

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE**

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

---

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

MAESTRÍA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES



## **EVALUACIÓN DE VIABILIDAD PARA LA FABRICACIÓN, ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE PANELES CON PLÁSTICOS RECICLADOS**

Trabajo recepcional que para obtener el grado de  
MAESTRA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES

Presenta: Ing. Isabel de Obeso Partida

Tutor: Dr. Adolfo Preciado Quiroz

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. mayo de 2018.

---

## Agradecimientos

A Dios

A mi familia, en especial a mis papás, Javier de Obeso Martínez y Silvia Partida Rodríguez

A mi esposo, Fernando Aldrete de Alba

A mis asesores y profesores, en especial al Dr. Adolfo Preciado Quiroz, al Dr. Milton Vázquez Lepe, al Dr. Alejandro Mendo Gutiérrez y al Dr. David Vargas del Río.

“Muchas cosas tienen que reorientar su rumbo, pero ante todo la humanidad necesita cambiar. Hace falta la conciencia de un origen común, de una pertenencia mutua y de un futuro compartido por todos. Esta conciencia básica permitiría el desarrollo de nuevas convicciones, actitudes y formas de vida”.

Santo Padre Francisco (2015) *Carta Encíclica Laudato Si'. Sobre el cuidado de la casa común.*

---

## Evaluación de viabilidad para la fabricación, análisis de sustentabilidad y comportamiento estructural de paneles con plásticos reciclados

### Resumen

Falta información técnica y de sustentabilidad sobre sistemas de edificación con base en paneles con tereftalato de polietileno (PET) reciclado utilizados para la construcción de muros. Con su implementación es posible reducir los residuos de PET en calles, tuberías, cauces, océanos y rellenos sanitarios, los cuales causan problemas ambientales. Asimismo, se puede reducir el costo en la construcción, apoyando la vivienda digna para personas de escasos recursos. El objetivo consiste en evaluar la viabilidad de fabricación de un prototipo de panel con PET reciclado combinado con polietileno de alta densidad (PEAD) y polipropileno (PP), aportando datos sobre el nivel de sustentabilidad y el comportamiento estructural.

Se realizaron pruebas mecánicas mezclando 33% PET, 33% PEAD y 33% PP así como 20% PET, 35% PEAD y 45% PP obteniendo que la segunda mezcla presenta resistencia a la compresión 10% mayor. Se realizó un panel a escala, su análisis de ciclo de vida, se calculó el costo y la cantidad de plástico que se recicla por panel. Se comparó con sistemas constructivos convencionales basados en paneles, encontrando que su resistencia a la compresión equivale entre 14% y 58% de la resistencia de las muestras probadas y se reducen los costos más de 90%.

**Palabras clave: sustentabilidad, paneles con plásticos reciclados, PET reciclado, muros prefabricados**

### *Feasibility assessment for manufacturing, sustainability analysis and structural behavior of panels with recycled plastics*

#### **Abstract**

*There is a lack of technical and sustainability information on building systems based on panels with recycled polyethylene terephthalate (PET) used for the construction of walls. With its implementation, it is possible to reduce the PET waste in streets, infrastructural pipes, water channels, oceans and sanitary landfills, which cause environmental problems. Moreover, to reduce the cost of housing construction, supporting decent housing for people with scarce resources. The objective of this project is to evaluate the technical feasibility of manufacturing a panel prototype with recycled PET combined with high density polyethylene (HDPE) and polypropylene (PP), this allows to provide data on the level of sustainability and structural behavior.*

*Mechanical tests were performed by mixing 33% PET, 33% HDPE and 33% PP, as well as 20% PET, 35% HDPE and 45% PP obtaining that the second mixture presents 10% higher compression resistance. A scale panel was made, in order to assess its life cycle, the cost and the amount of recycled plastic per panel was calculated. It was compared with conventional construction systems based on panels, finding that its resistance to compression is equivalent between 14% and 58% of the resistance of the tested samples and costs are reduced by more than 90%.*

**Keywords: sustainability, panels with recycled plastics, recycled PET, prefabricated walls**

---

## Resumen de contenidos

<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	2
1.2 Ubicación en campos disciplinares.....	2
1.3 Definición de términos.....	3
1.4 Descripción de la situación-problema.....	4
1.5 Importancia del proyecto.....	5
1.6 Supuesto de trabajo.....	6
1.7 Preguntas generadoras.....	6
1.7.1 Pregunta general.....	6
1.7.2 Preguntas particulares.....	6
1.8 Objetivos.....	7
1.8.1 Objetivo general.....	7
1.8.2 Objetivos particulares.....	7
1.9 Organización del documento.....	8
<b>Capítulo 2. Diseño metodológico del trabajo de investigación.....</b>	<b>9</b>
2.1 Introducción.....	10
2.2 Elección metodológica.....	10
2.3 Selección de técnicas y diseño de instrumentos.....	10
2.3.1 Revisión documental.....	10
2.3.2 Entrevistas.....	11
2.3.3 Cuestionarios.....	12
2.3.4 Experimentación.....	12
2.4 Resumen.....	13
<b>Capítulo 3. Marco contextual y marco conceptual.....</b>	<b>15</b>
3.1 Introducción.....	16
3.2 Antecedentes empíricos del tema.....	16
3.2.1 Construcción con plástico reciclado.....	16
3.2.2 Características de los plásticos y procesos para su transformación.....	30
3.2.3 Conductividad y resistencia térmica.....	32
3.2.4 Inflamabilidad.....	33

3.2.5 Sistemas constructivos basados en paneles.....	34
3.3 Referencias conceptuales del tema.....	38
3.4 Resumen.....	42
<b>Capítulo 4. Pruebas experimentales iniciales.....</b>	<b>44</b>
4.1 Introducción.....	45
4.2 Identificación exploratoria de las características del PET para el manejo y uso como material reciclado.....	45
4.3 Conclusiones.....	54
<b>Capítulo 5. Pruebas físicas y mecánicas de especímenes con PET reciclado.....</b>	<b>56</b>
5.1 Introducción.....	57
5.2 Pruebas exploratorias aplicando esfuerzo a cortante manual.....	57
5.3 Pruebas a compresión.....	61
5.4 Pruebas a tensión.....	69
5.5 Prototipo de panel a escala.....	72
5.6 Propuesta de panel con conectores.....	74
5.7 Conclusiones.....	75
<b>Capítulo 6. Aportación de la investigación a la sustentabilidad.....</b>	<b>78</b>
6.1 Introducción.....	79
6.2 Criterios e indicadores de sustentabilidad ambiental, económica y social.....	80
6.2.1 Análisis de ciclo de vida.....	80
6.2.2 Certificación LEED: Categoría de Materiales y Recursos.....	83
6.2.3 Cantidad de plástico utilizado por panel.....	84
6.2.4 Procesos de reciclaje de plástico en una planta procesadora.....	84
6.2.5 Indicadores financieros.....	86
6.2.6 Aceptación social y autoconstrucción habitacional.....	89
6.3 Comparación con sistemas constructivos tradicionales.....	97
6.4 Resumen de hallazgos.....	99
6.5 Conclusiones.....	102
<b>Capítulo 7. Conclusiones generales e investigación futura.....</b>	<b>104</b>
7.1 Resumen general.....	105
7.2 Conclusiones generales.....	106

---

7.3 Líneas de investigación futuras.....	112
<b>Referencias.....</b>	<b>115</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>122</b>

Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Diseño metodológico y guion entrevistas.....	122
<b>Anexo 2.</b> Diseño metodológico y formato cuestionario.....	132
<b>Anexo 3.</b> Diseño metodológico del diseño de experimentos.....	141
<b>Anexo 4.</b> Proceso para realización de especímenes probados a la compresión uniaxial....	144

---

# **Capítulo 1.**

## **Introducción**

---

## Capítulo 1. Introducción

### 1.1 Introducción

Actualmente existe una falta de información técnica y de sustentabilidad sobre los sistemas de edificación con base en paneles con tereftalato de polietileno (PET) reciclado utilizados para la construcción de muros. Con su implementación es posible reducir la acumulación masiva de residuos de PET en calles, tuberías infraestructurales, cauces hídricos, océanos y rellenos sanitarios, los cuales causan graves problemas ambientales. Asimismo, se puede reducir el costo en la construcción de vivienda, apoyando la vivienda digna para personas de escasos recursos.

El objetivo de este proyecto es evaluar la viabilidad técnica de fabricación de un prototipo de panel con PET reciclado combinado con otros plásticos para muros divisorios de vivienda en Jalisco, aportando datos sobre el nivel de sustentabilidad y el comportamiento estructural.

Este trabajo se aborda desde un modelo científico de trabajo mixto utilizando una metodología cuantitativa y cualitativa. Se utilizan diferentes técnicas de investigación para obtener los resultados del estudio: revisión documental, experimentación, entrevistas y cuestionarios.

Debido a las características del PET, a partir de las técnicas de investigación, se decide fundirlo y combinarlo con otros plásticos también reciclados, polietileno de alta densidad (PEAD) y polipropileno (PP).

La mezcla de los plásticos fundidos puede tener diversos usos como elementos constructivos, como losas, muros, etc. (*e.g.* Gaggino (2012) y Flores *et al.* (2014)). En este trabajo se estudia específicamente la realización de paneles, con el fin de crear un elemento prefabricado de bajo costo para dividir habitaciones en viviendas.

El objeto de innovación de este proyecto son en general los sistemas de edificación, en particular las opciones constructivas con elementos prefabricados, y más específicamente los paneles elaborados con materiales reciclados utilizados para la construcción de muros.

### 1.2 Ubicación en campos disciplinares

El estudio se aborda desde el campo de conocimiento de la ingeniería civil, ya que se hace un análisis del comportamiento estructural del prototipo de panel con PET reciclado. Así también la presente investigación sirve de insumo de generación de conocimiento para



---

campos disciplinares como la ingeniería ambiental, ya que se muestra el impacto generado al medio ambiente de dicho elemento constructivo y la arquitectura, para la proyección y el diseño. También se aborda desde la ingeniería industrial, ya que plantea los procesos de fabricación del panel, así como la ingeniería química debido a que se muestra la forma en que se comportan los plásticos y la administración financiera porque se evalúa la viabilidad económica.

### 1.3 Definición de términos

A lo largo de este trabajo se emplearán términos como los que a continuación se mencionan:

**Autoconstrucción:** Práctica de un grupo de personas, sin conocimientos previos sobre construcción, que aplican una tecnología simple y económica, de construir sus viviendas (Gaggino, 2008).

**Muro:** Elemento estructural vertical utilizado para delimitar espacios, con o sin función estructural de carga.

**Panel:** Elemento estructural vertical prefabricado utilizado para delimitar espacios.

**Plásticos:** Materiales sintéticos conseguidos a partir de fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos, generalmente son derivados del petróleo (Segura *et al.*, 2007).

**Reciclar:** Separar o extraer materiales del flujo de desechos, acondicionarlos para su comercialización y usarlos como materia prima en sustitución de materiales vírgenes, con el fin de crear nuevos productos (SEDESOL, 1993).

**Residuo:** Material de desecho generado por la sociedad, obtenido de los recursos de la naturaleza convertidos en productos de uso mediante técnicas de transformación que no se reintegran en el proceso (Alencastro, 2009).

**Sustentabilidad:** Administración eficiente y racional de los recursos, de manera que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las futuras generaciones (PROMÉXICO, 2014).

**Tereftalato de polietileno (PET):** Termoplástico semicristalino que posee una amplia variedad de aplicaciones, como la manufactura de fibras, películas fotográficas, contenedores de cosméticos, detergentes y, principalmente, botellas desechables de bebidas (Ortiz *et al.*, 2012).

---

#### 1.4 Descripción de la situación-problema

Los polímeros, entre ellos el PET, son productos que contaminan el medio ambiente y no tienen propiedades biodegradables, sino que subsisten en el tiempo, convirtiéndose en un problema para el medio ambiente (Flores *et al.*, 2014).

Saikia & De Brito (2013) afirman que el consumo de plástico ha crecido sustancialmente en todo el mundo en los últimos años y esto ha creado enormes cantidades de residuos de plástico, generando una amenaza ambiental seria a la manera moderna de vivir.

La producción de botellas de PET se ha incrementado considerablemente debido a su poco peso, alta resistencia, transparencia y facilidad de almacenamiento. En 2005 el consumo mundial anual de PET fue de alrededor de 10 millones de toneladas, y se estimó un crecimiento de 15% cada año (Ortiz *et al.*, 2012).

De acuerdo a Conde (2012), en México cada año se consumen 555,000 toneladas de PET, lo que equivale al 10% del consumo total de plásticos en el país.

Del total de envases de resina de PET que se desechan todos los días, la industria de reciclaje en México sólo reaprovecha una cuarta parte, el resto está enterrado en rellenos sanitarios o se exporta a China. Esto debido a la falta de leyes que obliguen a las industrias que desechan PET a ayudar a recolectarlo y de normas que obliguen a los municipios a separar la basura (Ramírez, 2011).

México es el tercer consumidor mundial de PET, después de Estados Unidos y China, pero en consumo per cápita es segundo con 225 botellas al año, detrás de Estados Unidos. Una gran parte del PET que se desecha cada año se encuentra enterrado en rellenos sanitarios manejados por municipios, los envases que se encuentran al aire libre y a la vista constituyen sólo 0.2% del PET consumido (Ramírez, 2011).

De acuerdo a CONRICyT (2018) cada año en México se consumen nueve mil millones de envases y embalajes de PET, al menos 900 millones de estas botellas llegan a la vía pública, bosques, playas y ríos.

Paullier (2015) afirma que en 2014 México fue el principal consumidor de agua embotellada en el mundo. Representando una amenaza para el medio ambiente por el alto consumo de plástico y el desecho que se genera.

---

De acuerdo a Cortinas & Dávila (2016) la cantidad de residuos sólidos urbanos generados en el estado de Jalisco es de 7,500.73 ton/día, en donde el 1.8% son residuos de PET. Lo que equivale a 135.01 ton/día o 49,279.80 ton/año.

En la construcción de viviendas hay una tendencia a aprovechar opcionalmente elementos de desecho considerados basura. Entre los objetivos de la utilización del PET en la construcción, está el reducir la cantidad del mismo que va a dar a rellenos sanitarios, ya que las botellas de PET “tardan más de 500 años en descomponerse, y duran más si están enterradas” (Gaggino, 2008, p.140).

En la actualidad existen pocas empresas constructoras con estándares de sustentabilidad, se hacen edificaciones sin importar el daño causado al medio ambiente y el impacto que puedan tener en el entorno.

Algunos autores hacen críticas severas al papel de la empresa actual, que "ha sido considerado a partir de una perspectiva puramente económica al entender y valorar su capacidad para generar inversiones, incentivar el consumo, atraer tecnologías o generar empleo, a pesar de los desequilibrios sociales, ambientales o culturales" (Raufflet *et al.*, 2012, p.80).

En resumen, la situación-problema que pretende resolver este proyecto es la falta de información técnica y de sustentabilidad sobre los sistemas de edificación con base en paneles con PET reciclado utilizados para la construcción de muros, ya que con su implementación es posible reducir la acumulación masiva de residuos de PET en calles, tuberías infraestructurales, cauces hídricos, océanos y rellenos sanitarios, los cuales ocasionan severos problemas ambientales. Asimismo, se puede reducir el costo en la construcción de vivienda, apoyando la vivienda digna para personas de escasos recursos.

### 1.5 Importancia del proyecto

La elaboración de este trabajo pretende generar conocimiento para ampliar el uso de PET reciclado en la vivienda autoconstruida y evaluar sus impactos aportando sugerencias para la selección de materiales sustentables.

La aportación del proyecto reside en los tres ámbitos de la sustentabilidad, ambiental, económico y social. Reside en el ámbito ambiental ya que se quiere reducir la cantidad de residuos de PET que van a dar a las calles, tuberías infraestructurales, cauces hídricos,

---

océanos y rellenos sanitarios, los cuales causan graves problemas ambientales. Reside en el ámbito económico debido a que se pretende reducir el costo en la construcción de vivienda y social porque se procura apoyar la vivienda digna para personas de escasos recursos, implementando en las viviendas paneles interiores como separadores de espacio a bajo costo. Existen diferentes limitaciones a las que se enfrenta este proyecto, una de ellas es la falta de conocimiento acerca de los elementos constructivos hechos con PET reciclado y la dificultad de obtener la información, ya que no es muy común su uso, además de la falta de interés de la gente en utilizar un sistema constructivo diferente, debido a los paradigmas que existen en cuanto a la construcción con materiales tradicionales.

### 1.6 Supuesto de trabajo

En la industria de la construcción se han desarrollado con éxito nuevos sistemas de edificación prefabricados que incorporan materiales plásticos de desecho generando alternativas técnicas, impactos sociales y beneficios ambientales. Si se comprueba el comportamiento estructural, la viabilidad de fabricación y la sustentabilidad de un posible panel elaborado con PET reciclado combinado con otros plásticos, podría evaluarse la factibilidad de su prototipado como elemento prefabricado para la industria constructiva comercial.

### 1.7 Preguntas generadoras

Los siguientes párrafos describen la pregunta general y las particulares las cuales se buscan resolver con el desarrollo de este trabajo de investigación.

#### 1.7.1 Pregunta general

¿Cuál es la viabilidad técnica de fabricación de un prototipo de panel con PET reciclado combinado con otros plásticos para muros divisorios de vivienda en Jalisco, el nivel de sustentabilidad y el comportamiento estructural?

#### 1.7.2 Preguntas particulares

- ¿Cuál es la información existente sobre elementos constructivos hechos con PET reciclado, así como combinaciones con otros plásticos o materiales?

- 
- ¿Cuál es la resistencia a la compresión, tensión, módulo de elasticidad, adherencia, densidad y modos de falla?
  - ¿Cuál es el impacto ambiental, identificando el consumo de energía y de materia prima, las emisiones producidas y el análisis de ciclo de vida?
  - ¿Cuál es el impacto económico, analizando el precio de la materia prima y el costo total?
  - ¿Cuál es el impacto social y la viabilidad del uso en la autoconstrucción habitacional?
  - ¿Cuáles son sus características en comparación con elementos constructivos hechos con materiales tradicionales?

### 1.8 Objetivos

En este apartado se describen el objetivo general y los particulares para dar a conocer los alcances de este trabajo de investigación.

#### 1.8.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica de fabricación de un prototipo de panel con PET reciclado combinado con otros plásticos para muros divisorios de vivienda en Jalisco, aportando datos sobre el nivel de sustentabilidad y el comportamiento estructural.

#### 1.8.2 Objetivos particulares

A continuación se muestran los objetivos particulares, su importancia reside en que describen las acciones que se llevan a cabo a lo largo de este trabajo de investigación.

- Realizar una revisión documental sobre elementos constructivos hechos con PET reciclado, así como combinaciones con otros plásticos o materiales
- Obtener la resistencia a la compresión, tensión, módulo de elasticidad, adherencia, densidad y modos de falla mediante pruebas de laboratorio
- Aportar datos sobre el impacto ambiental, identificando el consumo de energía y de materia prima, las emisiones producidas y el análisis de ciclo de vida
- Aportar datos sobre el impacto económico, analizando el precio de la materia prima y el costo total

- 
- Aportar datos sobre el impacto social y la viabilidad del uso en la autoconstrucción habitacional
  - Comparar con elementos constructivos hechos con materiales tradicionales

### 1.9 Organización del documento

Los siguientes párrafos tienen como objetivo introducir al lector sobre el contenido por capítulo de este trabajo de investigación:

El Capítulo 1 presenta la introducción general del proyecto, la situación problema y el alcance del trabajo, su ubicación en campos disciplinares, la definición de diversos términos utilizados y la importancia del proyecto.

El Capítulo 2 aborda el diseño metodológico utilizado para la realización de este proyecto, describiendo el modelo científico y las técnicas de investigación.

El Capítulo 3 muestra el marco contextual y el marco conceptual del proyecto, se presenta la revisión documental del trabajo, incluyendo los antecedentes empíricos del tema, así como las referencias conceptuales.

El Capítulo 4 presenta las pruebas experimentales iniciales realizadas en el proyecto con el fin de identificar las características del PET para el manejo y uso como material reciclado.

El Capítulo 5 aborda las pruebas físicas y mecánicas para conocer la forma en que se comporta el PET al fundirlo y combinarlo con el PP y PEAD. Se presentan pruebas exploratorias aplicando esfuerzo cortante con las manos, así como pruebas a compresión y tensión con equipo de laboratorio, asimismo se muestra un prototipo de panel a escala y una propuesta de los conectores para ensamblar los paneles entre sí.

El Capítulo 6 describe la contribución del proyecto en los tres ámbitos de la sustentabilidad, ambiental, económico y social y muestra una comparación con elementos constructivos hechos con materiales tradicionales.

Finalmente, el Capítulo 7 aborda un resumen y las conclusiones generales del proyecto, aportando datos sobre su viabilidad técnica, económica, ambiental y social y muestra las líneas de investigación futura.

---

**Capítulo 2.**  
**Diseño metodológico del trabajo de**  
**investigación**

---

## **Capítulo 2. Diseño metodológico del trabajo de investigación**

### 2.1 Introducción

Este capítulo presenta el diseño metodológico empleado para la realización del proyecto, describiendo el modelo científico y las técnicas de investigación.

Se utilizarán diferentes técnicas de investigación a lo largo del proyecto, revisión documental, entrevistas, cuestionarios y experimentación, a partir de las cuales se pretende obtener los datos y resultados del estudio, generando información de tipo cuantitativa y cualitativa, con el fin de alcanzar los objetivos particulares y por ende el objetivo general de este trabajo de investigación.

La información obtenida a partir de las técnicas de investigación da la pauta para el enfoque del trabajo y la viabilidad de realización.

### 2.2 Elección metodológica

Este proyecto se abordará desde un modelo científico de trabajo mixto utilizando una metodología cuantitativa y cualitativa. Se utilizarán técnicas estadísticas, de observación y registro de hechos, haciendo pruebas de laboratorio con el fin de evaluar la resistencia estructural del prototipo de panel con PET reciclado, así como su impacto ambiental, asimismo se realizarán cuestionarios para evaluar el impacto social.

Se hará una investigación teórico-empírica, ya que se compararán los datos obtenidos en las pruebas con las teorías o corrientes conceptuales existentes. Complementariamente, se recurrirá al análisis inductivo de informaciones cualitativas levantadas mediante entrevistas para evaluar las posturas subyacentes de distintos sujetos sociales respecto del prototipo de panel con PET reciclado.

### 2.3 Selección de técnicas y diseño de instrumentos

#### 2.3.1 Revisión documental

Se hará una revisión documental, en la cual se analizarán en su mayoría artículos científicos de diferentes lugares del mundo, con el fin de investigar distintos temas de interés para este proyecto, dicha revisión se podrá encontrar en el Capítulo 3 del presente estudio.

Se documentarán los antecedentes empíricos del tema para conocer las experiencias en el uso de plásticos reciclados en la construcción, principalmente del PET, así como su combinación



---

con otros plásticos o materiales. Asimismo, se analizarán las características generales de los plásticos que se utilizarán en el trabajo, PET, PEAD y PP y los procesos para su transformación, asimismo se obtendrán datos sobre su conductividad térmica, resistencia térmica e inflamabilidad. Se revisarán también sistemas constructivos convencionales basados en paneles.

Se registrarán las referencias conceptuales del estudio, exponiendo la problemática de los residuos que existe en la actualidad en México, la cantidad disponible de materia prima y la importancia del reciclaje, por otro lado, se abordará el tema de la carencia de vivienda de personas de escasos recursos y la autoconstrucción habitacional en general.

### 2.3.2 Entrevistas

Para aportar datos sobre el impacto social, ambiental y la viabilidad del uso en la autoconstrucción habitacional se diseñarán tres entrevistas semiestructuradas, con el fin de conocer los puntos de vista de personas relacionadas con el tema, el resumen de los resultados obtenidos en dichas entrevistas se encontrará en el Capítulo 6 de este estudio, su diseño metodológico se podrá encontrar en el Anexo 1.

Los objetivos de las entrevistas serán: conocer la forma en que se llevan a cabo los procesos de reciclaje de plástico en una planta procesadora, conocer la percepción de los constructores acerca de la autoconstrucción y de la utilización de materiales reciclados en la construcción. Así como conocer la percepción de profesionales dedicados a la manufactura de componentes prefabricados de edificación industrializada acerca de la autoconstrucción y de la utilización de materiales reciclados en la construcción, así como la forma de instalación de componentes prefabricados.

Para conocer la forma en que se llevan a cabo los procesos de reciclaje de plástico en una planta procesadora, se hará la entrevista al Lic. Luis Parra Gutiérrez, director de una empresa que se dedica al reciclaje de plásticos.

Para conocer la percepción de los constructores acerca de la autoconstrucción y de la utilización de materiales reciclados en la construcción, se hará la entrevista al Arq. Ernesto Jaime López, constructor independiente, al Ing. Juan Luis Lamadrid Martínez, dueño y director general de una empresa constructora, al Ing. Ricardo Alberto de Aguinaga Larios,

---

ingeniero en una empresa constructora y al Arq. Carlos Javier de Alba Góngora, constructor independiente.

Se entrevistará a Manuel Moreno Gutiérrez, tecnólogo en construcción, experto en paneles de Tablaroca®. Se buscará conocer la percepción de profesionales dedicados a la manufactura de componentes prefabricados de edificación industrializada acerca de la autoconstrucción y de la utilización de materiales reciclados en la construcción y su forma de instalación.

### 2.3.3 Cuestionarios

Para aportar datos sobre el impacto social y la viabilidad del uso en la autoconstrucción habitacional se realizarán cuestionarios con el fin de conocer la percepción de posibles usuarios acerca de la utilización de materiales alternativos de construcción, especialmente paneles con PET reciclado para muros de vivienda, asimismo se pretende obtener datos del estado actual de viviendas autoconstruidas.

El resumen de los resultados obtenidos en los cuestionarios se encontrará en el Capítulo 6 de este estudio, el diseño metodológico y el formato de dichos cuestionarios se podrán encontrar en el Anexo 2.

Para definir el marco muestral con que se seleccionarán los encuestados, se hará un muestreo no probabilístico por conveniencia encuestando diez viviendas autoconstruidas ubicadas en la colonia Constitución en Zapopan, Jalisco. Para la selección de los domicilios se escogerán inmuebles que empleen distintos materiales constructivos, y que se encuentren habitados.

### 2.3.4 Experimentación

Se harán pruebas experimentales iniciales con el fin de identificar las características del PET para el manejo y uso como material reciclado, las cuales se podrán encontrar en el Capítulo 4 de este proyecto.

Las pruebas físicas y mecánicas, así como el prototipo de panel a escala, se podrán encontrar en el Capítulo 5 de este estudio. Los resultados obtenidos del impacto ambiental del prototipo de panel con PET reciclado, así como sus cuestiones económicas, se podrán consultar en el Capítulo 6.

Para determinar los materiales de los que se va a realizar el prototipo de panel, se harán pruebas exploratorias combinando diferentes porcentajes a distintas temperaturas de PET

---

reciclado adicionado con PEAD y PP también reciclados en una máquina de inyección, con el fin de definir las dos combinaciones más atractivas de acuerdo a su comportamiento, para hacer los especímenes que serán probados a compresión.

Una vez definidas las dos combinaciones, se hará un diseño de experimentos (ver Anexo 3) para realizar pruebas de laboratorio con el fin de conocer la resistencia a la compresión uniaxial de las muestras, obteniendo también su módulo de elasticidad, adherencia, densidad y modos de falla. Se probarán diferentes especímenes, obteniendo la combinación de materiales con mayor resistencia. En el Anexo 4 se puede encontrar el proceso para la realización de dichos especímenes.

Una vez identificada la mezcla con mayor resistencia, se harán las muestras que serán probadas a la tensión, obteniendo su resistencia, módulo de elasticidad, adherencia, densidad y modos de falla. Se hará un prototipo de panel a escala con la mezcla seleccionada.

Se hará una propuesta de los conectores para ensamblar los paneles entre sí.

Se aportarán datos sobre el impacto ambiental del prototipo de panel con PET reciclado, identificando el consumo de energía y de materia prima, las emisiones producidas y el análisis de ciclo de vida.

Se analizarán las cuestiones económicas para aportar datos sobre el impacto económico, mostrando indicadores financieros, analizando el precio de la materia prima y el costo total.

## 2.4 Resumen

En el diseño metodológico del trabajo de investigación se describen todos los objetivos particulares planteados en el Capítulo 1. Se mencionan las técnicas de investigación que se utilizarán a lo largo del presente estudio, revisión documental, entrevistas, cuestionarios y experimentación, con las cuales se obtendrá información de tipo cuantitativa y cualitativa.

Con la revisión documental se obtendrá información acerca de los antecedentes empíricos y referencias conceptuales del tema. Las entrevistas y cuestionarios proporcionarán datos del impacto social y la viabilidad del uso en la autoconstrucción habitacional.

Se utilizará la experimentación para identificar las características del PET para el manejo y uso como material reciclado, para determinar los materiales de los que se va a realizar el prototipo de panel, así como para obtener su resistencia a la compresión, tensión, módulo de elasticidad, adherencia, densidad y modos de falla. Se realizará también un prototipo de panel

---

a escala. Se hará una propuesta de los conectores para ensamblar los paneles entre sí y se aportarán datos sobre el impacto ambiental y económico.

En el Capítulo 6 se hará una comparación con elementos constructivos hechos con materiales tradicionales.

Finalmente, en el Capítulo 7 se podrán encontrar el resumen y las conclusiones generales del proyecto aportando datos sobre su viabilidad técnica, económica, ambiental y social. Se presentarán también las líneas de investigación futura.

---

**Capítulo 3.**  
**Marco contextual y marco conceptual**

---

## **Capítulo 3. Marco contextual y marco conceptual**

### 3.1 Introducción

Este capítulo muestra la revisión documental del trabajo, en la cual se investigaron distintos temas de interés para este proyecto. Se presentan los antecedentes empíricos del tema, abordando ejemplos de diferentes formas de utilización de plástico reciclado en la construcción, principalmente del PET, así como su combinación con otros plásticos o materiales, las características generales de los plásticos empleados en el trabajo (PET, PEAD y PP) y los procesos para su transformación, asimismo se muestran datos sobre su conductividad térmica, resistencia térmica e inflamabilidad. Se presenta la descripción de sistemas constructivos basados en paneles, como Panel W<sup>®</sup>, Tablaroca<sup>®</sup>, Panel Rey<sup>®</sup> y Durock<sup>®</sup>.

Entre los ejemplos de la utilización de plástico reciclado en la construcción se mencionan los siguientes: 1) Elementos constructivos utilizando resinas de poliéster no saturadas hechas con residuos de PET reciclado; 2) Paneles utilizando plásticos reciclados mezclados con resina de poliéster; 3) Elementos constructivos utilizando fibras de plásticos, especialmente de PET como refuerzo en el concreto así como remplazo de agregados en mezclas de cemento; 4) Elementos constructivos hechos con PET reciclado triturado, calentado y mezclado con agregados (*e.g.* arena, ladrillo de arcilla y otros plásticos) y 5) Empresas y personas dedicadas a la realización de elementos constructivos hechos con plásticos reciclados.

Se describen también las referencias conceptuales del trabajo, presentando la problemática de los residuos que existe actualmente en México y la importancia del reciclaje, por otro lado, se aborda el tema de la carencia de vivienda de personas de escasos recursos y la autoconstrucción habitacional en general.

### 3.2 Antecedentes empíricos del tema

#### 3.2.1 Construcción con plástico reciclado

En diferentes partes del mundo, incluyendo México, existen numerosos ejemplos de buenas prácticas de construcción con plástico reciclado. De acuerdo a Gaggino (2012) la utilización de materiales reciclados de otras industrias es muy reciente en el campo de la arquitectura y

---

la construcción. La utilización del plástico reciclado en la construcción es una novedad del siglo XX y XXI.

De acuerdo a Ge *et al.* (2014) actualmente existen diferentes formas de reciclar las botellas de PET, para convertirlas en materiales de construcción: 1) Despolimerización de botellas de PET en resina de poliéster no saturada; 2) Utilización de fibras de PET como refuerzo en el concreto; 3) Reemplazo del agregado parcial con residuos de PET y 4) El método analizado en su proyecto, trituración de residuos de botellas de PET, calentadas y mezcladas con agregados para obtener una mezcla uniforme.

De acuerdo a Ge *et al.* (2013) la despolimerización de botellas de PET en resina de poliéster no saturada para producir mortero y concreto poliméricos muestran diferentes beneficios, como mayor resistencia a la compresión y a la flexión que el concreto de cemento portland convencional, además de que alcanza más del 80% de su resistencia máxima en un día. Sin embargo, las propiedades del concreto polimérico son sensibles y están sujetas a la temperatura y su costo de producción es elevado.

Ge *et al.* (2013) señalan que la utilización de fibras de PET como refuerzo en el concreto puede mejorar la ductilidad del concreto cuasi-frágil y, por lo tanto, reducir el agrietamiento causado por la contracción plástica. Sin embargo, la resistencia al agua y la baja energía superficial de los materiales plásticos crean una unión mecánica débil entre la fibra y la matriz de cemento, lo cual puede causar microfisuras internas en el área de unión entre ellas. Asimismo, este método solo recicla una pequeña cantidad de plástico debido a que el volumen de fibra utilizado en el concreto está entre el 0.3% y 1.5%.

De acuerdo a Ge *et al.* (2013) el reemplazo del agregado con residuos de PET utilizado en la producción de concreto ligero proporciona la forma más económica de lograr dos objetivos importantes: eliminar los residuos de plástico y producir concreto ligero. Sin embargo, la adición de residuos de PET afectó negativamente la calidad del concreto disminuyendo su resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por fraccionamiento y módulo de elasticidad. Asimismo, afirman que el método de trituración de residuos de botellas de PET, utilizadas directamente como aglutinante, calentadas y mezcladas con agregados muestra resultados prometedores.

---

A continuación se presentan ejemplos de trabajos donde se analizaron elementos constructivos utilizando resinas de poliéster no saturadas hechas con residuos de PET reciclado.

Rebeiz (1996) en su investigación hecha en Estados Unidos, reporta las propiedades de resistencia y el comportamiento del concreto polimérico utilizando resinas de poliéster no saturadas basadas en PET reciclado, mezcladas con grava, arena y ceniza volante tipo F. Al momento de falla de los cilindros probados, el concreto polimérico se destrozó violentamente y el núcleo restante tenía forma de cono o una superficie de falla casi vertical.

De acuerdo a Jo *et al.* (2008) se hizo un estudio en Corea del Sur con el propósito de resolver algunos de los problemas de residuos sólidos generados por los plásticos y la demolición de concreto. Para ello, se evaluaron las propiedades mecánicas del concreto polimérico, en particular el de resinas de poliéster no saturadas a partir de residuos de plástico de PET reciclado y agregados de concreto reciclado.

En Brasil se realizaron diferentes investigaciones. Reis *et al.* (2011) mencionan que los agregados plásticos no biodegradables hechos de residuos de PET de los envases de bebidas se utilizan como reemplazo parcial de los agregados en el mortero. Varias fracciones de arena se reemplazaron por el mismo peso de plástico. Los morteros fueron preparados mezclando arena de fundición con epoxi y resinas de poliéster no saturadas fabricadas con PET reciclado. El trabajo investiga las propiedades de fractura de los materiales compuestos obtenidos. Las muestras de mortero polimérico se cortaron con una sierra de diamante de 2 mm a una profundidad de 20 mm (ver Figura 3.1). Se observa una reducción del peso específico de los morteros poliméricos y una mejora significativa de su comportamiento a flexión. El estudio muestra resultados bastante alentadores y ha abierto una nueva vía para el reciclaje de residuos de PET en morteros de polímeros.

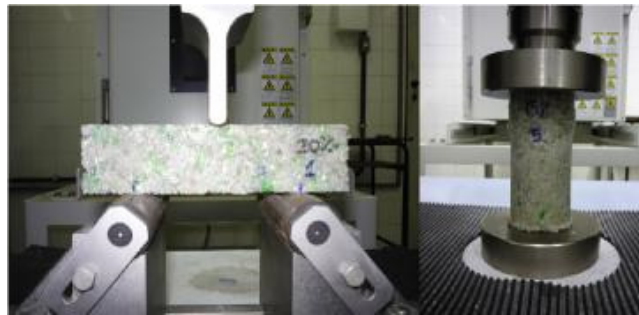


**Figura 3.1.** Preparación de prueba de fractura (Reis *et al.*, 2011).



---

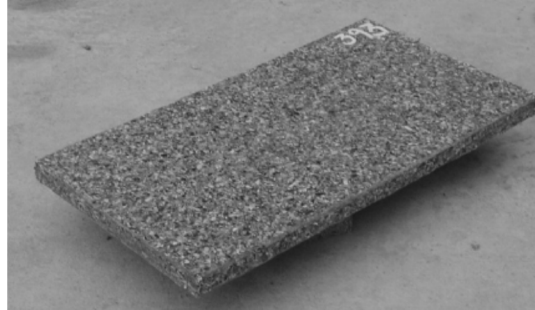
Reis & Carneiro (2012) afirman que se utilizaron agregados plásticos no biodegradables hechos de residuos de PET como remplazo parcial de agregado natural en morteros poliméricos. Los principales resultados de este estudio demuestran la viabilidad de la reutilización de agregados de residuos de PET como sustitutos parciales de agregados en materiales compuestos. Los morteros poliméricos fueron preparados mezclando arena de fundición, con epoxi y resinas de poliéster no saturadas de PET reciclado. Se remplazó el agregado de arena con PET reciclado triturado. En la Figura 3.2 se muestran morteros poliméricos probados con incorporación de residuos de PET triturado como sustituto de agregado.



**Figura 3.2.** Morteros poliméricos probados (Reis & Carneiro, 2012).

Asimismo, podemos encontrar ejemplos de realización de paneles utilizando plásticos reciclados mezclados con resina de poliéster.

De acuerdo a Gaggino (2012) se hizo un estudio en Argentina con el objetivo de contribuir a descontaminar el ambiente y resolver la escasez de vivienda en el país. Los productos tecnológicos desarrollados en la investigación son sostenibles desde el punto de vista ecológico, técnico y económico. Los productos desarrollados fueron paneles para vivienda y equipo, en la Figura 3.3 se muestra el panel de 46 x 26 cm. Los paneles fueron fabricados reciclando materiales plásticos de alimentos, perfumería o envases de limpieza, se utilizó resina náutica de poliéster, acelerador y catalizador. Contribuye a la descontaminación del medio ambiente, ya que la mayor parte de estos residuos están enterrados en terrenos municipales sin uso, o acumulados y quemados en vertederos, causando degradación ambiental. La resistencia a la compresión, flexión y módulo de elasticidad del panel es de  $50.43 \text{ N/mm}^2$  ( $514.24 \text{ kg/cm}^2$ ),  $12.11 \text{ N/mm}^2$  ( $123.49 \text{ kg/cm}^2$ ) y  $8461.80 \text{ N/mm}^2$  ( $86,286.33 \text{ kg/cm}^2$ ) respectivamente.

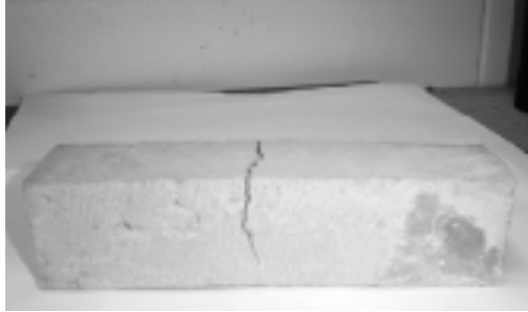


**Figura 3.3.** Panel (Gaggino, 2012).

Se presentan a continuación ejemplos de investigaciones donde se analizaron elementos constructivos utilizando fibras de plásticos, especialmente de PET como refuerzo en el concreto así como remplazo de agregados en mezclas de cemento.

Silva *et al.* (2005) mencionan que con el fin de investigar la durabilidad de las fibras de PET recicladas embebidas en materiales a base de cemento, se utilizaron muestras de mortero reforzadas con fibra, el estudio fue realizado en Brasil. Entre las conclusiones se menciona que la cantidad probada de fibras de PET, 0.4 y 0.8%, no tiene efecto sobre la resistencia a la compresión, tensión y flexión de los morteros, así como en su degradación dentro del compuesto. La dureza de los morteros en las pruebas de flexión aumenta cuando las fibras están presentes. Sin embargo, debido a la degradación de las fibras dentro de los morteros, la dureza disminuye con el tiempo.

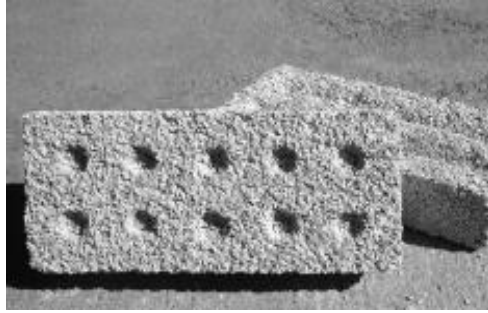
De acuerdo a Yazoghli *et al.* (2007) en Francia, se realizó una investigación que describe un uso innovador de residuos de botellas de plástico como sustituto de agregado de arena dentro de los materiales utilizados para la construcción. Se utilizaron botellas de PET como sustitutos parciales y completos de arena en compuestos de concreto. El estudio demuestra que las botellas de plástico desmenuzadas en pequeñas partículas pueden ser utilizadas exitosamente como agregados de sustitución de arena en compuestos de concreto. En la Figura 3.4 se presenta una muestra con 50% de agregados después de ser probada a flexión. Estos nuevos compuestos de bajo costo cuentan con propiedades consistentes, además, se ayuda a resolver algunos de los problemas de los residuos sólidos creados por la producción de plásticos y en el ahorro de energía.



**Figura 3.4.** Muestra con 50% de agregados probada a flexión (Yazoghli *et al.*, 2007).

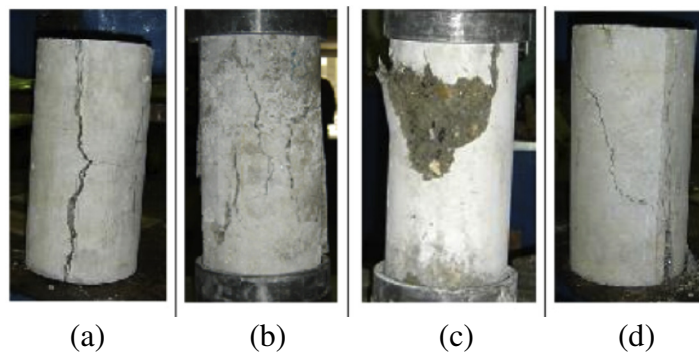
Ochi *et al.* (2007) describen un método realizado en Japón, que puede ser utilizado para producir fibra de PET que refuerza el concreto a partir de botellas recicladas. El concreto y las fibras se mezclan fácilmente con un contenido de fibra de hasta el 3%. La característica principal de la fibra de PET es que es fácil de manejar. En el estudio se investigó acerca de sus propiedades básicas, incluida la adhesión entre fibras y concreto, la resistencia a los álcalis, que es necesaria para la durabilidad y la toxicidad del gas de combustión, que es fundamental para la seguridad durante la exposición al fuego. Se encontró que la adherencia del PET es menor que la del alcohol de polivinilo (PVA), pero más alta que la del PP, además que el PET tiene suficiente resistencia a los álcalis como fibra de refuerzo del concreto y no se generó gas tóxico durante su prueba de combustión.

En Argentina, se fabricaron elementos constructivos utilizando materiales plásticos reciclados (ver Figura 3.5), los cuales son seleccionados, triturados con un molino especial, y así son incorporados a mezclas cementicias, sin necesidad de un lavado previo. La investigación alcanzó diferentes objetivos, en el ámbito tecnológico se desarrollaron componentes de construcción livianos, de buena aislación térmica, y resistencia mecánica. Desde el punto de vista ecológico se colaboró en la descontaminación del medio ambiente. En el económico, se abarataron los costos en la producción de elementos constructivos para la vivienda de interés social. En el ámbito social, se puso en manos de auto-constructores la elaboración de los componentes constructivos y se desarrolló una tecnología apta para mujeres, por la liviandad de los componentes. En la investigación se promueve el uso racional de los recursos que existen en esa zona, los procedimientos que utilizan para elaborar los elementos no son contaminantes del medio ambiente (Gaggino, 2008).



**Figura 3.5.** Elemento constructivo con materiales plásticos reciclados (Gaggino, 2008).

Albano *et al.* (2009) realizaron un trabajo en Venezuela, con el objetivo de estudiar el comportamiento mecánico del concreto con PET reciclado, con variaciones en la relación agua/cemento, contenido de PET y el tamaño de las partículas. En la Figura 3.6 (a, b, c y d) se muestran los tipos de fallas presentados en los cilindros después de las pruebas de compresión. Los resultados indican que el concreto mezclado con PET, con el aumento en la proporción y en el tamaño de partícula de PET, muestra una disminución de la resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, módulo de elasticidad y velocidad del pulso ultrasónico, sin embargo, la absorción de agua aumentó.



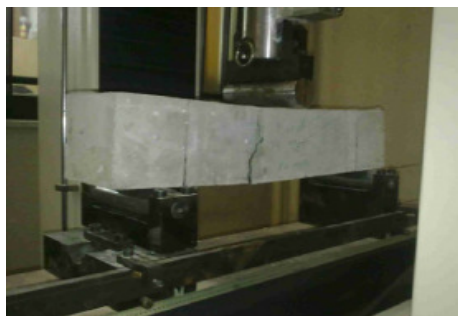
**Figura 3.6.** Tipos de fallas presentadas en los cilindros después de las pruebas de compresión (Albano, *et al.*, 2009); (a) Longitudinal; (b) Cono; (c) Borde y (d) Diagonal.

En Corea del Sur se hizo un estudio de la utilización de fibras hechas de PET reciclado en concreto estructural, con el fin de reducir los problemas ambientales causados por las botellas de PET después de ser utilizadas. La mezcla para los especímenes se realizó con cemento portland, agua, grava triturada, arena de río y láminas de PET reciclado (Kim *et al.*, 2010).

---

Asimismo, Pereira & Castro-Gomes (2011) hacen su investigación en Portugal, en la utilización de PET reciclado para mortero. Se utilizó cemento, cal hidratada y arena natural. De acuerdo a Ferreira *et al.* (2012), en Portugal, se estudió la influencia de las condiciones de curado en el rendimiento mecánico del concreto con residuos plásticos. Las mezclas de concreto de este programa se hicieron utilizando cemento, agregados y partículas de residuos plásticos. El PET triturado y lavado se calienta y se extruye, después la masa fundida se recoge en un baño de enfriamiento, después los granos de polímero se cristalizan.

De acuerdo a Rahmani *et al.* (2013) se investigaron los efectos de la sustitución de arena en el concreto con partículas de PET, el estudio fue realizado en Irán. En la Figura 3.7 se muestra el tipo de falla en la prueba de resistencia a la flexión presentada en una viga prismática que contiene partículas de PET, las cuales pueden formar un enlace entre las superficies fracturadas debido a su forma especial y a su flexibilidad, lo que previene la falla completa de la viga.



**Figura 3.7.** Tipo de falla presentada en viga prismática que contiene partículas de PET en la prueba de resistencia a la flexión (Rahmani *et al.*, 2013).

Saikia & De Brito (2014) mencionan el estudio de la evaluación de los efectos del tamaño y la forma del agregado de PET reciclado sobre las propiedades del concreto. 5%, 10% y 15% en volumen de agregado natural en las mezclas de concreto fueron reemplazados por un volumen igual de tres agregados de PET de diferentes formas y tamaños.

En Bolivia, se hicieron morteros para la fabricación de elementos constructivos, utilizando desechos plásticos de PET, procedentes de envases descartables y otros residuos. Los residuos se trituraron e incorporaron a una mezcla de cemento con un aditivo químico, con el fin de mejorar su resistencia, con esta mezcla se fabricaron ladrillos y tejas las cuales

---

cuentan con un peso unitario menor, absorción aceptable y resistencias acordes a las exigidas por normas (Flores *et al.*, 2014).

Borg *et al.* (2016), de Malta e Italia, muestran el estudio en el cual se investigó el comportamiento del concreto reforzado con fibras producidas a partir de residuos de plástico de PET. Los resultados muestran que la adición de fibras de PET reciclado reduce la resistencia a la compresión y muestra un aumento en la carga máxima a flexión en comparación con la mezcla sin fibras.

Existen también ejemplos de estudios donde se analizaron elementos constructivos hechos con PET reciclado triturado, calentado y mezclado con agregados:

Ávila & Duarte (2003) afirman que debido a la gran cantidad de botellas desechables que se producen actualmente, es necesaria la búsqueda de procedimientos alternativos para su reciclaje o reutilización, ya que no son biodegradables. Debido a que el proceso químico suele ser costoso y algunas veces agresivo con el medio ambiente, una solución posible es reciclar este material mediante técnicas termo-mecánicas. La investigación, hecha en Brasil, toma en consideración el reciclaje termo-mecánico de botellas de plástico, especialmente de PET, para su utilización como materiales compuestos para aplicaciones de ingeniería.

De acuerdo a Ge *et al.* (2013) se estudiaron los efectos de la granulometría de los agregados, proporción arena-PET y las condiciones de curado sobre las propiedades físicas y mecánicas del mortero de PET reciclado. Se calentó la arena y el PET triturado para investigar las propiedades físicas y mecánicas del mortero de PET reciclado. Para la preparación de los especímenes, se calentó el PET triturado con la arena a 280-290°C durante aproximadamente 40 minutos, después se mezcló manualmente en un recipiente para conseguir una mezcla uniforme. Posteriormente se vertió la mezcla en un molde precalentado a 180°C durante 1 hora y se compactó para producir especímenes de mortero de PET reciclado. El tamaño de los especímenes para las pruebas de compresión fue de 50 x 50 x 50 mm. Los resultados muestran que con el aumento en la proporción arena-PET, hasta 3:1, aumenta la resistencia a la compresión y a la flexión.

En China, Ge *et al.* (2015) muestran el estudio de la fabricación y propiedades, incluyendo resistencia, absorción de agua, resistencia al ataque de sulfato y penetración de iones de cloruro y microestructura de un nuevo tipo de mortero fabricado con ladrillo de arcilla reciclado y PET post-consumo. Para producir el mortero de PET, el agregado del ladrillo de

---

arcilla reciclado se secó en el horno para eliminar el agua absorbida. Después se mezclaron uniformemente el PET, la ceniza volante (tipo F que contiene 3.88% de CaO) y el agregado de ladrillo de arcilla. La mezcla se calentó en el horno a 280°C durante aproximadamente 2 horas hasta que se fundió completamente el PET. Posteriormente se mezcló de nuevo, se puso en moldes rápidamente, y finalmente se compactó para hacer especímenes de mortero de PET reciclado. Para las pruebas de compresión los especímenes fueron de 50 x 50 x 50mm. Los resultados indican que la proporción óptima de aglutinante (PET y ceniza volante) y agregados de ladrillo de arcilla es de 1:2, asimismo el espécimen curado a 180°C durante 2 horas tenía una mayor resistencia. La muestra con la proporción de mezcla y curado adecuados podría alcanzar 42.5 MPa (433.38 kg/cm<sup>2</sup>) y 12.6 MPa (128.48 kg/cm<sup>2</sup>) para la resistencia a la compresión y flexión, respectivamente.

Existen también empresas y personas dedicadas a la realización de elementos constructivos hechos con plásticos reciclados.

En Veracruz, México, se hizo el Eco-Block (ver Figura 3.8), como alternativa viable para edificar viviendas de bajos recursos a un bajo costo. Este material se ha desarrollado a partir del aprovechamiento de basura, desperdicios de materiales de PET, plástico, papel, cartón y todo tipo de desecho orgánico e inorgánico. El Eco-Block es una nueva forma de reciclaje de basura para generar un beneficio económico y social, su fabricación consiste en pasar los desechos por un procedimiento de trituración, a través de una máquina diseñada para fragmentar la basura sin necesidad de separarla. Una vez triturada se aplica agua a la mezcla de basura para después ser sometida a un proceso de compactación, finalmente se pone a secar al sol. De forma cualitativa se presenta que es más resistente a la compresión que los ladrillos de barro rojo y los tabiques de concreto, los costos de construcción se reducen hasta un 50%, no requiere cimbra, mortero ni castillos para su colocación, todo va ensamblado. Es resistente al fuego, no genera olores, es un material flexible y funciona como aislante acústico y térmico. En el 2011 se construyó la primera casa con Eco-Block y se comprobó que es posible que sean habitables, resistentes y tan durables como una vivienda normal dándoles el debido mantenimiento (Cruz, 2015).



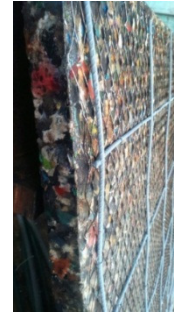
**Figura 3.8.** Eco-block (Cruz, 2015).

En Puebla, México existe una empresa llamada EcoDomum dedicada a construir viviendas durables y asequibles utilizando plástico reciclado (ver Figura 3.9a). Se emplea esta solución ambiental para abordar al mismo tiempo otro grave problema que se presenta en México, la pobreza extrema en la que vive gran cantidad de personas, alrededor del 10% de la población. Con este proyecto se ayuda al medio ambiente y se proporciona vivienda a los más necesitados. Para la realización de las casas la empresa recolecta todo tipo de plástico usado y lo separa de acuerdo a los tipos que se funden sin emitir humos dañinos. Posteriormente ponen el plástico en una máquina para cortarlo, a continuación, se funden las piezas en un horno que se calienta hasta 350°C. Finalmente, el líquido pasa a través de una prensa hidráulica, que simultáneamente lo comprime y cristaliza en forma de paneles (ver Figura 3.9b), los cuales son utilizados en paredes y techos. Cada panel mide casi 8 pies (2.44 m) de largo, 4 pies (1.22 m) de ancho y aproximadamente 1 pulgada (2.54 cm) de espesor. Las casas son de alrededor de 430-460 pies cuadrados (40-43 m<sup>2</sup>), las cuales se construyen en 7 días, utilizan 2 toneladas de plástico y contienen dos habitaciones, un baño, una sala de estar y una cocina. La construcción de una casa requiere 80 paneles, y en su capacidad actual, la planta de EcoDomum produce 120 paneles por día, transformando y reutilizando 5.5 toneladas de lo que alguna vez fue un desperdicio de plástico (Lane, 2016).





(a)



(b)

**Figura 3.9.** Sistema constructivo a partir de plástico reciclado (Lane, 2016); (a) Prototipo de vivienda y (b) Panel.

En Nueva York, Estados Unidos, existe una empresa dedicada a hacer bloques de plástico reciclado (ver Figura 3.10), para ser utilizados como elementos constructivos. El plástico es triturado y utilizando agua a altas temperaturas y compresión se crea el bloque como material de construcción alternativo. En la fabricación de los bloques no es necesario lavar el plástico y no necesita pegamentos o adhesivos. Según los fabricantes, este bloque produce 95% menos emisiones de gases de efecto invernadero comparado con el bloque de concreto y cuenta con alto aislamiento térmico y acústico. Actualmente se le están haciendo pruebas para conocer su resistencia a la compresión, a cortante, entre otras. Con este material de construcción alternativo, además de reducir la cantidad de plástico que va a dar a los vertederos y a los océanos, se pretende crear un elemento constructivo más económico que los existentes, para ayudar a la construcción de viviendas de personas de escasos recursos (ByFusion, 2016).



**Figura 3.10.** Bloque de plástico reciclado (ByFusion, 2016).

---

En Bogotá, Colombia, existe una empresa dedicada a realizar un sistema constructivo alternativo para viviendas temporales y permanentes, refugios, salones de clase, salones comunitarios y otras edificaciones a partir de residuos de plástico y caucho, generando impacto positivo en el ámbito ambiental, económico y social. Recuperan y otorgan valor agregado a materiales de difícil disposición final, quitando de vertederos e incineraciones miles de toneladas de dichos residuos, transformándolos en una solución de vivienda alternativa (ver Figura 3.11a). Al mismo tiempo mitigan el déficit cuantitativo de vivienda, mejorando la calidad de vida de comunidades vulnerables, incluyendo recicladoras, asociaciones, fundaciones y empresas responsables socialmente. Parte importante de su proceso es la economía circular, llevan a la realidad de manera sostenible, escalable y replicable la iniciativa. Los residuos plásticos que reciclan se funden e inyectan en un molde para producir bloques (ver Figura 3.11b) que funcionan como piezas de Lego® (elementos que se van ensamblando). Para la construcción de las viviendas no se requiere mano de obra especializada, toma 5 días para 4 personas ensamblar una casa de 40m<sup>2</sup>. Los materiales contienen aditivos (no especificados) que los hacen resistentes al fuego y debido a que la estructura es a base de plástico, resiste a los sismos. El material cuenta con un diseño estructural, tiene una durabilidad de 500 años, es impermeable y termoacústico (Conceptos plásticos, S.F.).



(a)



(b)

**Figura 3.11.** Sistema constructivo a partir de residuos de plástico y caucho (Conceptos plásticos, S.F.); (a) Vivienda y (b) Bloque.

En la Tabla 3.1 se pueden observar las características de algunos de los ejemplos antes mencionados de la utilización de plástico reciclado en la construcción, especialmente de PET, en la cual se muestran resistencias a la compresión, flexión y módulo de elasticidad, se verifica que no se cuenta con datos de la resistencia a la tensión en estos casos. Los ejemplos utilizan diferentes materiales para la elaboración de los elementos constructivos pero todos tienen en común la utilización de plástico reciclado. Se puede observar que la resistencia más alta (514.24 kg/cm<sup>2</sup>) la tiene el panel que utiliza polietileno de baja densidad (PEBD), PP y policloruro de vinilo (PVC) reciclados unidos con resina náutica y la menor (160.61 kg/cm<sup>2</sup>) es la del elemento que utiliza PET reciclado, arena, epoxi y resinas de poliéster no saturadas.

**Tabla 3.1**

*Características de ejemplos de utilización de plástico reciclado en la construcción*

Referencia	Materiales utilizados	Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Tensión (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Ávila & Duarte (2003)	PET y PEAD reciclados.	284.50	-	-	13,052.37
Reis & Carneiro (2012)	PET reciclado, arena, epoxi y resinas de poliéster no saturadas.	160.61	84.43	-	153,263.35
Gaggino (2012)	PEBD, PP y PVC reciclados, resina náutica, acelerador y catalizador.	514.24	123.49	-	86,286.33
Ge <i>et al.</i> (2013)	PET reciclado y arena.	364.04	73.32	-	-
Ge <i>et al.</i> (2015)	PET reciclado, ladrillo de arcilla reciclado y ceniza volante.	433.38	128.48	-	-

---

### 3.2.2 Características de los plásticos y procesos para su transformación

Las propiedades más relevantes que tienen los plásticos en general con respecto a otros materiales son: ligereza, elasticidad, resistencia a la fatiga, bajo coeficiente de fricción, aislamiento térmico, resistencia a la corrosión, bajo costo, fáciles de fabricar, absorben la vibración y el sonido, son reciclables y no necesitan lubricación. Sus desventajas son: baja resistencia a la temperatura, baja resistencia a los rayos UV, poca dureza superficial y resistencia a la abrasión, son inflamables, se expanden con el calor, son propensos a volverse quebradizos a bajas temperaturas, la mayoría no son biodegradables (Cornish, 1997).

Las densidades de los plásticos se encuentran entre 830 y 2500 kg/m<sup>3</sup>, aunque estas cifras pueden variar en algunos tipos. Asimismo, soportan grandes esfuerzos sin fractura y vuelven a su forma original y dimensiones cuando se les deja de aplicar la fuerza. Los plásticos no se calientan mucho ante la fricción, su conductividad térmica no es buena, son muy buenos para soportar a los ácidos débiles y soluciones acuosas saladas (Cornish, 1997). Para este proyecto se utilizarán específicamente el PET, PEAD y PP.

El PET es un poliéster termoplástico con un módulo de elasticidad a la tensión y a la flexión de alrededor de 2.9 GPa (29,571.77 kg/cm<sup>2</sup>) y 2.4 GPa (24,473.19 kg/cm<sup>2</sup>), respectivamente. Resistencia a la tensión de hasta 60 MPa (611.83 kg/cm<sup>2</sup>) y excelente resistencia química. Es un polímero semicristalino, con un punto de fusión de aproximadamente 260°C y una temperatura de transición vítrea que varía de 70 a 80°C. Su densidad es de alrededor de 1.3-1.4 g/cm<sup>3</sup> (Reis *et al.*, 2011).

El módulo de elasticidad del PEAD es de 1.08 GPa (11,012.94 kg/cm<sup>2</sup>), el del PP varía entre 1.14 GPa (11,624.76 kg/cm<sup>2</sup>) y 1.55 GPa (15,805.60 kg/cm<sup>2</sup>) (ATCP Ingeniería física, 2017). En la Tabla 3.2 se muestran algunas propiedades físicas, usos comunes y proceso de combustión de los plásticos utilizados en este estudio, PET, PEAD y PP.

En la Tabla 3.3 se muestran algunas propiedades térmicas y mecánicas de los plásticos utilizados en este proyecto, PET, PEAD y PP.

La temperatura de distorsión térmica indica a qué temperatura los materiales comienzan a ablandarse cuando se exponen a una carga fija a temperaturas elevadas. La norma ASTM D648 la define como la temperatura a la que una barra de muestra de dimensiones estándar (127 x 13 x 12 mm) se desvía en 0.25 mm (0.01 in) bajo una carga de flexión estándar centrada de 66 psi (Polymer Properties Database, 2015).

**Tabla 3.2***Algunas propiedades físicas, usos comunes y proceso de combustión del PET, PEAD y PP*

Tipo	Nombre	Propiedades	Usos comunes	Combustión
PET	Tereftalato de polietileno	Transparente, duro, resistente a los solventes, barrera al gas y a la humedad, se ablanda a 80°.	Botellas de agua, botellas de refresco y recipientes de comida.	Llama amarilla y poco humo.
PEAD	Polietileno de alta densidad	Duro a semi-flexible, resistente a los productos químicos y a la humedad, superficie de cera, se ablanda a los 75°.	Bolsas de compras, botellas de leche, botellas de jugo, envases de helado, champú y cajas.	Es difícil de quemar.
PP	Polipropileno	Duro pero flexible, con superficie de cera, es translúcido, resistente a los solventes, se ablanda a 140°.	Botellas, popotes, macetas, platos, muebles de jardín y contenedores de comida.	Llama con punta amarilla azul.

Fuente: Hakkens (2013).

**Tabla 3.3***Algunas propiedades térmicas y mecánicas del PET, PEAD y PP*

Plástico	Propiedades térmicas			Fuerza		Densidad g/cm <sup>3</sup>
	Tm °C	Tg °C	Td °C	Tensión kg/cm <sup>2</sup>	Compresión kg/cm <sup>2</sup>	
PET	245	73	21	492.15	773.38	1.29
	265	80	38	738.22	1054.61	1.40
PEAD	130		79	224.98	189.83	0.952
	137		91	316.38	253.11	0.965
PP	168	-20	107	316.38	386.69	0.900
	175		121	421.84	562.46	0.910

Tm - Temperatura de fusión cristalina (algunos plásticos no tienen cristalinidad y se dice que son amorfos).

Tg - Temperatura de transición vítrea (el plástico se vuelve quebradizo por debajo de esta temperatura).

Td - Temperatura de distorsión térmica bajo una carga de 66psi (4.64 kg/cm<sup>2</sup>).

Fuente: Hakkens (2013).

---

Para este proyecto se utilizarán dos procesos para el manejo de los plásticos, el proceso de inyección para la realización de las muestras y el de termoformado para la realización del prototipo de panel a escala.

El proceso de inyección es el método en el que un termoplástico es fundido y posteriormente en estado líquido se inyecta a alta presión a un molde cerrado hasta llenarlo completamente. El polímero se enfría en el interior del molde y se saca la pieza. Este proceso empieza cuando el plástico granulado o en polvo y en estado frío se pone en la tolva, de ahí se va al cilindro de calefacción, el material va pasando por un pistón, el cual actúa como un inyector y hace que el material fundido pase desde el cilindro de calefacción a las cavidades del molde, se enfría, se solidifica y puede sacarse la pieza (Cornish, 1997).

El proceso de termoformado es el método en el cual un termoplástico laminado se calienta hasta que se ablanda y se le da forma conformándolo a un molde. Se pone una lámina prensada en un marco, se reblandece por medio de calor y se obliga a la lámina a tomar la forma del molde (Cornish, 1997).

### 3.2.3 Conductividad y resistencia térmica

La conductividad térmica es el envío de energía en forma de calor a través de un cuerpo como consecuencia de un gradiente de temperatura, sus unidades son  $W/m \cdot K$  (Netzsch, S.F.).

La conductividad térmica a  $23^{\circ}C$  del PET es de  $0.15-0.40 W/m \cdot K$ , la del PEAD es de  $0.45-0.52 W/m \cdot K$  y la del PP es de  $0.10-0.22 W/m \cdot K$  (Goodfellow, 2018).

Debido a que la conductividad térmica de los plásticos no es buena, es posible utilizar el prototipo de panel con PET mezclado con PEAD y PP reciclados para muros divisorios de vivienda como aislante térmico.

La resistencia térmica es la capacidad de un material de oponerse al flujo del calor. Para los materiales homogéneos es la razón entre el grosor del material y su conductividad térmica, en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductividad térmica (Construmática, S.F.).

De acuerdo a la conductividad térmica de los plásticos, se calculó su resistencia térmica para un panel de  $1/2''$  de espesor, dividiendo el espesor entre la conductividad térmica, dando como resultado: PET- $0.03-0.08 K \cdot m^2/W$ , PEAD- $0.02-0.03 K \cdot m^2/W$  y PP- $0.06-0.13 K \cdot m^2/W$ .

---

En este capítulo se muestran diversos casos en los que los elementos constructivos presentan aislamiento térmico, esto debido a las propiedades de los plásticos y a la combinación con otros elementos. ByFusion (2016) menciona que los bloques de plástico reciclado que fabrican cuentan con alto aislamiento térmico, asimismo de acuerdo a Cruz (2015) los bloques que elaboran a partir del aprovechamiento de basura, incluyendo plástico, también funcionan como aislante térmico. A su vez Gaggino (2008) afirma que se fabricaron elementos constructivos utilizando materiales plásticos reciclados, los cuales cuentan con buena aislación térmica.

#### 3.2.4 Inflamabilidad

De acuerdo a Silva-Santos (2017) inflamabilidad es la tendencia de un material a encenderse y arder con una llama creando una situación de riesgo de incendio.

Debido a que los plásticos son materiales inflamables, para la elaboración del prototipo de panel con PET reciclado es necesario utilizar un retardante de llama con el fin de disminuir la expansión del fuego en caso de incendio.

De acuerdo a Chemical SafetyFacts.org (2018) los retardantes de llama hacen referencia a distintas sustancias químicas que se agregan a los materiales combustibles para impedir incendios o minimizar la propagación del fuego. Los retardantes de llama que se usan en edificios y materiales de construcción en hogares, oficinas y edificios públicos, como escuelas y hospitales, ofrecen protección contra incendios.

Los retardantes al fuego son compuestos sólidos, líquidos o gaseosos que tienden a inhibir la combustión cuando se aplican, se pueden mezclar, combinar o aplicar sobre materiales combustibles. La evaluación de la resistencia al fuego se basa en el tiempo (minutos u horas) que el material resiste la exposición al incendio. Existen 4 métodos de aplicación de tratamientos de retardantes: cambio químico el cual se emplea en plásticos y otras fibras sintéticas, impregnación el cual se refiere a la técnica de tratamiento para materiales absorbentes, impregnación bajo presión el cual se utiliza para el tratamiento de materiales no absorbentes y pinturas las cuales inhiben la propagación de llamas, generando una superficie no combustible (González, 2009).

---

Existe un retardante de llama ecológico para plásticos llamado retardante de llama libre de halógeno, el cual no es nocivo para la salud y en su aplicación se forma menos humo en caso de fuego, con lo que se protege a las personas y al medio ambiente (Budenheim, S.F.).

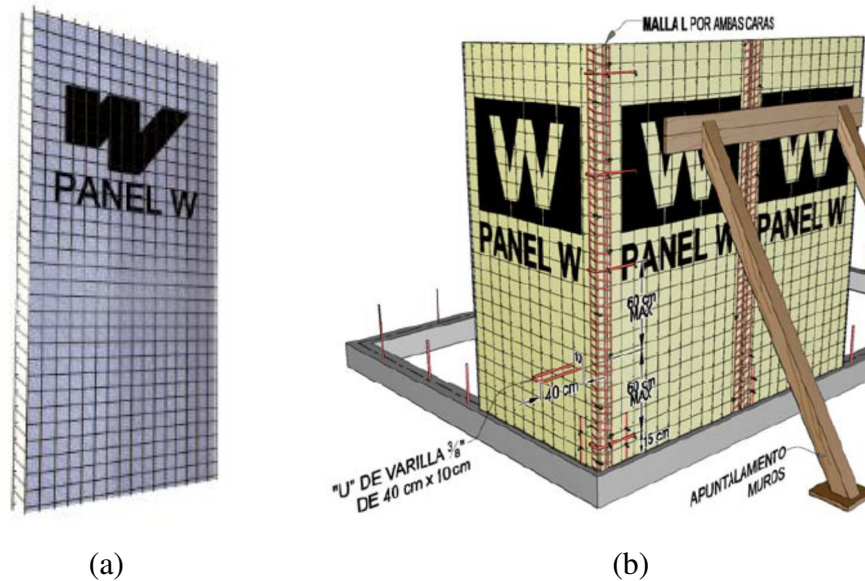
### 3.2.5 Sistemas constructivos basados en paneles

Actualmente podemos encontrar distintos sistemas constructivos basados en paneles, como Panel W<sup>®</sup>, Tablaroca<sup>®</sup>, Panel Rey<sup>®</sup> y Durock<sup>®</sup>.

El Panel W<sup>®</sup> es un sistema constructivo simple basado en paneles estructurales de alambre de acero con núcleo de espuma aislante (ver Figura 3.12a) que se recubren en la obra con concreto lanzado. Para construir con Panel W<sup>®</sup> se colocan los paneles de muro sobre la cimentación y se anclan a ella con varillas, después se unen todos los paneles entre sí con tiras de malla de unión. Se recortan los paneles para crear los vanos de puertas y ventanas. Los ductos y accesorios de instalaciones se ponen dentro de los paneles. Las mallas de refuerzo se ponen en todos los cortes. Se colocan los refuerzos de varilla necesarios. Por último, los muros se recubren con concreto lanzado o mortero hasta tener el espesor deseado. En la Figura 3.12b se muestra un detalle constructivo de colocación de muros. Las dimensiones estándar de los paneles son 1.22 m de ancho y 2.44 m de altura con espesores de 2", 3" o 4" (Panel W<sup>®</sup>, 2016).

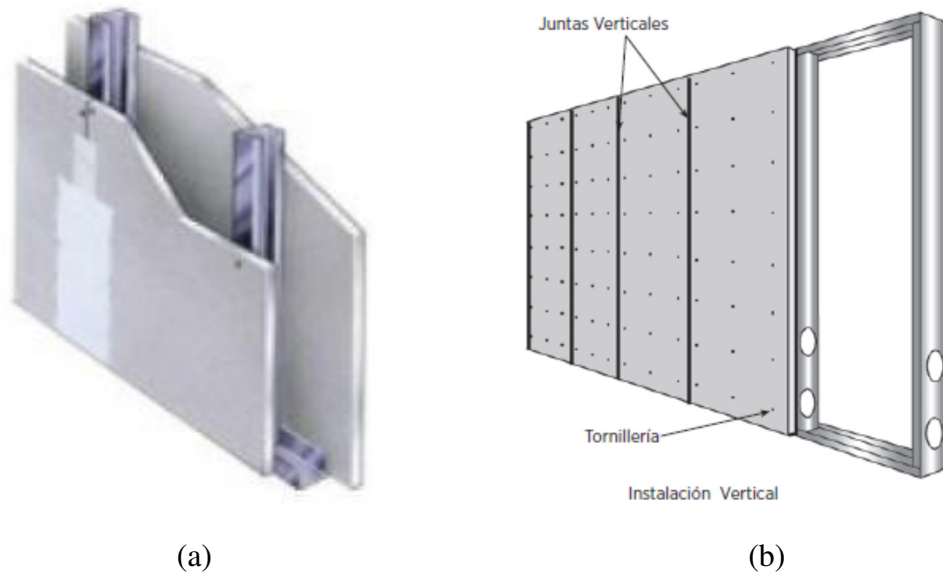
Las construcciones de Panel W<sup>®</sup> son de concreto reforzado, su resistencia se debe al trabajo de los alambres de acero del panel y del concreto puesto en la obra. El análisis y diseño estructural de las construcciones creadas con Panel W<sup>®</sup> puede realizarse siguiendo los mismos principios y procedimientos de las estructuras de concreto reforzado convencionales, pero considerando la geometría particular y las otras características del panel y del concreto colocado. Deben seguirse las normas y recomendaciones de los reglamentos de construcción del lugar y de organismos como el American Concrete Institute. Los muros hechos con Panel W<sup>®</sup> soportan más de 14 toneladas de carga axial por metro lineal, la capacidad de carga de un muro depende especialmente del espesor del elemento terminado, la calidad del concreto o mortero, del tipo de panel y su altura (Panel W<sup>®</sup>, S.F.a). Se recomienda para recubrimientos la utilización de concreto con resistencia  $f'c$  100 kg/cm<sup>2</sup> (Panel W<sup>®</sup>, S.F.b). Para el panel divisorio de 2" la densidad de las barras poligonales de poliestireno expandido es de 7 a 9 kg/m<sup>3</sup> y la conductividad térmica es de 0.0442 W/mK (Panel W<sup>®</sup>, S.F.c).





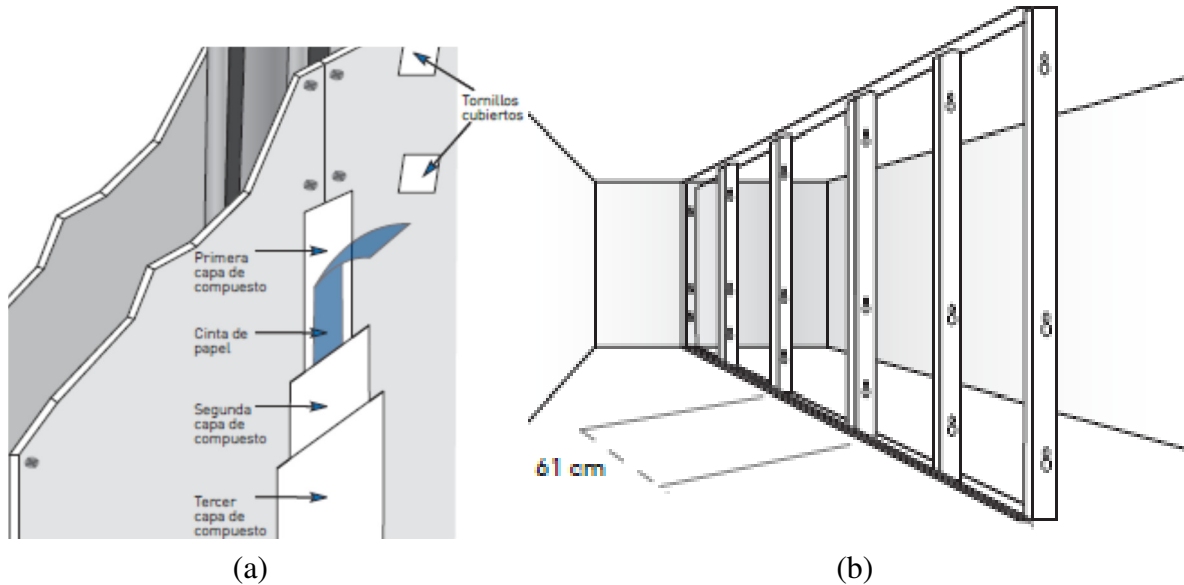
**Figura 3.12.** Panel W<sup>®</sup>; a) Tablero (Panel W<sup>®</sup>, 2016) y b) Detalle constructivo de colocación de muros (Panel W<sup>®</sup>, S.F.b).

La Tablaroca<sup>®</sup> es un sándwich de yeso entre dos capas de papel cartón reciclado, de 1.22 m de ancho, con alturas de 2.44 m, 3.05 m o 3.66 m y espesores de 3/8", 1/2", 5/8" o hasta 1". Para la instalación se coloca un canal de amarre sujetado al piso con anclajes a cada 61cm, después se coloca el canal de amarre superior el cual se sujeta al techo también con anclajes a la misma distancia. Se colocan los postes entre los canales a una distancia de 61cm máximo entre ellos a centros y se abren los vanos de puertas y ventanas, se pone refuerzo para el canal de amarre cortado para el cerramiento. Se atornillan los postes y canales que recibirán el marco de la puerta con tornillos. Para las instalaciones se colocan refuerzos metálicos. Posteriormente se forra el bastidor por una cara, con el tablero de yeso Tablaroca<sup>®</sup> (ver Figuras 3.13a y b), los tableros se fijan por medio de tornillos a cada 30.5 cm. Se colocan las instalaciones y después se forra la otra cara del bastidor. Se aplica un compuesto para las juntas entre placas, por último, se le ponen los acabados. La densidad del tablero de yeso regular de espesor de 1/2" es de 690.2 kg/m<sup>3</sup> y su resistencia térmica es de 0.08 K·m<sup>2</sup>/W (Piesa, 2015). La conductividad térmica del panel de yeso núcleo regular de 1/2" es de 0.1445 W/mK (USG, 2014).



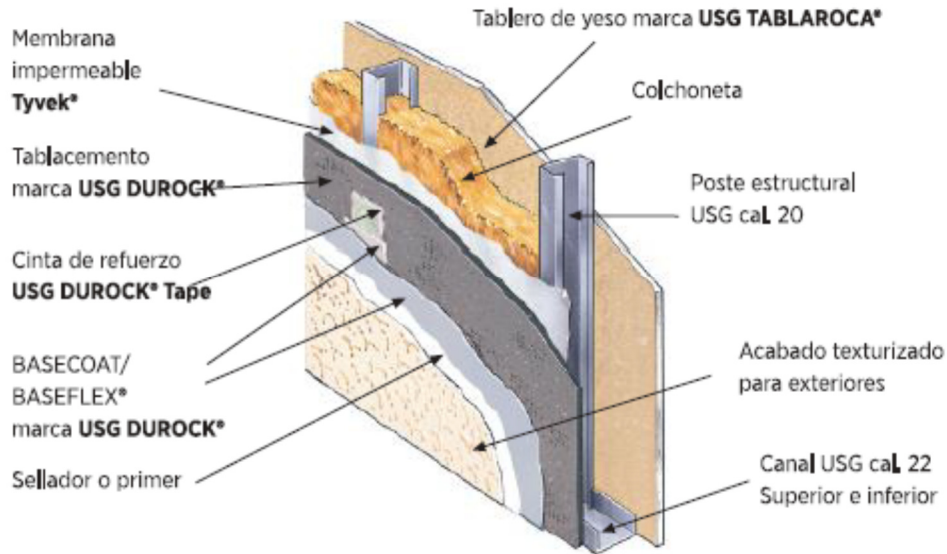
**Figura 3.13.** Detalle Tablaroca®; a) Sistema de muros divisorios (Piesa, 2015) y b) Armado de canales y postes metálicos (USG Tablaroca®, 2016).

El panel de yeso regular de Panel Rey® (ver Figura 3.14a) consta de un núcleo incombustible hecho principalmente de yeso cubierto por ambos lados con papel 100% reciclado. Se utiliza para cubrir y proteger muros y cielos de obras de construcción nuevas o en trabajos de remodelación. El ancho de los paneles es de 1.22 m, sus alturas son de 2.44 m - 3.66 m y sus espesores son de 1/4", 3/8", 1/2" y 5/8". La densidad del panel de yeso regular de espesor de 1/2" es de 607.03 kg/m<sup>3</sup>, su conductividad térmica es de 0.0952 W/m·K y su resistencia térmica es de 0.1306 K·m<sup>2</sup>/W. (Panel Rey®, 2018). Para su instalación se fijan los canales de amarre superior e inferior, anclándolos con tornillos, posteriormente se colocan postes metálicos (ver Figura 3.14b), después se ponen las instalaciones y el panel de yeso, se aplica el compuesto para juntas y finalmente los acabados (Panel Rey®, S.F.).



**Figura 3.14.** Detalle Panel Rey® (Panel Rey®, S.F.); a) Sistema de muros divisorios y b) Colocación de postes metálicos

El tablamiento Durock® es un sistema constructivo (ver Figura 3.15) para solucionar elementos exteriores no estructurales como fachadas, faldones, volúmenes decorativos, arcadas, cielos, etc. Se puede utilizar en áreas en contacto con el agua, en interiores o exteriores, no presenta deterioro y no se desintegra. Está hecho de cemento Portland, laminado con 2 mallas de fibra de vidrio polimerizada. Es rectangular y mide 1.22 x 2.44 m y espesor de 1/2". Su peso aproximado es de 13.25 kg/m<sup>2</sup> y su resistencia a la flexión es de 52.7 kg/cm<sup>2</sup>. Los sistemas para muros exteriores se forman con bastidores estructurales armados con canales de amarre y postes estructurales, su selección depende de la localización del edificio, el sistema de anclaje de los canales de amarre se determinará de acuerdo al tipo de estructura a la que se fijará, los postes se insertan en los canales a plomo, la distancia máxima entre ellos es de 40.6 cm a centros y se sujetan a los canales inferior y superior con tornillos (USG Durock®, 2016). La densidad del tablero para sistema exterior e interior Durock® de 1/2" de espesor es de 961.34 kg/m<sup>3</sup>, su conductividad térmica es de 0.1017 W/m·K y su resistencia térmica es de 0.1249 K·m<sup>2</sup>/W (USG, S.F.).



**Figura 3.15.** Sistema constructivo USG Durock® (USG Durock®, 2016).

Debido a la falta de información acerca de la resistencia a la compresión de los distintos sistemas constructivos basados en paneles se documentó dicha resistencia de paneles genéricos o de los materiales que los forman, con el objetivo de hacer una comparación con el prototipo de panel con PET reciclado estudiado en este proyecto.

De acuerdo a Gypsum Association (2010) la resistencia a la compresión última de un tablero de yeso a 21°C y con 50% de humedad relativa utilizando muestras de 50 x 50 mm o 100 x 100 mm con espesor de 5/16", 1/2" y 5/8" es de 2750 kPa (28.04 kg/cm<sup>2</sup>), 2400 kPa (24.47 kg/cm<sup>2</sup>) y 2750 kPa (28.04 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente.

La resistencia a la compresión del poliestireno expandido es de 60 kPa (0.61 kg/cm<sup>2</sup>) (Solís, 2005).

El mortero es un cemento Portland mezclado con materiales inertes finamente molidos, se compone de cemento, agua y arena. Su resistencia a la compresión es de 7.8 N/mm<sup>2</sup> (79.54 kg/cm<sup>2</sup>) (Cemex, S.F.).

### 3.3 Referencias conceptuales del tema

Dos de los problemas más grandes de la humanidad son la acumulación de los residuos sólidos y basura que trae como consecuencia problemas ambientales y la carencia de vivienda (Ruiz *et al.*, 2012).

---

De acuerdo con Alencastro (2009), en la búsqueda diaria de las personas de satisfacer sus necesidades, las cuales están en constante aumento, adquieren recursos de la naturaleza y los transforman en productos para su utilización, los cuales en su mayoría no se reintegran en el proceso generando un material de desecho llamado residuo. La forma de vida actual ha hecho que la sociedad adopte patrones de consumo en los que todo es desechable, una vez que los productos cumplen un ciclo determinado en manos de los consumidores, de manera rápida pasan a formar parte de las excesivas cantidades de residuos que afectan el aire, agua y suelo. Ojeda & Cruz (2013) afirman que el avance de la tecnología está representando un costo ambiental muy elevado para la sociedad y la naturaleza. La naturaleza está llegando al límite de su capacidad de suministro de recursos renovables y de absorber los desechos como consecuencia del consumo de la sociedad. Asimismo, Brown (2011) menciona que estamos acabando con los recursos naturales del planeta para satisfacer nuestro consumo.

Cada día las necesidades de los sectores de la sociedad más privilegiados son mayores, las cuales solo llevan al exceso de consumo y por ende a la elevada producción de residuos, afectando a los ecosistemas. De acuerdo a Bernache (2006), el estudio de los residuos sólidos es importante debido a que sólo conociendo a fondo un problema es posible controlarlo, manejarlo o resolverlo.

Boff (2013) afirma que no es correcto que, al obtener los medios para nuestra subsistencia, destruyamos el equilibrio de la naturaleza, tampoco es correcto que ciertas sociedades vivan a costa de otras ni que las generaciones actuales les quiten a las generaciones futuras los medios para que vivan de una forma decente. La sostenibilidad debe atender a la naturaleza y a la vida humana en conjunto.

En materia de desarrollo sustentable, México enfrenta un gran reto, incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social. El término sustentabilidad se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos, de manera que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las futuras generaciones (PROMÉXICO, 2014).

Leff (1998) asegura que el concepto de sustentabilidad surge de reconocer que la naturaleza es el soporte de nuestro actual proceso de producción y que la crisis ambiental vino a cuestionar los modos que han impulsado el crecimiento económico, negando a la naturaleza.

---

Según Vargas (2002), el concepto de sustentabilidad surge de la preocupación por satisfacer las necesidades humanas con el fin de mejorar el bienestar, tomando en consideración una equidad entre las generaciones, en función de la magnitud y composición de recursos que deja una generación a la siguiente.

De acuerdo a Deffis (1994), debido a la concentración de la población y al aumento de residuos, diariamente es más inconveniente, difícil y costoso arrojar los residuos en tiraderos al aire libre, por lo tanto, es necesario pensar en otras posibilidades, como el aprovechamiento mediante recuperación y transformación. Menciona que la forma actual de eliminar los residuos sólidos en tiraderos debe ser calificada como despilfarro, ya que los residuos sólidos urbanos, industriales, y agrícolas por su cantidad y composición, deben ser considerados como recursos estratégicos. En un futuro cercano, la humanidad podría tener una grave crisis de materias primas, minerales y energéticos.

De acuerdo con Alfie Cohen (2005) de no cambiar las tendencias actuales, la situación de alto riesgo se va a presentar en algunos años. Es por esto que debemos pensar en nuevas alternativas para la disposición de nuestros residuos.

Es necesario incentivar el reciclaje, el cual contribuye a reducir el impacto ambiental de la disposición de los desechos sólidos, disminuyendo malos olores, emisiones a la atmósfera y producción de lixiviados, además ayuda a preservar recursos minerales, petroleros y forestales y a conservar agua y energía. El término reciclar significa separar o extraer materiales del flujo de desechos, acondicionarlos para su comercialización y usarlos como materia prima en sustitución de materiales vírgenes, con el fin de crear nuevos productos y utilizarlos hasta que se vuelvan desechos y puedan ser reciclados nuevamente (SEDESOL, 1993).

Bernache (2006) menciona que el objetivo de la gestión integral de residuos es crear una educación ambiental dirigida a impulsar un manejo distinto de los residuos para que sean separados desde la fuente que los genera.

Mansour & Ali (2015) afirman que la gestión de los residuos plantea un reto para el desarrollo urbano sostenible, donde existe una creciente aprobación de que los residuos deben considerarse un recurso valioso.

Boff (2013) nos invita a no consumir más de lo que el ecosistema puede resistir, a evitar la producción excesiva de residuos y a reutilizar y reciclar todo lo que usemos.

---

En cuanto al proceso de reciclaje es necesario tomar en cuenta sus costos ambientales, los cuales se componen de dos elementos, las externalidades de la recolección, separación y transporte de los desechos que serán reciclados y las externalidades resultantes del proceso de reciclaje (González, 2001).

De acuerdo a Yazoghli *et al.* (2007) la gran cantidad de botellas desechables que se producen en la actualidad hace que sea necesario identificar procedimientos alternativos para el reciclaje, como su utilización en la construcción.

Cornish (1997) menciona que, aunque el plástico es un material con diversas posibilidades y ventajas, es muy dañino para el medio ambiente, por lo que es necesario utilizarlo lo menos posible y tener siempre en cuenta el reciclaje.

Existen actualmente diferentes empresas dedicadas al reciclaje de plástico. Ecoce<sup>®</sup> (2017) es una asociación civil ambiental, creada y auspiciada por la industria de bebidas y alimentos. Tienen un sistema voluntario y pro-activo, que recupera los residuos de PET para su valorización y reciclaje, en México o el extranjero, con lo que se favorece el acopio de los mismos disminuyendo la cantidad de estos que llegan a disposición final. De acuerdo a Takahashi (2017) PetStar<sup>®</sup>, compañía instalada en el Estado de México, es la recicladora más importante a escala global por el volumen que recupera. The Plastics Exchange (2017) es un mercado en tiempo real, en el cual puedes conocer la manera en la que va cambiando el precio de diferentes tipos de plástico.

Uno de los materiales plásticos que podemos encontrar con más frecuencia en los residuos domésticos es el PET, el cual es un termoplástico semicristalino que posee una amplia variedad de aplicaciones, como la manufactura de fibras, películas fotográficas, contenedores de cosméticos, detergentes y, principalmente, botellas desechables de bebidas (Ortiz *et al.*, 2012).

Al-Tulaian *et al.* (2016) señalan que el PET puede causar problemas ambientales y económicos si no se desecha adecuadamente. Dado que el costo de la eliminación de desechos sólidos está aumentando y las áreas de vertederos están disminuyendo significativamente, el reciclaje sería la mejor opción para transformar los desechos en productos útiles.

Por otro lado, nos enfrentamos a la carencia de vivienda de personas de escasos recursos las cuales no tienen acceso a un techo digno y no cuentan con apoyos gubernamentales para la

---

vivienda. González (1985) señala que la falta o escasez de vivienda apareció con el acelerado proceso de urbanización y crecimiento demográfico que han experimentado las ciudades mexicanas y en general las ciudades de los países en vías de desarrollo, particularmente en este siglo.

De acuerdo a Hastings (2011) la oferta está enfocada en satisfacer la necesidad de techo para las personas que reciben de tres a cinco veces el salario mínimo, dejando a las más necesitadas fuera de los programas sociales de vivienda. Como resultado, este segmento de la población tiene que recurrir al único medio posible, la autoconstrucción de sus viviendas, es decir, la acción propia para la satisfacción de techo sin apoyo oficial.

La autoconstrucción se ha vuelto común entre personas que no tienen acceso a una vivienda, la mayoría de las ocasiones, este proceso se hace sin normas de seguridad y poniendo en riesgo a las personas. Es necesario apoyar la autoconstrucción siguiendo las normas de seguridad obligatorias durante el proceso de construcción y a lo largo la vida útil de la vivienda.

Gaggino (2008) hace referencia a la autoconstrucción, afirmando que es posible que un grupo organizado de personas sin conocimientos previos sobre construcción, con la supervisión técnica necesaria y una mínima infraestructura, apliquen una tecnología simple y económica con plásticos reciclados, con el fin de mejorar la situación habitacional en la que se encuentran.

Es indispensable crear conciencia y dar soluciones a problemas sociales y ambientales, ya que actualmente se ha considerado que sólo se puede acceder al progreso a través de un acelerado crecimiento industrial y avance tecnológico, aunque éste sea inconsciente en la explotación de los recursos físicos y humanos, y no favorezca equitativamente a todos los sectores de la sociedad (Sánchez & Serrano, 2009).

### 3.4 Resumen

En el presente capítulo se realizó el marco contextual y marco conceptual del trabajo de investigación, mostrando la revisión documental del proyecto, incluyendo los antecedentes empíricos del tema, así como las referencias conceptuales.

En los antecedentes empíricos, se abordaron ejemplos de distintas maneras de utilización de plástico reciclado en la construcción, principalmente del PET, así como su mezcla con otros



---

plásticos o materiales. Se mencionaron los siguientes ejemplos: 1) Elementos constructivos utilizando resinas de poliéster no saturadas hechas con residuos de PET reciclado; 2) Paneles utilizando plásticos reciclados mezclados con resina de poliéster; 3) Elementos constructivos utilizando fibras de plásticos, especialmente de PET como refuerzo en el concreto así como remplazo de agregados en mezclas de cemento; 4) Elementos constructivos hechos con PET reciclado triturado, calentado y mezclado con agregados y 5) Empresas y personas dedicadas a la realización de elementos constructivos hechos con plásticos reciclados.

Se presentaron también las características generales de los plásticos utilizados a lo largo del proyecto (PET, PEAD y PP) y los procesos para su transformación, asimismo se mostraron datos sobre su conductividad térmica, resistencia térmica e inflamabilidad. Se presentó la descripción de sistemas constructivos basados en paneles, como Panel W<sup>®</sup>, Tablaroca<sup>®</sup>, Panel Rey<sup>®</sup> y Durock<sup>®</sup>.

En las referencias conceptuales del trabajo se investigó acerca de la problemática de los residuos que existe actualmente en México y la importancia del reciclaje, por otro lado, se abordó el tema de la carencia de vivienda de personas de escasos recursos y la autoconstrucción habitacional en general.

---

**Capítulo 4.**  
**Pruebas experimentales iniciales**

---

## Capítulo 4. Pruebas experimentales iniciales

### 4.1 Introducción

Este Capítulo presenta una investigación sobre las características precisas para el manejo y uso del PET reciclado, punto de fusión, propiedades físicas, posibles alianzas con otros materiales e identificación de maquinaria requerida para el proceso de reciclaje. Se pretende utilizar toda esta información para la realización de muestras que serán sometidas a diferentes pruebas para conocer sus características físicas y mecánicas y posteriormente de un prototipo de panel a escala.

Se realizaron observaciones para identificar y conocer las diferentes máquinas para el manejo de plásticos con las que cuenta la Universidad ITESO en sus laboratorios.

Se investigó la posibilidad de utilizar para este proyecto el PET de desecho generado en el ITESO, proveniente de botellas de bebidas. Así como la realización de consultas costo-beneficio para investigar en recicladoras de la región el costo por kg de PET triturado.

Posteriormente se documentaron diferentes lugares de comercialización de resinas sintéticas y naturales, con el fin de conocer los tipos y costos.

Al mismo tiempo, se analizó con un experto en diseño industrial enfocado en la realización de prototipos una posible manera de fabricación panel.

Se registró en los laboratorios de la Universidad ITESO y de otras universidades, sus experiencias en fundido de plásticos, los moldes utilizados, el proceso necesario para la fundición de muestras en el horno y los aparatos para la compresión de las muestras. Se hicieron experimentos fundiendo el PET con el fin de conocer su comportamiento.

Se visitó una planta recicladora de plásticos, asimismo, se conversó con un experto en el reciclaje de plásticos sus experiencias y conocimientos acerca del tema, con el fin de obtener información y conocer la forma en que se comporta el PET.

### 4.2 Identificación exploratoria de las características del PET para el manejo y uso como material reciclado

Se desarrollaron observaciones para identificar y conocer las diferentes máquinas para el manejo de plásticos con las que cuenta la Universidad ITESO en sus laboratorios y talleres, con el fin de identificar los equipos que se pueden utilizar para la realización de los

especímenes. Las principales máquinas con las que se cuenta son: trituradora (ver Figura 4.1a), inyectora (ver Figura 4.1b) y termoformadora (ver Figura 4.1c).

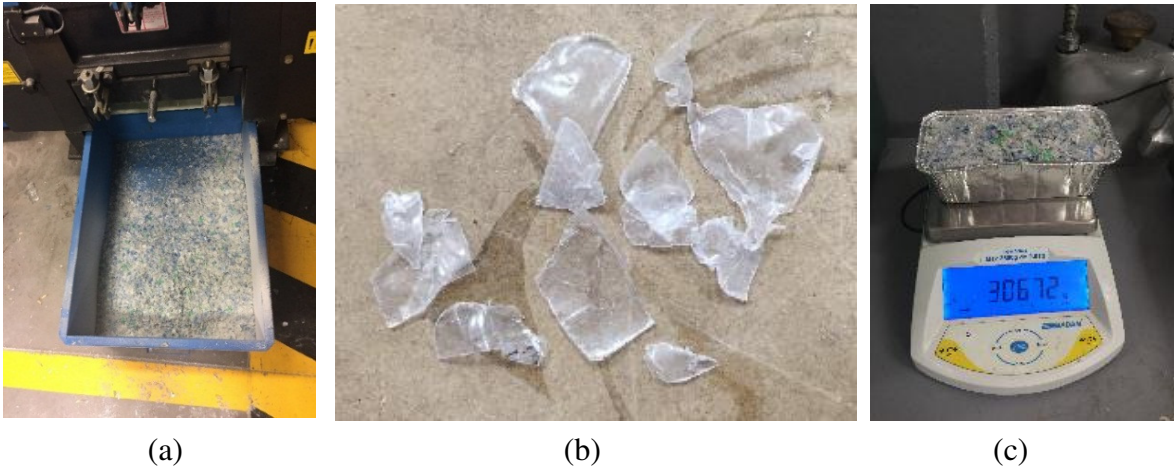


**Figura 4.1.** Máquinas para el manejo de plásticos; (a) Trituradora de plásticos; (b) Inyectora de plásticos y (c) Termoformadora de plásticos.

Se corroboró en los Talleres de Innovación para el Diseño (TID) de la Universidad ITESO, la posibilidad de fragmentar el PET reciclado en la máquina trituradora de plásticos (ver Figura 4.2a). Se tomaron muestras del PET triturado fino, proveniente de botellas de bebidas principalmente de agua y refresco, previamente lavado y sin etiqueta. A pesar de que el PET fue lavado previamente, las partículas tienen polvo debido al proceso de triturado. En la Figura 4.2b se muestran las partículas generadas, las cuales no son uniformes, en un molde de aluminio de 19 x 8.5 x 6.5 cm y con un peso de 12.87 g, es posible poner 293.85 g de PET triturado (ver Figura 4.2c).

Posteriormente, se contactó a personal de servicios generales de la Universidad ITESO y se investigó que es posible utilizar de forma gratuita para este proyecto el PET de desecho generado en la Universidad, proveniente de botellas de bebidas. En total se producen 548 kg de PET al semestre.

Se realizaron consultas costo-beneficio investigando en recicladoras el costo por kg de PET triturado. Se encontró que el costo aproximado por kg de PET triturado en una recicladora ubicada en la Colonia La Alameda en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco es de MXN\$16, la cantidad mínima de venta es de 12 toneladas.



**Figura 4.2.** Proceso de fragmentación del PET; (a) PET triturado en máquina; (b) Partículas generadas y (c) Pesado del material.

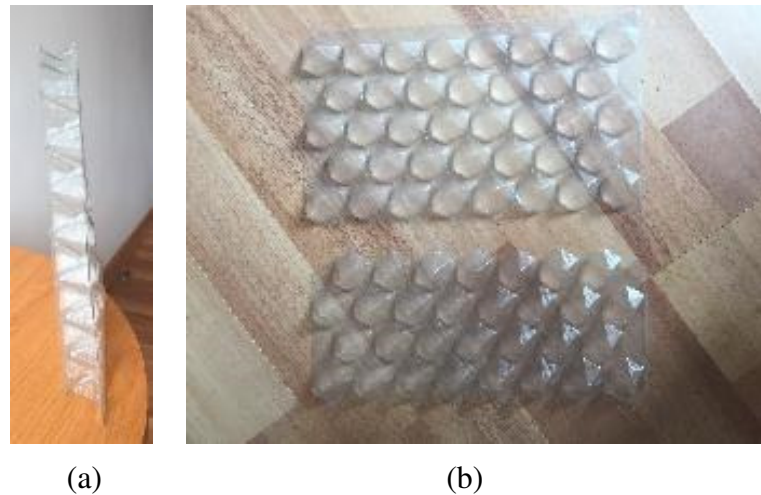
Se documentó en empresas de comercialización de resinas sintéticas y naturales, los tipos y costos de sus productos. En la Zona Metropolitana de Guadalajara las principales distribuidoras de productos químicos manejan los siguientes productos: resina poliéster, resina pre-acelerada, resina de pino, brea de pino, resina para gel y sellador marino, su uso recomendado no es para plásticos, su comercialización es para uso en fibras de vidrio u otros materiales y la mayoría no son naturales. Los precios de estos productos van desde MXN\$40 hasta MXN\$984 el kg, el precio promedio es de MXN\$320 el kg.

Al mismo tiempo en que se buscaba la forma de hacer los especímenes para las pruebas de compresión uniaxial, se analizó con un experto en diseño industrial enfocado en la realización de prototipos una posible manera de fabricación del panel. Se puede hacer por medio de termoformado en un molde de madera y una lámina de PET reciclado calibre 30 o 40. Se hizo como ejemplo un panel a escala con PVC, en la Figura 4.3a se muestra la elevación con las dos partes que lo conforman y en la Figura 4.3b se pueden observar los dos elementos separados.

Se registró en los laboratorios de la Universidad ITESO, del área de ingeniería química con el responsable del manejo de los hornos, la posibilidad de utilizar un molde de aluminio o de pan de silicón para hacer la primera prueba, sin embargo, en estos laboratorios no se tiene experiencia en fundido de plásticos. Primero hay que hacer experimentos para identificar el punto de fusión capilar, antes de fundir se debe secar el PET para eliminar la humedad. El

---

proceso de curado de los especímenes se puede llevar a cabo en el laboratorio y se necesita aproximadamente 1 kg de PET triturado por cubo de 10 cm.



**Figura 4.3.** Posible manera de hacer el prototipo de panel; (a) Elevación con las dos partes y (b) Elementos separados.

Se conversó con uno de los responsables de los laboratorios de ingeniería civil, sobre los diferentes moldes con los que se cuenta para la realización de las pruebas. Existe un molde cilíndrico de 15 cm de diámetro por 18 cm de altura, también es posible utilizar los cubos de 5 cm, es un paquete de 3, con bisagras para desmoldar, como desmoldante es viable utilizar aceite quemado. Es posible utilizar el horno para fundir el PET y las pruebas de compresión uniaxial de los especímenes se pueden realizar con la prensa universal del laboratorio (ver Figura 4.4), la cual cuenta con una capacidad de hasta 100 toneladas o 980.67 kN.

Se investigó con uno de los responsables de los laboratorios de ingeniería mecánica los procesos para inyección y creación de moldes para hacer figuras de plástico. Cuentan con máquina de inyección de plástico, el molde más grande es de 4 x 3.5 x 3 cm. De acuerdo a la norma ASTM C109, el tamaño mínimo de los especímenes para las pruebas de compresión uniaxial debe ser de 5 x 5 x 5 cm. De acuerdo al responsable de las máquinas de inyección si se derrite el plástico sin compactar no queda con la forma del molde. Es posible utilizar resina pre-acelerada, pero el producto es costoso, MXN\$800 el kg, para los cubos de 5 cm se necesitarían aproximadamente 250 g de resina.



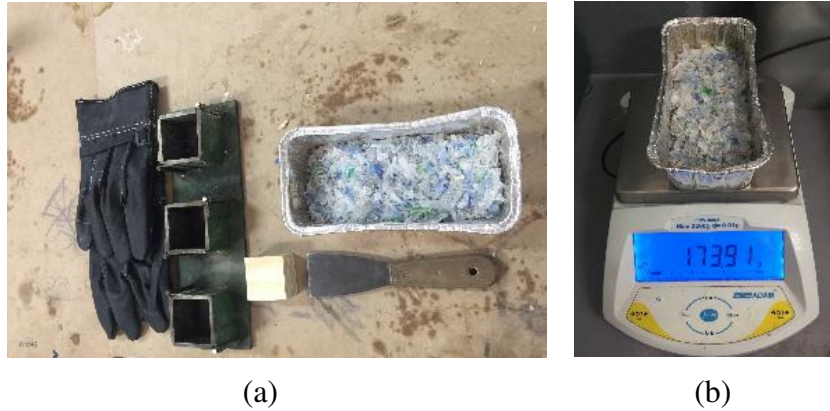
**Figura 4.4.** Prensa universal con capacidad de 100 toneladas.

Se registró con personal de los TID la posibilidad de utilizar PET triturado en la máquina de inyección, aunque es viable, se necesita un molde para hacer los cubos de 5 cm, su costo está entre MXN\$5000 y MXN\$7000.

Se investigó en el laboratorio de estufas del ITESO la posibilidad de fundir el PET triturado para los especímenes, se obtuvo información de su temperatura máxima, las cuales no alcanzan los 260°C que requiere el PET para fundirse.

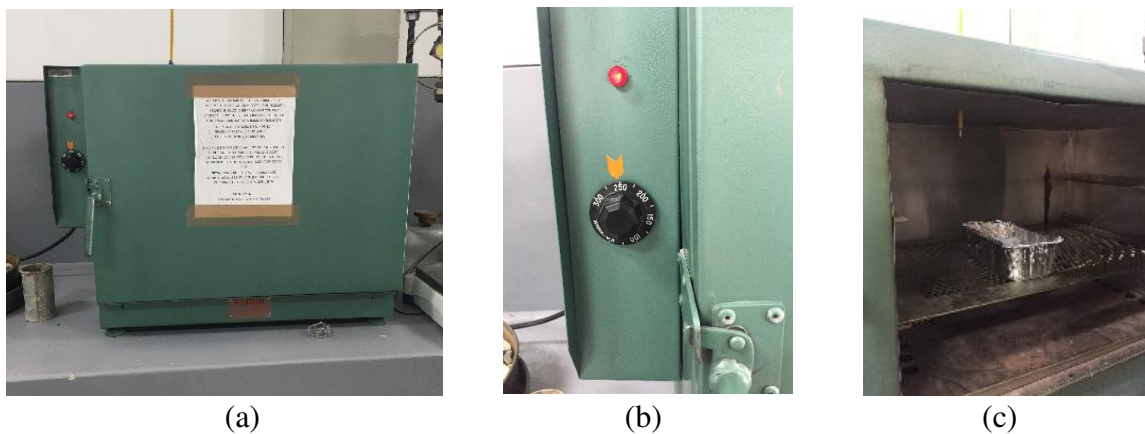
Se obtuvieron bloques de madera en la carpintería del ITESO de 5 x 5 x 1.5 cm para comprimir el PET fundido.

Se hizo en el laboratorio de ingeniería civil del ITESO un primer experimento para fundir el PET previamente triturado. Se utilizaron diferentes materiales para hacer las pruebas, guantes, los moldes de metal de 5 x 5 x 5 cm, los bloques de madera para comprimir, una espátula y el PET triturado en un molde de aluminio (ver Figura 4.5a). Se colocaron 161.04 g de PET en un recipiente de aluminio de 19 x 8.5 x 6.5 cm y con un peso de 12.87 g (ver Figura 4.5b) en el horno a una temperatura inicial de 100°C, hasta alcanzar una temperatura de 260°C. La muestra estuvo en el horno durante 1h27min. El PET no se derritió, esto debido a que para revisar la muestra se tuvo que abrir el horno cada 15 minutos, por lo tanto, la temperatura bajaba y no se llegó al tiempo necesario en 260°C para que se lograra fundir, solamente se endureció un poco y el color se hizo opaco. El peso final del PET fue 157.69 g, la disminución en el peso se da debido a la humedad que guarda el PET.



**Figura 4.5.** Material y equipo necesario para prueba de fundido; (a) Guantes, moldes, tablas de madera para comprimir, espátula y PET triturado en molde de aluminio y (b) Peso del PET triturado antes de fundirse.

En la Figura 4.6a podemos observar el horno de los laboratorios de ingeniería civil en el que se hicieron las pruebas, En la Figura 4.6b se muestra la temperatura deseada a la que llegó a calentarse el horno, a la cual se funde el PET, 260°C y en la Figura 4.6c se observa el recipiente de aluminio con el PET triturado dentro del horno.



**Figura 4.6.** Horno de los laboratorios de ingeniería civil; (a) Horno; (b) Temperatura deseada 260°C y (c) Recipiente de aluminio con PET triturado dentro del horno.

Se hizo un segundo experimento en el horno de la Figura 4.6a, previamente calentado a 260°C, en el que se colocaron 61.26 g de PET triturado. A los 15 minutos se hizo la primera observación, en la cual se pudo constatar que el PET no presentaba cambios físicos, a los 45



---

minutos se realizó la segunda observación, en la cual se notó que el PET ya estaba derretido, se sacó del horno y se pudo moldear con la espátula solo una pequeña parte del PET, ya que en un lapso menor a 8 segundos ya estaba solidificado. En la Figura 4.7 se muestra el PET fundido en el recipiente de aluminio, en general presentó un color opaco con manchas de diferentes colores, su peso final fue de 60.89 g, la pérdida de peso se da debido a la humedad que guarda el PET. Después de 4 minutos se volvió a meter el PET ya solidificado durante 45 minutos al horno de la Figura 4.6a, para derretirlo nuevamente y poder moldearlo, pero el PET ya no presentó cambios físicos, siguió en su estado sólido.

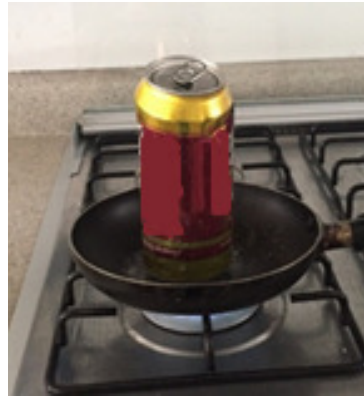


**Figura 4.7.** PET fundido en recipiente de aluminio

Se hizo un tercer experimento calentando el PET en una estufa doméstica. En la Figura 4.8a se muestran los 68.5 g de PET triturado a fundir. El PET se colocó en un recipiente cilíndrico de aluminio sobre un recipiente de metal (ver Figura 4.8b), durante 12 minutos, el PET no presentó modificaciones físicas. Por lo tanto, se colocó directamente el PET en el recipiente de metal a fuego lento (ver Figura 4.8c). Comenzó a derretirse a los 8 minutos. Enseguida se trasladó el PET semi-derretido al recipiente de aluminio aceitado por dentro, la mezcla comenzó a solidificarse a los 3 segundos. Posteriormente se compactó el PET derretido con el bloque de madera de 5 x 5 x 1.5 cm, a los 7 segundos estaba totalmente solidificado. Gracias al aceite, fue fácil desprender la mezcla del molde. Se generó un bloque de 5 x 6 x 2 cm de 49.4 g de forma irregular (ver Figura 4.8d). El plástico no tomó exactamente la forma del molde, tomó un color opaco, con manchas de colores, presentando orificios e hilos a lo largo del bloque.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 4.8.** Experimento en estufa; (a) PET triturado a fundir; (b) Recipiente de aluminio con PET triturado en el interior sobre recipiente de metal; (c) Recipiente de metal con PET triturado y (d) Bloque de PET derretido de forma irregular.

Por otro lado, se investigó en una empresa ecológica ubicada en la Colonia Jardines de la Calera en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, la posibilidad de compra de las muestras, sin embargo, esta empresa hace sus paneles con polietileno y polipropileno reciclados y no utilizan PET.

Se hizo una visita al Laboratorio de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Reciclado de Plástico (LIDETREP) de la Universidad de Guadalajara. La Figura 4.9 muestra las principales máquinas con las que cuenta para el proceso de los plásticos. Con esta maquinaria es posible lavar y secar, triturar, inyectar y fundir el plástico (ver Figuras 4.9a-d).



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 4.9.** Máquinas para el manejo de plásticos en LIDETREP; (a) Lavadora y secadora; (b) Trituradora; (c) Inyectora y (d) Prensa de termoformado.

LIDETREP utiliza principalmente polipropileno reciclado, la máquina de inyección cuenta con el molde especial para este tipo de plástico, actualmente el uso de PET en esta planta se encuentra a nivel de experimentación por las características y la dificultad en el manejo de este material.

La maquinaria con la que cuentan para la experimentación con el PET, es la trituradora y la prensa de termoformado, en dicha prensa es posible fundir el PET triturado y hacer placas, colocándolo en un bastidor metálico a 260°C durante 45 minutos, posteriormente se deja enfriar sin retirarlo de la prensa durante 80 minutos para evitar que el material se doble. El PET no es necesario lavarlo, ya que no cuenta con aluminio o fierro como otros tipos de plásticos.

---

Por último, se hizo una investigación en la Universidad de Guadalajara, con el Dr. Milton Vázquez Lepe investigador experto en reciclado de polímeros, del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI).

De acuerdo al Dr. Vázquez, el PET es un material difícil de trabajar, debido a la humedad que guarda, a la forma gelatinosa que toma al ser fundido y a que no es maleable, en resumen comenta que es un material duro y fácil de romper. El polietileno de alta densidad y el polipropileno son los más utilizados para hacer elementos constructivos, debido a que se funden en una temperatura menor a la del PET, además de que es más fácil moldearlos. Asimismo, afirma que en el CUCEI se cuenta con las máquinas para realizar pruebas de temperatura. También se hacen pruebas capilares para conocer el índice de fluidez, se calcula la cantidad de gramos del material que fluye en cierto tiempo. Se puede medir también la elasticidad del material.

Debido a la dificultad para trabajar el PET, el Dr. Vázquez propone combinarlo con polietileno de alta densidad y polipropileno, una de sus propuestas fue utilizar PET triturado en la parte interna de un tablón, y en la parte externa utilizar poliolefinas. También es posible mezclarlo con fibras naturales, como fibra de agave, ya que funciona como aislante acústico.

#### 4.3 Conclusiones

En esta etapa de la investigación se obtuvo precisión de las características para el manejo y uso del PET reciclado, dificultades para su reutilización, punto de fusión, propiedades físicas, ventajas y desventajas de posibles alianzas con otros materiales para facilitar su implementación y maquinaria requerida para este proceso de reciclaje.

Después de la elaboración de los experimentos fundiendo el PET triturado, se encontró que para la realización de especímenes con PET fundido es necesario contar con maquinaria especializada para el manejo de plásticos y realizar una serie de experimentos para determinar con precisión sus características de maleabilidad y si es posible utilizarlo como único material o es necesario mezclarlo con otros elementos preferentemente también reciclados.

En cuanto a la mezcla del PET con resinas, se investigó que las resinas naturales se degradan fácilmente y las resinas náuticas, provienen del mismo lugar de los plásticos, por lo tanto, resultaría poco sustentable su utilización, aunque no se sabe con certeza si la utilización de la máquina para fundir el PET sea más sustentable, además es importante considerar el alto

---

costo de este material. Se deja abierta la posibilidad para investigaciones futuras de la utilización de resinas para pegar el PET reciclado.

En cuanto a la utilización de PET como agregado en yeso, es una posibilidad a considerar, sin embargo, sería mejor que todos los materiales para la elaboración de los paneles fueran reciclados.

Es importante encontrar una forma de reutilizar el PET localmente. Por sus características y las dificultades que presenta suele ser reciclado en menor proporción que otros plásticos como el polietileno de alta y baja densidad y el polipropileno.

La utilización del PET en la construcción no es sencilla y presenta un gran reto, sin embargo, es necesario continuar con la investigación sobre su uso y reciclado para evitar que siga ocasionando daños en el medio ambiente.

Después de esta etapa de la investigación, se realizarán diferentes muestras de PET reciclado mezclándolo con PEAD y PP también reciclados, que serán sometidas a distintas pruebas para conocer sus características físicas y mecánicas, posteriormente se hará un prototipo de panel a escala. Esta información se podrá encontrar en el Capítulo 5 del presente estudio.

---

**Capítulo 5.**  
**Pruebas físicas y mecánicas de**  
**especímenes con PET reciclado**

---

## **Capítulo 5. Pruebas físicas y mecánicas de especímenes con PET reciclado**

### 5.1 Introducción

Después de la identificación de las características del PET para el manejo y uso como material reciclado, se decidió mezclarlo con PEAD y PP también reciclados, para la realización de las muestras y del prototipo de panel a escala.

Este capítulo presenta las diferentes pruebas físicas y mecánicas para conocer la forma en que se comporta el PET al fundirlo y combinarlo con los plásticos antes mencionados, lo cual aporta datos en diferentes temas de interés para este estudio: los sistemas de edificación con materiales reciclados y el potencial del PET para la construcción.

Se hicieron pruebas exploratorias combinando diferentes porcentajes a distintas temperaturas de PET adicionado con PEAD y PP en una máquina de inyección, con el fin de definir las dos combinaciones más atractivas de acuerdo a su comportamiento.

Una vez definidas las dos combinaciones, se hizo un diseño de experimentos para realizar pruebas de laboratorio con el fin de conocer la resistencia a la compresión uniaxial de las muestras, obteniendo también su módulo de elasticidad, adherencia, densidad y modos de falla. Se probaron diferentes especímenes, obteniendo la combinación de materiales más adecuada para este estudio.

Una vez identificada la mezcla, se hicieron las muestras que fueron probadas a la tensión, obteniendo su resistencia, módulo de elasticidad, adherencia, densidad y modos de falla. Se realizó un prototipo de panel a escala con la mezcla seleccionada y se hizo una propuesta de los conectores para ensamblar los paneles entre sí.

Las normas utilizadas para las pruebas fueron: 1) ASTM D695 Propiedades de compresión de plásticos rígidos y 2) ASTM D638 Propiedades de tensión de plásticos.

### 5.2 Pruebas exploratorias aplicando esfuerzo a cortante manual

Se hicieron pruebas exploratorias combinando el PET reciclado con PEAD y PP también reciclados, con el objetivo de definir las dos combinaciones más atractivas de acuerdo a su comportamiento para hacer los especímenes que fueron probados a compresión.

Se realizaron muestras en una máquina de inyección de plásticos con distintas proporciones de PET triturado, PEAD y PP peletizados (partículas fundidas y comprimidas) a diferentes

---

temperaturas. El PET y el PP se obtuvieron a partir de botellas de bebidas, el PEAD se adquirió a partir de tapaderas de botes de leche.

Se hicieron 8 combinaciones diferentes, la temperatura máxima utilizada fue de 232°C y la mínima de 161°C, las cuales fueron definidas de acuerdo a la temperatura de fusión de los tres diferentes tipos de plásticos.

Durante el proceso de realización de las muestras en la máquina de inyección, al utilizar la mezcla de 50% PET y 50% PEAD a una temperatura de 197°C se tapó el bebedero de dicha máquina, debido a que no se fundió de manera adecuada la gran cantidad de PET.









Una vez realizadas las muestras, se les aplicó un esfuerzo cortante con las manos, el comportamiento observado se clasificó por medio de cuatro criterios de valoración: resistencia alta, resistencia media, frágil y muy frágil. Para hacer las pruebas de compresión, se eligieron las combinaciones que tuvieron resistencia alta, con mayor cantidad de PET y que utilizan los tres tipos de plásticos, en base a estas pruebas, también se definió la temperatura óptima para la realización de las muestras.

Las mezclas seleccionadas fueron 33% PET 33% PEAD 33% PP y 20% PET 35% PEAD 45% PP, esta última se hizo en base a las cantidades que se consumen en México de estos tres tipos de plástico, lo que la hace un combinación interesante por su aplicación práctica. Conde (2012) menciona que en México cada año se consumen 555,000 toneladas de PET, 836,000 toneladas de PEAD y 1'102,000 toneladas de PP.

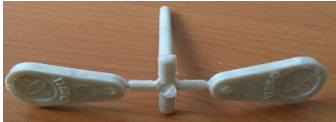






Se hizo una muestra con 100% PET la cual resultó ser la más quebradiza de todas, lo que indica la importancia de la combinación con los otros plásticos. En la Tabla 5.1 se muestran las combinaciones realizadas y sus resultados, en la cual podemos observar el comportamiento que presentan los plásticos con las diferentes proporciones y temperaturas. Se distingue un cambio de color en las muestras con PEAD, el cual se presenta con el incremento en la temperatura, también se muestra que combinaciones con los mismos porcentajes de cada material presentan distinto comportamiento de acuerdo a la temperatura utilizada.



**Tabla 5.1***Mezclas de plásticos en máquina de inyección*

No. Mezcla	Porcentaje %			Temperatura (°C)	Tipo de comportamiento observado	Fotografía
	PET	PEAD	PP			
1	10%	45%	45%	161	Resistencia alta	
2	33%	33%	33%	163	Resistencia alta	
2	33%	33%	33%	200	Resistencia alta	
2	33%	33%	33%	220	Muy frágil	
3	50%	50%	0%	197	Frágil	
3	50%	50%	0%	207	Muy frágil	
3	50%	50%	0%	218	Frágil	
3	50%	50%	0%	220	Frágil	

**Tabla 5.1 continuación***Mezclas de plásticos en máquina de inyección*

No. Mezcla	Porcentaje %			Temperatura (°C)	Tipo de comportamiento observado	Fotografía
	PET	PEAD	PP			
4	50%	0%	50%	211	Resistencia media	
4	50%	0%	50%	215	Frágil	
4	50%	0%	50%	232	Frágil	
5	25%	75%	0%	172	Resistencia alta	
6	25%	0%	75%	172	Resistencia alta	
7	20%	35%	45%	172	Resistencia alta	
8	100%	0%	0%	232	Muy frágil	

### 5.3 Pruebas a compresión

Una vez elegidas las dos mezclas a utilizar (33% PET 33% PEAD 33% PP y 20% PET 35% PEAD 45% PP) así como la temperatura de 175°C, se procedió a desarrollar el diseño de experimentos (ver Anexo 3) para la realización de las pruebas de laboratorio con el fin de evaluar la resistencia a la compresión uniaxial que presentan los especímenes aplicando cargas verticales. El tipo de experimento es unifactorial ya que cuenta solamente con un factor, la cantidad de PET, PEAD y PP utilizado.

Las pruebas y el tamaño de los especímenes se hicieron en base a la norma ASTM D695. Se recomienda ver el Anexo 4 para conocer el proceso para la realización de los especímenes.

En una máquina de inyección de plásticos se hicieron muestras de forma irregular con las dos combinaciones diferentes de plásticos a 175°C. Las muestras fueron curadas sumergiéndolas en agua durante 30 minutos. Estas muestras fueron cortadas posteriormente en una Fresadora CNC 1 para obtener los especímenes de 1.27 x 1.27 x 2.54 cm (ver Figura 5.1a y b). Se obtuvo la densidad promedio de los especímenes de cada una de las combinaciones, 33% PET 33% PEAD 33% PP: 925.12 kg/m<sup>3</sup> y 20% PET 35% PEAD 45% PP: 882.81 kg/m<sup>3</sup>.

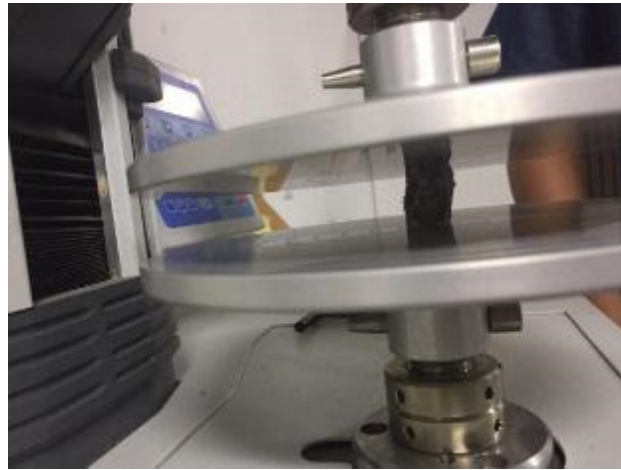


**Figura 5.1.** Especímenes realizados a una temperatura de 175°C; (a) 33% PET 33% PEAD 33% PP y (b) 20% PET 35% PEAD 45% PP.

Las pruebas a la compresión uniaxial se hicieron 14 días después de realizadas las muestras, se realizaron en una prensa universal con capacidad máxima de 500 kg (ver Figura 5.2a y b). Se aplicó carga a 7 especímenes de cada una de las dos combinaciones diferentes a una velocidad de 1.3 mm/min, la aplicación de carga se hizo hasta alcanzar la falla de los elementos.



(a)



(b)

**Figura 5.2.** Pruebas a la compresión uniaxial; (a) Prensa universal con capacidad de 500 kg y (b) Aplicación de carga a espécimen.

En la Figura 5.3a (33% PET 33% PEAD 33% PP) y en la Figura 5.3b (20% PET 35% PEAD 45% PP) podemos observar los especímenes una vez sometidos a las pruebas de compresión uniaxial. En ellos se puede observar el modo principal de falla, mostraron un patrón de agrietamiento con grietas diagonales por transmisión de esfuerzo cortante. Se definió de forma cualitativa la adherencia en las muestras, se observa que el PET no se adhiere de manera adecuada como el PEAD y el PP, lo que genera el micro agrietamiento.



(a)



(b)

**Figura 5.3.** Especímenes sometidos a pruebas de compresión uniaxial; (a) 33% PET 33% PEAD 33% PP y (b) 20% PET 35% PEAD 45% PP.

En la Tabla 5.2 se muestra el esfuerzo y la deformación en el límite elástico, el módulo de elasticidad y el esfuerzo máximo con su deformación de cada uno de los 7 especímenes probados a la compresión uniaxial de la combinación 33% PET 33% PEAD 33% PP. El módulo de elasticidad de cada una de las muestras de ambas combinaciones se obtuvo de su respectiva curva esfuerzo-deformación.

**Tabla 5.2**

*Esfuerzo, deformación y módulo de elasticidad obtenidos en las pruebas a la compresión uniaxial (33% PET 33% PEAD 33% PP)*

Espécimen	$\epsilon_{EI}$ (cm/cm)	$\sigma_{EI}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_{m\acute{a}x}$ (cm/cm)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.1071	111.60	1042.15	0.2094	149.19
2	0.1240	136.40	1099.86	0.2669	181.27
3	0.1091	111.60	1023.34	0.1630	136.87
4	0.1122	117.80	1049.87	0.1811	153.25
5	0.1181	136.40	1154.86	0.2126	178.42
6	0.1079	111.60	1034.54	0.1807	146.18
7	0.1118	124.00	1109.02	0.1906	160.67

En la Tabla 5.3 se muestra el esfuerzo y la deformación en el límite elástico, el módulo de elasticidad y el esfuerzo máximo con su deformación de cada uno de los 7 especímenes probados a la compresión uniaxial de la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP.

A partir de las Tabla 5.2 y 5.3 se puede observar que el valor más pequeño de esfuerzo (en límite elástico y máximo) y de módulo de elasticidad se presentan en la combinación 33% PET 33% PEAD 33% PP y el valor más grande se muestra en la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP.

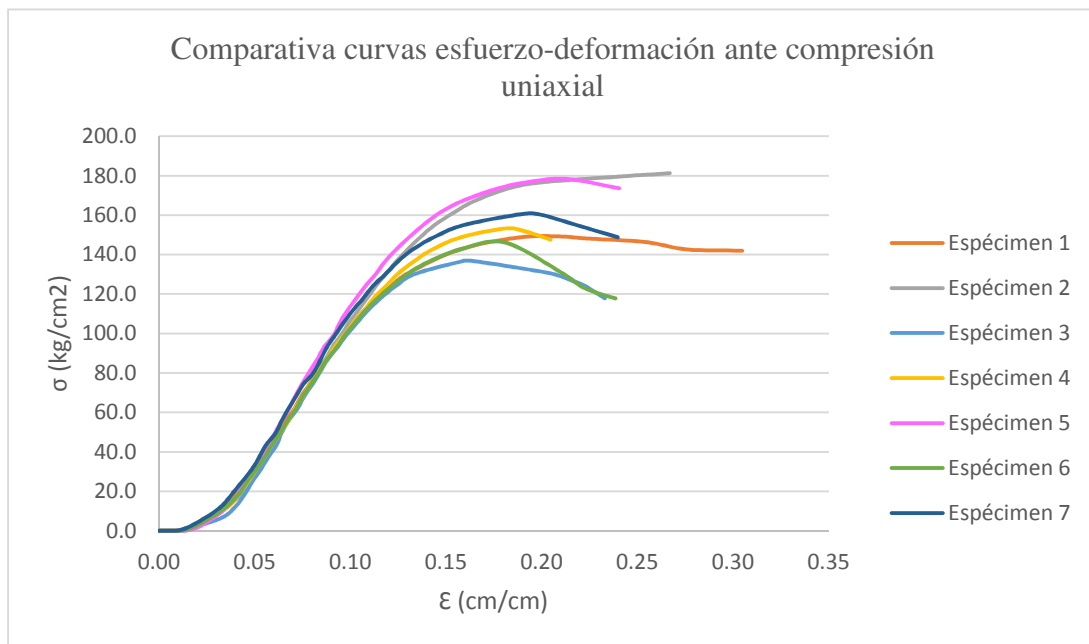
En términos de deformación en el esfuerzo último se verifica que la primera combinación muestra en promedio mayor deformación que la segunda, los valores son 0.2006 cm/cm y 0.1925 cm/cm respectivamente. A pesar de que la combinación 33% PET 33% PEAD 33% PP tiene un valor de esfuerzo máximo menor que la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP, su deformación es más grande.

**Tabla 5.3**

*Esfuerzo, deformación y módulo de elasticidad obtenidos en las pruebas a la compresión uniaxial (20% PET 35% PEAD 45% PP)*

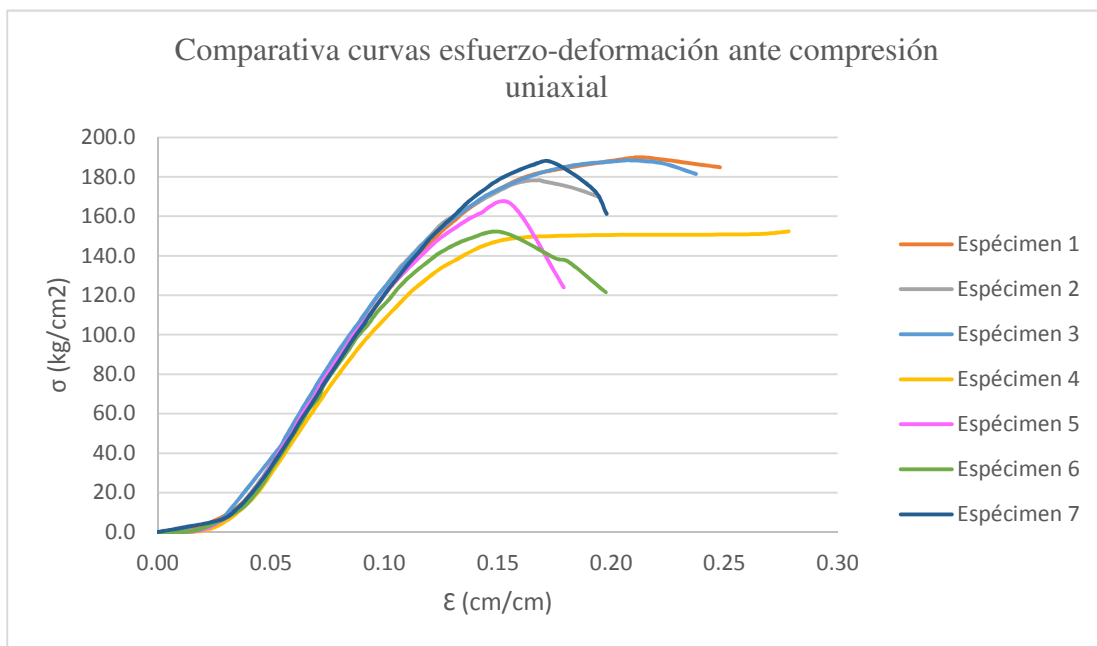
Espécimen	$\epsilon_{El}$ (cm/cm)	$\sigma_{El}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_{m\acute{a}x}$ (cm/cm)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.1240	151.00	1217.60	0.2094	189.63
2	0.1071	134.41	1255.15	0.1681	178.32
3	0.1193	148.44	1244.35	0.2087	188.33
4	0.1146	124.56	1087.26	0.2783	152.38
5	0.1024	124.00	1211.39	0.1563	165.83
6	0.1063	124.00	1166.52	0.1524	151.79
7	0.1201	148.80	1239.19	0.1744	187.25

En la Figura 5.4 se presenta una comparativa de las curvas esfuerzo-deformación ante compresión uniaxial de cada uno de los especímenes probados de la combinación 33% PET 33% PEAD 33% PP. Las curvas muestran el comportamiento del material en cada una de las muestras, el cual es similar en la zona elástica y presenta variaciones más pronunciadas en la zona plástica. El espécimen 6 tiene una caída más súbita que los demás. El esfuerzo último máximo presentado es de 181.27 kg/cm<sup>2</sup> con una deformación 0.2669 cm/cm y el mínimo de 136.87 kg/cm<sup>2</sup> con una deformación de 0.1630 cm/cm.



**Figura 5.4.** Comparativa curvas esfuerzo-deformación ante compresión uniaxial de especímenes (33% PET 33% PEAD 33% PP).

En la Figura 5.5 se presenta una comparativa de las curvas esfuerzo-deformación ante compresión uniaxial de cada uno de los especímenes probados de la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP. Las curvas revelan la forma en que se comporta el material en cada una de las muestras. En la zona elástica se observa un comportamiento similar y en la zona plástica se presentan variaciones más marcadas. Se puede verificar una diferencia significativa en el espécimen 4 el cual tiene la mayor deformación teniendo uno de los esfuerzos más pequeños. El esfuerzo último máximo presentado es de 189.63 kg/cm<sup>2</sup> con una deformación 0.2094 cm/cm y el mínimo de 151.79 kg/cm<sup>2</sup> con una deformación de 0.1524 cm/cm.



**Figura 5.5.** Comparativa curvas esfuerzo-deformación ante compresión uniaxial de especímenes (20% PET 35% PEAD 45% PP).

De acuerdo a los datos presentados en las Tablas 5.2 y 5.3 se obtuvieron los valores promedio de los especímenes de las dos combinaciones. La mezcla 33% PET 33% PEAD 33% PP presenta los siguientes resultados: esfuerzo en el límite elástico de 121.34 kg/cm<sup>2</sup> con una deformación de 0.1129 cm/cm, esfuerzo máximo de 157.98 kg/cm<sup>2</sup> con una deformación de 0.2006 cm/cm y módulo de elasticidad de 1073.38 kg/cm<sup>2</sup>. La combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP arroja los siguientes resultados: esfuerzo en el límite elástico de 136.46

---

kg/cm<sup>2</sup> con una deformación de 0.1134 cm/cm, esfuerzo máximo de 173.36 kg/cm<sup>2</sup> con una deformación de 0.1925 cm/cm y módulo de elasticidad de 1203.07 kg/cm<sup>2</sup>.

Se utilizó el software StatGraphics® Centurion XVII (2014) para hacer el análisis estadístico de los datos obtenidos en las pruebas a la compresión uniaxial de tipo unifactorial. En donde la combinación A es 33% PET 33% PEAD 33% PP 30% y B es 20% PET 35% PEAD 45% PP.

El coeficiente de variación de los datos de la resistencia a la compresión uniaxial de los especímenes de la combinación A es de 10.50% y el de la combinación B es de 9.62%. Este coeficiente muestra la dispersión de los datos.

Con el objetivo de corroborar si existe diferencia en la resistencia de los especímenes de acuerdo a los porcentajes de plástico utilizado se hizo una hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y una hipótesis alternativa (H<sub>a</sub>) expresadas a continuación:

H<sub>0</sub>=El porcentaje de plástico no varía la resistencia.

H<sub>a</sub>=El porcentaje de plástico varía la resistencia.

Para corroborar si la hipótesis nula es correcta o no, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mostrado en la Tabla 5.4, en la cual se puede observar que debido a la alta variación de los datos (0.1092) no se puede concluir, al menos desde un punto de vista estadístico una diferencia significativa entre ambas mezclas, por lo tanto se corrobora la hipótesis nula. Para poder rechazar la hipótesis nula sería necesario eliminar variables ocultas en la realización de las muestras, principalmente la forma de los especímenes ya que no tenían dimensiones exactamente iguales.

**Tabla 5.4**

*Análisis de varianza (ANOVA) para resistencia a la compresión uniaxial*

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	828.213	1	828.213	2.99	0.1092
Dentro de los grupos	3320.44	12	276.703		
Total (Corr.)	4148.65	13			

En la Tabla 5.5 se muestran las pruebas de rangos múltiples para resistencia. En la cual se presenta la cantidad de especímenes probados y la media de la resistencia a la compresión



uniaxial de cada una de las dos combinaciones, así como la diferencia entre ellas. También se observa que el análisis muestra como grupos homogéneos ambas mezclas.

**Tabla 5.5**

*Pruebas de rangos múltiples para resistencia a la compresión uniaxial*

Método: 95% LSD

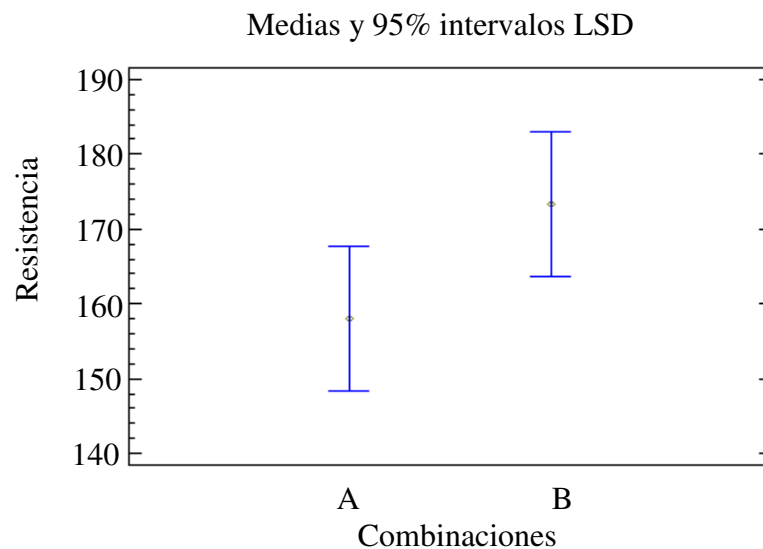
Combinaciones	Cuenta	Media	Grupos homogéneos
A	7	157.979	X
B	7	173.361	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B		-15.3829	19.3729

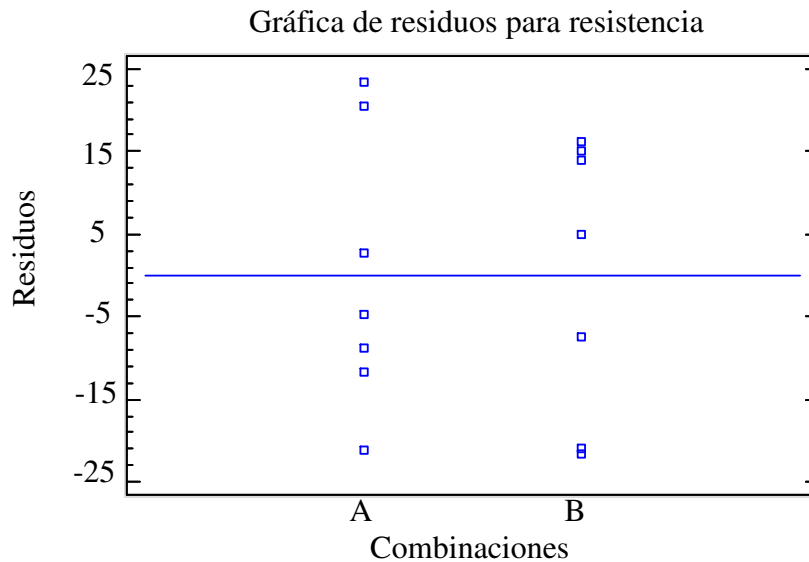
\* denota una diferencia estadísticamente significativa.

En la Figura 5.6 se muestra la gráfica de medias para la resistencia a la compresión uniaxial con intervalos de confianza del 95%. Se puede observar que la resistencia de la combinación B es mayor que la de A. Sin embargo, existe un traslape en la desviación estándar de ambas combinaciones como resultado de la dispersión mencionada anteriormente.



**Figura 5.6.** Gráfica de medias y 95% intervalos LSD.

En la Figura 5.7 se muestra la gráfica de residuos para la resistencia a la compresión uniaxial de los especímenes. Se puede observar que no existe ningún patrón en la dispersión, lo cual le da validez estadística al experimento.



**Figura 5.7.** Gráfica de residuos para resistencia a la compresión uniaxial.

Después de realizar el análisis de los datos obtenidos en las pruebas a la compresión uniaxial se determinó que ambas mezclas tienen un comportamiento adecuado para la realización de los paneles y que se podrían utilizar dependiendo el tipo de plástico que se quiera reciclar. Sin embargo, para este estudio se decidió utilizar la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP debido a que es la que presenta mayor resistencia a la compresión uniaxial ya que la media de las pruebas es considerablemente superior, asimismo en promedio presenta una menor deformación. Otra de las razones por las que se eligió la mezcla es su aplicación práctica ya que se hizo en base a las cantidades que se consumen en México de estos tres tipos de plástico.

Para tener una conclusión más contundente de las pruebas, en futuras investigaciones se requeriría evitar factores ocultos, uno de ellos es la forma de los especímenes utilizados para las pruebas a la compresión simple ya que sería conveniente realizarlos con el molde en la máquina de inyección del tamaño exacto para no tener la necesidad de cortar las muestras, la dispersión ocurre debido a este factor. Considerando que cuando las caras no son paralelas

---

la resistencia se reduce, lo más probable es que estemos subestimando la resistencia a la compresión real de estas muestras.

#### 5.4 Pruebas a tensión

Una vez elegida la mezcla a utilizar (20% PET 35% PEAD 45% PP) se procedió a realizar las pruebas a tensión de las muestras. Las pruebas y el tamaño de los especímenes se hicieron en base a la norma ASTM D638.

Las muestras (ver Figura 5.8) se realizaron en una máquina de inyección de plásticos, en un molde con las dimensiones predefinidas para las pruebas de tensión. El tamaño de las muestras es de 19.04 mm de ancho, 113.69 mm de altura y 3.35 mm de espesor, en la parte central tienen un ancho de 6.32 mm y una altura de 31.87 mm, su peso promedio es de 5.01 g. La densidad aproximada promedio de los especímenes es de 850.81 kg/m<sup>3</sup>.



**Figura 5.8.** Especímenes para ser probados a la tensión.

Las pruebas a la tensión se hicieron en una prensa universal con capacidad máxima de 500 kg (ver Figura 5.9a y b). Se aplicó carga a 7 especímenes a una velocidad de 10 mm/min, la aplicación de carga se hizo hasta alcanzar la falla de los elementos.



(a)



(b)

**Figura 5.9.** Pruebas a la tensión; (a) Prensa universal con capacidad de 500 kg y (b) Aplicación de carga a espécimen.

En la Figura 5.10 podemos observar los especímenes una vez sometidos a las pruebas de tensión. El modo principal de falla obtenido en las muestras es por degollamiento. Al igual que en los especímenes probados a la compresión uniaxial, se definió de forma cualitativa la adherencia en las muestras, se observa que el PET no se adhiere de manera adecuada como el PEAD y el PP.



**Figura 5.10.** Especímenes sometidos a pruebas de tensión.

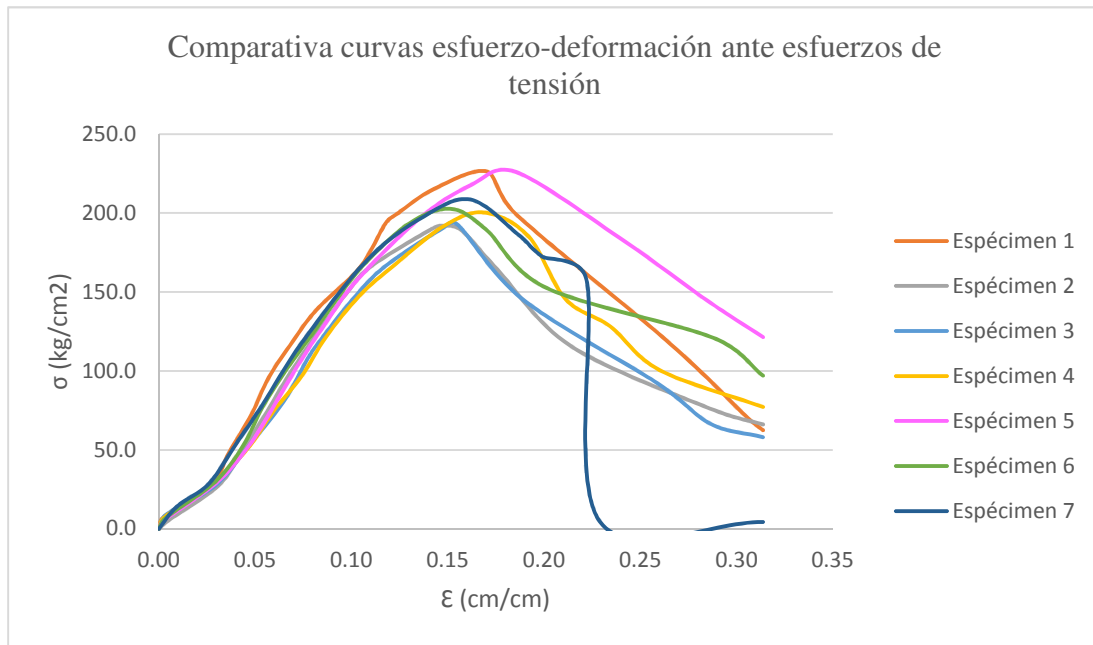
En la Tabla 5.6 se muestra el esfuerzo y la deformación en el límite elástico, el módulo de elasticidad y el esfuerzo máximo con su deformación de cada uno de los 7 especímenes probados a la tensión de la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP. El esfuerzo último máximo promedio es de 206.92 kg/cm<sup>2</sup>, la deformación promedio en el esfuerzo último es de 0.1630 cm/cm. Se pueden observar las variaciones que presentaron los especímenes en las pruebas. El módulo de elasticidad de cada una de las muestras se obtuvo de su respectiva curva esfuerzo-deformación.

**Tabla 5.6**

*Esfuerzo, deformación y módulo de elasticidad obtenidos en las pruebas a la tensión (20% PET 35% PEAD 45% PP)*

Especimen	$\epsilon_{EI}$ (cm/cm)	$\sigma_{EI}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_{m\acute{a}x}$ (cm/cm)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.0697	118.88	1706.67	0.1707	226.19
2	0.0979	149.91	1531.34	0.1478	192.00
3	0.1004	144.96	1443.67	0.1550	192.75
4	0.1042	147.55	1416.42	0.1691	200.26
5	0.1029	157.47	1530.07	0.1854	226.01
6	0.0919	144.58	1572.59	0.1512	202.67
7	0.0747	118.51	1586.88	0.1619	208.53

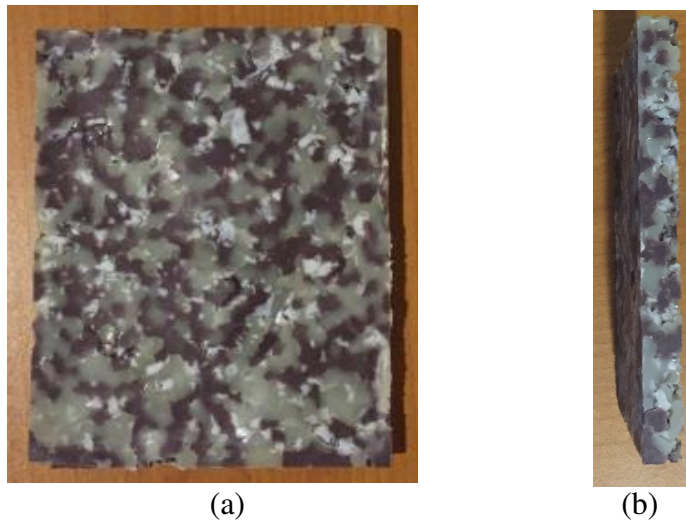
En la Figura 5.11 se presenta una comparativa de las curvas esfuerzo-deformación ante esfuerzos de tensión de cada uno de los especímenes probados de la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP. Dichas curvas presentan el comportamiento del material en las distintas muestras, el cual es parecido en la zona elástica, sin embargo, muestra variaciones más acentuadas en la zona plástica. El esfuerzo último máximo es de 226.19 kg/cm<sup>2</sup> con una deformación 0.1707 cm/cm y el mínimo de 192.00 kg/cm<sup>2</sup> con una deformación de 0.1478 cm/cm. Es posible observar que en las curvas esfuerzo-deformación ante esfuerzos de tensión a diferencia de las obtenidas ante compresión uniaxial (ver Figuras 5.4 y 5.5) la forma de falla es frágil por el degollamiento o corte de la sección transversal, lo que se representa por una caída repentina de la curva.



**Figura 5.11.** Comparativa curvas esfuerzo-deformación ante esfuerzos de tensión (20% PET 35% PEAD 45% PP).

### 5.5 Prototipo de panel a escala

Se hizo un prototipo de panel a escala con la combinación de plásticos elegida, 20% PET 35% PEAD y 45% PP de 14 x 11 x 1.27 cm y 14.7 g (ver Figura 5.12a y b). El espesor del panel se definió de acuerdo a uno de los espesores comerciales del panel de Tablaroca®.

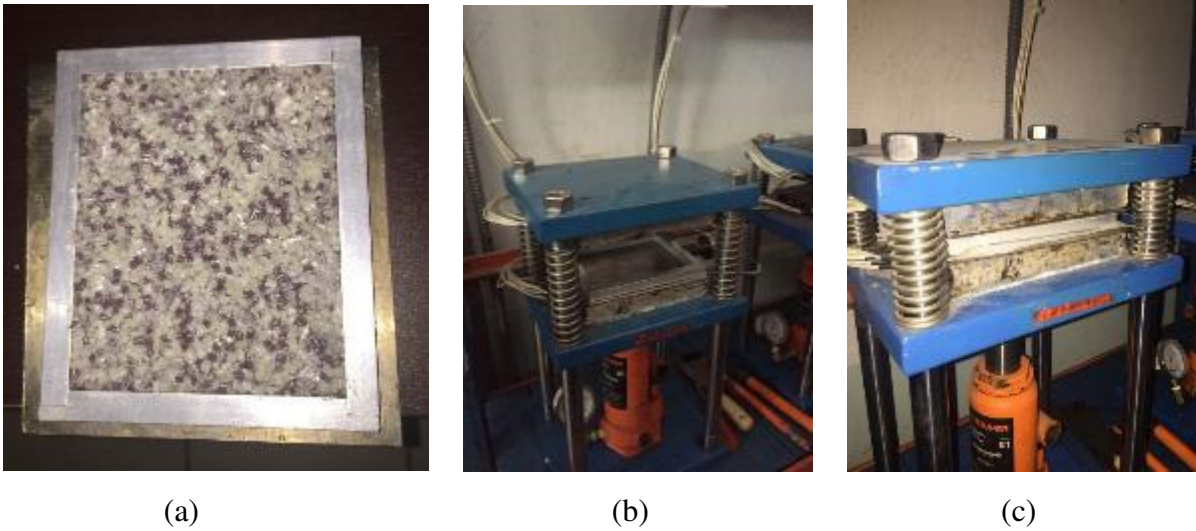


**Figura 5.12.** Prototipo de panel a escala de PET, PEAD y PP; (a) Elevación frontal y (b) Elevación lateral.

---

El prototipo de panel a escala se realizó en una prensa de termoformado, la cual duró encendida 1 hora 15 minutos para la elaboración del mismo. La prensa después de encenderse tardó 25 minutos en llegar a la temperatura deseada de 175°C.

Para la elaboración del panel se hizo la mezcla de los tres tipos de plásticos antes mencionados en las proporciones previamente definidas. Se colocó la mezcla de los plásticos en una lámina de aluminio con un bastidor también de aluminio (ver Figura 5.13a). Se tapó la mezcla con otra lámina y se colocó dentro de la prensa, las láminas se subieron y bajaron repetidas veces con el fin de evitar que se generaran burbujas y para hacer una revisión de la mezcla. Los primeros 5 minutos se colocaron las placas en la prensa sin aplicar presión (ver Figura 5.13b), posteriormente se bajaron ligeramente, se volvieron a subir durante 10 minutos, está vez aplicando presión (ver Figura 5.13c), 2 veces seguidas y finalmente durante 15 minutos.



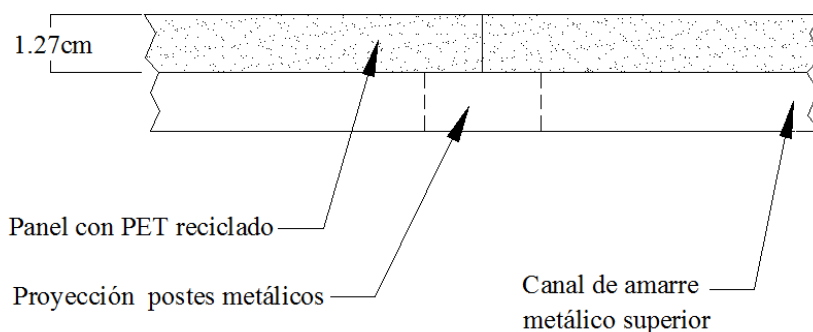
**Figura 5.13.** Elaboración de prototipo de panel a escala; (a) Mezcla en lámina y bastidor de aluminio; (b) Prensa de termoformado sin aplicar presión y (c) Prensa de termoformado aplicando presión.

### 5.6 Propuesta de panel con conectores

Se identificaron diferentes tipos de conectores que sirven para ensamblar los paneles entre sí, generando una propuesta de panel con conectores. Se pretende utilizar un sistema como el de los paneles de Tablaroca® descrito por Piesa (2015).

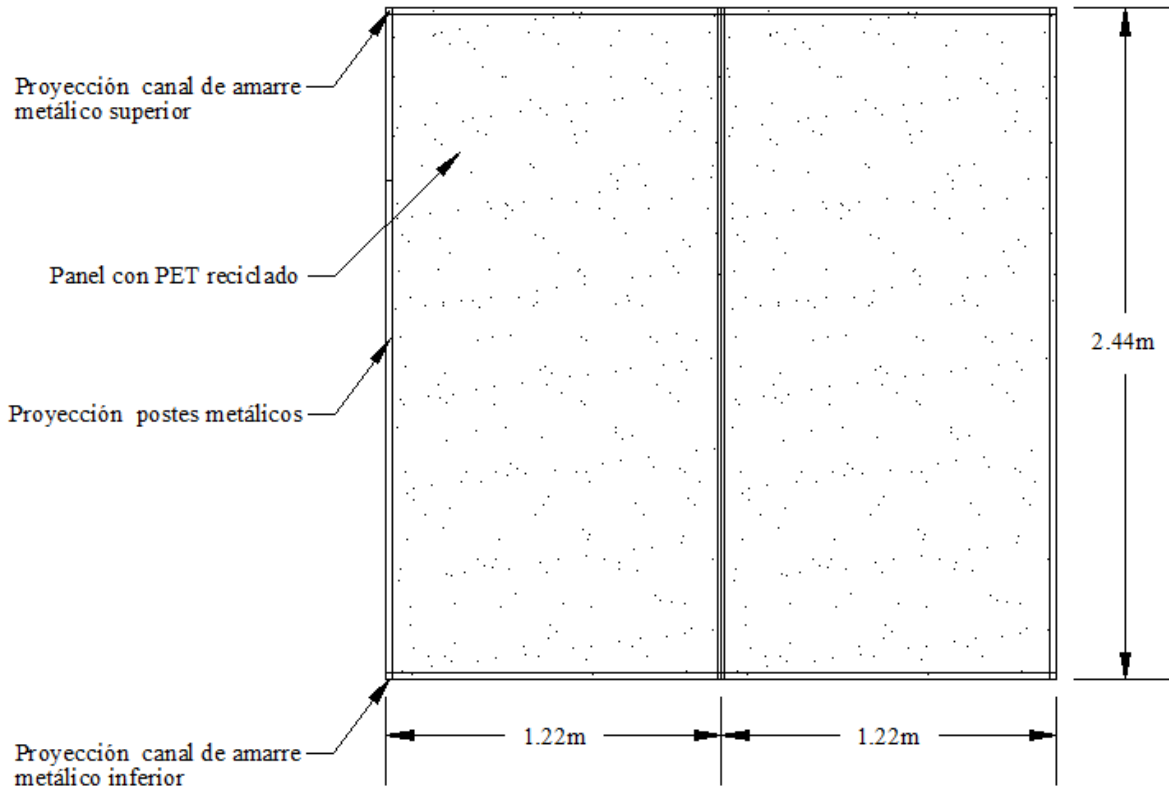
Se plantea la utilización de un canal de amarre metálico fabricado con lámina galvanizada calibre 26 sujetado al piso con anclajes a cada 61cm y un canal de amarre superior del mismo calibre y material sujetado al techo también con anclajes a la misma distancia. Se instalan los postes metálicos calibre 26 de acero galvanizado insertándolos dentro los canales a una distancia máxima entre ellos a centros de 61 cm, se abren los vanos de puertas y ventanas, se coloca refuerzo para el canal de amarre cortado para el cerramiento. Se atornillan los postes y canales que recibirán el marco de la puerta con tornillos galvanizados *framer*. Para las instalaciones se colocan refuerzos metálicos. A continuación se forra el bastidor por una cara con paneles con PET reciclado (ver Figuras 5.14 y 5.15), los cuales se fijan a los postes por medio de tornillos fosfatados tipo S de 1" a cada 30.5 cm. Se colocan las instalaciones y posteriormente se forra la otra cara del bastidor. Se aplica un compuesto para las juntas entre placas, finalmente, se le ponen los acabados.

Se presenta la posibilidad de investigar si es viable la utilización de canales y postes metálicos reciclados.



**Figura 5.14.** Vista en planta de sistema de ensamblaje de paneles





**Figura 5.15.** Elevación de sistema de ensamble de paneles

### 5.7 Conclusiones

En esta etapa de la investigación se obtuvo información acerca de las características físicas y mecánicas de la forma en que se comporta el PET al fundirlo y combinarlo con el PP y PEAD. Se realizaron pruebas exploratorias aplicando esfuerzo cortante con las manos, así como pruebas a compresión y tensión con equipo de laboratorio, se realizó un prototipo de panel a escala y se hizo una propuesta de los conectores para ensamblar los paneles entre sí. De las pruebas exploratorias aplicando esfuerzo cortante manual combinando diferentes porcentajes a distintas temperaturas de PET adicionado con PEAD y PP, en una máquina de inyección, se definieron las dos combinaciones más atractivas de acuerdo a su comportamiento para hacer los especímenes probados a compresión. Las mezclas seleccionadas fueron 33% PET 33% PEAD 33% PP y 20% PET 35% PEAD 45% PP a una temperatura de 175°C. Con la realización de estas pruebas se puede determinar que sí influyen las proporciones de los diferentes tipos de plásticos así como la temperatura en el comportamiento de las muestras, generando unas más quebradizas que otras.

---

A partir del diseño de experimentos utilizando las dos mezclas seleccionadas se realizaron las pruebas para determinar la resistencia a la compresión uniaxial de los especímenes, obteniendo también su módulo de elasticidad, adherencia, densidad y modos de falla.

En cuanto al modo de falla las dos combinaciones mostraron un patrón de agrietamiento con grietas diagonales por transmisión de esfuerzo cortante. Se definió de forma cualitativa la adherencia en las muestras en las pruebas a compresión y tensión, se observó que el PET no se adhiere de manera adecuada como el PEAD y el PP, lo que genera el micro agrietamiento. Se obtuvieron los valores promedio de los especímenes de las dos combinaciones 33% PET 33% PEAD 33% y 20% PET 35% PEAD 45%. Esta última mezcla presenta en promedio alrededor de 12% más de esfuerzo en el límite elástico en comparación con la primera y una deformación de 0.0005 cm/cm más grande. En el esfuerzo máximo la segunda mezcla muestra cerca de un 10% más resistencia que la primera, con una deformación de 0.0081 cm/cm más pequeña. En cuanto al módulo de elasticidad, la última presenta un 12% más que la primera. La densidad de la mezcla 33% PET 33% PEAD 33% PP es alrededor de 5% mayor que la de la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP.

El esfuerzo último máximo presentado en la combinación 33% PET 33% PEAD 33% PP es 4% menor que el de la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP con una deformación de 0.0575 cm/cm mayor. El esfuerzo último mínimo de la primera mezcla es 10% menor que el de la segunda con una deformación 0.0106 cm/cm mayor. El módulo de elasticidad máximo y mínimo de la primera combinación son menores que los de la segunda, 8% y 6% respectivamente.

En relación a la resistencia de los 7 especímenes probados de cada una de las combinaciones se muestra que la resistencia de la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP es mayor que la de la mezcla 33% PET 33% PEAD 33% PP. Sin embargo, existe un traslape en la desviación estándar de ambas combinaciones, asimismo las muestras no presentan ningún patrón en la dispersión.

Una vez realizado el análisis de los datos obtenidos en las pruebas a la compresión uniaxial se definió que ambas mezclas cuentan con un comportamiento adecuado para la realización de los paneles. Sin embargo, para este proyecto se decidió utilizar la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP debido a que es la que cuenta con mayor resistencia a la compresión uniaxial y en promedio presenta una menor deformación. Otra de las razones por las que se

---

eligió la mezcla es su aplicación práctica debido a que se hizo de acuerdo a las cantidades que se consumen en México de estos tres tipos de plástico.

Se realizaron las pruebas a tensión con la mezcla seleccionada. Los valores promedio de los especímenes fueron: esfuerzo en el límite elástico de  $140.276 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1042 \text{ cm/cm}$ , esfuerzo máximo de  $206.92 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1630 \text{ cm/cm}$ , módulo de elasticidad de  $1541.09 \text{ kg/cm}^2$  y densidad aproximada de  $850.81 \text{ kg/m}^3$ . El modo principal de falla obtenido en las muestras es por degollamiento.

La realización del prototipo de panel a escala permitió ver en físico la presentación del panel para conocer sus características y el proceso de su elaboración.

En la propuesta de panel con conectores se definió una manera de ensamblar los paneles entre sí, en el cual se utiliza un sistema como el de los paneles de Tablaroca<sup>®</sup>. En donde se utilizan canales y postes metálicos. Se presenta la posibilidad de investigar si es viable la utilización de dichos canales y postes reciclados.

A pesar de las dificultades que presenta el PET para ser trabajado como material reciclado, con las pruebas realizadas se encontró que con la utilización de la maquinaria adecuada es posible fabricar elementos constructivos. El tener conocimiento de todas las características antes mencionadas del prototipo de panel genera una visión de su comportamiento y muestra la viabilidad de su uso en la construcción.

---

**Capítulo 6.**  
**Aportación de la investigación a la**  
**sustentabilidad**

---

## Capítulo 6. Aportación de la investigación a la sustentabilidad

### 6.1 Introducción

Este capítulo muestra la aportación del proyecto en los tres ámbitos de la sustentabilidad, ambiental, económico y social. Reside en el ámbito ambiental ya que se quiere reducir la cantidad de residuos de PET que van a dar a las calles, tuberías infraestructurales, cauces hídricos, océanos y rellenos sanitarios, los cuales causan graves problemas ambientales. Reside en el ámbito económico debido a que se pretende reducir el costo en la construcción de vivienda y social porque se procura apoyar la vivienda digna para personas de escasos recursos, implementando en las viviendas paneles interiores como separadores de espacio a bajo costo.

Se muestran criterios e indicadores de sustentabilidad. En el ámbito ambiental se presenta un análisis de ciclo de vida de un prototipo de panel a escala, identificando el consumo de energía y de materia prima, así como las emisiones producidas en su fabricación y su eliminación. Se plantea una categoría en la que se podrían obtener puntos para la certificación LEED y se calculó la cantidad de cada uno de los plásticos reciclados que se utiliza por panel. Se obtuvo información acerca de los procesos de reciclaje de plástico en una planta procesadora, para ello se realizó una entrevista al Lic. Luis Parra Gutiérrez, director de una empresa que se dedica al reciclaje de plásticos, la información obtenida se comparó con la revisión documental con el fin obtener datos de interés para el proyecto.

Para la aportación en el ámbito económico se obtuvieron indicadores financieros, analizando el precio de la materia prima y el costo total de fabricación por unidad.

Para la aportación en el ámbito social se realizaron entrevistas semiestructuradas y cuestionarios con el fin de obtener datos sobre la aceptación social y la viabilidad del uso en la autoconstrucción habitacional como sistema de separación de espacios. El diseño metodológico de dichas entrevistas se podrá encontrar en el Anexo 1, el diseño metodológico y el formato de dichos cuestionarios se podrán encontrar en el Anexo 2. La información obtenida se cotejó con la revisión documental con el objetivo de adquirir datos de interés para el estudio.

Se realizó una comparación del prototipo de panel con PET reciclado combinado con PEAD y PP para muros divisorios de vivienda con sistemas constructivos basados en paneles, como Panel W<sup>®</sup>, Tablaroca<sup>®</sup>, Panel Rey<sup>®</sup> y Durock<sup>®</sup>.

---

## 6.2 Criterios e indicadores de sustentabilidad ambiental, económica y social

### 6.2.1 Análisis de ciclo de vida

En este apartado se presenta el análisis de ciclo de vida de Puerta a Puerta del prototipo de panel a escala fabricado en el Capítulo 5 del presente estudio, obteniendo las emisiones producidas por el proceso de triturado y termoformado tomando en cuenta la cantidad de energía utilizada, por el transporte de los materiales y por la eliminación de los componentes de dicho panel. En este análisis no se toman en cuenta las emisiones producidas en la producción de los plásticos debido a que son reciclados.

De acuerdo a Romero (2003) el análisis de ciclo de vida de un producto es una metodología que trata de identificar, cuantificar y caracterizar los distintos impactos ambientales potenciales, relacionados con las etapas de su ciclo de vida.

El objetivo de este apartado es conocer los impactos ambientales en el análisis de ciclo de vida de un prototipo de panel a escala con PET reciclado mezclándolo con PEAD y PP también reciclados (ver Figura 6.1) de 0.0154 m<sup>2</sup> (0.14 x 0.11 x 0.0127 m), hecho en una prensa de termoformado. Para su elaboración se utilizaron las proporciones de la mezcla seleccionada en el Capítulo 5 (20% PET 35% PEAD 45% PP). El estudio no toma en cuenta el mantenimiento del panel durante su vida útil, ni al final de ella.



**Figura 6.1.** Prototipo de panel a escala de PET, PEAD y PP.

La unidad funcional (UF) de este análisis es: elemento estructural vertical para delimitar espacios en casa habitación de personas de escasos recursos, hecho de PET, PEAD y PP reciclados, con una resistencia a la compresión de 173.36 kg/cm<sup>2</sup> y a la tensión de 206.92

kg/cm<sup>2</sup>, dichas resistencias se obtuvieron en el Capítulo 5. El flujo de referencia (FR) es: PET: 0.00004 m<sup>3</sup>, PEAD: 0.00007 m<sup>3</sup> y PP: 0.00009 m<sup>3</sup>.

Las etapas del ciclo de vida consideradas para el análisis del prototipo de panel a escala son:

- Obtención de materia prima: obtención de botellas de PET y PP, así como de tapas de botes de leche de PEAD y obtención de agua.
- Transporte de materia prima: el transporte considerado de los plásticos es de 5 km.
- Fabricación del prototipo de panel a escala: se utilizó una máquina trituradora y una prensa de termoformado. Para remover la taparrosca y las etiquetas de las botellas, así como para su lavado se hizo el proceso de forma manual por lo que no se toman en cuenta consumos de energía asociados a maquinaria.
- Eliminación del panel: para la fase de eliminación se consideró un porcentaje de reciclaje del 80%.

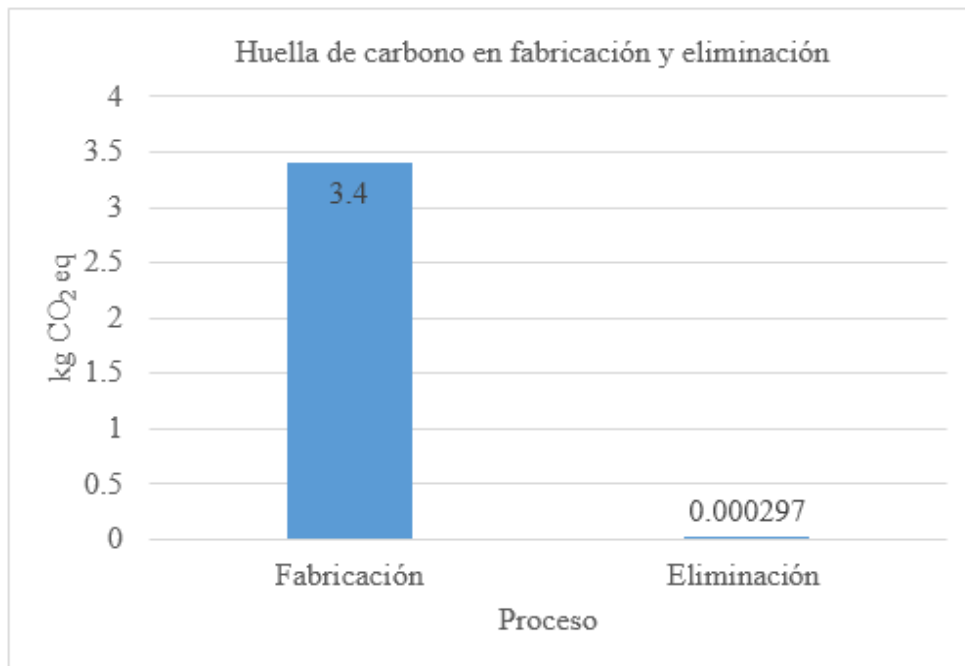
En la Tabla 6.1 se presenta el inventario de ciclo de vida (ICV) del prototipo de panel a escala, en la cual se puede observar la cantidad de material utilizado de cada tipo de plástico así como la potencia y la energía utilizada en la máquina trituradora y en la prensa de termoformado para la su elaboración. El voltaje de la máquina trituradora es de 220 V, la potencia es de 7.5 kW. La cantidad de tiempo utilizada para triturar los plásticos es de aproximadamente 0.054 horas. El voltaje de la prensa de termoformado es de 277 V y el amperaje es de 10 A. Para hacer el panel se mantuvo encendida la máquina durante 1.25 horas.

**Tabla 6.1**

*Inventario de ciclo de vida (ICV)*

Unidad de Proceso	Descripción	Material	Cantidad (kg)	Potencia (HP)	Energía (kWh)
1	Triturado	-	-	10.06	0.41
1	Termoformado	-	-	3.71	3.46
2	Fabricación panel	PET	0.003	-	-
2	Fabricación panel	PEAD	0.005	-	-
2	Fabricación panel	PP	0.007	-	-

Se realizó el cálculo de la huella de carbono del prototipo de panel a escala con el software Eco-it 1.4 (2010). En la Figura 6.2 se muestran las emisiones producidas tomando en cuenta la cantidad de energía utilizada por la máquina trituradora y la prensa de termoformado, así como el transporte de los materiales, dando un total de 3.4 kg de CO<sub>2</sub> eq. Se muestran también las emisiones producidas en la eliminación de los componentes del panel, tomando en cuenta un 80% de reciclaje de los elementos, dando un total de 0.297 g de CO<sub>2</sub> eq. Es posible observar que es significativamente más alta la cantidad de emisiones generadas en los procesos para la fabricación del panel a escala que en su eliminación.



**Figura 6.2.** Huella de carbono en cantidad de energía utilizada y transporte, así como en eliminación del panel.

Este análisis de ciclo de vida se hizo solamente para el prototipo de panel a escala, para la producción en serie de los paneles sería necesario adicionar la cantidad de energía utilizada por una lavadora y una secadora, así como la cantidad de energía que utiliza una prensa de termoformado y una máquina trituradora de mayor tamaño. Debido a que el consumo de energía utilizada en la maquinaria para la elaboración de los paneles es la que presenta las mayores emisiones, podría considerarse la implementación de paneles solares para reducir



---

dichas emisiones. También es necesario realizar un análisis de vida completo incluyendo la disposición final del panel una vez que terminó su vida útil.

### 6.2.2 Certificación LEED: Categoría de Materiales y Recursos

LEED o Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, es el sistema de clasificación de edificios ecológicos más utilizado en el mundo. Disponible para prácticamente todos los tipos de proyectos de edificios, comunidades y viviendas. Proporciona un marco para crear edificios ecológicos saludables, altamente eficientes y con ahorro en costos. La certificación LEED es un símbolo mundialmente reconocido del logro de la sostenibilidad (LEED, 2018a). Se divide en categorías, de acuerdo al cumplimiento de los apartados de dichas categorías le otorgan al usuario puntos para obtener los diferentes grados de certificación. En esta sección se plantea que en la categoría de “Materiales y Recursos” se podrían obtener puntos en el apartado de “Contenido Reciclado”.

De acuerdo a LEED (2018b) en el apartado de “Contenido Reciclado” la certificación indica que los requisitos son la utilización de materiales con contenido reciclado de modo que la suma del contenido reciclado post-consumo más la mitad del contenido de pre-consumo constituya al menos un 10% o 20%, basado en el costo del valor total de los materiales en el proyecto. El porcentaje mínimo de materiales reciclados para cada umbral de puntos se muestra en la Tabla 6.2. El valor del contenido reciclado de un conjunto de material está determinado por el peso, para determinarlo, se multiplica la fracción reciclada del conjunto por el costo de ensamblaje.

**Tabla 6.2**

*Porcentaje mínimo de materiales reciclados y puntos*

Contenido reciclado	Puntos
10%	1
20%	2

Fuente: LEED (2018b)

Por lo anterior podemos concluir que construir con materiales reciclados es un factor relevante en el momento de la evaluación de una certificación LEED. Aunque no se quisiera

---

certificar la obra, este organismo está indicando que construir con materiales reciclados tiene un impacto positivo para el medio ambiente.

Así también, aunque el enfoque de este proyecto es la utilización de paneles con PET reciclado para muros divisorios de vivienda de personas de escasos recursos, se plantea la certificación LEED con el fin de promocionar la venta de los paneles para otras edificaciones y con los fondos recabados poder dar un menor precio del producto a las personas más necesitadas, otra de las ventajas es que se podría implementar la utilización de los paneles en una escala mayor.

### 6.2.3 Cantidad de plástico utilizado por panel

Se realizó el cálculo de la cantidad de PET, PEAD y PP reciclados que se requiere para la elaboración de un panel de 1.22 x 2.44 x 0.0127 m. Para el cálculo se utilizaron los porcentajes de la mezcla seleccionada en el Capítulo 5 (20% PET 35% PEAD 45% PP).

El volumen por panel es 0.0378 m<sup>3</sup>, de acuerdo a los porcentajes utilizados se calculó que se requieren 0.008 m<sup>3</sup> de PET, 0.013 m<sup>3</sup> de PEAD y 0.017 m<sup>3</sup> de PP. Tomando en cuenta que la densidad del panel es de 882.81 kg/m<sup>3</sup>, la cual se obtuvo en el Capítulo 5 con las muestras a compresión, se calculó que se necesitan 6.67 kg de PET, 11.68 kg de PEAD y 15.02 kg de PP.

El peso de una botella de refresco de PET de 600 ml es de 20.28 g, el de una botella de bebida de PP de 625 ml es de 29.81 g y el de una tapadera de bote de leche es de 2.05 g, con lo cual se determinó que para la elaboración de un panel se podrían reciclar alrededor de 330 botellas de PET, 504 botellas de PP y 5699 tapaderas de botes de leche.

Después de estos cálculos se puede decir que con la elaboración de un prototipo de panel se podrían reciclar 6.67 kg de PET, 11.68 kg de PEAD y 15.02 kg de PP reduciendo la cantidad de residuos de plástico que termina en las calles, tuberías infraestructurales, cauces hídricos, océanos y rellenos sanitarios, los cuales causan graves problemas ambientales.

### 6.2.4 Procesos de reciclaje de plástico en una planta procesadora

A partir de la revisión documental y la entrevista realizada al Lic. Luis Parra Gutiérrez para conocer la forma en que se llevan a cabo los procesos de reciclaje de plástico en una planta procesadora, fue posible obtener diferentes datos, los cuales están integrados en distintos

---

temas de interés para el proyecto: recolección y acopio de plástico, procesos de separación-preparación y venta de plásticos, así como el potencial del PET para la edificación.

En relación al tema de recolección y acopio de plástico en la entrevista realizada al Lic. Parra se puede extraer lo siguiente: ellos en un principio compraban solamente plásticos de desecho post industriales de laboratorios, sin embargo, cuando disminuyó de manera drástica el precio del petróleo y por ende del plástico virgen tuvieron la necesidad de cambiar a otro tipo de captación, se decidió comprarlo a las recicladoras pequeñas. Compran entre 120,000 y 200,000 kg mensuales, los plásticos que utilizan son el PP y el PEAD ya que tienen características compatibles. El precio promedio del plástico varía dependiendo de la zona del país y de la recicladora, entre más grande y conocida es una recicladora pueden aumentar el precio de compra. Una de las dificultades para la obtención del plástico es la lluvia, debido a que cuando se presenta hay mala captación de parte de los pepenadores.

Existen actualmente diferentes empresas dedicadas al reciclaje de plástico. Ecoce<sup>®</sup> (2017) es una asociación civil ambiental, hecha y beneficiada por la industria de bebidas y alimentos. Cuentan con un sistema que capta los residuos de PET para su valorización y reciclaje en México y el extranjero. Takahashi (2017) menciona que PetStar<sup>®</sup> es la recicladora más importante a escala global por el volumen que recupera. The Plastics Exchange (2017) es un mercado en tiempo real, en donde es posible conocer la forma en la que va cambiando el precio de distintos tipos de plástico.

En relación al tema sobre procesos de separación-preparación y venta de plásticos podemos encontrar distintos procedimientos para la reutilización de los mismos. De acuerdo a Conceptos plásticos (S.F.) los residuos plásticos reciclados se funden e inyectan en un molde para crear bloques que se van ensamblando. ByFusion (2016) menciona que para hacer los bloques de plástico reciclado, éste se tritura y utilizando agua a temperaturas elevadas y compresión se crea el bloque como material de construcción alternativo. Para su elaboración no se requiere lavar el plástico ni utilizar adhesivos o pegamentos.

En la entrevista realizada al Lic. Parra explica los procesos realizados en el plástico: en primer lugar les quitan la taparrosca a las botellas de forma manual, posteriormente se tiene el proceso de molido con agua. Después pasa a la lavadora o tina de lavado de 7,000 litros y dependiendo el material, se le pone agua caliente (60°C-80°C) o fría y se define los químicos que se usan, ya sea sosa, hipoclorito, tensoactivo, jabón, etc. Enseguida pasa a la tina de

---

enjuagado de 5,000 litros, posteriormente se manda a dos centrifugas que son las secadoras, las cuales agitan el material para que salga seco. Después se cuenta con una des-etiquetadora que por medio de succión de aire remueve la etiqueta. Finalmente, pasa al proceso del peletizado. Se funden los materiales a una temperatura aproximada de entre 160°C y 180°C. La peletizadora tiene diferentes zonas de calentamiento, entra el plástico molido y sale fundido en forma cilíndrica, se le quitan los gases, impurezas y se divide en partes más pequeñas, se enfrían se estiran y pasan a una cortadora para obtener el pellet.

En relación a los tiempos utilizados y a los precios de venta del plástico en la entrevista realizada al Lic. Parra se puede recuperar lo siguiente: la mayor cantidad de tiempo se emplea en quitar las tapas, se requiere aproximadamente una hora de una persona para remover la tapa de entre 30 kg y 50 kg de plástico. La capacidad de la maquinaria utilizada para los procesos llevados a cabo en los plásticos puede variar dependiendo el tipo. La de los molinos varía entre aproximadamente 200 kg a 2,000 kg por hora, las lavadoras y secadoras se manejan de alrededor de 500 kg a 2,000 kg por hora, las peletizadoras de aproximadamente 200 kg a 1000 kg por hora. El precio en la venta del plástico es muy variable, depende del material y del color. El plástico transparente es el que tiene el precio más alto, ya que es sustituto del virgen, si el costo de éste último es de MXN\$28 el kg, como recicladora lo puedes vender en alrededor de MXN\$23 el kg. El plástico de color tiene un precio menor desde los MXN\$10 el kg hasta los MXN\$21, dependiendo las necesidades del cliente.

En relación al tema potencial del PET para la edificación en entrevista el Lic. Parra presenta que una de las desventajas que se puede presentar en la realización de paneles con PET reciclado para muros de vivienda es la desconfianza de las personas acerca del producto, ya que es innovador y la gente se puede resistir al cambio, pero una vez comprobadas en laboratorio sus propiedades físicas y mecánicas es una desventaja que se puede afrontar fácilmente. Como ventajas afirma que es posible tener un producto más barato con el que se puede atender a un mercado que posiblemente en estos momentos está abandonado y al mismo tiempo se está ayudando al medio ambiente.

#### 6.2.5 Indicadores financieros

Se realizó un presupuesto (ver Tabla 6.3) para obtener el costo de fabricación de un prototipo de panel con PET reciclado de 1.22 x 2.44 x 0.0127 m, analizando el precio de la materia

prima y el costo variable por unidad. Para el presupuesto no se tomaron en cuenta los costos fijos y la inversión inicial como la compra de la maquinaria utilizada.

En la Tabla 6.3 se puede observar que el costo total por unidad de cada uno de los paneles es MXN\$205.91, ya que el presupuesto se hizo tomando en cuenta la compra de los plásticos reciclados y la eliminación de la tapa y etiqueta para obtener datos del precio más crítico, sin embargo se plantea la posibilidad de hacer la recolección en comunidades e instituciones para que se proporcione de manera gratuita y sin tapa ni etiqueta, ya que se pretende que los paneles se utilicen en viviendas de personas de escasos recursos.

El importe presentado se hizo en base a los costos una vez que se tenga la maquinaria para procesar los plásticos, trituradora, lavadora, secadora, báscula y prensa de termoformado. Es necesaria una inversión inicial para el proyecto para la producción de paneles en serie.

**Tabla 6.3**

*Costos variables de producción de un panel de 1.22 x 2.44 x 0.0127 m*

Material				
Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
PET	kg	6.67	\$5.00	\$33.35
PEAD	kg	11.68	\$5.00	\$58.40
PP	kg	15.02	\$5.00	\$75.10
Costo total del material				\$166.85
Mano de obra				
Mano de obra	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
Ayudante retiro de tapas y etiquetas	jor	0.104	\$192.00	\$20.02
Operador técnico (Trituradora)	jor	0.008	\$272.00	\$2.27
Operador técnico (Lavadora y secadora)	jor	0.008	\$272.00	\$2.27
Operador técnico (Báscula y termoformadora)	jor	0.031	\$272.00	\$8.50
Costo total de mano de obra				\$33.06
COSTO TOTAL (Material y Mano de obra)				\$199.91
Gastos Indirectos				
Gastos de administración 3%				\$6.00
Gastos indirectos				\$6.00
Costo total unitario				\$205.91

En la Tabla 6.4 se muestra el presupuesto obteniendo el plástico de forma gratuita y sin etiqueta ni tapa, con el cual se reafirma la posibilidad de su utilización para viviendas de personas de escasos recursos debido al bajo costo del panel MXN\$13.43.

Se presenta como ejemplo el proyecto desarrollado por alumnos y profesores de la Universidad Politécnica de Amozoc en Puebla, en el que desarrollan losetas mediante PET reciclado, las cuales se producen del reciclaje de botellas desechadas en la propia institución (CONRICyT, 2018).

**Tabla 6.4**

*Costos variables de producción de un panel de 1.22 x 2.44 x 0.0127 m con material gratuito*

Material				
Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
PET	kg	6.67	\$0.00	\$0.00
PEAD	kg	11.68	\$0.00	\$0.00
PP	kg	15.02	\$0.00	\$0.00
Costo total del material				\$0.00
Mano de obra				
Mano de obra	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
Ayudante retiro de tapas y etiquetas	jor	0.000	\$192.00	\$0.00
Operador técnico (Trituradora)	jor	0.008	\$272.00	\$2.27
Operador técnico (Lavadora y secadora)	jor	0.008	\$272.00	\$2.27
Operador técnico (Báscula y termoformadora)	jor	0.031	\$272.00	\$8.50
Costo total de mano de obra				\$13.04
COSTO TOTAL (Material y Mano de obra)				\$13.04
Gastos Indirectos				
Gastos de administración 3%				\$0.39
Gastos indirectos				\$0.39
Costo total unitario				\$13.43

En el apartado del análisis de ciclo de vida del presente capítulo se hizo el cálculo de la cantidad de energía que se utilizó para la realización del prototipo de panel a escala, la máquina trituradora requirió 0.41 kWh y la prensa de termoformado 3.46 kWh. Conforme a

---

CFE (2018) el costo del kWh en el estado de Jalisco en el apartado de industria de acuerdo al esquema tarifario de diciembre 2017-2018 es de \$0.7443. Esto significa un costo energético estimado de \$2.88 por prototipo de panel a escala.

En el presupuesto no se incluye el costo de la energía utilizada por la maquinaria que se necesita para la producción del prototipo de panel (termoformadora, lavadora, secadora y máquina trituradora), debido a que no se cuenta con información sobre la cantidad de energía que requieren dichas máquinas. Una vez que se conozcan estos datos es necesario adicionar al presupuesto el costo energético.

#### 6.2.6 Aceptación social y autoconstrucción habitacional

Para la aportación en el ámbito social se realizaron entrevistas semiestructuradas y cuestionarios con el fin de obtener datos sobre la aceptación social y sobre la viabilidad del uso en la autoconstrucción habitacional.

##### Entrevistas y revisión documental:

A partir de la revisión documental y las entrevistas realizadas a constructores y a un profesional dedicado a la manufactura de componentes prefabricados de edificación industrializada fue posible obtener diferentes datos, los cuales se integran en diversos temas de interés para el proyecto: la autoconstrucción de vivienda, los sistemas de edificación con materiales reciclados, el potencial del PET para la edificación y la instalación de componentes prefabricados.

Los objetivos de las entrevistas fueron: conocer la percepción de los constructores acerca de la autoconstrucción y de la utilización de materiales reciclados en la construcción. Conocer la percepción de profesionales dedicados a la manufactura de componentes prefabricados de edificación industrializada acerca de la autoconstrucción y de la utilización de materiales reciclados en la construcción, así como la forma de instalación de componentes prefabricados.

Para conocer la percepción de los constructores, se hizo la entrevista al Arq. Ernesto Jaime López, constructor independiente, al Ing. Juan Luis Lamadrid Martínez, dueño y director general de una empresa constructora, al Ing. Ricardo Alberto de Aguinaga Larios, ingeniero en una empresa constructora y al Arq. Carlos Javier de Alba Góngora, constructor independiente. Se entrevistó a Manuel Moreno Gutiérrez, tecnólogo en construcción, experto

---

en paneles de Tablaroca® para conocer la percepción de profesionales dedicados a la manufactura de componentes prefabricados de edificación industrializada, así como la forma de instalación de componentes prefabricados.

En el tema de la autoconstrucción de vivienda podemos encontrar que es la única forma que tienen muchas personas de tener acceso a un techo, debido a la falta de recursos de un gran segmento de la población. De acuerdo a Hastings (2011), la oferta se enfoca en cubrir las necesidades de vivienda para los trabajadores que ganan de tres a cinco veces el salario mínimo, dejando fuera de los programas sociales a los habitantes más necesitados, por lo tanto se ha tenido que recurrir a la única forma posible de vivienda, la autoconstrucción.

Gaggino (2008) hace referencia a la autoconstrucción, mencionando que es posible que un grupo de personas sin conocimientos sobre construcción, con el control técnico necesario y una mínima infraestructura utilicen una tecnología sencilla y económica con plásticos reciclados, con el fin de tener una mejor situación habitacional.

De la entrevista realizada al Arq. Jaime se puede recuperar lo siguiente: las personas que no tienen recursos no cuentan con los medios suficientes para comprar materiales idóneos, por lo tanto, construyen con lo que se van encontrando y las casas van respondiendo a su capacidad económica y no van solucionando realmente lo que necesitan, son muy precarias las construcciones, aunque hay sus excepciones.

En la entrevista realizada al Ing. Lamadrid se puede extraer lo siguiente: la autoconstrucción es una condición para mucha gente que no tiene otra opción, la construcción en general es sumamente cara y los apoyos que se necesitan son solamente para personas susceptibles del crédito. La calidad constructiva de las viviendas autoconstruidas es variable, entre las personas que autoconstruyen puede haber un maestro constructor o algún albañil por lo tanto tienen conocimiento del tema y lo hacen un poco mejor, pero en general los niveles de calidad son bajos. La percepción de sus viviendas de las personas que autoconstruyen es que cuando construyes una casa quieres que dure muchos años, si no la haces de tabiques con castillos y los materiales tradicionales se tiene la idea de que no está bien hecha.

En la entrevista hecha al Ing. de Aguinaga se plantea que la autoconstrucción para un gran segmento de la población es el medio más accesible para poder fincar su casa, en términos generales es una calidad de media a mala.



---

En la entrevista hecha al Arq. de Alba se presenta que en aproximadamente el 60% de las zonas urbanas en Jalisco el crecimiento se da de manera irregular, eso implica que las familias muy probablemente no tienen escrituras de sus predios, no compraron a un desarrollador formal, no contratan a un arquitecto ni a un ingeniero para construir y de alguna manera inician ellos su propia vivienda. La calidad constructiva de las viviendas autoconstruidas varía mucho, hay algunas que están regular, otras que no cumplen con estándares. En general el oficio de constructor es un oficio popular por lo tanto nunca falta en las familias de escasos recursos alguien que ha trabajado como albañil, o tiene una cierta experiencia. En términos generales llegan a tener mejor calidad las viviendas autoconstruidas aún sin orientación desde el punto de vista estructural y sin proyecto arquitectónico. La gente que autoconstruye lo hace con un gran esfuerzo y con sentido de que es una inversión patrimonial, están conscientes de que es una inversión para toda la vida, por lo tanto, no les gustan los materiales nuevos.

De la entrevista realizada a M. Moreno se puede extraer lo siguiente: la autoconstrucción sería lo ideal ya que se pueden hacer las casas como cada quien lo requiera.

En el tema de los sistemas de edificación con materiales reciclados se plantean diferentes formas de aceptación comercial, existen distintas características con las que deben de contar los nuevos elementos constructivos para que sean aprobados.

De acuerdo a Gaggino (2012) se hizo un estudio con el objetivo de contribuir a descontaminar el ambiente y resolver la escasez de vivienda. Los productos desarrollados fueron paneles para vivienda y equipo, los cuales son sostenibles desde el punto de vista ecológico, técnico y económico.

De acuerdo a Conceptos plásticos (S.F.) existe una empresa que elabora un sistema constructivo alternativo para viviendas temporales y permanentes, refugios, salones de clase, salones comunitarios y otras edificaciones a partir de residuos de plástico y caucho, creando un impacto positivo en el ámbito ambiental, económico y social.

ByFusion (2016) menciona que existe una compañía dedicada a hacer bloques de plástico reciclado que se utilizan como elementos constructivos. Con este material de construcción, además de reducir la cantidad de plástico que va a dar a los vertederos y a los océanos, se quiere crear un elemento constructivo de menor costo que los existentes, para ayudar a la construcción de viviendas de personas de escasos recursos.

---

En la entrevista realizada al Arq. Jaime se afirma que si se llega a hacer un material reciclado que sea competitivo, que cumpla con las normas, que los costos sean realmente bajos y que satisfagan algunas necesidades es posible que se tenga aceptación comercial de nuevos sistemas con base en materiales reciclados.

De la entrevista realizada al Ing. Lamadrid es posible extraer que es posible tener aceptación comercial de nuevos sistemas con base en materiales reciclados. Si se cuenta con materiales que funcionen estructuralmente, que tengan una posibilidad de ser trabajados y a un precio más barato, puede ser una condición muy importante para el futuro de la construcción.

En entrevista el Ing. de Aguinaga menciona que se puede tener aceptación comercial de nuevos sistemas con base en materiales reciclados, siempre y cuando haya una diferencia en los costos y que también haya una diferencia en la facilidad.

El Arq. de Alba menciona en la entrevista que para que se tenga aceptación comercial de nuevos sistemas con base en materiales reciclados es necesario que el costo sea francamente más barato que los materiales tradicionales y que se haga una campaña en donde se promocionen los productos construyendo algunas casas muestra para que la gente pudiera verlas y cerciorarse de que tienen la resistencia suficiente y la durabilidad que ellos esperan, de otra manera va a ser muy difícil vencer la resistencia cultural.

De la entrevista realizada a M. Moreno se identifica que sería favorable que se cambiaran los materiales tradicionales de la construcción por materiales reciclados para tener más alternativas. La sociedad está acostumbrada a lo convencional, pero con buena publicidad se puede convencer a las personas de la utilización de nuevos materiales constructivos.

En el tema del potencial del PET para la edificación se hacen diferentes afirmaciones. Se encontraron diferentes posturas en las entrevistas y en la revisión documental.

Ávila & Duarte (2003) afirman que dada la gran cantidad de botellas desechables que se producen en la actualidad, es necesaria la búsqueda de procedimientos alternativos para su reciclaje o reutilización, debido a que no son biodegradables.

En entrevista el Arq. Jaime menciona que una de las posibles dificultades de aceptación de sistemas de construcción con PET reciclado puede ser la desconfianza de la gente por ser algo fuera de lo tradicional.

Por su parte el Ing. Lamadrid afirma que es una opción interesante en especial por ser económica y porque existe gran cantidad de PET, la gente busca materiales de construcción

---

más baratos. Los factores culturales podrían ser una dificultad en la aceptación de sistemas de construcción con PET reciclado, ya que la gente lo que quiere es una construcción que dure muchos años, sin embargo si el proyecto es sustentado de una manera estructurada es posible que tenga éxito.

El Ing. de Aguinaga menciona que la utilización del PET en la construcción es una buena idea, debido a que es necesario encontrar nuevas tecnologías y procedimientos que utilicen la gran cantidad de basura que generamos. Entre las dificultades se encuentra el desconocimiento del producto, el precio y por último si son utilizados en autoconstrucción la dificultad técnica para instalarlos. Es posible que las personas de escasos recursos no le den prioridad al tema ambiental, ya que lo principal es ayudarse a sí mismos en su economía.

El Arq. de Alba afirma que para la utilización del PET en la construcción es necesario saber cuántas botellas de PET se requieren para hacer un panel, de qué dimensiones y cuál es el diseño del panel. El PET es uno de los materiales más caros o que tienen mayor mercado a la reventa, ya que tienen diversas aplicaciones, por lo tanto se tiene un impacto en el costo del producto. La gran ventaja que se puede tener al utilizar materiales reciclados para una familia de escasos recursos es el costo, no es el tema ambiental, el valor agregado de reciclar un residuo se aprecia en otro tipo de estratos sociales.

M. Moreno menciona que las principales desventajas de la utilización de PET reciclado en la construcción, son la resistencia a la compresión y el desconocimiento del producto.

En el tema de la instalación de componentes prefabricados, de la entrevista realizada a M. Moreno se puede extraer lo siguiente: los paneles de Tablaroca® vienen en 1/2" y en 5/8". Para formar un muro de Tablaroca® se requiere colocar un bastidor galvanizado para muros interiores calibre 26 o ligero, los postes se ubican a cada 61cm de distancia. Cuando son muros exteriores o estructurales se utiliza un bastidor calibre 22 y los postes van a cada 40 cm. Dichos bastidores vienen en anchos diferentes 4 o 10 cm, 6.35 o 9.20 cm para que en su interior se puedan colocar instalaciones sanitarias y eléctricas. Los canales se fijan a la losa inferior y superior, los postes se colocan dentro del canal con un tornillo que se llama *framer*. El forro del bastidor puede ser con panel ya sea estándar que es el de yeso al natural RH que tiene algún aditamento de resistencia a humedad el RF que es resistencia al fuego el RE que es una tabla de panel de yeso con resistencia al exterior y el que se utiliza básicamente para fachadas o muros exteriores es la tablacemento o más popularmente conocido como

---

Durock<sup>®</sup>. El panel se fija al bastidor galvanizado con tornillos que se llaman S1, generalmente van en una hoja de 1.22 x 2.44 m lleva alrededor de 32 piezas, repartidas en toda el área. Como acabado final, después de darle un tratamiento a los tornillos con un producto que se llama Redimix<sup>®</sup> se lija y después se da como acabado final la pintura.

Después de las entrevistas se realizaron los cuestionarios, a partir de ellos se obtuvieron diferentes datos de interés para el proyecto, los cuales están englobados en distintos temas: la autoconstrucción de vivienda, los sistemas de edificación con materiales reciclados y el potencial del PET para la edificación.

#### Cuestionarios:

Los objetivos de los cuestionarios fueron conocer la percepción de posibles usuarios acerca de la utilización de materiales alternativos de construcción, especialmente paneles con PET reciclado para muros de vivienda, así como obtener datos del estado actual de viviendas autoconstruidas.

Para definir el marco muestral con que se seleccionaron los encuestados, se hizo un muestreo no probabilístico por conveniencia encuestando diez viviendas autoconstruidas ubicadas en la colonia Constitución en Zapopan, Jalisco. Para la selección de los domicilios se escogieron inmuebles que emplean distintos materiales constructivos, y que se encuentran habitados.

En la Tabla 6.5 se presentan datos de las viviendas de las personas encuestadas, en la cual se puede observar que los encuestados fueron personas de entre 19 y 85 años de edad. La antigüedad de las viviendas es de entre 15 y 50 años, con superficie de terreno de entre 80 y 128 m<sup>2</sup> y superficie construida de entre 80 y 330 m<sup>2</sup>, con 1, 2 o 3 niveles. Las viviendas tienen de 2 a 7 dormitorios y habitan entre 3 y 12 personas.

En la Figura 6.3 se muestran las gráficas con los resultados generales obtenidos en los cuestionarios aplicados a personas que habitan en viviendas autoconstruidas. En las cuales se verifica que la mitad de los encuestados obtuvo su vivienda nueva y la otra mitad usada, el 80% de los encuestados son dueños de la vivienda, el 20% la rentan. El 70% de los encuestados afirman que se le han hecho ampliaciones a su vivienda, como bardas, segundos pisos o cuartos adicionales, de los que hicieron ampliaciones, el 85% no recibió asesoría para dichas ampliaciones. El 80% estaría dispuesto a dejar de utilizar materiales de construcción tradicionales en su vivienda y el 60% estaría dispuesto a utilizar paneles de PET reciclado para muros en sus viviendas para separar las habitaciones

Entre las razones por las que si cambiarían los materiales tradicionales por materiales nuevos, los encuestados mencionaron que sería bueno experimentar, que lo nuevo es bueno y que si es mejor calidad o más barato si lo aceptarían. Una de las razones por las que no lo aceptarían es porque podrían ser débiles.

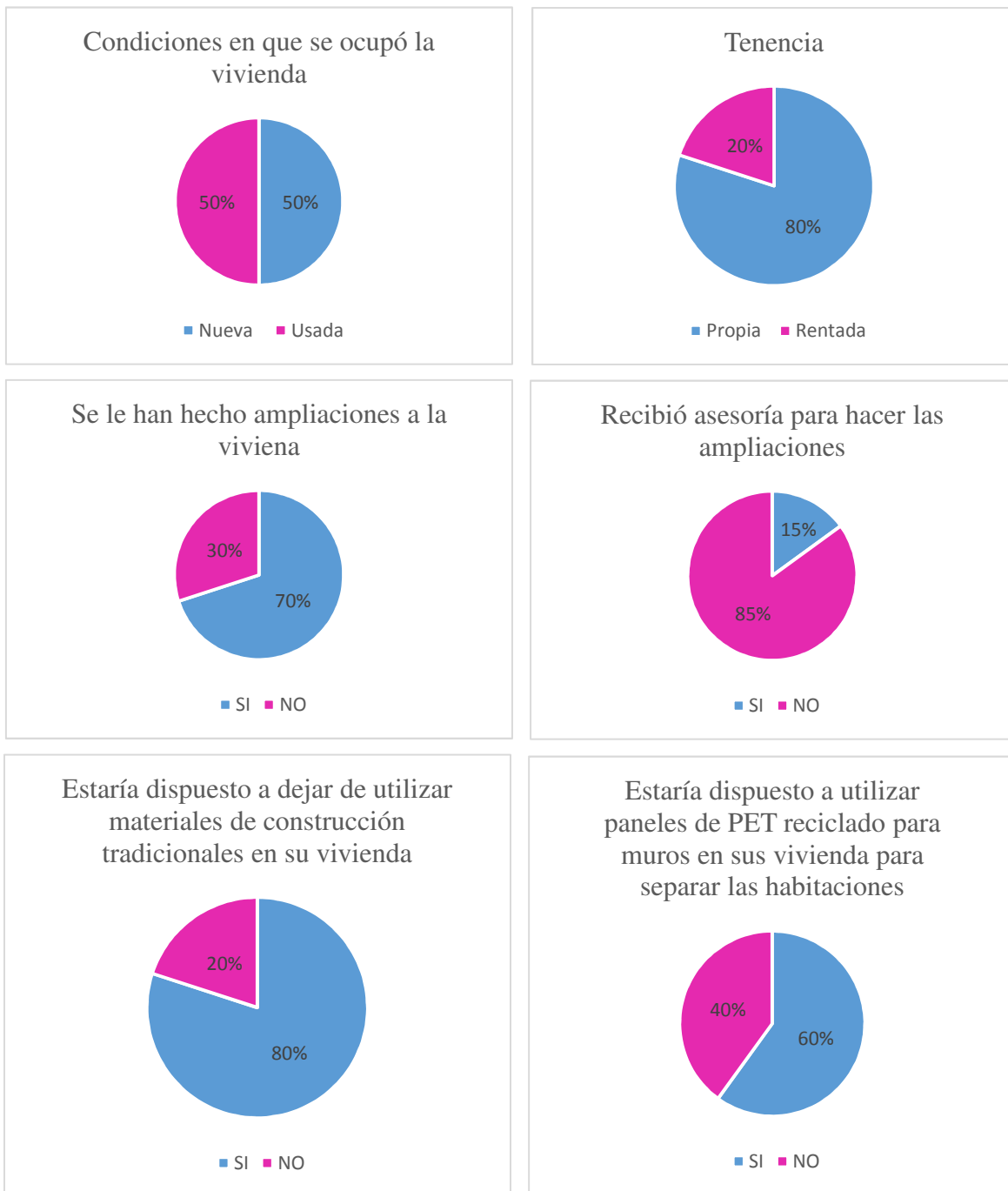
Se presentaron también razones por las que si utilizarían paneles de PET reciclado para muros en sus viviendas para separar las habitaciones, como no ponerle más peso a la estructura, para probar y ver cómo funciona, por el ahorro y para reutilizar. Entre las razones por las que no los usarían están que se escucharía el ruido y que no son resistentes.

En la Figura 6.4 podemos ver la importancia en las características de los nuevos materiales para la construcción de muros de vivienda, en la cual se observa que de acuerdo a los encuestados, lo más importante es que el elemento sea seguro constructivamente, en segundo lugar, que sea económico, después ecológico y durable, de fácil instalación y por último estético.

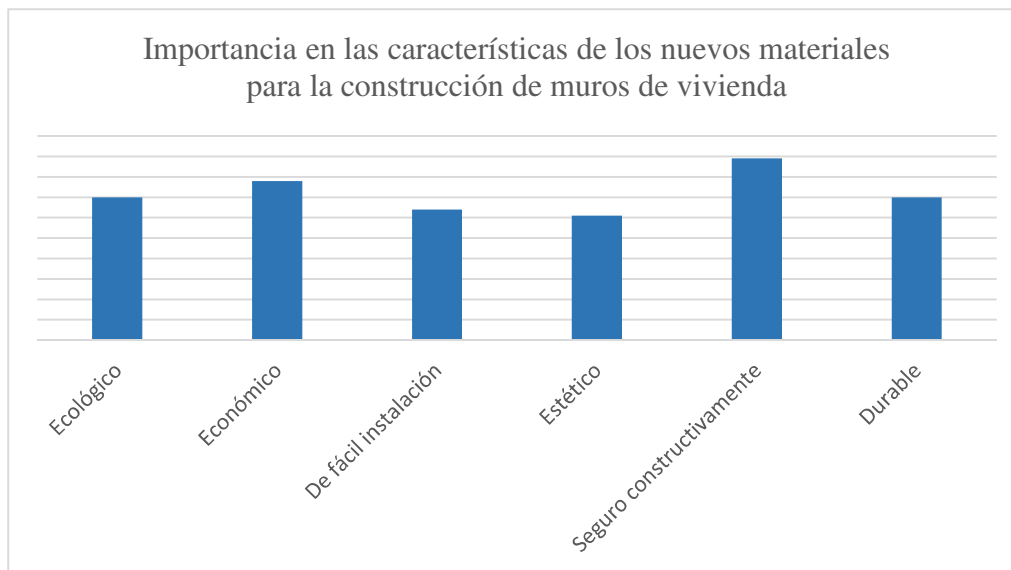
**Tabla 6.5**

*Datos de viviendas de personas encuestadas*

Folio	Edad del encuestado	Antigüedad de la vivienda	Superficie de terreno (m <sup>2</sup> )	Superficie construida (m <sup>2</sup> )	Niveles	Dormitorios	Habitantes
01	38	15	100	80	1	3	4
02	85	48	117	180	2	2	6
03	19	50	98	160	2	6	6
04	62	50	114	200	2	5	8
05	33	50	110	330	3	7	12
06	20	N/A	80	160	2	2	3
07	21	40	100	180	2	4	6
08	44	30	100	160	2	3	4
09	64	34	85	169	2	2	3
10	45	44	128	109	1	3	4



**Figura 6.3.** Gráficas de resultados de cuestionario de vivienda.



**Figura 6.4.** Importancia en las características de los nuevos materiales para la construcción de muros de vivienda.

### 6.3 Comparación con sistemas constructivos tradicionales

Este apartado muestra una comparación del prototipo de panel con PET reciclado combinado con PEAD y PP para muros divisorios de vivienda con sistemas constructivos basados en paneles, como Panel W<sup>®</sup>, Tablaroca<sup>®</sup>, Panel Rey<sup>®</sup> y Durock<sup>®</sup> (ver Tabla 6.6). Los datos de los paneles existentes utilizados en dicha tabla se obtuvieron de la revisión documental mostrada en el Capítulo 3, la resistencia térmica del Panel W<sup>®</sup> se calculó a partir de su conductividad térmica, los precios se obtuvieron de la página de una empresa dedicada a la venta de materiales de construcción. Los datos del panel con PET reciclado se muestran en los Capítulos 5 y 6.

En la Tabla 6.6 se puede observar que si se consiguen los materiales de manera gratuita para la elaboración de los paneles con PET reciclado, sería posible reducir los costos en los muros divisorios más de 90%. También se verifica que la resistencia a la compresión de los paneles estudiados en este proyecto es mayor que la de los demás. La resistencia de los paneles de yeso equivale a un 14% de la resistencia de los paneles con PET reciclado, la del concreto utilizado en el Panel W<sup>®</sup> equivale a un 58% y la del mortero de cemento portland a un 46%. Se presenta que la densidad de los paneles con PET reciclado es mayor que la de los paneles de yeso y más pequeña que la del tablamiento. Es alrededor de 28% más grande que la de Tablaroca<sup>®</sup> y 45% que la Panel Rey<sup>®</sup>, así como alrededor de 8% menor que la del Durock<sup>®</sup>.

En cuanto a la conductividad térmica es posible que los paneles presentados funcionen como aislantes térmicos, debido a que su conductividad térmica es baja.

**Tabla 6.6**

*Comparativo de características de paneles*

	Panel con PET reciclado mezclado con PEAD y PP	Panel W <sup>®</sup>	Tablaroca <sup>®</sup>	Panel Rey <sup>®</sup>	Durock <sup>®</sup>
Medidas	1.22 x 2.44 m con espesores de 1/2" o 1"	1.22 x 2.44 m con espesores de 2", 3" o 4"	1.22 x 2.44 - 3.66 m con espesores de 3/8", 1/2", 5/8" o 1"	1.22 x 2.44 - 3.66 m con espesores de 1/4", 3/8", 1/2" o 5/8"	1.22 x 2.44 m x 1/2"
Materiales	20% PET 35% PEAD 45% PP	Paneles de alambre de acero con núcleo de espuma aislante	Sándwich de yeso entre dos capas de papel cartón reciclado	Núcleo incombustible hecho principalmente de yeso cubierto por ambos lados con papel reciclado	Hecho de cemento Portland, laminado con 2 mallas de fibra de vidrio polimerizada
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	173.36 kg/cm <sup>2</sup>	100 kg/cm <sup>2</sup> (Resistencia del concreto)	24.47 kg/cm <sup>2</sup>	24.47 kg/cm <sup>2</sup>	79.54 kg/cm <sup>2</sup> (Resistencia del mortero)
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	882.81 kg/m <sup>3</sup>	Poliestireno expandido 7 a 9 kg/m <sup>3</sup>	690.20 kg/m <sup>3</sup>	607.03 kg/m <sup>3</sup>	961.34 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	PET: 0.15-0.40 W/m·K PEAD: 0.45-0.52 W/m·K PP: 0.10-0.22 W/m·K	0.0442 W/m·K	0.1445 W/m·K	0.0952 W/m·K	0.1017 W/m·K
Resistencia térmica espesor 1/2" (Excepto Panel W <sup>®</sup> 2")	PET: 0.03-0.08 K·m <sup>2</sup> /W PEAD: 0.02-0.03 K·m <sup>2</sup> /W PP: 0.06-0.13 K·m <sup>2</sup> /W	1.15 K·m <sup>2</sup> /W	0.08 K·m <sup>2</sup> /W	0.13 K·m <sup>2</sup> /W	0.12 K·m <sup>2</sup> /W
Costo total unitario 1.22 x 2.44m x 1/2" (Excepto Panel W <sup>®</sup> 2")	MXN\$205.91 o MXN\$13.43	MXN\$304.21	MXN\$135	MXN\$129	MXN\$489



---

#### 6.4 Resumen de hallazgos

A partir de las técnicas de investigación se generó conocimiento en distintas áreas, a continuación se muestran los hallazgos más importantes. Se contrastó la información obtenida en la revisión documental, las entrevistas, los cuestionarios y las pruebas de laboratorio, cotejándola para identificar los datos que coinciden en diferentes fuentes.

Se obtuvieron hallazgos en diversos temas de interés para el proyecto. Los temas son: recolección y acopio de plástico, procesos de separación-preparación y venta de plásticos, la autoconstrucción de vivienda, instalación de componentes prefabricados, los sistemas de edificación con materiales reciclados y potencial del PET para la edificación.

#### **Recolección y acopio de plástico**

- El precio del plástico es variable
- La cantidad de plástico disponible es variable
- Existen actualmente en México diferentes empresas dedicadas al reciclaje de plásticos

#### **Procesos de separación-preparación y venta de plásticos**

- Existen diferentes procesos llevados a cabo en el plástico reciclado para su reutilización

#### **La autoconstrucción de vivienda**

- Actualmente la autoconstrucción es un problema real, debido a que es una condición para gran cantidad de personas que no tiene otra opción para edificar su vivienda
- La oferta de vivienda está centrada en personas que son susceptibles de crédito, dejando fuera a gran parte de la población, la cual tiene que recurrir a la autoconstrucción
- La calidad de las viviendas autoconstruidas es variable, algunas veces son construidas por personas que han trabajado en la construcción como albañiles o maestros constructores
- Las personas que autoconstruyen lo hacen con un gran esfuerzo y pensando que es una inversión para toda la vida
- La autoconstrucción de vivienda se hace, en general, sin asesoría profesional

---

### **Instalación de componentes prefabricados**

- Los paneles de Tablaroca® tienen diferentes espesores, para su instalación se requieren diversos elementos

### **Los sistemas de edificación con materiales reciclados**

- Para tener aceptación comercial de nuevos sistemas con base en materiales reciclados es necesario que el costo sea realmente menor que el de los materiales tradicionales
- Es necesario que el nuevo sistema sea seguro estructuralmente

### **Potencial del PET para la edificación**

- El tema de reciclar materiales para la construcción es una ventaja del proyecto, ya que se está ayudando al medio ambiente
- Los factores culturales y el desconocimiento del producto son una desventaja para el proyecto, debido a que las personas quieren hacer sus construcciones con los materiales que ya conocen, ya que se sienten seguras utilizando los materiales tradicionales
- Para las personas que autoconstruyen el valor ambiental del producto no es prioritario, porque tienen que preocuparse por otras necesidades
- Es necesario que el costo del panel sea menor que el de los materiales tradicionales
- Es necesario que el panel sea seguro estructuralmente
- Hay personas que habitan en viviendas autoconstruidas que están dispuestas a dejar de utilizar materiales de construcción tradicionales y utilizar elementos constructivos hechos con plástico reciclado

Además de los hallazgos presentados, se muestran las características obtenidas del panel con PET reciclado combinado con otros plásticos para muros divisorios de vivienda (ver Tabla 6.7). Se puede observar que si se combina el PET con el PEAD y el PP es posible realizar elementos constructivos. Las medidas del prototipo de panel de los datos mostrados son: 1.22 x 2.44 m x 1/2", las del prototipo de panel a escala son: 0.14 x 0.11 m x 1/2".

**Tabla 6.7***Características del prototipo de panel con PET reciclado combinado con PEAD y PP*

Característica	Especificación
Medidas prototipo	1.22 x 2.44 m con espesores de 1/2" o 1"
Materiales	20% PET 35% PEAD 45% PP
Resistencia a la compresión	173.36 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la tensión	206.92 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad en pruebas de compresión	1203.07 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad en pruebas de tensión	1541.09 kg/cm <sup>2</sup>
Adherencia	El PET no se adhiere de manera adecuada como el PEAD y el PP, generando micro agrietamiento
Densidad muestras compresión	882.81 kg/m <sup>3</sup>
Densidad muestras tensión	850.81 kg/m <sup>3</sup>
Modo de falla a la compresión	Patrón de agrietamiento con grietas diagonales por cortante
Modo de falla a la tensión	Falla por degollamiento
Conductividad térmica a 23°C	PET: 0.15-0.40 W/m·K PEAD: 0.45-0.52 W/m·K PP: 0.10-0.22 W/m·K
Resistencia térmica espesor 1/2"	PET: 0.03-0.08 K·m <sup>2</sup> /W PEAD: 0.02-0.03 K·m <sup>2</sup> /W PP: 0.06-0.13 K·m <sup>2</sup> /W
Inflamabilidad	Son materiales inflamables
Consumo de energía (Prototipo a escala)	3.87 kWh
Consumo de materia prima (Prototipo)	PET: 6.67 kg PEAD: 11.68 kg PP: 15.02 kg
Emisiones producidas (Prototipo a escala)	3.40 kg CO <sub>2</sub> eq.
Costo total unitario con materia prima comprada (Prototipo)	MXN\$205.91
Costo total unitario con materia prima gratuita (Prototipo)	MXN\$13.43
Impacto ambiental	Reducción de residuos de plástico que van a dar a las calles, tuberías infraestructurales, cauces hídricos, océanos y rellenos sanitarios.
Impacto económico	Reducción de costo en la construcción de vivienda.
Impacto social	Apoyo de vivienda digna para personas de escasos recursos.
Viabilidad del uso en la autoconstrucción habitacional	Componentes de fácil instalación.

---

## 6.5 Conclusiones

En este apartado se muestra la aportación del proyecto en los tres ámbitos de la sustentabilidad, ambiental, económico y social, mostrando distintos criterios e indicadores de sustentabilidad.

Las diferentes técnicas de investigación utilizadas en este apartado muestran la forma en que este proyecto puede contribuir a la sustentabilidad.

Se obtuvo información de las emisiones producidas en la realización de un prototipo de panel a escala. Con el análisis de ciclo de vida podemos observar que por ser materiales reciclados se elimina una parte importante de las emisiones generadas por los materiales, las del proceso para su fabricación. Las emisiones producidas tomando en cuenta la cantidad de energía utilizada por la máquina trituradora, la prensa de termoformado y el transporte de los materiales es de 3.4 kg de CO<sub>2</sub> eq. Las emisiones producidas en la eliminación de los componentes del panel, tomando en cuenta un 80% de reciclaje de los elementos, es de 0.297 g de CO<sub>2</sub> eq.

La certificación LEED es un factor clave que informa la importancia de la utilización de materiales reciclados en la construcción, ya que, aunque la obra no se certifique sabemos que estamos contribuyendo a tener edificaciones más sustentables. Así también si los paneles se utilizaran en obras certificadas, se podría crear un fondo de ayuda para poder dar un menor precio del producto a las personas más necesitadas y se podría implementar la utilización de los paneles en una escala mayor.

Se determinó que con la elaboración de un prototipo de panel de 1.22 x 2.44 x 0.0127 m se podrían reciclar 6.67 kg de PET, 11.68 kg de PEAD y 15.02 kg de PP reduciendo la cantidad de residuos de plástico que termina en las calles, tuberías infraestructurales, cauces hídricos, océanos y rellenos sanitarios, los cuales causan graves problemas ambientales.

De la entrevista realizada para conocer la forma en que se llevan a cabo los procesos de reciclaje de plástico en una planta procesadora es importante destacar la gran utilidad de conocer sus procesos y dificultades, con el fin de aprender y tomar precauciones en lo que sea posible.

A partir del presupuesto se plantea el costo de un panel si se compran los plásticos utilizados para su fabricación, el cual es de MXN\$205.91. Sin embargo, se plantea como línea de investigación futura la posibilidad de realizar un plan en asociaciones e instituciones para la

---

obtención de los plásticos de forma gratuita sin tapa ni etiqueta, ya que se pretende utilizar los paneles en viviendas para personas de escasos recursos. Se realizó también el presupuesto con esta posibilidad, dando un total de MXN\$13.43 por panel.

En la comparación del prototipo de panel con PET reciclado combinado con PEAD y PP para muros divisorios de vivienda con sistemas constructivos basados en paneles, como Panel W<sup>®</sup>, Tablaroca<sup>®</sup>, Panel Rey<sup>®</sup> y Durock<sup>®</sup> se presenta que si se consiguen los materiales de manera gratuita para la elaboración de los paneles con PET reciclado, sería posible reducir los costos en los muros divisorios más de un 90%. También se verifica que la resistencia a la compresión de los paneles estudiados en este proyecto es mayor que la de los demás. La resistencia de los paneles de yeso equivale a un 14% de la resistencia de los paneles con PET reciclado, la del concreto utilizado en el Panel W<sup>®</sup> equivale a un 58% y la del mortero de cemento portland a un 46%.

La densidad de los paneles con PET reciclado es mayor que la de los paneles de yeso y más pequeña que la del tablamiento. Es alrededor de 28% más grande que la de Tablaroca<sup>®</sup> y 45% que la Panel Rey<sup>®</sup>, así como alrededor de 8% menor que la del Durock<sup>®</sup>. Es posible que los paneles presentados funcionen como aislantes térmicos, debido a que su conductividad térmica es baja.

Las entrevistas y los cuestionarios muestran ciertas dificultades a las que se puede enfrentar el proyecto, como los factores culturales y el desconocimiento del producto, debido a que las personas quieren hacer sus construcciones con los materiales conocidos y de bajo costo. También se muestra que los posibles usuarios muestran cierta aceptación en el producto. Por lo tanto, se puede concluir que mostrando las pruebas físicas y mecánicas necesarias para garantizar la seguridad estructural y funcional en el panel y ofreciendo un menor costo, es posible utilizar este elemento constructivo en la autoconstrucción habitacional.

---

**Capítulo 7.**  
**Conclusiones generales e investigación**  
**futura**

---

## **Capítulo 7. Conclusiones generales e investigación futura**

### 7.1 Resumen general

La presente investigación comienza describiendo la introducción general del proyecto, la situación problema y el alcance del trabajo, dando a conocer las preguntas de investigación y los objetivos, su ubicación en campos disciplinares, la definición de diversos términos utilizados y la importancia del proyecto.

Se presentó el diseño metodológico utilizado para la realización de este estudio, describiendo el modelo científico y las técnicas de investigación, las cuales son: revisión documental, entrevistas, cuestionarios y experimentación, con ellas se obtuvo información de tipo cuantitativa y cualitativa.

Se mostró el marco contextual y el marco conceptual del proyecto, presentando la revisión documental del trabajo, incluyendo los antecedentes empíricos del tema, así como las referencias conceptuales.

Se presentaron las pruebas experimentales iniciales realizadas en el proyecto con el fin de identificar las características del PET para el manejo y uso como material reciclado, dificultades para su reutilización, punto de fusión, propiedades físicas, ventajas y desventajas de posibles alianzas con otros materiales para facilitar su implementación y maquinaria requerida para este proceso de reciclaje.

Se obtuvo información acerca de las características físicas y mecánicas de la forma en que se comporta el PET al fundirlo y combinarlo con el PP y PEAD. Se realizaron pruebas exploratorias aplicando esfuerzo cortante con las manos, así como pruebas a compresión y tensión con equipo de laboratorio, se realizó un prototipo de panel a escala y se hizo una propuesta de los conectores para ensamblar los paneles entre sí.

Se describió la contribución del proyecto en los tres ámbitos de la sustentabilidad, ambiental, económico y social, mostrando criterios e indicadores de sustentabilidad. Se presentó la información obtenida en entrevistas y cuestionarios.

Se realizó una comparación del prototipo de panel con sistemas constructivos tradicionales basados en paneles, como Panel W<sup>®</sup>, Tablaroca<sup>®</sup>, Panel Rey<sup>®</sup> y Durock<sup>®</sup>.

Finalmente, se abordan las conclusiones generales del proyecto mostrando datos sobre su viabilidad técnica, económica, ambiental y social, asimismo se muestran las líneas de investigación futuras.

---

## 7.2 Conclusiones generales

En este proyecto se cumplió con el objetivo general de evaluar la viabilidad técnica de fabricación de un prototipo de panel con PET reciclado combinado con PEAD y PP para muros divisorios de vivienda en Jalisco, aportando datos sobre el nivel de sustentabilidad y el comportamiento estructural. Se lograron los objetivos particulares los cuales son la metodología para alcanzar el objetivo general.

La situación-problema por la cual se definió este tema de investigación es la falta de información técnica y de sustentabilidad sobre los sistemas de edificación con base en paneles con PET reciclado utilizados para la construcción de muros, ya que con su implementación es posible reducir la acumulación masiva de residuos de PET en calles, tuberías infraestructurales, cauces hídricos, océanos y rellenos sanitarios, los cuales ocasionan severos problemas ambientales. Asimismo, se puede reducir el costo en la construcción de vivienda, apoyando la vivienda digna para personas de escasos recursos, implementando en las viviendas paneles interiores como separadores de espacio a bajo costo. El trabajo se realizó a partir de distintas técnicas de investigación, revisión documental, entrevistas, cuestionarios y experimentación, con las cuales se obtuvo información de tipo cuantitativa y cualitativa.

En la revisión documental, en los antecedentes empíricos, se registró que existen diversas experiencias en el uso de plásticos reciclados en la construcción, principalmente de PET, así como de su combinación con otros plásticos o materiales. Entre los ejemplos de la utilización de plástico reciclado en la construcción se mencionan los siguientes: 1) Elementos constructivos utilizando resinas de poliéster no saturadas hechas con residuos de PET reciclado; 2) Paneles utilizando plásticos reciclados mezclados con resina de poliéster; 3) Elementos constructivos utilizando fibras de plásticos, especialmente de PET como refuerzo en el concreto así como remplazo de agregados en mezclas de cemento; 4) Elementos constructivos hechos con PET reciclado triturado, calentado y mezclado con agregados y 5) Empresas y personas dedicadas a la realización de elementos constructivos hechos con plásticos reciclados.

Existen diversos procesos para la transformación de los plásticos, en este estudio se utilizó el de inyección y el de termoformado. Asimismo existen distintos sistemas constructivos basados en paneles, como Panel W<sup>®</sup>, Tablaroca<sup>®</sup>, Panel Rey<sup>®</sup> y Durock<sup>®</sup>.



---

Debido a que la conductividad térmica de los plásticos no es buena, es posible utilizar el prototipo de panel con PET mezclado con PEAD y PP reciclados como aislante térmico.

Se definió que debido a que los plásticos son materiales inflamables, para la elaboración del prototipo de panel con PET reciclado es preciso utilizar un retardante de llama con el fin de disminuir la expansión del fuego en caso de incendio. Se pretende utilizar un retardante de llama ecológico que no sea dañino para la salud ni para el medio ambiente.

En las referencias conceptuales se investigó que existe una problemática en la actualidad en México en cuanto a la generación de residuos y a la carencia de vivienda, mencionando que el reciclaje es de vital importancia para disminuir el impacto ambiental negativo que generan nuestros residuos sólidos.

Después de la elaboración de los experimentos fundiendo el PET triturado, se encontró que para la realización de especímenes con PET fundido es indispensable contar con maquinaria especializada para el manejo de plásticos, asimismo es de vital importancia conocer sus características.

Se obtuvo información acerca de las características físicas y mecánicas de la forma en que se comporta el PET al fundirlo y combinarlo con el PP y PEAD.

Se realizaron pruebas exploratorias aplicando esfuerzo cortante manual combinando diferentes porcentajes a distintas temperaturas de PET adicionado con PEAD y PP, en una máquina de inyección, en las cuales se definieron las dos combinaciones más atractivas de acuerdo a su comportamiento para hacer los especímenes probados a compresión. Las mezclas elegidas fueron 33% PET 33% PEAD 33% PP y 20% PET 35% PEAD 45% PP a una temperatura de 175°C. Con la realización de esas pruebas se puede determinar que las diferentes proporciones y temperaturas influyen de forma trascendental en el comportamiento de las muestras. Se encontró que las muestras con proporciones de PET a partir de 50% o las realizadas a una temperatura mayor de 200°C tienen un comportamiento frágil, excepto la muestra 50% PET 50% PP a 211°C, la cual tiene resistencia media. Se hizo una muestra con 100% PET la cual resultó ser la más quebradiza de todas, lo que indica la importancia de la combinación con los otros plásticos.

A partir del diseño de experimentos utilizando las dos mezclas seleccionadas se realizaron las pruebas para determinar la resistencia a la compresión uniaxial de los especímenes. Con

---

estas pruebas se obtuvo también su módulo de elasticidad, adherencia, densidad y modos de falla.

En cuanto al modo de falla las dos combinaciones presentaron un patrón de agrietamiento con grietas diagonales por transmisión de esfuerzo cortante. Se precisó de forma cualitativa la adherencia en las muestras en las pruebas a compresión y tensión, se observó que el PET no se adhiere de manera adecuada como el PEAD y el PP, ocasionando el micro agrietamiento.

Los valores promedio de los especímenes de la mezcla 33% PET 33% PEAD 33% PP fueron: esfuerzo en el límite elástico de  $121.34 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1129 \text{ cm/cm}$ , esfuerzo máximo de  $157.98 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.2006 \text{ cm/cm}$ , módulo de elasticidad de  $1073.38 \text{ kg/cm}^2$  y densidad de  $925.12 \text{ kg/m}^3$ .

Los valores promedio de los especímenes de la mezcla 20% PET 35% PEAD 45% PP fueron: esfuerzo en el límite elástico de  $136.46 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1134 \text{ cm/cm}$ , esfuerzo máximo de  $173.36 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1925 \text{ cm/cm}$ , módulo de elasticidad de  $1203.07 \text{ kg/cm}^2$  y densidad de  $882.81 \text{ kg/m}^3$ . Esta última mezcla presenta en promedio alrededor de 12% más de esfuerzo en el límite elástico en comparación con la primera y una deformación de  $0.0005 \text{ cm/cm}$  más grande. En el esfuerzo máximo la segunda mezcla muestra cerca de un 10% más de resistencia que la primera, con una deformación de  $0.0081 \text{ cm/cm}$  menor. En cuanto al módulo de elasticidad, la última presenta un 12% más que la primera. La densidad de la mezcla 33% PET 33% PEAD 33% PP es alrededor de 5% mayor que la de la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP.

El esfuerzo último máximo presentado en la combinación 33% PET 33% PEAD 33% PP es de  $181.27 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación  $0.2669 \text{ cm/cm}$  y el mínimo de  $136.87 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1630 \text{ cm/cm}$ , el módulo de elasticidad máximo es de  $1154.86 \text{ kg/cm}^2$  y el mínimo de  $1023.34 \text{ kg/cm}^2$ .

El esfuerzo último máximo presentado en la combinación 20% PET 35% PEAD 45% PP es de  $189.63 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación  $0.2094 \text{ cm/cm}$  y el mínimo de  $151.79 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1524 \text{ cm/cm}$ , el módulo de elasticidad máximo es de  $1255.15 \text{ kg/cm}^2$  y el mínimo de  $1087.26 \text{ kg/cm}^2$ .

Se definió que ambas mezclas cuentan con un comportamiento adecuado para la realización de los paneles. Sin embargo, para este proyecto se decidió utilizar la combinación 20% PET

---

35% PEAD 45% PP debido a que es la que cuenta con mayor resistencia a la compresión uniaxial y en promedio presenta una menor deformación. Otra de las razones por las que se eligió la mezcla es que se hizo de acuerdo a las cantidades que se consumen en México de estos tres tipos de plástico.

Se realizaron las pruebas a tensión con la mezcla elegida. Los valores promedio de los especímenes fueron: esfuerzo en el límite elástico de  $140.276 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1042 \text{ cm/cm}$ , esfuerzo máximo de  $206.92 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1630 \text{ cm/cm}$ , módulo de elasticidad de  $1541.09 \text{ kg/cm}^2$  y densidad aproximada de  $850.81 \text{ kg/m}^3$ . El esfuerzo último máximo es de  $226.19 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación  $0.1707 \text{ cm/cm}$  y el mínimo de  $192.00 \text{ kg/cm}^2$  con una deformación de  $0.1478 \text{ cm/cm}$ , el módulo de elasticidad máximo es de  $1706.67 \text{ kg/cm}^2$  y el mínimo de  $1416.42 \text{ kg/cm}^2$ . El modo principal de falla obtenido en las muestras es por degollamiento.

La resistencia a la compresión y tensión de los plásticos vírgenes sin mezclar, investigada en la revisión documental, es mayor que la mostrada en las pruebas con la combinación de ellos, PET  $773.38-1054.61 \text{ kg/cm}^2$  y  $492.15-738.22 \text{ kg/cm}^2$ , PEAD  $189.83-253.11 \text{ kg/cm}^2$  y  $224.98-316.38 \text{ kg/cm}^2$  y PP  $386.69-562.46 \text{ kg/cm}^2$  y  $316.38-421.84 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. Sin embargo, se decidió combinarlos debido a la dificultad para trabajar el PET, asimismo se puede garantizar el reciclaje de los tres tipos de plástico.

La realización del prototipo de panel a escala permitió ver en físico la presentación del panel para conocer sus características y el proceso de su elaboración.

A pesar de las dificultades que presenta el PET para ser trabajado como material reciclado, con las pruebas realizadas se encontró que con la utilización de la maquinaria adecuada es posible fabricar elementos constructivos.

En la propuesta de panel con conectores se definió una manera de ensamblar los paneles entre sí, en el cual se utiliza un sistema como el de los paneles de Tablaroca<sup>®</sup>, con canales y postes metálicos posiblemente reciclados.

Se presenta la aportación del proyecto en los tres ámbitos de la sustentabilidad, ambiental, económico y social, mostrando distintos criterios e indicadores de sustentabilidad.

Con el análisis de ciclo de vida del prototipo de panel a escala podemos observar que por ser materiales reciclados se elimina una parte importante de las emisiones generadas por los materiales, las del proceso para su fabricación. Las emisiones producidas tomando en cuenta

---

la cantidad de energía utilizada por la máquina trituradora (0.41 kWh) y la prensa de termoformado (3.46 kWh), así como el transporte de los materiales es de 3.4 kg de CO<sub>2</sub> eq. Las emisiones producidas en la eliminación de los componentes del panel, tomando en cuenta un 80% de reciclaje de los elementos, es de 0.297 g de CO<sub>2</sub> eq.

Es importante destacar que es posible reciclar este elemento constructivo de plástico y volver a fabricar otro panel, solamente es necesario removerlo de la construcción para volver a procesarlo.

La certificación LEED es un factor clave que muestra la importancia de la utilización de materiales reciclados en la construcción, con un contenido reciclado en la obra de 10% la certificación otorga 1 punto y con un contenido de 20% se otorgan 2 puntos. Aunque la obra no se certifique sabemos que estamos contribuyendo a tener edificaciones más sustentables. Así también si los paneles se utilizaran en obras certificadas, se podría crear un fondo de apoyo para poder dar precio más bajo del producto a personas de escasos recursos y se podría implementar la utilización de los paneles en una escala mayor.

Se determinó que con la elaboración de un prototipo de panel de 1.22 x 2.44 x 0.0127 m se podrían reciclar 6.67 kg de PET, 11.68 kg de PEAD y 15.02 kg de PP. Para tener una referencia de la cantidad de PET producido, se debe tomar en cuenta que en la Universidad ITESO en total se producen 548 kg de PET al semestre y en todo el estado de Jalisco se producen 49,279.80 toneladas de PET al año.

De la entrevista realizada para conocer la forma en que se llevan a cabo los procesos de reciclaje de plástico en una planta procesadora es necesario destacar la importancia de conocer sus procesos y dificultades, con el objetivo de aprender y tomar precauciones en lo que sea posible.

A partir del presupuesto se muestra el costo de un panel si se compran los plásticos utilizados para su fabricación, el cual es de MXN\$205.91. Sin embargo, se plantea la posibilidad de realizar un plan en asociaciones e instituciones para la obtención de los plásticos de forma gratuita sin tapa ni etiqueta, ya que se pretende utilizar los paneles en viviendas para personas de escasos recursos. Se realizó también el presupuesto con esta posibilidad, dando un total de MXN\$13.43 por panel.

Para la aportación en el ámbito social se realizaron entrevistas y cuestionarios obteniendo datos sobre la aceptación social y la viabilidad del uso en la autoconstrucción habitacional.

---

Los cuales describen ciertas dificultades a las que se puede enfrentar el proyecto, como los factores culturales y el desconocimiento del producto, debido a que las personas quieren hacer sus construcciones con los materiales conocidos y de bajo costo. También se muestra que los posibles usuarios muestran cierta aceptación en el producto. Por lo tanto, se puede concluir que mostrando las pruebas físicas y mecánicas que garantizan la seguridad estructural y funcional en el panel y otorgando un menor costo, es posible utilizar este elemento constructivo en la autoconstrucción habitacional.

Asimismo, el proyecto aporta a la sustentabilidad social al proporcionar un elemento constructivo para muros divisorios ya que permiten tener mayor privacidad en una vivienda y contar con espacios definidos.

En la comparación del prototipo de panel con PET reciclado combinado con PEAD y PP para muros divisorios de vivienda con sistemas constructivos basados en paneles, como Panel W<sup>®</sup>, Tablaroca<sup>®</sup>, Panel Rey<sup>®</sup> y Durock<sup>®</sup> se presenta que si se consiguen los materiales de manera gratuita para la elaboración de los paneles con PET reciclado, sería posible reducir los costos en los muros divisorios más de un 90%. También se verifica que la resistencia a la compresión de los paneles estudiados en este proyecto es mayor que la de los demás. La resistencia de los paneles de yeso equivale a un 14% de la resistencia de los paneles con PET reciclado, la del concreto utilizado en el Panel W<sup>®</sup> equivale a un 58% y la del mortero de cemento portland a un 46%.

La densidad de los paneles con PET reciclado es mayor que la de los paneles de yeso y más pequeña que la del tablamiento. Es alrededor de 28% más grande que la de Tablaroca<sup>®</sup> y 45% que la Panel Rey<sup>®</sup>, así como alrededor de 8% menor que la del Durock<sup>®</sup>.

De acuerdo a la información recabada en esta investigación se plantea que este proyecto es viable técnica, económica, ambiental y socialmente si se cumplen y demuestran ciertos requisitos específicos en cada una de las áreas.

El tener conocimiento de todas las características antes mencionadas del prototipo de panel da una visión de su comportamiento y muestra la viabilidad de su uso en la construcción.

El uso del PET reciclado en la construcción no es una tarea fácil y muestra un gran reto, sin embargo, debido a los daños que causa en el medio ambiente es preciso continuar con la presente investigación para lograr reducir sus impactos negativos de manera significativa y utilizar este elemento constructivo a gran escala.

---

Entre las ventajas de la utilización de paneles con PET reciclado se encuentra que con su implementación se disminuyen las emisiones producidas en la obtención de materias primas, se reciclan residuos de plásticos que dañan el medio ambiente con su incorrecta disposición final, se elabora un elemento constructivo con la resistencia necesaria para ser utilizado como muro divisorio, así como aislante térmico a un bajo costo. También es posible la obtención de puntos en la certificación LEED.

Entre las desventajas se encuentra la inversión inicial para obtener la maquinaria para la elaboración de los paneles y los factores culturales que pueden hacer que las personas no tengan confianza en el producto.

Entre las ventajas que presenta este proyecto en relación a los elementos constructivos que existen actualmente que utilizan plástico reciclado (*e.g.* Reis & Carneiro (2012) y Ge *et al.* (2015)) es que todos los materiales utilizados en el panel son reciclados, asimismo, no utilizan resina para unirlos (*e.g.* Gaggino (2012)), lo que puede tener un menor costo y hacerlo un producto más sustentable. Entre las desventajas se encuentra que presenta menor resistencia a la compresión y menor módulo de elasticidad (*e.g.* Ávila & Duarte (2003)).

Finalmente, en base a los datos obtenidos en este proyecto se muestra la posibilidad de la utilización del PET reciclado combinándolo con PEAD y PP también reciclados como elemento constructivo.

### 7.3 Líneas de investigación futuras

Existen líneas de investigación futuras que se podrían seguir para continuar con este estudio. El enfoque del proyecto se hizo a nivel micro debido a la maquinaria a la que se tuvo acceso durante su realización, uno de los retos presentados fue la falta de información de los sistemas de edificación con base en paneles con PET reciclado. Se recomienda terminar la investigación a nivel micro y continuar con la investigación a nivel meso y macro.

Sería conveniente realizar los especímenes para las pruebas de compresión con el molde en la máquina de inyección del tamaño exacto para no tener la necesidad de cortar las muestras, considerando que cuando las caras no son paralelas la resistencia se reduce, lo más probable es que estemos subestimando la resistencia a la compresión real de las muestras probadas. Se recomienda también realizar las pruebas a flexión, de conductividad térmica y de

---

inflamabilidad utilizando un retardante de llama ecológico, con el objetivo de conocer el comportamiento del panel.

Sería conveniente realizar un prototipo de panel tamaño real de 1.22 x 2.44 x 0.0127 m y ensamblarlo con los conectores propuestos, tomando en cuenta la utilización de canales y postes metálicos reciclados, así también es necesario saber si el compuesto para las juntas entre placas utilizado en los paneles de Tablaroca® funciona en este sistema. Se podrían incluir más propuestas sobre materiales o estrategias de unión y montaje de los paneles para separar espacios en viviendas. Sería conveniente verificar que el panel sea capaz de resistir su propio peso y determinar la forma de anclarlo de manera correcta a otros elementos para evitar su volteo en caso de sismo.

Se recomienda incluir el análisis de ciclo de vida completo de dicho panel tomando en cuenta la cantidad de energía utilizada por la maquinaria para producirlos a gran escala. Con la finalidad de conocer su funcionamiento y los impactos ambientales que genera para saber si a nivel macro es viable y sustentable. Asimismo, debido a que el consumo de energía utilizada en la maquinaria para la elaboración de los paneles es la que presenta las mayores emisiones, sería conveniente realizar una investigación acerca de la implementación de paneles solares para reducir dichas emisiones.

Con el fin de reciclar el panel, se plantea la realización de pruebas físicas y mecánicas para conocer la manera en la que cambian las propiedades del elemento constructivo una vez que se vuelve a procesar y cuántas veces es posible hacerlo sin que se vea comprometida su seguridad. También se recomienda analizar la disposición final del mismo una vez que terminó su vida útil.

Se recomienda analizar si el producto es seguro y sano para el ser humano, revisando si desprende compuestos orgánicos volátiles (COV). También sería conveniente investigar la resistencia a la intemperie y la durabilidad del prototipo de panel propuesto, así como el envejecimiento, la degradación del material y definir si es posible utilizarlo en muros exteriores.

Se podría también realizar el presupuesto necesario para la compra de las máquinas para producir los paneles en serie, se recomienda investigar asociaciones que pudieran financiar esta inversión inicial. Sería importante hacer el presupuesto del prototipo de panel incluyendo el costo de la cantidad de energía utilizada por dichas máquinas.

---

Sería conveniente realizar un plan en asociaciones e instituciones para la obtención de los plásticos de forma gratuita, ya que se pretende utilizar los paneles en viviendas para personas de escasos recursos.

Si es posible, sería conveniente investigar las emisiones producidas por los paneles que existen actualmente, con el fin de compararlas con las del panel de este estudio. Asimismo, se podría hacer una comparativa de pruebas de laboratorio entre el panel propuesto y los paneles comerciales.

Se recomienda hacer una comparativa entre pruebas experimentales y simulaciones numéricas para realizar un análisis más detallado a escala real del prototipo de panel para vivienda.

Se deja abierta la posibilidad de investigar acerca de la utilización de resinas para pegar el PET reciclado, esto con el fin de conocer si su utilización es más o menos sustentable que el uso de la maquinaria planteada en este proyecto para fundir el PET.

Se recomienda también hacer un procedimiento para su fácil instalación con el fin de utilizarlo en la autoconstrucción habitacional.



---

## Referencias

- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Matheus, A., & Gutiérrez, A. (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste management*, 29, 2707-2716. doi:10.1016/j.wasman.2009.05.007
- Alencastro, N. (2009) Prevención y manejo integral de residuos en las edificaciones sustentables de Jalisco. En M. del Toro. (Coord.), *Edificación Sustentable en Jalisco* (pp.256-275). México: Prometeo Editores.
- Alfie Cohen, M. (2005). *Democracia y Desafío Medioambiental en México: Riesgos, Retos y Opciones en la Nueva ERA de la Globalización*. México: Pomares.
- Al-Tulaian, B.S., Al-Shannag, M.J., & Al-Hozaimy, A.R. (2016). Recycled plastic waste fibers for reinforcing Portland cement mortar. *Construction and Building Materials*, 127, 102-110.
- ATCP Ingeniería física (2017). *Polímeros*. Recuperado de <http://www.atcp.com.br/es/productos/caracterizacion-de-materiales/propiedades-materiales/tablas-propiedades/polimero-fibrosos.html>
- Ávila, A., & Duarte, M. (2003). A mechanical analysis on recycled PET/HDPE composites. *Polymer degradation and stability*, 80, 373-382. doi:10.1016/S0141-3910(03)00025-9
- Bernache, G. (2006). *Cuando la basura nos alcance: el impacto de la degradación ambiental*. México: CIESAS - Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, 2006.
- Boff, L. (2013). *La sostenibilidad. Qué es y qué no es*. España: Sal Terrae.
- Borg, R., Baldacchino, O., & Ferrara, L. (2016). Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 108, 29-47.
- Brown, L. (2011). *El mundo al borde del abismo: cómo evitar el declive ecológico y el colapso de la economía*. Bogotá, Colombia: Ecoe Centro de Estudios para el Desarrollo Sostenible
- Budenheim (S.F.). *Retardante de llama libre de halógeno*. Recuperado de <https://www.budenheim.com/es/soluciones/retardante-de-llama/>
- ByFusion (2016). *Transforming Plastic*. Recuperado de <http://www.byfusion.com/#byfusion>

- 
- Cemex (S.F.). *Cemento Mortero*. Recuperado de <http://panel.acoragroup.mx/storage/products/2456/docs/a5nAZP0tXi.Ficha%20Tecnica%20Mortero%20Cemex.pdf>
- CFE (2018). *Gran demanda en media tensión horaria*. Recuperado de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>
- Chemical SafetyFacts.org (2018). *Retardantes de llamas*. Recuperado de <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/retardantes-de-llamas/>
- Conceptos plásticos (S.F.). *De plástico reciclado a vivienda digna*. Recuperado de <http://conceptosplasticos.com/>
- Conde, M. (2012). *Presente Futuro de la industria del Plástico en México*. Ambiente Plástico.
- CONRICyT (2018). *Mexicanos desarrollan losetas mediante PET reciclado*. Recuperado de <http://www.conricyt.mx/noticia-detalle.php?noti=684>
- Construmática (S.F.). *Resistencia térmica*. Recuperado de [http://www.construmatica.com/construpedia/Resistencia\\_T%C3%A9rmica](http://www.construmatica.com/construpedia/Resistencia_T%C3%A9rmica)
- Cornish, M. (1997). *El ABC de los plásticos*. México, D.F: Universidad Iberoamericana.
- Cortinas, M., & Dávila, A. (2016). *Diagnóstico básico de la situación de los residuos sólidos urbanos domiciliarios en el estado de Jalisco en 2016*. Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos del Estado de Jalisco 2016-2022.
- Cruz, D. (2015). *Viviendas de Eco-Block a base de basura*. Enlace arquitectura. Recuperado de <http://enlacearquitectura.com/viviendas-de-eco-block-a-base-de-basura/>. Fecha de consulta: 2 de octubre de 2016.
- Deffis, A. (1994). *La casa ecológica autosuficiente para climas cálido y tropical*. México: Arbol Editorial
- Ecoce® (2017). *¿Quiénes somos?* ECOCE. México. Recuperado de <http://ecoce.mx/quienes-somos.php>
- Eco-it 1.4 (2010). Países Bajos: PRé Consultants. España: IHOBE.
- Ferreira, L., De Brito, J., & Saikia, N. (2012). Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate.

- 
- Construction and Building Materials*, 36, 196-204.  
doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.044
- Flores, V., Rojas, J., Torres, R., Vallejos, R., Flores, P., & Flores, M. (2014). Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas. En M. Palma (Ed.), *Ciencias Tecnológicas y Agrarias T-1* (pp. 101-110). Sucre: Ecorfan.
- Gaggino, R. (2008). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. *Revista INVI*, 23(63), 137-163.
- Gaggino, R. (2012). Water-resistant panels made from recycled plastics and resin. *Construction and Building Materials*, 35, 468-482.
- Ge, Z., Huang, D., Sun, R., & Gao, Z. (2014). Properties of plastic mortar made with recycled polyethylene terephthalate. *Construction and Building Materials*, 73, 682-687.
- Ge, Z., Sun, R., Zhang, K., Gao, Z., & Li, P. (2013). Physical and mechanical properties of mortar using waste Polyethylene Terephthalate bottles. *Construction and Building Materials*, 44, 81-86.
- Ge, Z., Yue, H., & Sun, R. (2015). Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate and PET. *Construction and Building Materials*, 93, 851-856.
- González, A. (2001). Costos y beneficios ambientales del reciclaje en México. *Gaceta Ecológica*, (58), 17-26.
- González, J. (1985). *Arquitectura más basura igual a casa*. México: Centro Regional de Construcciones Escolares para América Latina, c1985.
- González, O. (2009). *Los retardantes de fuego*. Quilicura, Santiago, Chile: Metecno.  
Recuperado de <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/08121037131692233724fuego1.pdf>
- Goodfellow (2018). *Todos los materiales para Investigación Científica y Fabricación*. Recuperado de <http://www.goodfellow.com/S/Politereftalato-de-Etileno.html>
- Gypsum Association (2010). *Gypsum board typical mechanical and physical properties (GA.235-10)*. Hyattsville, Estados Unidos.
- Hakkens, D. (2013). *Precious Plastic*. Recuperado de <https://preciousplastic.com/en/>

- 
- Hastings, I. (2011). Análisis cualitativo de la vivienda popular en la ciudad de México. En J. Andrade & E. Carballo (Ed.), *La vivienda popular en México, retos para el siglo XXI*. (pp.121-145). México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Jo, B.-W., Park, S.-K., & Park, J.-C. (2008). Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 22, 2281-2291. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.10.009
- Kim, S.B., Yi, N.H., Kim, H. Y., Kim, J. J., & Song, Y. (2010). Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cement & Concrete Compositers*, 32, 232-240. doi:10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002
- Lane, B. (2016). *This Startup Turns Plastic Waste into Affordable Housing*. Unreasonable Group. Recuperado de <https://unreasonable.is/ecodomum-story/>
- LEED (2018a). *LEED is Green building*. Recuperado de <https://new.usgbc.org/leed>
- LEED (2018b). *LEED scorecard*. Recuperado de <https://www.usgbc.org/projects/stony-brook-millstone-watershed-associat?view=scorecard>
- Leff, E. (1998). *Saber ambiental: Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. México: Siglo veintiuno editores.
- Mansour, A., & Ali, S. (2015) Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material. *Energy for Sustainable Development*, 24, 79-85.
- Netzsch (S.F.). *Definición de conductividad térmica*. Recuperado de <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/es/landing-pages/definicion-de-conductividad-termica/>
- Ochi, T., Okubo, S., & Fukui, K., (2007). Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement & Concrete Composites*. 29, 448-455.
- Ojeda, S., & Cruz, S. E. (2013). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 7-8.
- Ortiz, B., Tiravanti, G., Otero, M., Nakamatsu, J., Elgegren, M., Wagner, F., & Cerrón, D. (2012). *Reciclaje químico de desechos plásticos*. Revista de la Sociedad Química del Perú, Abril-Junio, 105-119.
- Panel Rey® (2018). *Panel de yeso regular*. Recuperado de <http://panelrey.com/mx/content/panel-de-yeso-regular-0>

- 
- Panel Rey® (S.F.). *Guía de instalación muros divisorios y plafones con paneles de yeso*. Recuperado de [http://panelrey.com/sites/default/files/Guia%20practica%20de%20instalacion%20Muros%20Divisorios%20y%20Plafones%2042cm2015Baja\\_0.pdf](http://panelrey.com/sites/default/files/Guia%20practica%20de%20instalacion%20Muros%20Divisorios%20y%20Plafones%2042cm2015Baja_0.pdf)
- Panel W® (2016). *Panel W®*. Guadalajara, México. Recuperado de <http://panelw.com/>
- Panel W® (S.F.a). *Preguntas frecuentes acerca de Panel W®*. Recuperado de <http://termoplasticos.com.mx/documents/FAQPanelW.pdf>
- Panel W® (S.F.b). *Manual de instalación ilustrado*. Recuperado de <http://panelw.com/pics/manual-instalacion-ilustrado-pw-2013-es.pdf>
- Panel W® (S.F.c). *Hoja técnica Panel W® Divisorio 2"*. Recuperado de <http://www.termoplasticos.com.mx/documents/PANELDIV2.pdf>
- Paullier, J. (2015, 28 de julio). Por qué México es el país que más agua embotellada consume en el mundo. *BBC Mundo*. Recuperado de [http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150722\\_mexico\\_consumo\\_agua\\_embotellada\\_jp](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150722_mexico_consumo_agua_embotellada_jp)
- Pereira, L., & Castro-Gomes, J. (2011). Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, 25, 1712-1717.
- Piesa (2015). *Tablaroca® información completa*. Guadalajara, México. Recuperado de <http://tablarocaguadalajara.com/precios/tablaroca-guadalajara/>
- Polymer Properties Database (2015). *Heat Distortion Temperature*. Recuperado de <http://polymerdatabase.com/polymer%20physics/HeatDistortion.html>
- PROMÉXICO (2014). *Desarrollo sustentable y el crecimiento económico en México*. Recuperado de <http://www.promexico.gob.mx/desarrollo-sustentable/>
- Rahmani, E., Dehestani, M., Beygi, M., Allahyari, H., & Nikbin, I. (2013). On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. *Construction and Building Materials*, 47, 1302-1308.
- Ramírez, Z. (2011, 29 de noviembre). Bajo tierra, el negocio de reciclaje de PET. *El Universal*. Recuperado de <http://archivo.eluniversal.com.mx/primera/38258.html>
- Raufflet, E., Lozan, J., Barrera E., & García C. (2012). *Responsabilidad Social Empresarial*. México: Pearson.

- 
- Rebeiz, K. (1996). Precast use of polymer concrete using unsaturated polyester resin based on recycled PET waste. *Construction and Building Materials*, 10(3), 215-220.
- Reis, J.M.L., & Carneiro, E. P. (2012). Evaluation of PET waste aggregates in polymer mortars. *Construction and Building Materials*, 27, 107-111. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.08.020
- Reis, J.M.L., Chianelli-Junior, R., Cardoso, J.L., & Marinho, F.J.V. (2011). Effect of recycled PET in the fracture mechanics of polymer mortar. *Construction and Building Materials*, 25, 2799-2804. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.12.056
- Romero, B. (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. *Boletín IIE*, 91-97.
- Ruiz, D., López, C., Cortes, E., & Froese, A. (2012). Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra. *APUNTES*, 25(2), 292-303.
- Saikia, N., & De Brito, J. (2013). Waste Polyethylene Terephthalate as an Aggregate in Concrete. *Materials Research*, 16(2), 341-350. doi:10.1590/S1516-14392013005000017
- Saikia, N., & De Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236-244.
- Sánchez, J., & Serrano, G. (2009) Tendencias de la arquitectura sustentable. En M. del Toro. (Coord.), *Edificación Sustentable en Jalisco* (pp.14-29). México: Prometeo Editores.
- SEDESOL (1993). *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes*. Serie Monografías No. 4, México.
- Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14(3), 361-372.
- Silva, D., Betioli, A., Gleize, P., Roman, H., Gómez, L., & Ribeiro, J. (2005). Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials. *Cement and concrete research*, 35, 1741-1746. doi:10.1016/j.cemconres.2004.10.040
- Silva-Santos, M., Silva, M., Giacomini, A., Costa, M., & Baruque-Ramos, J. (2017). Flammability on textile of business uniforms: use of natural fibres. *Procedia Engineering*, 200, 148-154.
- Statgraphics® Centurion XVII (2014). Virginia, Estados Unidos: Statpoint Technologies, Inc.

- 
- Solís, C. (2005). *Características del Poliestireno Expandido*. Recuperado de <http://www.davsa.com/infoWeb/Grup/Subgrups/caracteristiques/040101D-15.pdf>
- Takahashi, H. (2017, 8 de febrero). México, en vía de ser referente de reciclaje de PET. *Forbes*. Recuperado de <https://www.forbes.com.mx/mexico-via-referente-reciclaje-pet/>
- The Plastics Exchange (2017). *The plastics Exchange.com. Bringing the market to you. [El intercambio de plásticos.com. Llevando el mercado a ti]*. Recuperado de <http://www.theplasticsexchange.com/default.aspx>
- USG (S.F.). Tablamiento Durock®. Recuperado de [https://www.usg.com/content/dam/USG\\_Marketing\\_Communications/mexico/product\\_promotional\\_materials/finished\\_assets/usg-tablamiento-durock-mexico-submittal-es-mx.PDF](https://www.usg.com/content/dam/USG_Marketing_Communications/mexico/product_promotional_materials/finished_assets/usg-tablamiento-durock-mexico-submittal-es-mx.PDF)
- USG (2014). Panel de yeso marca Tablaroca® núcleo regular. Recuperado de [https://www.usg.com/content/dam/USG\\_Marketing\\_Communications/mexico/product\\_promotional\\_materials/finished\\_assets/ficha-tecnica-panel-de-yeso-marca-tablaroca-nucleo-regular-es.pdf](https://www.usg.com/content/dam/USG_Marketing_Communications/mexico/product_promotional_materials/finished_assets/ficha-tecnica-panel-de-yeso-marca-tablaroca-nucleo-regular-es.pdf)
- USG Durock® (2016). *USG Manual Técnico*. Recuperado de [https://www.usg.com/content/dam/USG\\_Marketing\\_Communications/mexico/product\\_promotional\\_materials/finished\\_assets/manual-tecnico-usg-durock-next-gen-es-es-drk021.pdf](https://www.usg.com/content/dam/USG_Marketing_Communications/mexico/product_promotional_materials/finished_assets/manual-tecnico-usg-durock-next-gen-es-es-drk021.pdf)
- USG Tablaroca® (2016). *USG Manual Técnico*. Recuperado de [https://www.usg.com/content/dam/USG\\_Marketing\\_Communications/mexico/product\\_promotional\\_materials/finished\\_assets/manual-tecnico-usg-tablaroca-es.pdf](https://www.usg.com/content/dam/USG_Marketing_Communications/mexico/product_promotional_materials/finished_assets/manual-tecnico-usg-tablaroca-es.pdf)
- Vargas, G. (2002). *Introducción a la teoría económica*. México: Pearson.
- Yazoghli, O., Dheilily, R.M., & Queneudec, M. (2007). Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste management*, 27, 310-318. doi:10.1016/j.wasman.2006.03.012

---

**Anexo 1.**

**Diseño metodológico y guion entrevistas**



---

## **Anexo 1. Diseño metodológico y guion entrevistas**

### A1.1 Entrevista clave A (Recicladora)

#### **Diseño metodológico**

“Entrevista a personas dedicadas al reciclaje de plásticos”

#### Objetivo:

Conocer la forma en que se llevan a cabo los procesos de reciclaje de plástico en una planta procesadora.

#### Informantes:

Se prevé hablar con:

Lic. Luis Parra Gutiérrez, director de una empresa que se dedica al reciclaje de plásticos localizada en Jalisco.

#### Temas:

Para orientar la conversación hacia los asuntos de interés, se plantean cuatro bloques temáticos: 1) Motivos de creación de la empresa, 2) Recolección y acopio de plástico, 3) Procesos de separación-preparación en el plástico y venta y 4) El posible aprovechamiento del PET en la construcción.

#### Aplicación:

La entrevista se realizará por Isabel de Obeso el 27 de febrero de 2017. Las conversaciones se audio grabarán utilizando un teléfono móvil. Para la transcripción se empleará la aplicación Easy-Scribe.

---

## Guion de entrevista

“Entrevista a personas dedicadas al reciclaje de plásticos”

### TEMA 1 “CREACIÓN DE LA EMPRESA”

- 1.1 Razones de hacer una empresa comprometida con el ecosistema
- 1.2 Razón de la utilización de plásticos

#### Frases de ayuda para inducir la plática

- Quisiera conocer las razones por las que se hizo una empresa comprometida con el medio ambiente
- Podrías decirme la razón por la que utilizan solamente plástico y no otro tipo de basura

### TEMA 2 “RECOLECCIÓN Y ACOPIO DE PLÁSTICO”

- 2.1 Tipos de plásticos utilizados y razones por las que no utilizan el PET
- 2.2 Lugares en dónde consiguen el plástico, cantidad y precio
- 2.3 Dificultades en el acopio del plástico

#### Frases de ayuda para inducir la plática

- Podrías platicarme que tipos de plásticos utilizan y cuál es la razón de utilizarlos.
- Te agradecería si me dices en qué lugares se consigue el plástico, qué cantidad de plástico reciben y el precio al que lo consiguen.
- Seguramente se han enfrentado a ciertas dificultades para conseguir el plástico, me podrías comentar al respecto.

### TEMA 3 “PROCESOS EN EL PLÁSTICO Y VENTA”

- 3.1 Procesos llevados a cabo en el plástico (retirar tapas y etiquetas, lavado, molido, peletizado)
- 3.2 Cantidad de energía utilizada para realizar los procesos en el plástico y tiempos de ejecución

---

3.3 Costo del plástico una vez concluido sus procesos. Plástico molido, plástico peletizado y pigmentación de colores.

Frases de ayuda para inducir la plática

- Podrías hablarme por favor de los procesos llevados a cabo en el plástico (retirar tapas y etiquetas, lavado, molido, peletizado)
- Podrías platicarme acerca de la cantidad de energía utilizada para realizar los procesos en el plástico y de los tiempos de ejecución.
- Te agradecería si me platicas de los costos del plástico en las diferentes presentaciones que ustedes manejan, plástico molido, plástico peletizado y pigmentación de colores.

TEMA 4 “POTENCIAL DEL PET PARA LA EDIFICACIÓN”

4.1 Opinión sobre el proyecto

4.2 Ventajas

4.3 Desventajas

4.4 Sugerencias y recomendaciones

Frases de ayuda para inducir la plática

- La idea de este proyecto es hacer paneles de PET reciclado para muros de vivienda en Jalisco, con el fin de reducir la cantidad de residuos de PET que terminan en rellenos sanitarios y abaratar los costos en las edificaciones, para apoyar la vivienda digna para personas de escasos recursos. Me gustaría saber cómo te suena esta idea.
- Podrías decirme por favor que ventajas y aspectos positivos le ves a este proyecto.
- Y las desventajas o aspectos negativos serían...
- Te agradecería si mencionas algunas sugerencias y recomendaciones para el proyecto.

---

## A1.2 Entrevista clave B (Constructores)

### **Diseño metodológico**

“Entrevista a profesionales y empresarios dedicados a la construcción”

#### Objetivo:

Conocer la percepción de los constructores acerca de la autoconstrucción y de la utilización de materiales reciclados en la construcción.

#### Informantes:

Se prevé hablar con:

Arq. Ernesto Jaime López, constructor independiente.

Ing. Juan Luis Lamadrid Martínez, dueño y director general de una empresa constructora localizada en Zapopan, Jalisco.

Ing. Ricardo Alberto de Aguinaga Larios, ingeniero en una empresa constructora localizada en Zapopan, Jalisco.

Arq. Carlos Javier de Alba Góngora, constructor independiente.

#### Temas:

Para orientar la conversación hacia los asuntos de interés, se plantean tres bloques temáticos:

1) La autoconstrucción de vivienda, 2) Los sistemas de edificación con materiales reciclados y 3) El posible aprovechamiento del PET en la construcción.

#### Aplicación:

Las entrevistas se realizarán por Isabel de Obeso entre el 25 y 28 de abril de 2017. Las conversaciones se audio grabarán utilizando un teléfono móvil. Para la transcripción se empleará la aplicación Easy-Scribe.

---

## Guion de entrevista

“Entrevista a profesionales y empresarios dedicados a la construcción”

### TEMA 1 “LA AUTOCONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA”

1.3 Autoconstrucción como solución habitacional

1.4 Calidad constructiva de las viviendas auto-construidas

#### Frases de ayuda para inducir la plática

- Te agradecería si me das tu opinión acerca de la autoconstrucción como solución habitacional.
- Me podrías dar tu punto de vista acerca de la calidad constructiva de las viviendas auto-construidas.

### TEMA 2 “LOS SISTEMAS DE EDIFICACIÓN CON MATERIALES RECICLADOS”

2.1 Cambio de materiales tradicionales por materiales reciclados.

2.2 Aceptación comercial de nuevos sistemas con base en materiales reciclados.

2.3 Conocimiento directo sobre elementos constructivos con materiales reciclados.

#### Frases de ayuda para inducir la plática

- Te agradecería si me das tu punto de vista acerca de la posibilidad de cambiar los materiales tradicionales de la construcción por materiales reciclados.
- Me podrías decir si consideras que pudiera haber aceptación comercial de nuevos sistemas con base en materiales reciclados.
- Podrías decirme por favor si conoces alguna construcción en la que se hayan utilizado materiales reciclados.

### TEMA 3 “POTENCIAL DEL PET PARA LA EDIFICACIÓN”

3.1 Opinión sobre el proyecto

3.2 Ventajas técnicas, económicas y ambientales

3.3 Desventajas (aspectos constructivos, cuestiones comerciales, factores culturales)

3.4 Sugerencias y recomendaciones

---

### Frases de ayuda para inducir la plática

- La idea de este proyecto es hacer paneles de PET reciclado para muros de vivienda en Jalisco, con el fin de reducir la cantidad de residuos de PET que terminan en rellenos sanitarios y abaratar los costos en las edificaciones, para apoyar la vivienda digna para personas de escasos recursos. Me gustaría saber qué te parece esta idea.
- Podrías decirme por favor que ventajas técnicas, económicas y ambientales le ves a este proyecto.
- Y las desventajas en relación a aspectos constructivos, cuestiones comerciales, factores culturales serían...
- Te agradecería si mencionas algunas sugerencias y recomendaciones para el proyecto.

---

### A1.3 Entrevista clave C (Componentes prefabricados)

#### **Diseño metodológico**

“Entrevista a profesionales dedicados a la manufactura de componentes prefabricados de edificación industrializada”

#### Objetivo:

Conocer la percepción de profesionales dedicados a la manufactura de componentes prefabricados de edificación industrializada acerca de la autoconstrucción y de la utilización de materiales reciclados en la construcción, así como la forma de instalación de componentes prefabricados.

#### Informantes:

Se prevé hablar con:

Manuel Moreno Gutiérrez, tecnólogo en construcción, experto en paneles de Tablaroca®.

#### Temas:

Para orientar la conversación hacia los asuntos de interés, se plantean tres bloques temáticos: 1) La autoconstrucción de vivienda, 2) Los sistemas de edificación con materiales reciclados, 3) El posible aprovechamiento del PET en la construcción y 4) Instalación de componentes prefabricados.

#### Aplicación:

La entrevista se realizará por Isabel de Obeso entre el 3 de mayo de 2017. Las conversaciones se audio grabarán utilizando un teléfono móvil. Para la transcripción se empleará la aplicación Easy-Scribe.

---

## Guion de entrevista

“Entrevista a profesionales dedicados a la manufactura de componentes prefabricados de edificación industrializada”

### TEMA 1 “LA AUTOCONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA”

1.5 Autoconstrucción como solución habitacional

1.6 Calidad constructiva de las viviendas auto-construidas

#### Frases de ayuda para inducir la plática

- Te agradecería si me das tu opinión acerca de la autoconstrucción como solución habitacional.
- Me podrías dar tu punto de vista acerca de la calidad constructiva de las viviendas auto-construidas.

### TEMA 2 “LOS SISTEMAS DE EDIFICACIÓN CON MATERIALES RECICLADOS”

2.4 Cambio de materiales tradicionales por materiales reciclados.

2.5 Aceptación comercial de nuevos sistemas con base en materiales reciclados.

2.6 Conocimiento directo sobre elementos constructivos con materiales reciclados.

#### Frases de ayuda para inducir la plática

- Te agradecería si me das tu punto de vista acerca de la posibilidad de cambiar los materiales tradicionales para la elaboración de paneles por materiales reciclados.
- Me podrías decir si consideras que pudiera haber aceptación comercial de nuevos sistemas de paneles con base en materiales reciclados.
- Podrías decirme por favor si conoces paneles fabricados con materiales reciclados o paneles en los que hayan utilizado materiales reciclados.

### TEMA 3 “POTENCIAL DEL PET PARA LA EDIFICACIÓN”

3.1 Opinión sobre el proyecto

3.2 Ventajas técnicas, económicas y ambientales



---

### 3.3 Desventajas (aspectos constructivos, cuestiones comerciales, factores culturales)

### 3.4 Sugerencias y recomendaciones

#### Frases de ayuda para inducir la plática

- La idea de este proyecto es hacer paneles de PET reciclado para muros de vivienda en Jalisco, con el fin de reducir la cantidad de residuos de PET que terminan en rellenos sanitarios y abaratar los costos en las edificaciones, para apoyar la vivienda digna para personas de escasos recursos. Me gustaría saber qué te parece esta idea.
- Podrías decirme por favor que ventajas técnicas, económicas y ambientales le ves a este proyecto.
- Y las desventajas en relación a aspectos constructivos, cuestiones comerciales, factores culturales serían...
- Te agradecería si mencionas algunas sugerencias y recomendaciones para el proyecto.

## TEMA 4 “INSTALACIÓN DE COMPONENTES PREFABRICADOS”

### 4.1 Instalación de muros de Tablaroca®

#### Frases de ayuda para inducir la plática

- Me podrías explicar por favor la forma de instalación de los paneles de Tablaroca®.

---

**Anexo 2.**  
**Diseño metodológico y formato**  
**cuestionario**

---

## **Anexo 2. Diseño metodológico y formato cuestionario**

### A.2.1 Diseño metodológico

#### **Diseño metodológico**

“Cuestionario sobre la vivienda”

#### Objetivo específico:

Obtener datos del estado actual de viviendas autoconstruidas ubicadas en colonias populares del área metropolitana de Guadalajara. Se pretende también conocer la percepción de posibles usuarios acerca de la utilización de materiales alternativos de construcción, especialmente paneles con PET reciclado para muros de vivienda.

#### Temas y subtemas que se explorarán:

1. Vivienda
  - 1.1 Antigüedad de la vivienda
  - 1.2 Superficie de terreno
  - 1.3 Superficie construida
  - 1.4 Niveles
  - 1.5 Dormitorios
  - 1.6 Tenencia
  - 1.7 Documentación
  - 1.8 Servicios
  - 1.9 Infraestructura
  - 1.10 Instalaciones
  - 1.11 Materiales
  - 1.12 Cubierta
2. Habitantes
  - 2.1 Género
  - 2.2 Edad
  - 2.3 Estudios
  - 2.4 Ocupación
  - 2.5 Aportación a la casa
3. Percepción de la vivienda

- 
- 3.1 Estado físico actual
  - 3.2 Espacios
  - 3.3 Instalaciones
  4. Vulnerabilidad de la vivienda
    - 4.1 Riesgo
    - 4.2 Daños
  5. Intervenciones constructivas
    - 5.1 Condiciones de la vivienda
    - 5.2 Modificaciones a la vivienda
    - 5.3 Proceso de construcción
    - 5.4 Materiales
  6. Procesos de autoconstrucción
    - 6.1 Responsable de la construcción
    - 6.2 Participantes en la construcción
    - 6.3 Apoyos
  7. Equipamiento y prácticas sustentables
    - 7.1 Áreas verdes
    - 7.2 Agua de lluvia
    - 7.3 Temperatura
    - 7.4 Prácticas para economizar
  8. Información y conocimientos de soporte
    - 8.1 Medios de comunicación
    - 8.2 Consultas de información
    - 8.3 Programa de construcción
  9. Potencial del PET para la edificación
    - 9.1 Disposición a cambiar los materiales tradicionales
    - 9.2 Aceptación de la nueva técnica de construcción

Definición del marco muestral con que se seleccionarán los encuestados:

Se hará un muestreo no probabilístico por conveniencia encuestando diez viviendas autoconstruidas ubicadas en la colonia Constitución en Zapopan, Jalisco. Para la selección

---

de los domicilios se escogerán inmuebles que empleen distintos materiales constructivos y que se encuentren habitados.

Detalles operativos:

El cuestionario será aplicado por Isabel de Obeso y Sidney Uribe el 16 de abril de 2017.

## A.2.2 Formato cuestionario

Estrategias de Intervención en la Vivienda Autoconstruida  
Investigación, Desarrollo e Innovación  
Ing. Isabel de Obeso Partida e Ing. Sidney Uribe Detrell

### Cuestionario Vivienda

Folio: \_\_\_\_\_

**Presentación:** ¡Buenos días! Venimos del ITESO. Estamos realizando una investigación sobre la vivienda en Guadalajara. ¿Nos permite unos minutos de su tiempo?, la información que usted nos proporcione es confidencial y se utilizará solamente para fines estadísticos, su opinión es muy importante para nosotros. ¡Gracias!

Entrevistador: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Ageb: LDP-5336 EFO-5355 JSM-2644 SMF-2201 CON-422A NA

Nombre: \_\_\_\_\_ Anónimo

Edad: [ ] Habita ahí: [ ] Jefe de casa: [ ]

*\*En caso de ser menor de edad, no habitar la vivienda o no ser uno de los responsable de la vivienda terminar cuestionario.*

### 1. Vivienda:

1.1 Antigüedad de la vivienda: [ ] años	1.8 Servicios P. : [ ] Agua [ ] Estado B/R/M	1.11 Materiales: [ ] Concreto C.
1.2 Superficie Terreno: [ ] m2	[ ] Electricidad [ ] Estado B/R/M	[ ] Concreto P.
1.3 Superficie Construida [ ] m2	[ ] Drenaje [ ] Estado B/R/M	[ ] Castillos
1.4 Niveles [ ] #	[ ] Recolección B. [ ] Estado B/R/M	[ ] Concreto T.
1.5 Dormitorios: [ ] #	[ ] Gas [ ] Estado B/R/M	[ ] Piedra C.
	1.9 Infraestructura: [ ] Alcantarillas [ ] Estado B/R/M	[ ] Piso de Tierra
1.6 Tenencia: [ ] Propia/ Pagando	[ ] Pavimento [ ] Estado B/R/M	[ ] Block
[ ] Rentada	[ ] Alumbrado [ ] Estado B/R/M	[ ] Ladrillo L.
[ ] Prestada	[ ] Trans. Público [ ] Estado B/R/M	[ ] Lamina T.
[ ] Otro:	[ ] Arbolado [ ] Estado B/R/M	[ ] Acero
		[ ] Aluminio
1.7 Documentación: [ ] Escrituras	1.10 Instalaciones: [ ] Agua [ ] Estado B/R/M	1.12 Cubierta: [ ] Enjarres %
[ ] Permisos de Const.	[ ] Electricidad [ ] Estado B/R/M	[ ] Interior %
[ ] Habitabilidad	[ ] Drenaje [ ] Estado B/R/M	[ ] Exterior %
[ ] Algún permiso del M.	[ ] Gas [ ] Estado B/R/M	

*\*B: Bueno, R: Regular, M: Malo, C: Cimientos, P: Piso, Mu: Muro, T: Techo, L: Lama, % : en porcentaje*

### 2. Habitantes:

2.1 Genero					
2.2 Edad (años)					
2.3 Estudios (último grado)					
2.4 Ocupación (Especificar)					
2.5 Aportación a la casa (Mensual)					

*\*En caso de ser más de una familia, hacer anotaciones.*

**3. Percepción de la vivienda:**

3.1 Estado Físico Actual:		Deteriorado	Regular	Malo	Bueno	Muy bueno	Excelente
		Insuficiente	Suficiente	Amplio	Sobrado	N/A	Fácil Acceso
3.2 Espacios:	Sala/Comedor	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
	Cocina	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
	Habitaciones	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
	Cuarto Servicio	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
	Cochera	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
	Jardín	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
3.3 ¿Considera que sus instalaciones están bien conectadas? S/N				Agua [ ]	Luz [ ]	Drenaje [ ]	Gas [ ]

*\*Explicar escala primero, N/A: No aplica*

**4. Vulnerabilidad de la vivienda:**

4.1 ¿Considera que su vivienda se encuentra en riesgo de...?		Derrumbes	Falla de Infraestructura; Gaseoductos, Tuberías, Represas....etc.	Sismos	Erupción de volcanes	Inundaciones	Otro:
¿Por qué?							
4.2 ¿Considera que su vivienda está preparada para esos riesgos?		SI	NO	¿Por qué?			
4.3 ¿Qué tan importante cree usted que es conocer los riesgos presentes en su vivienda?		Nada importante	Poco importante	Importante	Muy importante		
4.4 ¿Su vivienda presenta daños visibles?		Tipo	S/N	Muro	Entrepiso/piso	Techo	Columnas
SI	NO	Grietas	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
4.5 ¿Le interesaría poder hacer una autoevaluación de su vivienda?		Asentamientos	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
SI	NO	M. De Humedad	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
		Oxidación	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
4.6 ¿Le interesaría saber las consecuencias que tienen estos daños?		Goteras	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
SI	NO	Flechas	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
		Desprendimientos	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
4.7 ¿Le gustaría saber cómo solucionarlos?		Salitre	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
SI	NO	Por Instalaciones	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
		Por Vegetación	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

**5. Intervenciones constructivas:**

5.1 ¿En qué condiciones ocuparon la vivienda?		Nueva	Usada	Completa	Incompleta	¿Por qué incompleta?	
5.2 ¿Han realizado modificaciones a su vivienda?		SI	NO	5.3 ¿Existió algún proyecto/ planeación inicial?		SI	NO
5.4 Proceso de construcción	Ampliación (A) Mantenimiento (M)	¿Qué Fue?	¿Hace cuánto?	Inversión (\$)	¿Recibió Asesoría? S/N, Tipo P/T/A	¿Quién la proporcionó?	¿Según el proyecto inicial?
1)	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ][ ]	[ ]	[ ]
2)	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ][ ]	[ ]	[ ]
3)	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ][ ]	[ ]	[ ]
4)	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ][ ]	[ ]	[ ]
5.5 ¿Cuánto es el trayecto de los materiales?		Los llevan a domicilio	5 min	15 min	30 min	1 hora	+ 1 hora
5.6 ¿Guardan materiales en la vivienda para futuras modificaciones?		SI	NO	¿Cuánto tiempo aproximadamente?	1 mes	6 meses	1 año
5.7 ¿Esta satisfech@ con los resultados?		SI	NO	¿Por qué?			
5.8 ¿Tiene planeado otras modificaciones o arreglos?		SI	NO	¿Cuáles?			
5.9 ¿Le gustaría recibir asesoría?		SI	NO	¿Por qué?			
¿De qué tipo?	P	T	A	¿Cuánto pagaría?	\$200	\$500	\$1,000

\*S/N: Si o No, \$: Monto en pesos MXN, P: Planeación, T: Técnica, A: Administración/ Gestión.



**6. Procesos de autoconstrucción:**

6.1 ¿Quién ha sido el/la responsable de la gestión de la construcción?	Habitantes	Maestro de obra	Albañiles	Ingeniero/ Arquitecto	Otros:	
6.2 ¿En cuántas otras construcciones ha participado?	0	1	2-5	5-10	+10	
6.3 Participantes en la construcción	Áreas en que colaboró		Últimos estudios P/S/B/L/T	Experiencia en Construcción S/N	Habilidades Técnicas	
1) [ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	
2) [ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	
3) [ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	
6.4 ¿Han recibido apoyos externos?	Tipo	¿Quién lo otorgó?	Monto/ Materiales	¿Fue suficiente para sus planes? S/N	¿Qué porcentaje faltó?	¿Cómo se enteraron del apoyo?
SI NO	Económico	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
6.5 ¿Cuántas veces han recibido apoyos?	Asesoría Técnica	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
1 2-5 5-10	En especie	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
	Otro:	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
6.6 ¿Han participado en actividades para mejorar su comunidad?	El objetivo era mejorar:	Parques	Calles	Casas	Escuelas	Otro:
SI NO	Aportaron:	Tiempo	Dinero	Esfuerzo	Conocimiento	Espacio

\*P: Primaria, S: Secundaria, B: Bachillerato, L: Licenciatura, T: Técnicos.

**7. Equipamiento y prácticas sustentables:**

7.1 Áreas Verdes [ ] M2	¿Son suficientes?	SI NO	¿Tiene plantas y/o Pasto?	SI NO	¿Cada cuánto las riega?	Diario 1-2 por semana Nunca
7.2 ¿Recolecta el agua de lluvia?	SI NO	¿En que la utiliza?	¿Cuenta con pozo de absorción?	SI NO		
7.3 ¿Considera que sus habitaciones naturalmente tienen...? S/N	¿Utilizan algo para contrarrestarlo? S/N	¿Con qué equipo?	Buena temperatura [ ]	Ventilación [ ]	Iluminación [ ]	
7.4 ¿Cuenta con...?	Calentador solar [ ]	Paneles solares [ ]	Focos incandescentes [ ]	Focos ahorradores [ ]	LEDs [ ]	Aljibe [ ]
7.5 ¿Con qué prácticas o herramientas economiza en su vivienda?						

\*S/N: Si o NO

**8. Información y conocimientos de soporte:**

8.1 ¿Cuáles son los medios de comunicación que utiliza?	Televisión	Radio	Periódico	Redes sociales	Internet	Aplicaciones del celular
8.2 ¿Por qué medio le gustaría contar con la información que le ayude a mejorar su vivienda?		Manual escrito	Página internet	Aplicación celular	Televisión	Asesoría Personal
8.3 ¿Realiza consultas de información para construir su vivienda?	SI	NO	Planeación ¿Dónde?	Técnica	Administrativa	Apoyos
8.4 ¿Conoce algún manual o programa de construcción?	SI	NO	¿Cuál?			
8.5 ¿Considera importante tener información técnica de construcción que sea práctica y accesible?		Nada importante	Poco importante	Importante	Muy importante	

**9. Potencial del PET para la edificación:**

9.1 ¿Estaría dispuesto a dejar de utilizar materiales de construcción tradicionales en su vivienda?	SI	NO	¿Por qué?	<i>*En caso negativo terminar cuestionario</i>		
9.2 En la utilización de nuevos materiales para la construcción de muros en su vivienda, ordene de menor a mayor según lo que considere más importante (Siendo el 1 la principal característica y el 6 la menos importante):	Que sea ecológico [ ]	Que sea económico [ ]	Que sea de fácil instalación [ ]	Que sea estético [ ]	Que sea Seguro constructivamente [ ]	Que sea durable [ ]
9.3 ¿Estaría dispuesto a utilizar paneles de PET reciclado para muros en su vivienda para separar las habitaciones?	SI	NO	¿Por qué?			

---

**Anexo 3.**

**Diseño metodológico del diseño de**  
**experimentos**

---

## **Anexo 3. Diseño metodológico del diseño de experimentos**

### A3.1 Diseño de experimentos

#### **Diseño metodológico**

“Prueba experimental de resistencia de especímenes con PET reciclado a la compresión uniaxial”

#### Objetivo:

Evaluar la resistencia a la compresión uniaxial que presentan los especímenes hechos con PET, PEAD y PP reciclado, aplicando cargas verticales. Utilizando especímenes de 1.27 x 1.27 x 2.54 cm, con el objetivo de encontrar los valores de resistencia resultantes para determinar las mejores condiciones para elaborar los paneles.

#### Variables:

1. Variables de entrada y niveles
  - 1.1 Cantidad de PET, PEAD y PP utilizado (2 niveles)
    - 33% PET - 33% PEAD - 33% PP
    - 20% PET - 35% PEAD - 45% PP
2. Variables controladas
  - 2.1 Temperatura en máquina de inyección: 175°C
3. Variables no controladas
  - 3.1 Maquinaria para realizar la prueba
4. Variables de repuesta
  - 4.1 Resistencia a la compresión uniaxial kg/cm<sup>2</sup>

#### Detalles operativos:

Fecha de realización de pruebas: 7 de noviembre de 2017

Lugar de realización de pruebas: Laboratorio de ingeniería civil, edificio H, ITESO.

Responsable de las pruebas: Isabel de Obeso Partida

Supervisor: Dr. Nayar Gutiérrez Astudillo

#### Tipo de experimento:

Unifactorial.

---

### Tratamiento experimental:

Se hicieron las mezclas con las proporciones necesarias de PET triturado, PEAD y PP peletizados. Se calentó la máquina de inyección a una temperatura de 175°C. Se hicieron las muestras en un molde con forma irregular las cuales se cortaron en una Fresadora CNC 1 para obtener los especímenes del tamaño indicado por la norma ASTM D695. Posteriormente dichos especímenes se ensayaron a compresión uniaxial en una prensa universal para conocer su capacidad de carga. Con los datos obtenidos en las pruebas se eligió la combinación con mayor resistencia para la elaboración de los paneles.

### Equipo:

Prensa universal con capacidad de 500 kg.

### Proceso de información:

Se utilizó el software StatGraphics® Centurion XVII (2014) para conocer los datos estadísticos de las pruebas, obteniendo tablas y gráficas.

### Procedimiento de la prueba:

1. Obtención de PET triturado, PEAD y PP peletizados.
2. Generación de los especímenes de acuerdo a las diferentes variables y combinaciones.
3. Aplicación de carga en la prensa universal a los especímenes, utilizando la norma internacional ASTM D695, la aplicación de carga se hizo hasta alcanzar la falla de los elementos.
4. Realización de registros necesarios de acuerdo a la capacidad de carga de los especímenes.

### Precauciones:

Se debe verificar que la prensa esté calibrada y limpia.

### Validación del proyecto y principio del diseño:

Se aplicará carga a 7 especímenes de las dos combinaciones de las variables de entrada.

---

## **Anexo 4.**

# **Proceso para realización de especímenes probados a la compresión uniaxial**

## Anexo 4. Proceso para realización de especímenes probados a la compresión uniaxial

### A4.1 Realización de especímenes

#### Objetivo

Generar los especímenes de plástico reciclado fundido con dos combinaciones diferentes de PET, PEAD y PP que serán probados a la compresión uniaxial en la prensa universal.

#### Metodología

Se hicieron las dos mezclas diferentes con los tres tipos de plásticos previamente triturados o peletizados 33% PET 33% PEAD 33% PP (ver Figura A4.1a) y 20% PET 35% PEAD 45% PP (ver Figura A4.1b). El PET y el PP se obtuvieron a partir de botellas de bebidas, el PEAD se adquirió a partir de tapaderas de botes de leche.



**Figura A4.1.** Mezclas de plásticos; (a) 33% PET 33% PEAD 33% PP y (b) 20% PET 35% PEAD 45% PP.

Se colocó el molde necesario para hacer las muestras de forma irregular y posteriormente se calentó la máquina de inyección (ver Figura A4.2) a una temperatura de 175°C.



**Figura A4.2.** Máquina de inyección.

Para el proceso de inyección de las figuras se colocó en primer lugar la mezcla 33% PET 33% PEAD 33% PP en la máquina, este proceso duró aproximadamente 2 minutos por figura, se hicieron en total 6 diferentes, las cuales fueron curadas durante 30 minutos. Posteriormente se realizó el mismo procedimiento para la mezcla 20% PET 35% PEAD 45% PP, se hicieron en total 7 diferentes.

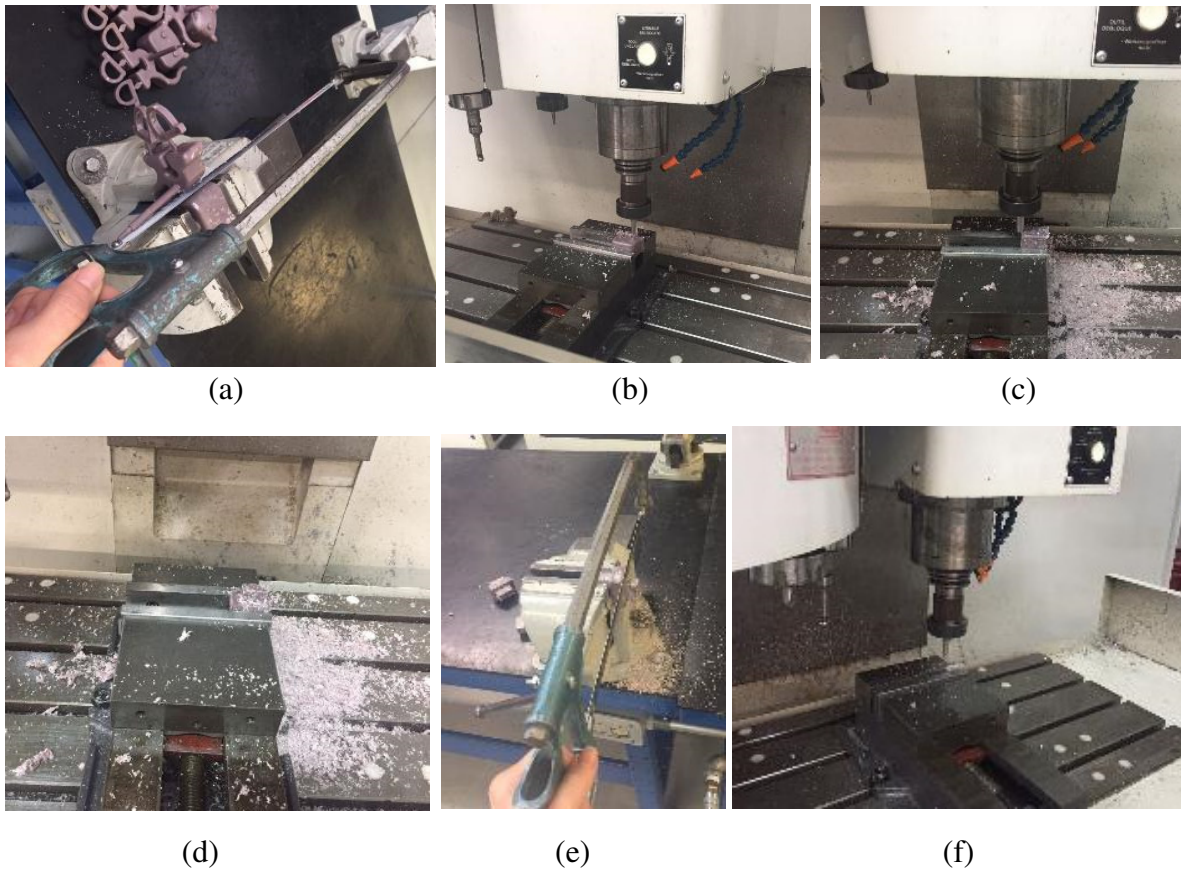
Se procedió a cortar las muestras con el fin de generar los especímenes del tamaño especificado en la norma ASTM D695. Algunos cortes de las muestras se hicieron manualmente con un serrucho y los otros cortes se realizaron en una Fresadora CNC 1 (ver Figura A4.3).



**Figura A4.3.** Fresadora CNC 1.



En las Figuras A4.4a-f se presentan los diferentes cortes realizados con serrucho y en la fresadora a las muestras inyectadas por orden de realización, hasta obtener los especímenes requeridos de 1.27 x 1.27 x 2.54 cm.



**Figura A4.4.** Procesos realizados a las muestras inyectadas; (a) Primera separación con serrucho; (b) Primer corte con fresadora; (c) Segundo corte con fresadora; (d) Espécimen; (e) Segunda separación con serrucho y (f) Último corte con fresadora.

Una vez realizados los cortes, se obtuvieron los 7 especímenes de 1.27 x 1.27 x 2.54 cm (ver Figuras A4.5a y b) como lo especifica la norma ASTM D695, de cada una de las combinaciones antes mencionadas, 33% PET 33% PEAD 33% PP y 20% PET 35% PEAD 45% PP.



(a)



(b)

**Figura A4.5.** Especímenes; (a) 33% PET 33% PEAD 33% PP y (b) 20% PET 35% PEAD 45% PP.