cambia de color negro a transparente.
 - Las mezclas con aserrín absorben demasiada humedad lo que podría afectar sus propiedades térmicas y mecánicas.
 - Someter a prueba muestras realizadas por medio de inyección.
 - Realizar la misma prueba de intemperismo, pero al bloque con la geometría y medidas finales propuestas.

- Material compuesto:
 - ☑ Los materiales para producirlo son de bajo costo y fáciles de conseguir.
 - ☑ El material evaluado es apto para la elaboración de prefabricados en construcción, específicamente para bloques de muros no portantes.
 - ☑ Es un material que puede ser utilizado en exteriores debido a su bajo desgaste en la intemperie.
 - ☑ Puede ser utilizado para aislar espacios que reciban mucha radiación solar y hasta acústicamente puede ser funcional.
 - ☒ La fabricación puede llegar a encarecerse si se hace por medio de inyección industrial.
 - ☐ Probar realizar las muestras con otro tipo de método que no sea mecánico o de calor, tal vez químico para corregir el color del REPS.
 - ☐ Hacer un estudio de sustentabilidad que indique si de verdad la producción de este nuevo material genera un menor impacto que la producción de bloques de cemento.

Ahora, retomando la hipótesis inicial:

Al incorporar pellets de poliestireno expandido reciclado (REPS) con la mezcla de aserrín en diferentes proporciones, se evidenciará que la que contiene una menor cantidad de polímero (REPS) presentará mejores propiedades térmicas, mecánicas y físicas, comparado con las mezclas de mayor contenido polimérico. Resultando ser un material ideal para la elaboración de bloques prefabricados y su aplicación en muros no portantes de la CDMX.”.

Se concluye que esta fue errónea, específicamente donde se indica que la mezcla con menor cantidad de REPS (M₄) tendría mejores propiedades en general. La mezcla con 60% EPS y 40% aserrín (M₃) fue quien obtuvo un mejor comportamiento en todas sus propiedades. En cuanto a lo mecánico, al no ser tan rígida como la M₁ y la M₂, ni tan frágil como la M₄. También fue quien obtuvo el valor promedio de las tres mezclas en la medición de propiedades térmicas, aparte de no absorber tanta humedad y sufrir un mayor desgaste que la M₄.

En cuanto a la parte que menciona que es un material ideal para bloques prefabricados y su aplicación en muros no portantes se cumple la hipótesis. A pesar de que la dosificación del material cambio, conforme a lo que indicaba la hipótesis, la aplicación propuesta sigue siendo viable de acuerdo con los resultados obtenidos.

Bibliografía

- Akovali, G. (2005). *Polymers in Construction*. iSmithers Rapra Publishing.
- Alhazmi, H., Shah, S. A. R., Anwar, M. K., Raza, A., Ullah, M. K., & Iqbal, F. (2021). Utilization of Polymer Concrete Composites for a Circular Economy: A Comparative Review for Assessment of Recycling and Waste Utilization. *Polymers*, 13(13), 2135. <https://doi.org/10.3390/polym13132135>
- Almeshal, I., Tayeh, B. A., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Mustafa Mohamed, A., & Alaskar, A. (2020). Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review. *Construction and Building Materials*, 253, 119146. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119146>
- Andrew, Robbie, & Peters, Glen. (2021). *The Global Carbon Project's fossil CO₂ emissions dataset*. <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.C.5646421>
- Askeland, D., & Wright, W. (2016). *Ciencia e ingeniería de materiales*.
- Barbero, E. J. (2010). *Introduction to Composite Materials Design, Second Edition*. CRC Press.
- Burger, B., Dumas, C., & Michel, V. (2008). *Polystyrène expansé et développement durable?* Eyrolles.
- Censo de población y vivienda 2020*. (2021).
- Dai, D., & Fan, M. (2014). 1 - Wood fibres as reinforcements in natural fibre composites: Structure, properties, processing and applications. En A. Hodzic & R. Shanks (Eds.), *Natural Fibre Composites* (pp. 3-65). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857099228.1.3>
- García, S. (2009). *Referencias históricas y evolución de los plásticos*. 10, 10.
- Geyer, R., Jambeck, J., & Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3, e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

- González, J., & Sánchez, S. (2019). *Visión nacional hacia una gestión sustentable*.
- Greenpeace. (2016). *Los verdaderos costos del reciclaje*.
<https://www.greenpeace.org/mexico/blog/2827/los-verdaderos-costos-del-reciclaje>
- Greenpeace. (2018). *El momento de la verdad, Las principales conclusiones del informe especial del IPCC sobre 1,5 °C de calentamiento*.
- Hardwood vs Softwood: What's The Difference?* | Modinex Group. (2021, marzo 15). Modinex.
<https://www.modinex.com.au/hardwood-vs-softwood-pros-cons-best-uses/>
- IEA. (2018). *The future of petrochemicals: Towards more sustainable plastics and fertilisers*.
- Lugo, E., Ramos Cortez, C. S., Cid Bouchán, A. K., & Quevedo Mancilla, M. V. (2016). *Reciclar, la falacia de la industria en la lucha contra la contaminación plástica*.
- Lynwood, C. (2014). *Polystyrene: Synthesis, Characteristics and Applications*. Nova Science Publishers.
- Mariano. (2011, junio 3). Poliestireno | Tecnología de los Plásticos. *Poliestireno | Tecnología de los Plásticos*. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliestireno.html>
- Mohd Rawi, F., & Jaapar, K. (2018). *Characterization of Polystyrene with TGA/DSC and FESEM/EDX*.
- Moon, D., & Morris, J. (2019). *Plastic and Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet* (Capítulo 6).
- Naciones Unidas. (2018). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (p. 63).
- Nesler, C. (2020). Building can be zero-carbon—Here's how. *World Economic Forum*.
<https://www.weforum.org/agenda/2020/01/zero-carbon-buildings-climate/>

- Nuruzzaman, M. (2015). Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures -A Review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3, 67-73.
<https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15>
- Ortiz, H. A. (2019, junio 16). *Historia del poliestireno, investigado en la segunda guerra mundial*.
<http://www.polyfex-eps.com/historia-del-poliestireno/>
- Rennueva. (2021). *Poliestireno Reciclado - Plan de Manejo de Plásticos*.
<https://rennueva.com/plandemanejoplasticos/2020/03/07/cuanto-hemos-ayudado-al-ambiente/>
- Scheirs, J., & Priddy, D. (2003). *Modern Styrenic Polymers: Polystyrenes and Styrenic Copolymers*. John Wiley & Sons Ltd.
- SEDEMA. (2018). *Inventario de residuos sólidos*.
- Serope, K., & Steven R., S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson.
- Sharma, A. K., Bhandari, R., Aherwar, A., & Rimašauskienė, R. (2020). Matrix materials used in composites: A comprehensive study. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1559-1562.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.086>
- Sick, V. (2020). Could CO₂ help reduce the construction sector's CO₂ emissions? *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/agenda/2020/12/co2-can-help-the-construction-industry-thrive-heres-how/>
- Watts, J. (2019). Concrete: The most destructive material on Earth. *The Guardian*.
<https://www.theguardian.com/cities/2019/feb/25/concrete-the-most-destructive-material-on-earth>