



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL

**Evaluación de la factibilidad de prototipos de paneles en base a
mezclas poliméricas con extrusión continua**

Por

Cristóbal Martin Loyola Leiva

Memoria para optar al

Título de Ingeniero Constructor

Módulo 3

Trabajo de Título 2, sección 2

Profesor Guía: Patricia Martínez Ramírez

Profesor Correferente: Marcos Montero Lara

27 de Junio del 2025

Agradecimientos

“En primer lugar quiero agradecer a mis padres Carlos Loyola y Berenice Leiva, quienes me han dado todo lo que está en sus manos para llegar hasta el día de hoy y que, al ser su primer hijo, me educaron de la mejor forma posible sin experiencia previa en la vida, agradezco su atención, cariño y preocupación, quienes me han guiado en cada paso de mi vida. Gracias por la vida que me han dado y por su apoyo incondicional en cada paso de mi vida.

A mis abuelos paternos Luis Loyola y Nelly Palacios en conjunto de mis abuelos maternos Benedicto Leiva y Soledad Collado, quienes como todo abuelo y abuela para sus nietos han brindado cariño y confort junto a su compañía en todo momento de mi vida, además de estar presentes para escuchar y brindar apoyo por el amor incondicional hacia su propia sangre, quienes han atravesado cada dificultad en la vida y aun así mantienen una actitud de lucha día a día.

A mi pareja durante todo el transcurso de esta carrera profesional Danitza Mancilla, quien me ha escuchado y apoyado con su presencia y consejos, quien me ha impulsado a no rendirme cuando ya no podía más, y a su familia que me aceptado como uno más en su entorno.

Mi más sinceros agradecimientos a la empresa Ecopolimero, quienes sin su aporte esta idea de investigación no hubiese sido factible en primera instancia, permitiéndome el uso de su maquinaria para el desarrollo de mi investigación. Al profesor Marco Montero quien me enseñó e impulsó en las investigación alrededor del uso de los plásticos como nuevo material, además de usar su tiempo cuando no podía. A mi profesora guía Patricia Martínez, cuya asignatura impulsó mi interés infantil alrededor de la sustentabilidad en utilizar lo que ya poseemos para crear algo nuevo, la cual era mi idea preconcebida de ingeniería en mi infancia, además de brindarme su tiempo para el trabajo de la tesis.

Por último, a mis compañeros tanto de universidad Ignacio Vallejos, Joaquín Valdivia y Cristobal Báez, quienes hemos reído y sufrido a lo largo de nuestros estudios, nos hemos apoyado y escuchado cuando teníamos nuestros problemas, con quienes me he convertido su amigo en tiempos de pandemia sin conocer nuestras caras y nuestra amistad creció aún más cuando nos conocimos personalmente al asistir presencialmente”.

Índice

Tabla de contenido

1.- Introducción	9
1.1.- Planteamiento del problema	9
1.2.- Estado del arte	12
1.3.- Objetivos	17
1.3.1.- Objetivo general	17
1.3.2.- Objetivos específicos.....	17
1.4.- Alcances	17
2.- Marco teórico de la investigación	18
2.1.- Material plástico.....	18
2.1.1.- Grupos Plásticos e identificación	18
2.1.2.- Grupo de los Termoestables	19
2.1.3.- Grupo de los Termoplásticos.....	19
2.1.3.1.- Polietileno de alta densidad (HDPE).....	20
2.1.3.2.- Polipropileno (PP).....	20
2.1.3.1.- Poliestireno (PS).....	21
2.2.- Material compuesto	21
2.2.1.- Concepto de material compuesto	21
2.2.2.- Tipos de material compuesto.....	21
2.3.- Extrusión	21
2.3.1.- Tipos de extrusión	22
2.3.1.1.- Extrusión por soplado.....	22
2.3.1.2.- Extrusión por inyección	22
2.4.- Caracterización de las mezclas plásticas	22
2.4.1.- Mezclas copoliméricas de HDPE/PS	22
2.4.2.- Mezclas copoliméricas de HDPE/PP	25
2.5.- Definición de cierre perimetral provisorio.....	28

2.6.- Normativa referente.....	29
2.6.1.- Ensayo de flexión estática pequeña para OSB	29
2.6.2.- Ensayo de sujeción de conectores	29
3.- Metodología	31
3.1.- Población de Muestras	31
3.2.- Muestras	31
3.3.- Molde	32
3.4.- Identificación y recolección de los materiales	33
3.5.- Triturado del material.....	35
3.6.- Preparación de las mezclas plásticas.....	36
3.7.- Confección de paneles a base de mezclas plásticas	37
3.8.- Ensayos según Norma Chilena.....	39
3.8.1.- Ensayo de flexión estática pequeña para OSB	40
3.8.2.- Ensayo de sujeción de conectores	41
3.9.- Determinación de densidad aparente.....	41
4.- Análisis de resultados	42
4.1.-Análisis de proceso de fabricación.....	42
4.1.1.- Extrusión	42
4.1.2.- Desmolde.....	42
4.2.- Resultados a ensayos mecánicos de flexión.....	45
4.3.- Resultados a ensayos de sujeción de conectores	51
4.4.- Resultados de Densidad aparente.....	58
5.- Conclusiones	64
5.1.- Confección	64
5.2.- Resistencia a la flexión.....	64
5.3.- Resistencia a la sujeción de conectores.....	65
5.4.- Densidad aparente	65
7.- Investigaciones futuras.....	66

Lista de abreviaturas

- HDPE: Polietileno de alta densidad (high density polyethylene)
- PP: Polipropileno
- PS: Poliestireno
- RPM: Revoluciones por minuto
- GPa: Giga Pascales
- RCD: Residuos de la construcción y la demolición
- MMA: Ministerio de Medio Ambiente
- PSI: Libras por pulgada cuadrada (per square inch)
- NCh: Norma Chilena
- ASTM: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials)
- MPa: Mega Pascales

Lista de figuras

Figura 1.1. Aumento del uso de plásticos a nivel mundial	9
Figura 1.2 Distribución de los usos de los plásticos en Chile por sector industrial	10
Figura 2.1 Estructura molecular de los termoestables	19
Figura 2.2 Estructura molecular de los termoplásticos.....	20
Figura 2.3 Resultados de resistencia al impacto en mezclas de HDPE/PS	23
Figura 2.4 Resultados de resistencia a la flexión en mezclas de HDPE/PS	23
Figura 2.5 Resistencia a la flexión en mezclas de HDPE/PS a partir de materiales reciclados y vírgenes.....	24
Figura 2.6 Resistencia a la tracción en mezclas de HDPE/PS a partir de materiales reciclados y vírgenes.....	25
Figura 2.7 Resistencia máxima a la tracción en mezclas de HDPE/PP	26
Figura 2.8 Resistencia a la flexión en mezclas de HDPE/PP	27
Figura 2.9 Resistencia al impacto en mezclas de HDPE/PP	27
Figura 2.10 Ejemplo de cierre provisorio.....	28
Figura 2.11 Ejemplo de ensayo de flexión estática pequeña	29
Figura 2.12 equipo estandarizado para ensayos de sujeción de conectores	30
Figura 3.1 Vista frontal de molde para confección de tableros	32
Figura 3.2 Vista superior de molde para confección de tableros.....	33
Figura 3.3 Tarimas estándar en base a HDPE.....	33
Figura 3.4 Envases plásticos de pintura en base a PP	34
Figura 3.5 Colgadores de ropa en base a PS.....	34
Figura 3.6 Lavado de materiales.....	35
Figura 3.7 Trituradora de plásticos	36
Figura 3.8 Trituradora de plásticos.....	36
Figura 3.9 Extrusora de tornillo simple	37
Figura 3.10 Panel de control de temperaturas	38
Figura 3.11 Medidor de frecuencia.....	38

Figura 3.12 Prensa de moldeo	39
Figura 3.13 MATEST C092-1	40
Figura 3.14 FAKOPP MRT 500.....	41
Figura 4.1 Vertido de material hacia el molde.....	42
Figura 4.2 Marco atrapado por la mezcla.....	43
Figura 4.3 Aumento de espesor en paneles.....	43
Figura 4.4 Prensado del material	44
Figura 4.5 Panel con sobre pasamiento despreciable	44
Figura 4.6 Resistencia a la flexión en mezcla PS/HDPE 1° ciclo	46
Figura 4.7 Resistencia a la flexión en mezcla PS/HDPE 2° ciclo	47
Figura 4.8 Ensayo de resistencia a flexion en probeta de 30% HDPE y 70% PP	48
Figura 4.9 Resistencia a la flexión en mezcla PP/HDPE 1° ciclo	49
Figura 4.10 Resistencia a la flexión en mezcla PP/HDPE 1° ciclo	50
Figura 4.11 Dispersión fuerza de extracción de clavo 1° ciclo de PS	51
Figura 4.12 Desprendimiento en Probeta 70%/30% de PS/HDPE.....	53
Figura 4.13 Dispersión fuerza de extracción de clavo 2° ciclo de PS	53
Figura 4.14 Dispersión fuerza de extracción de clavo 1° ciclo de PP	56
Figura 4.15 Dispersión fuerza de extracción de clavo 2° ciclo de PP	58
Figura 4.16 Método de determinación de Densidad aparente	58
Figura 4.17 Dispersión Densidad Aparente 1° ciclo de PS	59
Figura 4.18 Dispersión Densidad Aparente 2° ciclo de PS	60
Figura 4.19 Dispersión Densidad Aparente 1° ciclo de PP	61
Figura 4.20 Dispersión Densidad Aparente 2° ciclo de PP ..	¡Error! Marcador no definido.

Lista de tablas

Tabla 1.1 Proporciones de las mezclas de materiales poliméricos	15
Tabla 1.2 Temperatura de degradación inicial, temperatura de fusión y temperatura de cristalización de cada material durante los cinco ciclos de extrusión	15
Tabla 2.1 Clasificación de los plásticos.....	18
Tabla 2.2 Composiciones de HDPE y PS en mezclas de polímeros reciclados y vírgenes ..	24
Tabla 3.1 Dosificación de mezclas de HDPE y PP.....	31
Tabla 3.2 Dosificación de mezclas de HDPE y PS.....	32
Tabla 3.3 Dosificación por peso en mezclas plásticas	37
Tabla 3.4: Categoría de desempeño según NCh 3618:2022	39
Tabla 4.1 Resistencia a la flexión en OSB.....	45
Tabla 4.2 Resistencia a la flexión en mezclas de PS/HDPE 1° ciclo	46
Tabla 4.3 Resistencia a la flexión en mezclas de PS/HDPE 2° ciclo	47
Tabla 4.4 Resistencia a la flexión en mezclas de PP/HDPE 1° ciclo	49
Tabla 4.5 Resistencia a la flexión en mezclas de PP/HDPE 2° ciclo	50
Tabla 4.6 Resultados de fuerza de extracción máxima en mezclas 1° ciclo de PS/HDPE ...	52
Tabla 4.7 Resultados de fuerza de extracción máxima en mezclas 1° ciclo de PS/HDPE ...	54
Tabla 4.8 Resultados de fuerza de extracción máxima en 1° ciclo de mezclas de PP/HDPE	55
Tabla 4.9 Resultados de fuerza de extracción máxima en 2° ciclo de mezclas de PP/HDPE	57
Tabla 4.10 Resultados de densidad aparente en 1° ciclo de mezclas de PS/HDPE.....	59
Tabla 4.11 Resultados de densidad aparente en 2° ciclo de mezclas de PS/HDPE	60
Tabla 4.12 Resultados de densidad aparente en 1° ciclo de mezclas de PP/HDPE.....	61
Tabla 4.13 Resultados de densidad aparente en 2° ciclo de mezclas de PP/HDPE.....	62

1.- Introducción

1.1- Planteamiento del problema

En la actualidad el ciclo de producción, uso y desecho de los plásticos supone un problema importante a nivel mundial desde el punto de vista la contaminación, citando a la OCDE en su reporte de Global Plastics Outlook 2022, “El ciclo de vida actual de los plásticos está lejos de ser circular. A nivel mundial, la producción anual de plásticos se ha duplicado, pasando de 234 millones de toneladas (Mt) en 2000 a 460 Mt en 2019. Los residuos plásticos se han más que duplicado, pasando de 156 Mt en 2000 a 353 Mt en 2019. Si se tienen en cuenta las pérdidas durante el reciclaje, solo el 9% de los residuos plásticos se reciclaron finalmente, mientras que el 19% se incineró y casi el 50% fue a desechado a vertederos sanitarios. El 22% restante se eliminó en vertederos incontrolados, se quemó en fosas abiertas o se filtró al medio ambiente” (OECD, 2022).

En conjunto con lo anteriormente mencionado, el reporte señalado también apunta a que el consumo y producción de los plásticos es directamente proporcional al aumento de la población. El crecimiento de la población y el aumento de los ingresos per cápita han hecho que el uso mundial de plásticos, incluidos los aditivos y las fibras, alcance los 460 Mt en 2019 (ver figura 1.1). Los volúmenes utilizados de estos polímeros sintéticos han aumentado constantemente. y aumentó más rápidamente que cualquier otro producto básico, incluido el acero, el aluminio y el cemento.

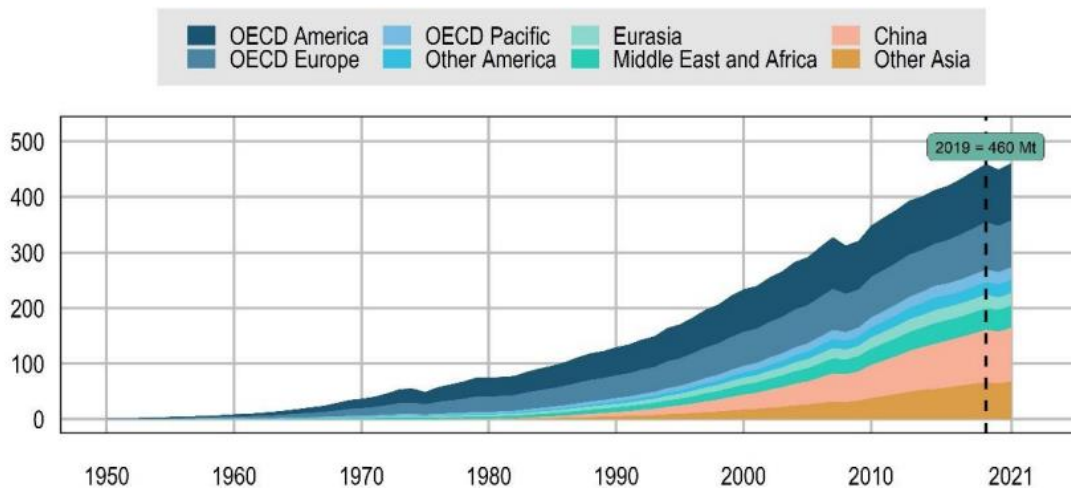


Figura 1.1. Aumento del uso de plásticos a nivel mundial

Fuente: OCDE 2022

En lo referente al aporte a la huella de carbono, según señala la OCDE (2022), estos contribuyen con 3,4% de las emisiones gases de efectos invernaderos a lo largo de su ciclo de vida. Estos generaron 1.800 millones de toneladas en emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales solo el 90% provino de su fabricación a partir de combustibles fósiles, señalando que cerrar los ciclos de materiales plásticos podrían aportar a la reducción de la huella de carbono significativamente.

Por último, en lo referente a los plásticos, según señala la ASIPLA en su informe de estadísticas de industria del plástico, en el contexto nacional para el año 2023 se utilizaron 1,245 mton de plástico en el sector económico, conformado por sectores de los envases, la construcción, el retail, la agricultura y pesca, la minería, entre otros, siendo la industria de la construcción la que se posiciona en segundo lugar, con una demanda del 21%, encontrándose solo detrás de la producción de envases con un 48% (ver figura 1.2). Esto ha supuesto un aumento de alrededor de 25% respecto al año 2018



Figura 1.2 Distribución de los usos de los plásticos en Chile por sector industrial

Fuente: Asociación Gremial de Industriales del Plástico, 2023

En lo referente al rubro de la construcción según el Ministerio de Medio Ambiente en el Informe del estado del medio ambiente (2021), menciona “Un manejo inadecuado de los Residuos de la Construcción y la Demolición (RCD) puede producir efectos negativos para el medio ambiente y la salud de las personas. Ello ocurre cuando se crean vertederos ilegales, basurales y microbasurales, lo mismo cuando se afecta sitios como humedales, orillas de ríos, quebradas, piscinas aluvionales y zonas con patrimonio arqueológico, dañando lugares que tienen valor ambiental”.

“La construcción y la producción de insumos de construcción son las actividades que presentan las más altas tasas de consumo de materiales a nivel mundial (Eurostat, 2015). Los principales insumos que se utilizan y extraen de la naturaleza para la construcción de edificación e infraestructura son: áridos, cemento, hierro, aluminio, cobre, madera, asfalto, yeso, ladrillos y plásticos, de los cuales un alto porcentaje se desecha durante la construcción” (MMA, 2021).

Hoy en día se han dado diversos estudios de mezclas plásticas, las cuales se centran en los plásticos termoestables, dado que estos tienen la propiedad de volver a moldearse al calentarse sin degradarse. De estos estudios se destacan las mezclas de PS/HDPE y PP/HDPE, por su compatibilidad al mezclarse en ciertas proporciones. Por lo mismo, se utilizarán las mezclas antes mencionadas para la confección y evaluación de ciertas características mecánicas de las mismas en formato de panel y su posible aplicación como material en el rubro de la construcción.

Para la posible aplicación de las mezclas plásticas en formato panel en el rubro de la construcción se señalan a los cierros provisorios, los cuales se definen como “estructuras de carácter temporal que deben de separar el interior de una obra del exterior de esta” (Rojas et.al, 2018). Entendiendo que esta es una partida temporal dentro del rubro de la construcción, se realizaron distintas encuestas en obras activas en la comuna de Valparaíso en el mes de septiembre de 2024, donde a los encargados de obra señalaron que los cierros provisorios podían ser reutilizados desde 2 a 4 obras en ejecución. Una de las materialidades predominantes en las obras encuestadas era la madera, cuya capacidad de ser reutilizado dependía de las condiciones de esta al momento de ser retiradas.

1.2.- Estado del arte

Para empezar, se abordarán las investigaciones relacionadas a las mezclas de PS y HDPE para comprender las cualidades que se han ido dando a conocer.

Según Culbert et al (2018). en su estudio busca caracterizar la combinación de dos plásticos los cuales son el poliestireno (PS) y el polietileno de alta densidad (HDPE). Donde destacan PS como frágil y poco resistente, pero asequible y con cualidades duraderas. Por otro lado, el HDPE como un plástico con una alta resistencia al impacto, a la tracción y liviano. Para la preparación de su mezcla se menciona que ambos plásticos son inmiscibles, es decir, que no se mezclan para formar una mezcla química, pero lograron combinarse gracias al procesamiento de fusión por extrusión de un solo tornillo con cizallamiento uniforme, realizando mezclas a razón PS/HDPE de porcentaje de peso en las proporciones de 20/80, 35/65, 50/50, 65/35, 80/20.

Para la fabricación de sus probetas se moldearon utilizando una máquina de moldeo por inyección de banco calefactada, neumática y presurizada, donde las temperaturas variaron entre 240°C y 250°C junto con presiones de procesamiento que variaron entre 110(psi) y 135(psi) según la muestra.

Las probetas fueron sometidas a ensayos de flexión, impacto y calorimetría diferencial de barrido destacando principalmente la mezcla 80/20, dado que esta fue la que tuvo una mayor resistencia al impacto pese a poseer una mayor cantidad de PS, el cual señalaban como frágil y poco resistente. En su prueba de flexión el módulo aumentaba a medida que aumentaba la concentración de PS, alcanzando 1,64 GPa en la mezcla 80/20 y por último, la calorimetría diferencial de barrido demostró que la adición de PS no afecta a la temperatura de fundición ni a la transición vítrea, pero si la bajaba la temperatura de fusión y cristalización.

(Wu et al., 2013) señala que el HDPE posee buen desempeño en tenacidad, resistencia, contra solventes y resistencia a bajas temperaturas, pero posee alta tenacidad, mientras tanto el PS es todo lo contrario. Este estudio tiene como finalidad mezclar ambos componentes para formar mejores mezclas. Estos componentes son inmiscibles termodinámicamente, pero su compatibilidad mecánica se ha podido mejorar a través de la mezcla por fusión.

Para su experimentación, se utilizó una extrusora de plastificación de paletas de polímero, donde su procesamiento se basa principalmente en la elongación. La extrusora está formado por rotores, estatores junto con cierto número de paletas y placas resistentes a los materiales. Señalan que la dispersión es una característica importante de las mezclas o compuestos poliméricos, ya que influyen en su compatibilidad, propiedades mecánicas y físicas.

A modo de medir cuantitativamente la influencia y velocidad de dispersión de las mezclas inmiscibles de HDPE y PS. En la preparación de su muestra experimental lo dividieron en dos grupos, el primero no recibió ningún tratamiento, se mezclaron y extruyeron en forma de 30% de peso de HDPE y 70% de PS a través de la extrusora separados en velocidades de 30, 45, 60, 75 y 90 rpm, donde las temperaturas de procesamiento fueron de 170, 220, 220 y 210° C. para el segundo grupo los parámetros de fusión fueron los mismos, sin embargo, las proporciones de HDPE/PS fueron de 5% y 95% respectivamente. Dentro de los resultados se menciona que tanto en el primer como en el segundo grupo se logró una mejor homogeneidad en la mezcla cuando las velocidades de extrusión oscilaban entre los 30 a 60 RPM, donde el rango de velocidad era óptimo, logrando una mejor dispersión, dando resultados confiables hasta cierto punto y que esta cualidad se iba perdiendo al superar las 60 rpm.

(Joshi et al., 2006) realizaron ensayos comparativos de mezclas de PS y HDPE buscando caracterizar las mezclas según el origen de los polímeros en mezclas de materiales vírgenes, reciclado o mixtos. Decidieron realizar este experimento sin agentes compatibilizantes que comúnmente no prometen mucho éxito, pero que a partir de mezclas inmiscibles se pueden obtener mezclas prometedoras si se selecciona adecuadamente la composición y parámetros de procesamiento. Introducen el término de “injerto mecánico”, es decir, las mezclas inmiscibles poseen interfaces no unidas, pero poseen una estructura co-continúa entrelazada lo suficientemente fina como para que exhiban un comportamiento mecánico y sean estables cerca de su fase vítrea.

Para la producción de sus mezclas se señala que los materiales se moldearon por inyección en una máquina de moldeo Negri Bosii V55-200, para producción de pruebas estándar, donde se acondicionaron a 22°C con humedad ambiente por dos días, antes de realizar ensayos. Como ya se mencionó, se utilizaron materiales reciclados y vírgenes en porcentajes de peso PS/HDPE donde enfocándose en las mezclas fabricadas a partir de únicamente material reciclado están las muestras 10/90, 20/80, 35/65, 40/60, 50/50, 60/40, 70/30 y 80/20.

Para sus mediciones de flexión se usó el método de tres puntos, descrito en ASTM D720 con una máquina de prueba mecánica MTS 2000 a una velocidad de 5mm/min y del mismo modo se empleó la prueba de tracción según la ASTM D638. Por último, para su morfología se realizó una calorimetría diferencial de barrido con procedimiento estándar de calor-frío-calor de 40 a 180°C a una velocidad de 10°C/min.

Señalando sus resultados, en su morfología de las composiciones recicladas en porcentajes más bajos de PS (30%) la estructura muestra dominios de HDPE que sobresalen ampliamente dando una mayor continuidad entre fases de PS y HDPE. Sin embargo, en composiciones con PS mayor al 35% no se pudo determinar su continuidad, ya que la estructura colapsaba durante el grabado. En sus propiedades mecánicas señalan que hay mejora en su flexión en composiciones con presencia de PS en un rango del 20% al 50% y

finalmente para sus pruebas de tracción solo se observa una sinergia en un intervalo del 30 al 50% de PS en las mezclas de PS/HDPE reciclado.

Por otro lado, se han realizado estudios que analizan mezclas de PP y HDPE, que del mismo modo que en las mezclas de PS y HDPE, han analizado distintas cualidades en distintas proporciones de estas mezclas

(Zahran et al., 2010) busca combinar las propiedades del polipropileno como su alta rigidez y su resistencia al impacto con las propiedades del polietileno de alta densidad como la resistencia al impacto y su resistencia a bajas temperaturas sin recurrir a costosas técnicas de compatibilización, por lo cual busca lograr mezclas isotrópicas, dado que menciona que dentro de las propiedades de los polímeros constituyentes poseen propiedad físicas, viscosidad y densidades similares. También que cuanto mayor sea la velocidad de enfriamiento y cristalización, mejores serán las propiedades mecánicas de las mezclas isotrópicas de HDPE/PP. Por otro lado, señalaron que, a velocidades de enfriamiento relativamente altas, el HDPE y el PP cristalizan simultáneamente deformando la interfaz entre sí y, por lo tanto, aumentan el espesor de la interfaz; es decir, se manifiesta una transferencia de tensión eficiente entre ellos.

Para su fabricación se mezclaron en estado fundido dos veces en una extrusora de un solo tornillo KS-VX65 para preparar mezclas de HDPE/PP de diferentes composiciones. Las composiciones de las mezclas fueron 5, 30, 50, 85 y 95 % en peso de HDPE. La velocidad del tornillo fue de 80 rpm y las temperaturas del barril se establecieron en 175, 200, 200, 220°C. Los polímeros constituyentes se mezclaron dos veces para lograr una mezcla íntima.

En su análisis precedente recomienda que las mezclas en las que el contenido de los dos polímeros es muy diferente (5/95 HDPE-PP, 85/15 HDPE-PP, 95/5 HDPEPP) son compatibles y la mezcla 5/95 HDPE-PP muestra la máxima compatibilidad. Sin embargo, la mezcla central (50/50 HDPE-PP) es incompatible y la mezcla 30/70 HDPE-PP parece marginal, indicando que existe una compatibilidad parcial entre las dos fases dentro de esta mezcla. En su resistencia al impacto señala que la mejor composición es la 5/95, pero que las mezclas 30/70, 85/15 y 95/5 se ajustan mientras que en la mezcla media muestra deterioro drástico. Por último, en su ensayo de flexión muestra resultados similares a los de ensayo de impacto, donde las muestras 5/95, 85/15 y 95/5 lograron pasar el ensayo mientras que la muestra 30/70 cedió y se estiro mientras que la mezcla 50/50 se rompió inmediatamente.

(Stewart et al., 2023) buscan detallar las propiedades de las mezclas de HDPE y PP en distintas proporciones para posteriormente ir caracterizando las mezclas continuamente mediante un proceso de extrusión continua con varianzas en sus mezclas de estar conformadas únicamente de HDPE hasta ser únicamente PP (ver Tabla 1.1)

Tabla 1.1 Proporciones de las mezclas de materiales poliméricos

Material	100/0 (i) ^a	75/25 (i) ^a	50/50 (i) ^a	25/75 (i) ^a	0/100 (i) ^a
Ratio (wt.%)	100% HDPE +0% PP	75% HDPE +25% PP	50% HDPE +50% PP	25% HDPE +75% PP	0% HDPE +100% PP
Temperature range ^b of extruder zones	140–160°C	145–165°C	150–170°C	160–175°C	165–175°C

Fuente: Mixing rules for high density polyethylene-polypropylene blends, Stewart et al. (2023)

Posterior a la extrusión de la mezcla se le extrajo a través de un baño de agua de 1,5m a temperatura ambiente dejando de lado cada muestra de la mezcla posterior a cada proceso de extrusión. Durante su experimentación se detalla que no se hizo ningún acondicionamiento ni procesamiento adicional. En total se realizaron 5 mezclas, es decir 5 muestras por cada uno de los 5 procesos de extrusión (ver Tabla 1.2).

En los resultados de la caracterización de su experimento empiezan por detallar sus propiedades térmicas, donde se señala su temperatura de degradación donde a excepción del HDPE en estado puro, todas las mezclas incluídas el PP presentaron variancias mínimas de 1 a 7°C extras para su degradación. Para su temperatura de fusión, se observó que después de haber atravesado los procesos de extrusión continua no hubo un aumento significativo de esta que no supera 1°C de varianza. Por último, para su temperatura de cristalización se detalla que, si no se degradan las cadenas poliméricas durante el proceso de extrusión después de cada ciclo, los materiales deberían de tener una cristalinidad similar de manera continua. Señalan que no se produjo una degradación continua en ninguno de los cinco casos de cada muestra tanto el HDPE o el PP, destacando que esto podría deberse a que el HDPE se encuentra actuando como un agente de nucleación para el PP.

Tabla 1.2 Temperatura de degradación inicial, temperatura de fusión y temperatura de cristalización de cada material durante los cinco ciclos de extrusión

Material	Extrusion cycle	Onset T _d (°C)	T _m (°C)		T _c (°C)	
			HDPE	PP	HDPE	PP
100/0	(1)	399.00	129.91	-	115.82	-
	(2)	389.89	129.08	-	116.33	-
	(3)	367.89	128.72	-	117.29	-
	(4)	447.84	129.34	-	116.10	-
	(5)	449.03	129.40	-	116.15	-
75/25	(1)	436.78	129.20	165.21	114.40	123.50
	(2)	436.00	129.39	165.41	116.80	126.66
	(3)	434.78	129.49	165.85	116.00	127.24
	(4)	436.06	129.54	165.48	117.23	127.40
	(5)	437.75	129.40	165.74	116.34	127.28
50/50	(1)	424.45	128.95	165.43	114.99	122.81
	(2)	438.00	128.74	164.94	116.94	123.84
	(3)	432.06	129.01	165.31	116.73	123.59
	(4)	433.37	129.39	165.58	116.54	123.54
	(5)	431.42	129.51	165.75	116.29	123.82
25/75	(1)	427.05	128.93	165.32	116 ^a	118.75
	(2)	437.00	129.29	165.81	116 ^a	118.43
	(3)	428.57	128.96	165.36	116 ^a	118.26
	(4)	426.90	128.98	165.60	116 ^a	117.83
	(5)	434.00	128.94	165.11	116 ^a	118.48
0/100	(1)	423.30	-	166.40	-	118.21
	(2)	430.00	-	166.37	-	118.66
	(3)	428.20	-	166.83	-	118.31
	(4)	426.30	-	166.08	-	118.28
	(5)	425.59	-	167.24	-	118.23

Note: T_d is the onset degradation temperature, T_m is the melt temperature, T_c is the crystallization temperature.

(Sutar et al., 2018) buscan examinar propiedades tales como la resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y resistencia al impacto Izod en mezclas poliméricas de polipropileno y polietileno de alta densidad vírgenes, es decir sin procesar. Para ello utilizan los materiales en forma de pellets y los dejan secar en un horno de aire a 60°C por 8 horas, donde posteriormente mezclan en 20, 30 y 50% en peso de PP con HDPE. Donde son procesados a una velocidad de 51 a 54 RPM, donde la mezcla pasara por barriles térmicos en 190°C, 200°C y 210°C.

Dentro de sus resultados señalan que el refuerzo del PP al HDPE mejora la resistencia a la tracción gracias a la formación polimérica, donde la magnitud de módulo a la tracción en el punto de rotura la mezcla 50/50 alcanza un valor de alrededor de 146 MPa. En la prueba de flexión todas las mezclas alcanzaban valores de alrededor de 23 MPa, esto revela que el PP les da a las mezclas mayor ductilidad. En su ensayo de resistencia al impacto la mezcla 50/50 posee valores mínimos mientras que el mayor corresponde a la mezcla 80/20. Por último, refiriéndonos a sus propiedades térmicas señala que la mezcla de ambos polímeros no altera significativamente la temperatura de fusión, en el caso de cristalización el PP es más rápido que el HDPE. Con la adición del PP al HDPE retrasar la nucleación de la mezcla de polímeros heterogéneos y, por lo tanto, los picos de cristalización de las poli mezclas son indistinguibles.

1.3.- Objetivos

1.3.1.- Objetivo general

- Evaluar las propiedades mecánicas de paneles fabricados a partir mezclas de HDPE/PS y HDPE/PP en distintas proporciones con extrusión continua

1.3.2.- Objetivos específicos

- Evaluar la resistencia a la flexión en paneles de mezclas de HDPE/PS y HDPE/PP
- Evaluar la resistencia a la tracción en paneles mezclas de HDPE/PS y HDPE/PP
- Determinar la densidad aparente de las mezclas de HDPE/PS y HDPE/PP

1.4.- Alcances

- Las mezclas para evaluar serán del tipo inmiscibles, es decir que no formaran enlaces químicos.

2.- Marco teórico de la investigación








En este apartado se mencionará los datos necesarios para dar a entender los procesos que se realizarán durante la metodología.

2.1.- Material plástico

2.1.1.- Grupos Plásticos e identificación

Los plásticos pueden identificarse mediante el sistema de codificación SPI (Sociedad de Industrias del Plástico), el cual se distingue por un número rodeado por 3 flechas junto a las siglas del plástico (ver tabla 2.1), el cual indica la composición química del mismo. Esta codificación es hoy en día mundialmente aceptada desde USA a China, pasando por Europa. (Asociación Gremial de Industriales del Plástico, 2024)

Tabla 2.1 Clasificación de los plásticos

Nombre	Siglas	Simbolo
Polietileno tereftalato	PET	
Polietileno de alta densidad	PEAD	
cloruro de polivinilo	PVC	
polietileno de baja densidad	PEBD	
Polipropileno	PP	
Poliestireno	PS	
Otros(todas las demas resinas plasticas)	OTROS	

Fuente: Asociación Gremial del Plástico, 2023

2.1.2.- Grupo de los Termoestables

Los termoestables están constituidos por cadenas largas de moléculas que están fuertemente unidas por enlaces cruzados, entrelazados, para formar estructuras de red tridimensionales. Los plásticos termoestables son por lo general más fuertes, pero más frágiles que los termoplásticos, estos no se funden al calentarse en comparación de los termoplásticos, sino que empiezan a descomponerse. No pueden ser reprocesados con facilidad después de que haya ocurrido la reacción de enlaces cruzados y, por lo tanto, el reciclaje es difícil. Los termoestables más conocidos son:

- Fenólicos
- Poliésteres
- Epóxicos
- Uretanos
- Silicones

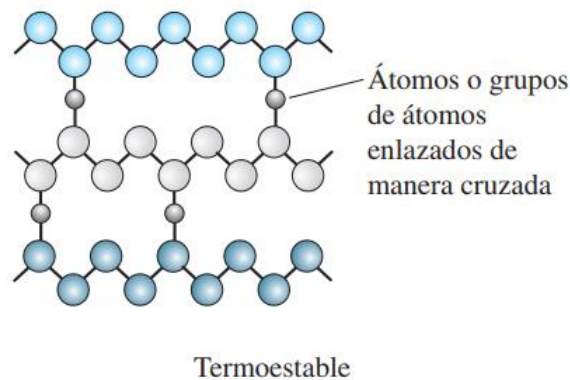


Figura 2.1 Estructura molecular de los termoestables

Fuente: Ciencia e ingeniería de los materiales, 2016

2.1.3.- Grupo de los Termoplásticos

Los termoplásticos están formados de cadenas largas que se producen al unir monómeros; por lo general se comportan de manera plástica y dúctil. Las cadenas pueden o no estar ramificadas. Respecto a las cadenas individuales, estas se encuentran entrelazadas. Entre los átomos de cadenas diferentes existen enlaces de Van der Waals relativamente débiles. Los termoplásticos pueden ser amorfos o cristalinos que al calentarse se ablandan y se funden. Se procesan en ciertas formas calentándolos a temperaturas elevadas. Los termoplásticos se pueden reciclar con facilidad. Los termoplásticos más conocidos son:

- Polietileno de alta densidad (HDPE)
- Polietileno de baja densidad (LDPE)
- Cloruro de Polivinilo (PVC)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Polietileno tereftalato (PET)

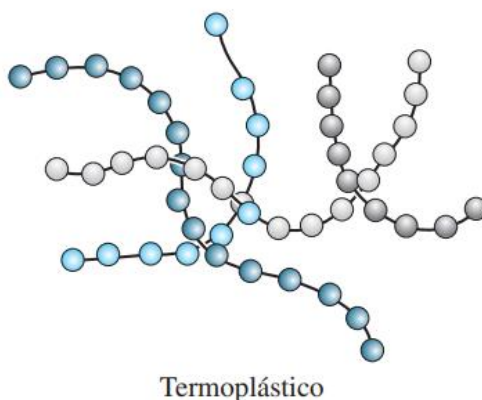


Figura 2.2 Estructura molecular de los termoplásticos

Fuente: Ciencia e ingeniería de los materiales, 2016

Dentro de este grupo se encuentran los siguientes plásticos que se van a usar:

2.1.3.1.- Polietileno de alta densidad (HDPE)

El HDPE se considera respetuoso con el medio ambiente por su capacidad de ser reutilizado, además, la fabricación de este tipo de plástico solo requiere de una pequeña fracción de la energía que se necesitaría para producir acero a partir del mineral de hierro. Es un plástico resistente a la degradación, a los agentes ambientales y bastante rígido. Este posee una densidad de alrededor 940 kg/m^3 (GAP POLYMERS, 2022)

2.1.3.2- Polipropileno (PP)

El polipropileno es un plástico muy duro, resistente al calor y semitransparente que conserva su forma después de mucha torsión, flexión o plegado. Su uso generalizado y su popularidad son indudables, puesto que es uno de los polímeros termoplásticos más flexibles del planeta. Duraderas, flexibles, resistentes al calor, a los ácidos y baratas. Este posee una densidad de alrededor 900 kg/m^3 (GAP POLYMERS, 2022)

2.1.3.1.- Poliestireno (PS)

Se trata de un termoplástico transparente que lo podemos encontrar tanto en su forma de plástico sólido, como en material de espuma rígida. Este posee una densidad de alrededor 960 kg/m^3 (GAP POLYMERS, 2022)

2.2.- Material compuesto

2.2.1.- Concepto de material compuesto

Los compuestos se forman cuando dos o más materiales o fases se utilizan juntas para obtener una combinación de propiedades que no se puede lograr de otra manera. Los compuestos se pueden seleccionar para alcanzar combinaciones no usuales de rigidez, peso, densidad, desempeño a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza (Askeland et al., 2016)

2.2.2.- Tipos de material compuesto

- **Matriz cerámica:** Son matrices que poseen propiedades mecánicas superiores en comparación con los materiales cerámicos tradicionales, especialmente cuando se trata de resistencia y tenacidad, particularmente en condiciones de temperaturas bajas. Además, se pueden categorizar según el tipo de refuerzos que incorporen, ya sea mediante fibras continuas, fibras discontinuas o partículas. Las fibras de carburo de silicio y óxido de aluminio se emplean como refuerzo en las matrices cerámicas, mientras que, en el caso de las fibras discontinuas y partículas, se utilizan agujas cerámicas de carburo de silicio para reforzarlas
- **Matriz metálica:** Son matrices que se componen de dos o más sustancias diferentes con características distintas en cuanto a su estructura y composición química. Cuando se combinan, crean un nuevo material que aprovecha las cualidades positivas de cada componente mientras contrarresta las propiedades negativas. Estos materiales resultantes son conocidos por su resistencia y rigidez superiores, lo que amplía sus posibles usos en diversas aplicaciones.
- **Matriz polimérica:** Las matrices poliméricas son componentes esenciales en materiales compuestos en los que un polímero sirve como la fase principal o matriz del material. Estas matrices se utilizan para incorporar y mantener unidos otros materiales de refuerzo, como fibras, partículas o tejidos, para crear un material compuesto con propiedades específicas.

2.3.- Extrusión

La extrusión es la técnica que más se utiliza en el procesamiento de termoplásticos. La extrusión puede tener dos finalidades: primero, es un modo de conformar ciertas figuras de manera continua y, en segundo término, al procesar polímeros que después utilizarán otros procesos, la extrusión proporciona un mezclador excelente para los aditivos. Un mecanismo de tornillo formado por un par de tornillos (extrusión mediante tornillos múltiples) obliga a

pasar el termoplástico caliente, ya sea sólido o líquido, así como los aditivos, por la abertura de un dado de extrusión para producir formas sólidas, películas, hojas, tubos o tuberías (Askeland et al., 2016)

2.3.1.- Tipos de extrusión

2.3.1.1.- Extrusión por soplado

La extrusión es la técnica que más se utiliza en el procesamiento de termoplásticos. La extrusión puede tener dos finalidades: primero, es un modo de conformar ciertas figuras de manera continua y, en segundo término, al procesar polímeros que después utilizarán otros procesos, la extrusión proporciona un mezclador excelente para los aditivos. Un mecanismo de tornillo formado por un par de tornillos (extrusión mediante tornillos múltiples) obliga a pasar el termoplástico caliente, ya sea sólido o líquido, así como los aditivos, por la abertura de un dado de extrusión para producir formas sólidas, películas, hojas, tubos o tuberías (Askeland et al., 2016)

2.3.1.2.- Extrusión por inyección

Los polímeros termoplásticos calentados a temperaturas superiores a la de fusión, mediante una máquina de extrusión, son forzados a entrar en una matriz cerrada para producir una pieza. Este proceso es similar a la fundición o inyección a presión de metales. Un émbolo o algún mecanismo especial de tornillo aplican presión para obligar al polímero caliente a entrar en la matriz. De esta manera se produce una amplia diversidad de productos, desde tazas, peines y engranes hasta botes para basura (Askeland et al., 2016)

2.4.- Caracterización de las mezclas plásticas

2.4.1.- Mezclas copoliméricas de HDPE/PS

Culbert et al. (2018) en su investigación buscaba caracterizar la mezcla plástica de PS y HDPE en distintas proporciones, donde consideraron las propiedades mecánicas de las distintas mezclas plásticas. Los ensayos mecánicos que se realizaron fueron los de resistencia al impacto y el módulo de flexión. Para la resistencia al impacto utilizaron la metodología proporcionada por la ASTM D256, donde la mayor resistencia la obtuvo la muestra de peso de PS/HDPE en peso de 20/80 y en segundo lugar la muestra de 80/20(figura)

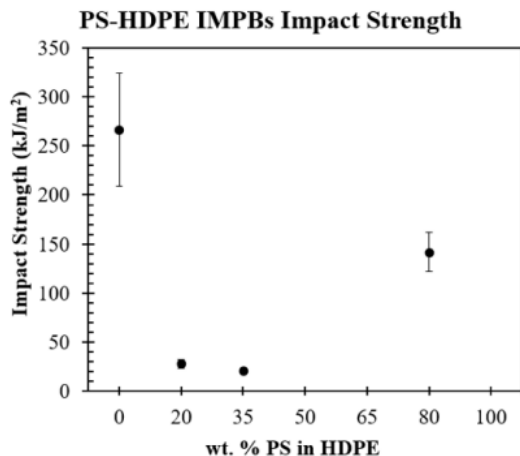


Figura 2.3 Resultados de resistencia al impacto en mezclas de HDPE/PS

Fuente: desarrollo y caracterización de compuestos plásticos, 2018

Para la prueba de flexión se utilizó la metodología dada por la ASTM D790, donde se logra observar que a mayor proporción de HDPE, mayor es el módulo de flexión hay en la composición. (figura)

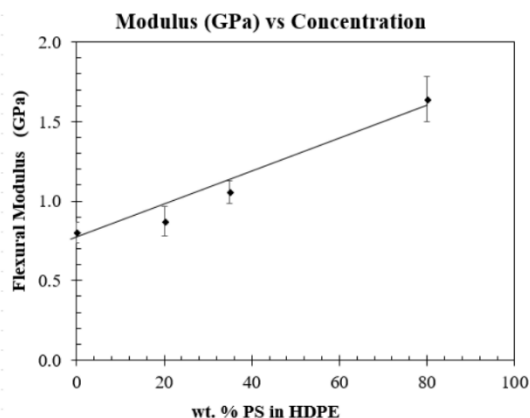


Figura 2.4 Resultados de resistencia a la flexión en mezclas de HDPE/PS

Fuente: desarrollo y caracterización de compuestos plásticos, 2018

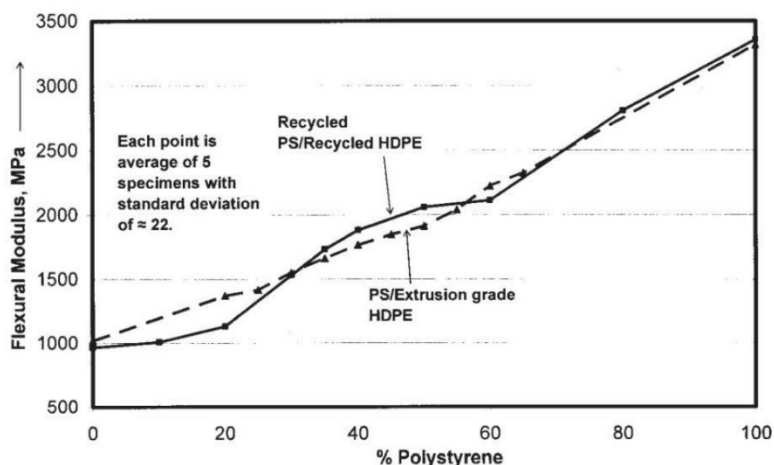
Joshi et al (2006). evaluó las propiedades físicas de las mezclas de HDPE y PS en distintas proporciones por peso de cada componente en la mezcla según normativa ASTM, principalmente se enfoca en comparar las diferencias entre las mezclas de materiales vírgenes, reciclados y mixtos, según se señala la tabla. De las mezclas mencionadas se evaluaron la tracción, la flexión y su cristalinidad, a modo de denotar sus propiedades.

Tabla 2.2 Composiciones de HDPE y PS en mezclas de polímeros reciclados y vírgenes

Compositions of Polystyrene and HD Polyethylene Blends Prepared from Recycled and Virgin Polymers			
% polystyrene	% high density polyethylene	Recycled	Virgin
0	100	X	X
10	90	X	
20	80	X	X
25	75		X
30	70	X	X
35	65	X	X
40	60	X	X
45	55		X
50	50	X	X
55	45		X
60	40	X	X
65	35		X
80	20	X	X
100	0	X	X

Fuente: Características físicas seleccionadas de compuestos de HDPE/PS preparados a partir de materiales vírgenes y reciclados. (Joshi et al., 2006)

Dentro de sus análisis se puede mencionar que al aumentar el porcentaje de poliestireno en la mezcla aumenta el módulo de flexión, dado que esta es una de las propiedades principales del material, pero que en el caso de los materiales reciclados se observa una mejora en el rango de entre 20% a 50% frente a los materiales vírgenes, aunque finalmente los materiales vírgenes muestran una superioridad despreciable cerca del final. (ver figura 2.5)

**Figura 2.5 Resistencia a la flexión en mezclas de HDPE/PS a partir de materiales reciclados y vírgenes**

Fuente: Características físicas seleccionadas de compuestos de HDPE/PS preparados a partir de materiales vírgenes y reciclados. (Joshi et al., 2006)

A diferencia del módulo de flexión los materiales reciclados presentan un mayor módulo de tracción frente a los materiales vírgenes en todo momento, pero se denota un

mayor rango en las mezclas con 20% a 50% (ver figura 2.6), señalando finalmente que con estos rangos se puede concluir se alcanza una región sinérgica de las mezclas con una morfología continua y unión mecánica constituyendo lo que en este estudio denominaron un injerto mecánico de los materiales.

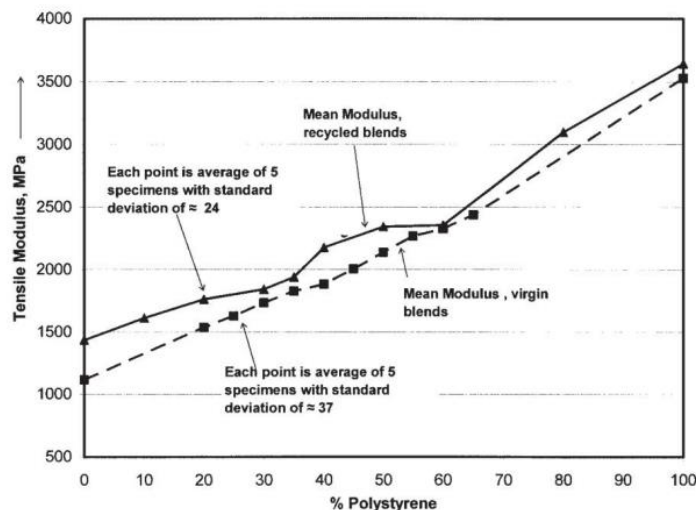


Figura 2.6 Resistencia a la tracción en mezclas de HDPE/PS a partir de materiales reciclados y vírgenes

Fuente: Características físicas seleccionadas de compuestos de HDPE/PS preparados a partir de materiales vírgenes y reciclados, (Joshi et al., 2006)

2.4.2.- Mezclas copoliméricas de HDPE/PP

Zahran et al. (2010) en la búsqueda de aplicaciones de uso de los plásticos en la construcción realizaron ensayos en mezclas poliméricas de HDPE y PP, para ello sometieron a ensayos mecánicos distintas probetas en formas de láminas de 160mm x 160mm x3mm, con proporciones de peso de porcentaje de HDPE a 100% de la mezcla en 5%, 30%, 50%, 85% y 95%. Las probetas a diferencia de haber sido fabricadas por extrusión por inyección la mezcla fue vertida directamente sobre una prensa hidráulica donde la mezcla en caliente se sometió a una presión de 170 kg/cm² por 10 minutos, donde finalmente se dio un choque térmico sumergiendo las láminas en agua por 5 minutos. Dentro de sus resultados morfológicos se determina que la mezcla 5/95 HDPE/PP muestra la morfología más fina. Donde aparentemente, todos los dominios de HDPE en las mezclas se muestran como varillas delgadas dentro del PP. Además, las láminas crecen a partir de algunos de ellos que penetran en la fase del PP. Tales observaciones son evidencias de la adhesión íntima entre los componentes de la mezcla. Los bordes brillantes implican que muchas láminas de cada fase abarcan la región de la interfaz, conectando las dos fases entre sí con enlaces fuertes. En su análisis se menciona que en el caso de su resistencia a la tracción las mezclas en las que el contenido de los dos polímeros es muy diferente (5/95 HDPE/PP, 85/15 HDPE/PP, 95/5 HDPE/PP) son compatibles y la mezcla 5/95 HDPE/PP muestra la máxima compatibilidad. Sin embargo, la mezcla central (50/50 HDPE/PP) es incompatible y la mezcla 30/70

HDPE/PP parece marginal; existe una compatibilidad parcial entre las dos fases dentro de esta mezcla. Dentro de sus ensayos de propiedades mecánicas empiezan analizando la resistencia a la tracción, donde la máxima se logra mediante la mezcla de 5/95(HDPE/PP), siendo las siguientes mezclas compatibles 85/15 y 95/5(HDPE/PP), parcialmente compatible la mezcla 30/70(HDPE/PP) e incompatible la mezcla 50/50(HDPE/PP) (ver Figura 2.7)

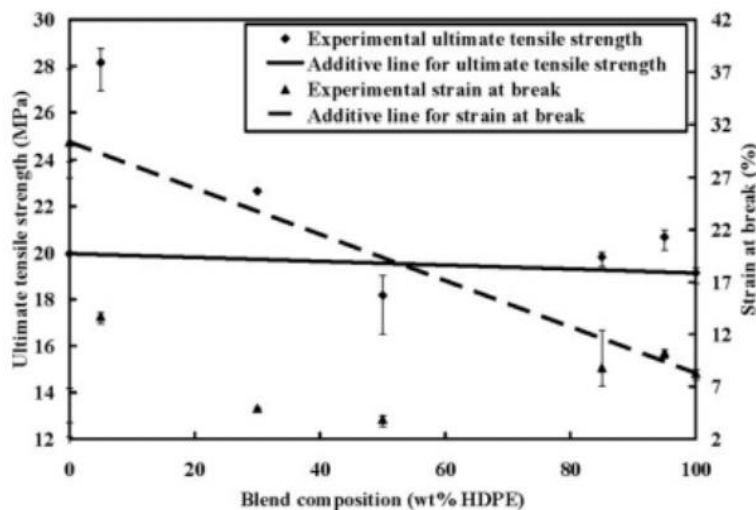


Figura 2.7 Resistencia máxima a la tracción en mezclas de HDPE/PP

Fuente: Desarrollo de mezclas de HDPE/PP isotrópicas compatibles para aplicaciones estructurales

En los ensayos de resistencia a la flexión, los homopolímeros, mezclas 5/95 (HDPE/PP), 85/15 (HDPE/PP) y 95/5 (HDPE/PP) no se rompieron. La mezcla 30/70 (HDPE/PP) cedió y se estiró hasta cierto punto antes de romperse, en cambio la mezcla 50/50 (HDPE/PP) se rompió inmediatamente después de ceder. Se señala que la adición del PP al HDPE está acompañada con un aumento del módulo de flexión, indicando un aumento sinérgico en la mezcla, dando como resultado una mayor flexibilidad. Por otro lado, las fracturas que se presentan en las probetas tras este ensayo surgen por las grietas malformadas en la matriz polimérica durante el proceso de fabricación de las probetas (ver figura 2.8).

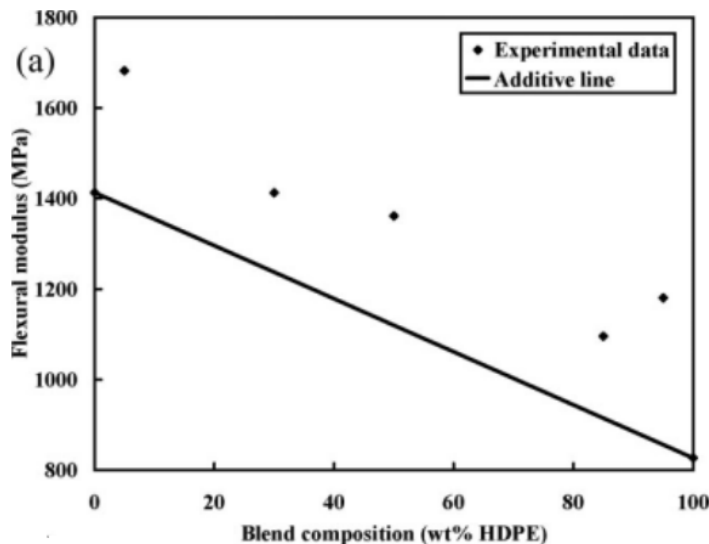


Figura 2.8 Resistencia a la flexión en mezclas de HDPE/PP

Fuente: Desarrollo de mezclas de HDPE/PP isotrópicas compatibles para aplicaciones estructurales

Por último, en los ensayos de resistencia al impacto de la mezcla 5/95 (HDPE/PP) se eleva muy por encima de la línea prevista, pero las mezclas 30/70 (HDPE/PP), 85/15 (HDPE/PP) y 95/5 (HDPE/PP) se ajustan a ella, mientras que la resistencia al impacto de la mezcla 50/50 (HDPE/PP) muestra un deterioro drástico. Se menciona que para este ensayo a menor cristalinidad porcentual de las mezclas mayor será la resistencia al impacto. (ver figura 2.9)

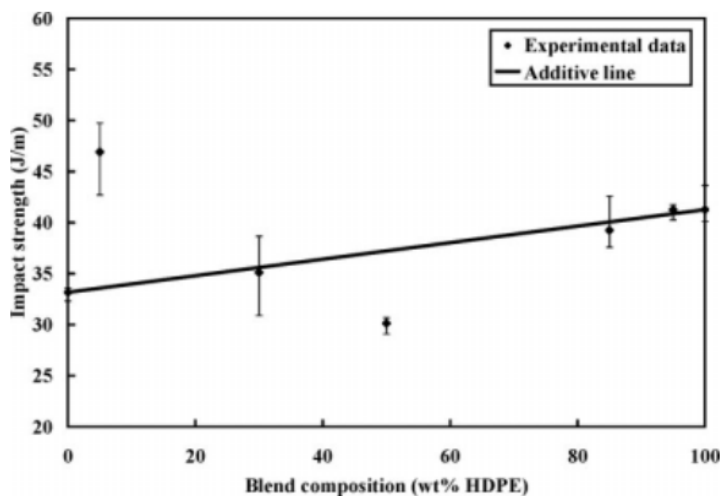


Figura 2.9 Resistencia al impacto en mezclas de HDPE/PP

Fuente: Desarrollo de mezclas de HDPE/PP isotrópicas compatibles para aplicaciones estructurales

2.5.- Definición de cierre perimetral provisorio

Para dar a entender la posible aplicación que se le pretende dar a los paneles fabricados a partir de las mezclas plásticas, los cuales podrían tener una aplicación en formato panel se debe entender que los cierros perimetrales provisorios son estructuras de carácter temporal que deben de separar en interior de una obra del exterior de esta, asegurando que no existan riesgos directos desde el exterior de la obra, además de impedir el acceso a cualquier persona ajena a la obra. Al ser de carácter provisorio estos deben de durar mientras la obra esté en ejecución (figura), posterior a dicha etapa estos son retirados para dar paso a los cierros definitivos (Eduardo Rojas Silva et al., n.d.). Los materiales comúnmente utilizados para realizar cierros provisorios en obras de construcción son:

- Polines Impregnados
- Madera de pino de 1x4”
- Malla hexagonal (o metálicas rígidas a elección)
- Malla raschel
- Placas aglomeradas (OSB en su mayoría)



Figura 2.10 Ejemplo de cierre provisorio

Fuente: Elaboración Propia, 2024

2.6.- Normativa referente

Entendiendo que la materialidad propuesta se va a utilizar en planchas que se usarán en la instalación de cierros provisorios, los cuales normalmente tienden a confeccionarse con tableros de OSB, se tomarán como referencia aquella norma establecida por el Instituto Nacional de Normalización (INN), la cual regula el comportamiento y ensayos que se deben de cumplir los elementos de madera en territorio nacional.

Norma Chilena 3618:2022 Tableros de uso estructural a base de madera - Requisitos y ensayos.

Esta norma establece los ensayos y requisitos de distintos tipos de tableros de uso estructural, entre ellos tableros de partículas, tableros de fibra MDF, tableros recubiertos y tableros enchapados. En esta se establecen distintos ensayos para los tableros, junto con el tamaño de las probetas. Para este caso nos enfocaremos en ensayos correspondientes

2.6.1.- Ensayo de flexión estática pequeña para OSB

Este ensayo se basa en la ASTM D3043 método D, donde se realiza un ensayo de flexión en el punto central, para lo cual se utiliza una máquina de prueba de flexión convencional para aplicar una carga centrada a velocidad constante hasta el punto de fallo de la muestra (ver figura 2.11), donde la probeta deberá de tener una sección rectangular y su tamaño es dado por el espesor del tablero, el largo debe ser al menos 24 veces el espesor más dos pulgadas, el ancho 2 pulgadas para espesores mayores a $\frac{1}{4}$ de espesor y su espesor equivalente el del tablero que se desea evaluar.

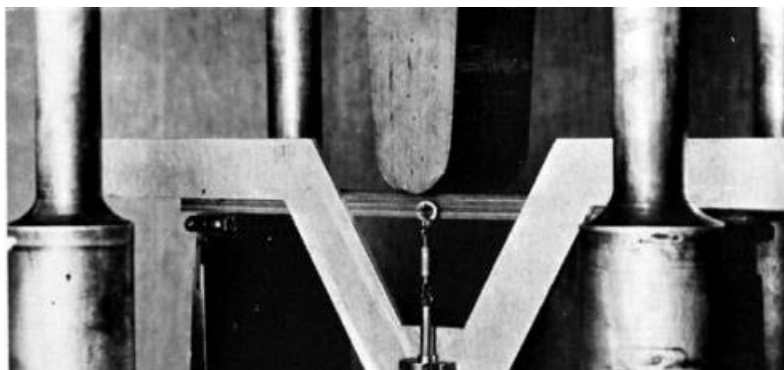


Figura 2.11 Ejemplo de ensayo de flexión estática pequeña

Fuente INN, 2022

2.6.2.- Ensayo de sujeción de conectores

Este ensayo busca determinar la resistencia de los tableros bajo una sollicitación de corte y extracción directa de los clavos, la cual se basa en la ASTM D1037. Para la ejecución de este ensayo se utiliza una maquinaria especializada (ver figura 2.12) para determinar el esfuerzo necesario para la extracción de los clavos en probetas estandarizadas según la

normativa con un área de 150 mm x 75 mm. Por último, el tamaño del clavo a utilizar en el ensayo es determinado por el espesor.



Figura 2.12 equipo estandarizado para ensayos de sujeción de conectores

Fuente INN, 2022

3.- Metodología

En este apartado se definirán las proporciones de ambas mezclas de polímeros a evaluar, siendo las mezclas de HDPE/PP y HDPE/PS, junto con los tamaños de probetas, recolección de materiales y los respectivos ensayos aplicar según normativa chilena para ensayos en formato de tablero y ensayos según Normativa ASTM indicada en la normativa chilena para análisis de comportamiento plástico, junto con los pasos a seguir.

3.1.- Población de Muestras

Para los respectivos ensayos se confecciona 1 panel de cada proporción de las mezclas propuestas, de los cuales se extraen 5 probetas para el ensayo de resistencia a flexión y 10 probetas para ensayos de sujeción que serán ensayadas según los métodos especificados por la NCH 3618:2022. Se analizarán 3 mezclas distintas por cada mezcla plástica basándose en estudios anteriores. Para el caso de la mezcla de HDPE/PP se evaluarán mezclas de proporciones de peso de 80/20, 70/30 y 30/70. Para el caso de la mezcla de HDPE/PS se evaluarán mezclas de proporciones de peso de 90/10, 70/30 y 50/50.

3.2.- Muestras

Dado que para cada ensayo a realizar se necesitan probetas de distinto tamaño los paneles confeccionados tendrán tamaños de 500 mm x 500 mm, donde se obtendrán las distintas probetas, necesitando 15 probetas, las cuales posterior a sus ensayos serán extruidas nuevamente.

Tabla 3.1 Dosificación de mezclas de HDPE y PP

proporción de peso PP/HDPE	Nº de paneles	Nº de probetas para ensayos de flexión	Nº de probetas para ensayo de sujeción de conectores
20/80	1	5	10
30/70	1	5	10
70/30	1	5	10
Total	3	15	30

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 3.2 Dosificación de mezclas de HDPE y PS

proporción de peso PS/HDPE	Nº de paneles	Nº de probetas para ensayos de flexión	Nº de probetas para ensayo de sujeción de conectores
30/70	1	5	10
50/50	1	5	10
70/30	1	5	10
Total	3	15	30

Fuente: Elaboración propia, 2024

3.3.- Molde

Para la confección de los paneles a base de las mezclas poliméricas se fabrica un molde de acero a partir de una placa de acero de 700 mm x 700 mm x 3 mm, en conjunto de un marco de 520 mm x 520 mm fabricado a partir de perfiles de acero de 10 mm x 10 mm (Ver Figura 3.1 y 3.2). el molde es utilizado para verter la mezcla polimérica en caliente mediante el proceso de extrusión, el cual posteriormente es sometido a presión mediante el uso de una prensa brindada por Ecopolimero, el cual empujará la mezcla dejándola sellada, lo cual le dará forma a un panel de dimensiones de 500 mm x 500 mm x 10 mm



Figura 3.1 Vista frontal de molde para confección de tableros

Fuente: Elaboración propia, 2024

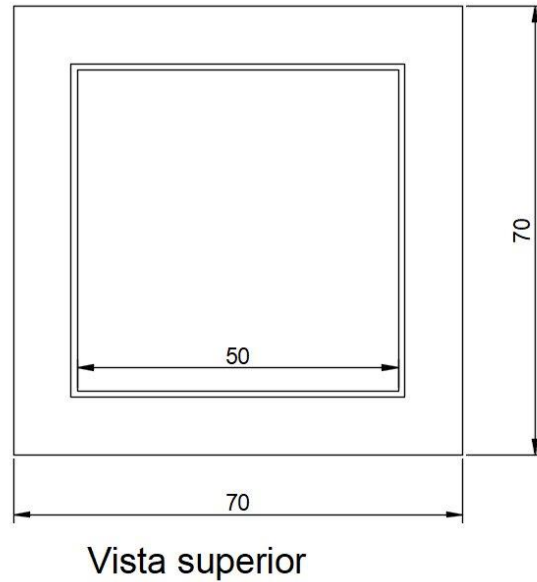


Figura 3.2 Vista superior de molde para confección de tableros

Fuente: Elaboración Propia, 2024

3.4.- Identificación y recolección de los materiales

Para la confección de los paneles se utilizarán 3 polímeros los cuales servirán de matriz para la mezcla. En primer lugar, el material común para ambas mezclas será el HDPE, el cual se encuentra en distintos formatos, desde aplicaciones de uso doméstico hasta aplicaciones en la construcción. En este caso se utilizarán tarimas estándar, los cuales están hechos a partir de polietileno de alta densidad. (ver Figura 3.3)



Figura 3.3 Tarimas estándar en base a HDPE

Fuente: Revaloriza, 2025

En segundo lugar, el polipropileno, al igual que la mayoría de los plásticos tiene aplicaciones tanto de uso domésticos como industrial, en este caso se utilizará polipropileno proveniente de la industria de la construcción, el cual principalmente se encuentra en formato de tuberías y envases plásticos de pintura. (ver Figura 3.4)



Figura 3.4 Envases plásticos de pintura en base a PP

Fuente: Revaloriza, 2025

Por último, el poliestireno, al igual que los anteriores es de uso tanto doméstico como industrial. En el caso de la industria de la construcción, se presenta en el formato de poliestireno expandido (EPS), y poliestireno extruido (XPS). Este también es utilizado de otras maneras como contenedores de comida, colgadores de ropa entre otros. (Ver Figura 3.5)



Figura 3.5 Colgadores de ropa en base a PS

Fuente: Revaloriza, 2023

Todos estos materiales serán suministrados por la empresa Revaloriza, la cual se dedica a la recolección y reutilización de desechos de la industria de la construcción principalmente.

Posterior a la recolección de los materiales estos debieron ser sometidos a un proceso de reducción y lavado antes de ser triturados, dado que al ser recolectados desde una planta de acopio estos se encontraban cubiertos de suciedad como tierra o restos de pintura (ver Figura 3.6). Este proceso se realizó con el fin de evitar una posible segregación de los materiales al ser extruidos, lo que podría generar diferencias muy grandes entre los resultados de los ensayos a los que serían sometidos las probetas.



Figura 3.6 Lavado de materiales

Fuente: Elaboración propia, 2025

3.5.- Triturado del material

Posterior al lavado, los materiales deben de pasar por un proceso de reducción, para lo cual se utilizará una maquina chipeadora trituradora de plásticos KSN – 400 Kosner (Ver Figura 3.7), la trituradora cuenta con un tamiz (Ver Figura 3.8) incorporado, donde el material será extraído de este proceso con un tamaño nominal de 5 mm, para posteriormente ser almacenado para su uso posterior.



Figura 3.7 Trituradora de plásticos

Fuente: Ecopolimero, 2024



Figura 3.8 Trituradora de plásticos

Fuente: Ecopolimero, 2024

3.6.- Preparación de las mezclas plásticas

Antes de procesar el material mediante el uso de la extrusora estas deben de ser dosificadas en base a las mezclas propuestas, por lo cual el mismo deberá de ser pesado y posteriormente mezclado, para finalmente ser extruido. Para el material a procesar se utilizarán 5 kilos de material en cada panel, lo cual supone un exceso de material, sin embargo, esto se realiza para evitar la posible escasez o pérdida de material, como lo puede ser la contaminación del material en caliente durante la confección, según se señala en la tabla 3.3

Tabla 3.3 Dosificación por peso en mezclas plásticas

Mezcla PS/HDPE	Mezcla PP/HDPE	PS	PP	HDPE en PS	HDPE en PP
30/70	20/80	1,5	1	3,5	4
50/50	30/70	2,5	1,5	2,5	3,5
70/30	70/30	3,5	3,5	1,5	1,5
	Total	7,5	6	7,5	9

Fuente: Elaboración propia, 2024

3.7.- Confección de paneles a base de mezclas plásticas

La confección de los paneles de mezclas plásticas en las mezclas propuestas se utiliza una extrusora de tornillo simple de fabricación artesanal (Ver Figura 3.9), adicionalmente para el proceso de confección se controlan los parámetros de la extrusora como la temperatura mediante el panel eléctrico (Ver Figura 3.10), el cual permite controlar las temperaturas de procesamiento, y las velocidades se controlarán mediante el medidor de frecuencia instalado en la maquinaria (Ver figura 3.11). Mediante el control de estos parámetros se utilizarán 80 rpm con una temperatura de 230°C para mezclas de HDPE/PP y a 60 rpm con temperaturas de 210°C para mezclas de HDPE/PS.



Figura 3.9 Extrusora de tornillo simple

Fuente: Ecopolimero, 2024



Figura 3.10 Panel de control de temperaturas

Fuente: Ecopolimero, 2024



Figura 3.11 Medidor de frecuencia

Fuente: Ecopolimero, 2024

Las mezclas en caliente son vertidas dentro del molde para posteriormente ser sometidas a presión mediante el uso de una prensa mecánica (Ver Figura 3.12), una vez dentro de la prensa se debe esperar a que las temperaturas de las mezclas disminuyen para su posterior desmolde. Los paneles una vez ensayados volverán a pasar por estos procesos para volver a ser ensayados y medir las variaciones en sus propiedades mecánicas.



Figura 3.12 Prensa de moldeo

Fuente: Ecopolimero, 2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

3.8.- Ensayos Según Norma Chilena

Para poder comparar las propiedades de los tableros plásticos como paneles para ser usados en cierros provisionales se someten a ensayos de paneles de madera según la NCh 3618:2022 Tableros de uso estructural a base de madera - Requisitos y ensayos, para medir su resistencia en este formato y determinar su calidad. Esta norma cuenta con categorías de desempeño según el espesor del tablero, donde la categoría de desempeño escogida en este caso al contar con un espesor de 10mm es categoría de 3/8” (Ver Tabla 3.4)

Tabla 3.4: Categoría de desempeño según NCh 3618:2022

Categoría de desempeño	Requisitos de espesor	
	Espesor mínimo,mm (pulg)	Espesor máximo,mm (pulg)
1/4	55,6 (0,219)	7,14 (0,281)
11/32	7,94 (0,313)	9,53 (0,375)
3/8	8,73 (0,344)	10,32 (0,406)
7/16	10,32 (0,406)	11,91 (0,469)
15/32	11,11 (11,91)	12,70 (0,500)
1/2	11,91 (14,29)	13,49 (0,531)
19/32	14,29 (0,563)	15,88 (0,625)
5/8	15,08 (0,594)	16,67 (0,656)
23/32	17,46 (0,688)	19,05 (0,750)
3/4	18,26 (0,719)	19,84 (0,781)
13/16	19,84 (0,781)	21,43 (0,844)
7/8	21,11 (0,831)	23,34 (0,919)
1	24,13 (0,950)	26,67 (1,050)
1 1/8	27,15 (1,069)	30,00 (1,181)
1 1/4	30,16 (1,188)	33,34 (1,313)

3.8.1.- Ensayo de flexión estática pequeña para OSB

Este ensayo se basa en la norma ASTM D3043 métodos de ensayo estándar para paneles estructurales en flexión, para lo cual se utiliza máquina de flexión convencional modelo C092-1 marca MATEST (Ver Figura 3.13), en probetas de 290 mm de largo, ancho de 51 mm y el espesor correspondiente que se desea evaluar, cuyas medidas son especificadas en la norma. Para determinar la resistencia a la flexión se utilizará la fórmula de módulo de ruptura de la ASTM D1037 métodos de ensayo para evaluar las propiedades de los materiales de paneles de fibra y partículas a base de madera, mencionada en la ASTM D3043. La fórmula en este caso sería.

$$R_b = \frac{3P_{max}L}{2bd^2}$$

Donde:

P_{max} = Carga máxima, kgf(N)

L = Largo de luz de ensayo, cm(mm)

b = Ancho de la probeta medido en condiciones secas, cm(mm)

d = Espesor de la probeta medido en condiciones secas, cm(mm)

Por último, cabe mencionar que la ASTM D3043 método D, detalla que este método es de caracterización comparativa, por lo cual adicionalmente se ensayan probetas de paneles de OSB de dimensiones anteriormente mencionadas.



Figura 3.13 MATEST C092-1

Fuente: Universidad de Valparaiso, 2024

3.8.2.- Ensayo de sujeción de conectores

Este ensayo busca determinar la resistencia del OSB bajo una solicitud de corte y extracción directa del clavo, esta norma se basa en la norma ASTM D1761 Métodos de prueba estándar para fijaciones mecánicas en madera y materiales a base de madera. Para el ensayo se requiere una máquina de extracción de clavo especificada en la norma, sin embargo, al no poseer el equipo necesario se utiliza un medidor portátil de resistencia para ensayos de extracción de tornillo en madera MRT 500, marca FAKOPP (Ver Figura 3.13). Para el ensayo se utiliza clavos de 2" x 0,113", donde al momento de insertar el clavo en el panel se debe de dejar un espacio libre entre el panel y el cabezal del clavo de 2".

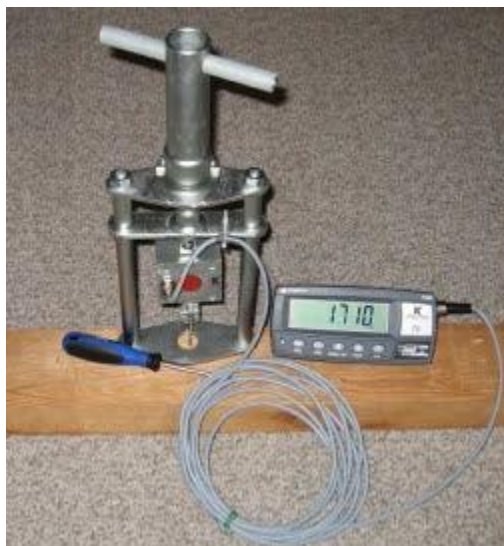


Figura 3.14 FAKOPP MRT 500

Fuente: FAKOPP, 2025

3.9.- Determinación de densidad aparente

Como último se planeó determinar la densidad aparente de las mezclas. Para ello se utilizó el principio de Arquímedes para determinar las densidades. Con la finalidad de llevar a cabo este ensayo se extrajeron fragmentos de distintos tamaños de los paneles de mezclas plásticas, los cuales son pesados para obtener su peso y posteriormente sumergidos en agua para determinar su volumen a través del peso del agua desplazada. Como mención se debe de determinar la densidad del agua para obtener el volumen de agua desplazada.

4.- Análisis de resultados

4.1.-Análisis de proceso de fabricación

4.1.1.- Extrusión

Como se mencionó con anterioridad, se fijaron distintos parámetros para la extrusión de los materiales, como lo son las temperaturas de procesamiento y las revoluciones por minutos dependiendo de la materialidad de la mezcla. Dentro de las primeras observaciones del proceso de extrusión nos encontramos con que el material no era expedido de la extrusora de manera continua, por lo cual el material era expedido en trozos de distintos tamaños hacia el molde, por lo mismo, el material debió de ser guiado hacia el centro del molde.



Figura 4.1 Vertido de material hacia el molde

Fuente: elaboración propia, 2025

4.1.2.- Desmolde

En un principio al momento de fabricar los paneles en el proceso señalado anteriormente, el molde se veía atrapado por la mezcla en frío, dado que al existir un exceso y el mismo al ser sometido a presión mediante el uso de la mezcla, se desplazó hacia el exterior del marco de acero, donde este terminaba por ser atrapado por la mezcla en frío (Ver Figura 4.2). Cabe mencionar que en esta instancia el material se mantuvo a presión hasta que se solidificara por completo.



Figura 4.2 Marco atrapado por la mezcla

Fuente: Elaboración propia, 2025

Al momento de retirar el panel del molde mediante el uso de un esmeril angular con discos de corte se observó que el material no obtuvo el espesor esperado, por lo cual se tuvo que reducir el espesor de los paneles de manera artificial mediante el uso de discos de desbaste.

En las siguientes confecciones se redujo el material que era depositado para evitar los posibles excesos de material. Además, ya no se esperaba a que el material alcanzara temperaturas ambiente para ser desmoldado, el material era desmoldado cuando alcanzaba temperaturas de alrededor de 40°C, la cual era medida con termómetro láser. Siguiendo los parámetros mencionado, si bien no existió un desplazamiento de material que atrapara el molde, el material tendió a contraerse sobre sí mismo, lo cual provocaba un aumento del espesor de los paneles, pasando de 10 mm de espesor a 16 mm aproximadamente, en casos extremos el mismo podía alcanzar 21mm de espesor, del mismo modo, los paneles se contraían desde sus extremos reduciendo su largo y ancho (Ver Figura 4.3), además de presentar deformaciones de alabeo.



Figura 4.3 Aumento de espesor en paneles

Fuente: Elaboración propia, 2025

Para poder mantener la estabilidad dimensional del material, se decidió finalmente por posicionar un panel de acero de 700 mm x 700 mm adicional sobre el material antes de ser prensado (Ver Figura 4.4), dando como resultado paneles que podían mantener las dimensiones deseadas, aun así este presentaba sobre pasamientos de material menores a 1 mm. (Ver figura 4.5).



Figura 4.4 Prensado del material

Fuente: Elaboración propia, 2025



Figura 4.5 Panel con sobre pasamiento despreciable

Fuente: Elaboración propia, 2025

4.2.- Resultados a ensayos mecánicos de flexión

Dentro de los resultados aportados por el ensayos de flexión, se empezó con las probetas de OSB de 10 mm(Ver tabla 4,1), para posteriormente pasar a ensayar las probetas de las mezclas de PS/HDPE y finalmente las mezclas del PP/HDPE. Al momento de ser ensayadas se destacan ciertos comportamiento físicos de las mezclas, al alcanzar el punto de fallo o estar cercano a él.

Tabla 4.1 Resistencia a la flexión en OSB

Ensayo de flexión (OSB)			
Muestra	N° de probeta	Carga aplicada(kN)	N/mm ²
Tablero OSB	1	0,295	17,35294118
	2	0,311	18,29411765
	3	0,723	42,52941176
	4	0,407	23,94117647
	5	0,382	22,47058824

Fuente: Elaboración propia, 2025

En primer lugar, las probetas de PS/HDPE, se debe destacar que a medida que aumentaba la concentración de PS en la mezcla aumentaba ligeramente la capacidad de flectar del material, pero en comparación con los estudios analizados en este estudio, específicamente el estudio. “Development and Characterization of Plastic Composites”, de Culbert et al., quien mencionaba que a medida que aumentaba la concentración de PS en la mezcla aumentaba de forma proporcional su módulo de flexibilidad. El comportamiento mecánico que se observó, dado que las probetas presentaban curvaturas despreciables a lo largo de la probeta antes de alcanzar el fallo, donde también estas tuvieron una forma peculiar de fallar, donde todas las probetas al partirse salían disparadas. Por otro lado, en comparación al OSB, se obtuvieron resultados mayores en su módulo de resistencia en los rangos de 30% a 50%, aunque en el rango del 50% presento una mayor dispersión, sin embargo, la mezcla con 70% de PS presentaba una disminución en su resistencia, cuando según los estudios analizados este debió de haber sido mayor que en las mezclas anteriores. Para poder visualizar los datos se señalan en la Figura 4.6 y Tabla 4.2

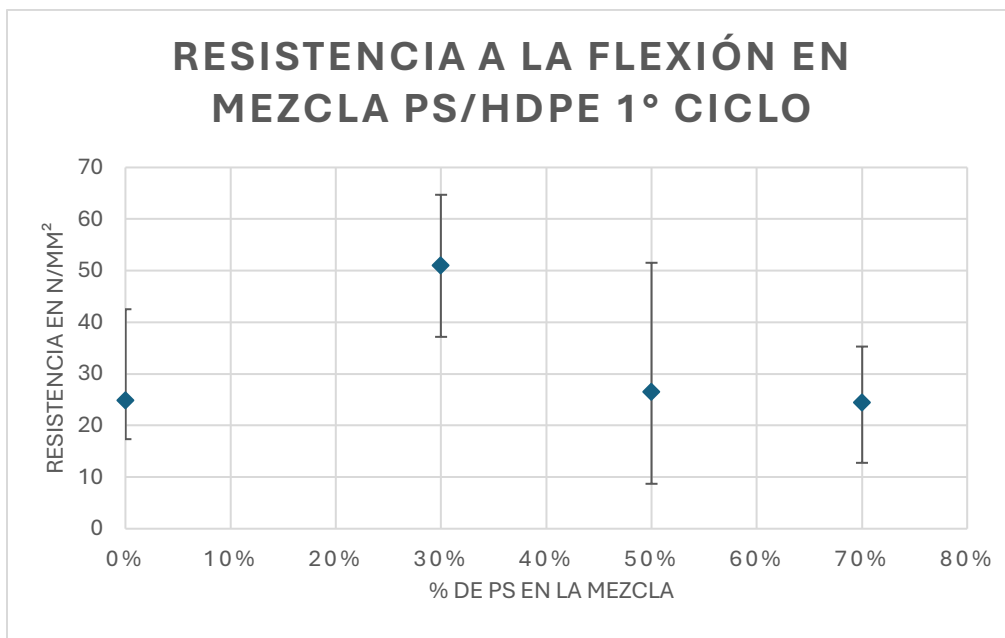


Figura 4.6 Resistencia a la flexión en mezcla PS/HDPE 1° ciclo

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 4.2 Resistencia a la flexión en mezclas de PS/HDPE 1° ciclo

Ensayo de flexión 1°ciclo (PS/HDPE)			
Muestra	N° de probeta	Carga aplicada(kN)	N/mm ²
30/70	1	1,1	64,70588235
	2	0,8	47,05882353
	3	0,947	55,70588235
	4	0,632	37,17647059
	5	0,856	50,35294118
50/50	1	0,363	21,35294118
	2	0,148	8,705882353
	3	0,52	30,58823529
	4	0,876	51,52941176
	5	0,35	20,58823529
70/30	1	0,306	18
	2	0,217	12,76470588
	3	0,58	34,11764706
	4	0,6	35,29411765
	5	0,382	22,47058824

Fuente: Elaboración propia, 2025

Durante su segundo ciclo de procesamiento, se puede mencionar que la resistencia a la flexión de las mezclas aumento en los casos de 50% y 70% de PS y a su vez disminuyo su

dispersión, mientras que en caso del 30% la resistencia de este disminuyo, a su vez que su dispersión aumento (Ver Figura 4.7 y Tabla 4.3), cabe mencionar que su comportamiento antes las fracturas se mantuvo igual en comparacion con el primer ciclo.

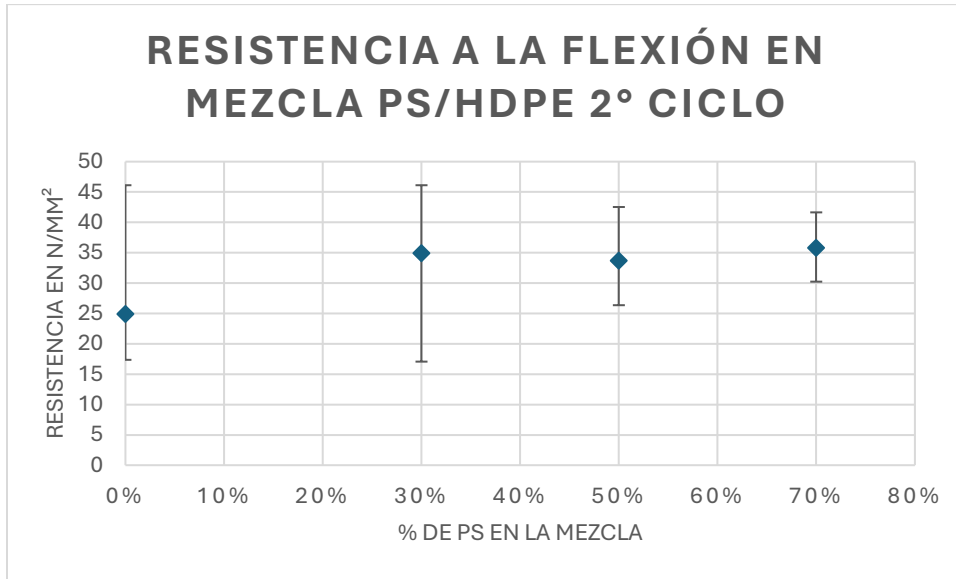


Figura 4.7 Resistencia a la flexión en mezcla PS/HDPE 2º ciclo

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 4.3 Resistencia a la flexión en mezclas de PS/HDPE 2º ciclo

Ensayo de flexión 2ºciclo (PS/HDPE)			
Muestra	Nº de probeta	Carga aplicada(kN)	N/mm ²
30/70	1	0,688	40,4705882
	2	0,784	46,1176471
	3	0,52	30,5882353
	4	0,29	17,0588235
	5	0,689	40,5294118
50/50	1	0,565	33,2352941
	2	0,448	26,3529412
	3	0,723	42,5294118
	4	0,671	39,4705882
	5	0,458	26,9411765
70/30	1	0,708	41,6470588
	2	0,677	39,8235294
	3	0,601	35,3529412
	4	0,514	30,2352941
	5	0,545	32,0588235

Fuente: Elaboración propia, 2025

En el caso de las mezclas de PP/HDPE, al momento de ser ensayados, las probetas que contenían un 20% y 30% de PP en la mezcla alcanzaron el punto de fallo, sin embargo, la mezcla con un 70% no alcanzó el punto de fallo por su alta flexibilidad, finalmente dejando de oponer resistencia (ver Figura 4.8), esto último siendo acorde con las características descritas según Zahran. Acorde a las proporciones la capacidad de flectarse observaba es directamente proporcional con la cantidad de PP. Por otro lado, lo cual indicaría que a mayor cantidad de PP en la mezcla, mayor resistencia ofrece, a excepción de la mezcla de 70% de PP, la cual se flecto y dejo de oponer resistencia, sin alcanzar el punto de fallo como se indicó anteriormente. (Ver Figura 4.9 y Tabla 4.3)



Figura 4.8 Ensayo de resistencia a flexión en probeta de 30% HDPE y 70% PP

Fuente: Elaboración propia, 2025

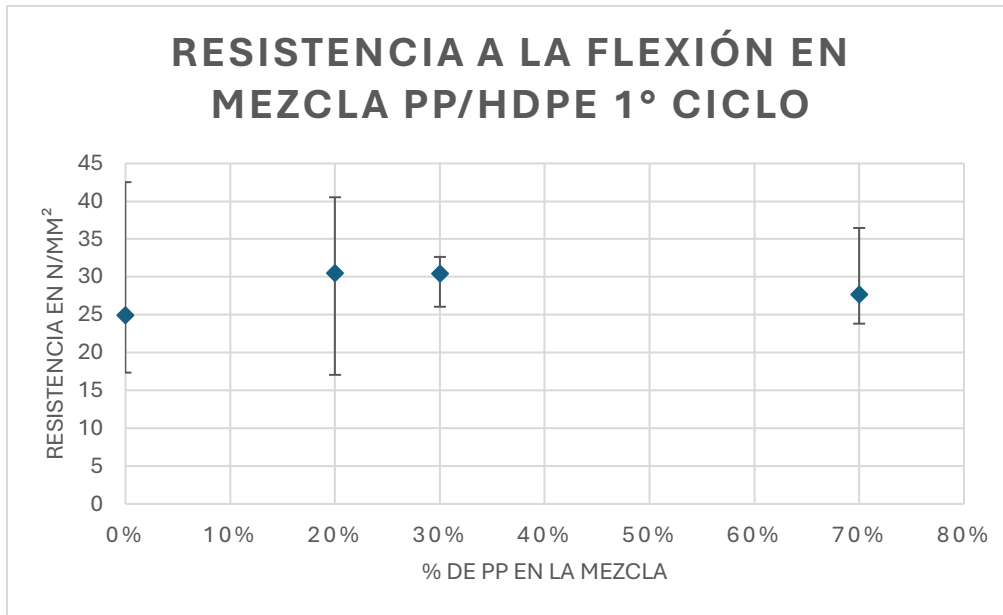


Figura 4.9 Resistencia a la flexión en mezcla PP/HDPE 1° ciclo

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 4.4 Resistencia a la flexión en mezclas de PP/HDPE 1° ciclo

Muestra	N° de probeta	Carga aplicada(kN)	N/mm ²
20/80	1	0,29	17,05882353
	2	0,689	40,52941176
	3	0,565	33,23529412
	4	0,504	29,64705882
	5	0,545	32,05882353
30/70	1	0,52	30,58823529
	2	0,443	26,05882353
	3	0,53	31,17647059
	4	0,54	31,76470588
	5	0,555	32,64705882
70/30	1	0,48	28,23529412
	2	0,405	23,82352941
	3	0,433	25,47058824
	4	0,62	36,47058824
	5	0,418	24,58823529

En su segundo ciclo de procesamiento, al igual que en las mezclas con PS, estas sufrieron un aumento en su módulo de resistencia (Ver Tabla 4.5), pero en comparación de las mezclas de PS que en su primer ciclo tenían una mayor dispersión y en su segundo ciclo su dispersión de resultados era menor, en este segundo ciclo de procesamiento aumento su

dispersión, de manera drástica en el caso de la mezcla de 30% de PP que paso de poseer 8% a 26% de dispersión. (Ver Figura 4.10),

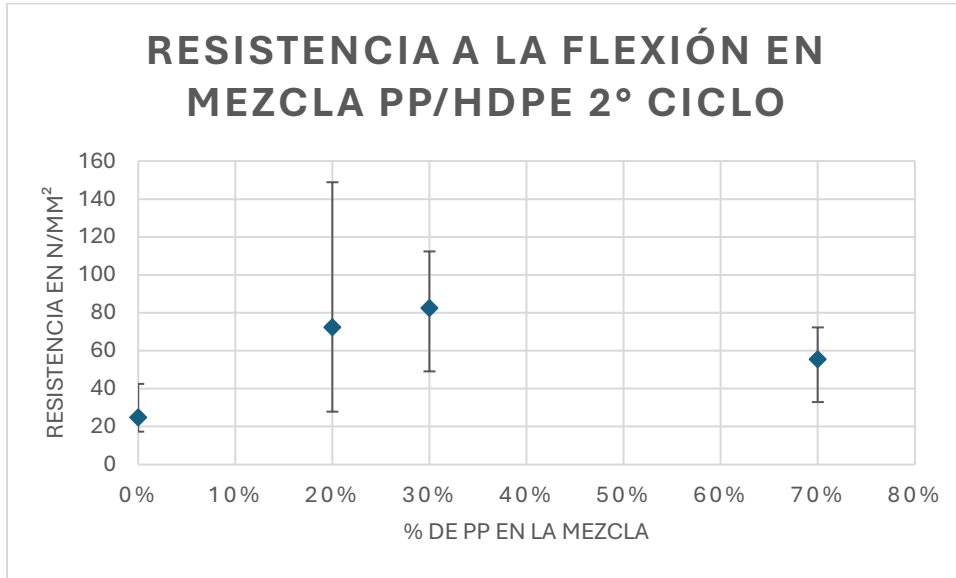


Figura 4.10 Resistencia a la flexión en mezcla PP/HDPE 1º ciclo

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 4.5 Resistencia a la flexión en mezclas de PP/HDPE 2º ciclo

Ensayo de flexión 2ºciclo (PP/HDPE)			
Muestra	Nº de probeta	Carga aplicada(kN)	N/mm ²
20/80	1	0,474	27,8823529
	2	2,53	148,823529
	3	0,963	56,6470588
	4	0,886	52,1176471
	5	1,29	75,8823529
30/70	1	1,63	95,8823529
	2	1,91	112,352941
	3	0,835	49,1176471
	4	1,25	73,5294118
	5	1,4	82,3529412
70/30	1	0,886	52,1176471
	2	1,03	60,5882353
	3	1,229	72,2941176
	4	1,02	60
	5	0,56	32,9411765

4.3.- Resultados a ensayos de sujeción de conectores

En el análisis de resultados, empezando por las mezclas de PS/HDPE presentaron por lo general una menor dispersión en su primer ciclo de procesamiento, al menos las mezclas de 50% y 70% de PS (Ver figura 4.11) y con mejores resultados la mezcla de 70%(ver Tabla 4.4), sin embargo, estas mezclas presentaban desprendimientos en alrededor de la inserción del clavo, cuyo desprendimiento era más pronunciado mientras mayor era la concentración de PS en la mezcla.

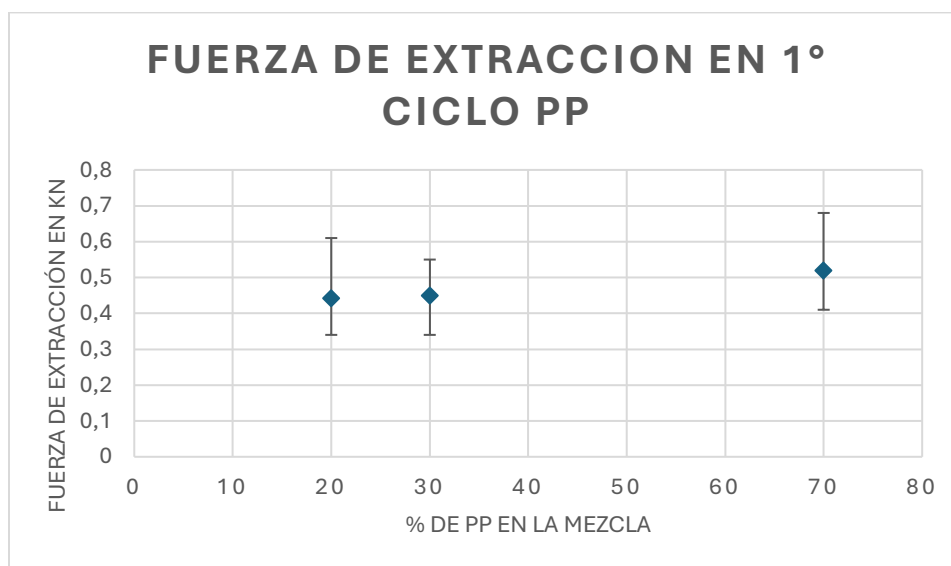


Figura 4.11 Dispersión fuerza de extracción de clavo 1° ciclo de PS

Tabla 4.6 Resultados de fuerza de extracción máxima en mezclas 1° ciclo de PS/HDPE

Sujecion de conectores		
Muestra	N° de probeta	Fuerza de extraccion (KN)
30/70	1	0,23
	2	0,26
	3	0,45
	4	0,46
	5	0,44
	6	0,41
	7	0,4
	8	0,35
	9	0,48
	10	0,46
50/50	1	0,56
	2	0,49
	3	0,41
	4	0,38
	5	0,38
	6	0,45
	7	0,23
	8	0,23
	9	0,49
	10	0,2
70/30	1	0,56
	2	0,74
	3	0,74
	4	0,53
	5	0,78
	6	0,31
	7	0,55
	8	0,43
	9	0,46
	10	0,36

Fuente: elaboración propia, 2025



Figura 4.12 Desprendimiento en Probeta 70%/30% de PS/HDPE

Fuente: elaboración propia, (2025)

Durante su segundo ciclo de procesamiento, se repitieron los desprendimientos alrededor de las inserciones de los clavos en probetas, destacando también la disminución de la fuerza necesaria para la extracción y un aumento en la dispersión (ver tabla 4.6 y figura 4.12)

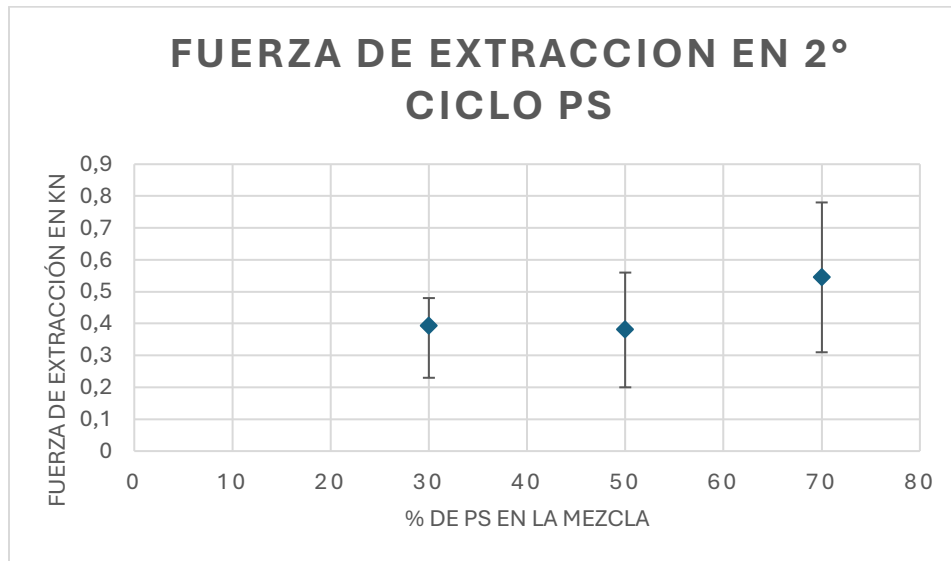


Figura 4.13 Dispersión fuerza de extracción de clavo 2° ciclo de PS

Tabla 4.7 Resultados de fuerza de extracción máxima en mezclas 2° ciclo de PS/HDPE

Sujeción de conectores		
Muestra	N° de probeta	Fuerza de extracción (kN)
20/80	1	0,39
	2	0,37
	3	0,85
	4	0,73
	5	0,46
	6	0,58
	7	0,68
	8	0,61
	9	0,58
	10	0,59
30/70	1	0,54
	2	0,38
	3	0,81
	4	0,81
	5	0,47
	6	0,64
	7	0,51
	8	0,66
	9	0,43
	10	0,48
70/30	1	0,46
	2	0,44
	3	0,4
	4	0,43
	5	0,44
	6	0,26
	7	0,37
	8	0,31
	9	0,41
	10	0,33

Para el caso de las mezclas de PP/HDPE, los ensayos realizados presentan una menor dispersión en sus resultados a comparación de las mezclas que poseen PS (ver Tabla 4.7 y Figura 4.13), siendo la que a medida que aumentaba la concentración de PP en la mezcla aumentaba proporcionalmente en consecuencia la resistencia a la extracción. En este caso las mezclas no presentaron fisuras en el procedimiento de penetración de los clavos, por lo cual no hubo mayor problema al preparar las probetas en estas mezclas.

Tabla 4.8 Resultados de fuerza de extracción máxima en 1° ciclo de mezclas de PP/HDPE

Sujecion de conectores		
Muestra	N° de probeta	Fuerza de extraccion (KN)
20/80	1	0,54
	2	0,61
	3	0,56
	4	0,53
	5	0,51
	6	0,3
	7	0,31
	8	0,44
	9	0,28
	10	0,34
30/70	1	0,54
	2	0,38
	3	0,54
	4	0,55
	5	0,36
	6	0,43
	7	0,34
	8	0,45
	9	0,53
	10	0,38
70/30	1	0,68
	2	0,55
	3	0,55
	4	0,57
	5	0,44
	6	0,48
	7	0,58
	8	0,44
	9	0,41
	10	0,49

Fuente: elaboración propia, 2025

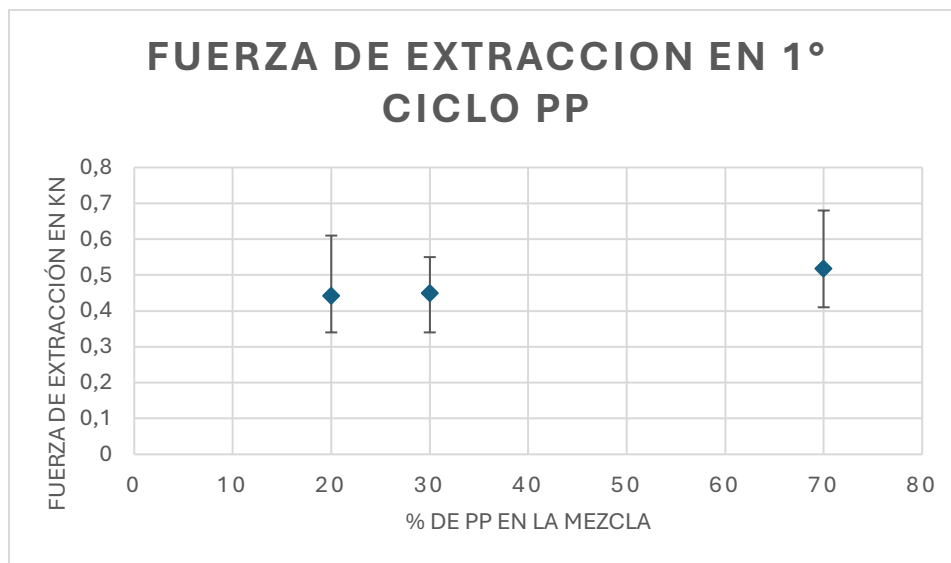


Figura 4.14 Dispersión fuerza de extracción de clavo 1° ciclo de PP

Fuente: elaboración propia, 2025

En su segundo ciclo de procesamiento, al contrario que las mezclas de PS/HDPE, las mezclas de PP/HDPE mostraron una ligera mejoría en sus resultados y a su vez un ligero aumento en su dispersión. (ver Tabla 4.8 y Figura 4.14)

Tabla 4.9 Resultados de fuerza de extracción máxima en 2° ciclo de mezclas de PP/HDPE

Sujeción de conectores		
Muestra	N° de probeta	Fuerza de extracción (kN)
20/80	1	0,52
	2	0,43
	3	0,41
	4	0,55
	5	0,42
	6	0,41
	7	0,37
	8	0,39
	9	0,64
	10	0,38
30/70	1	0,79
	2	0,83
	3	0,62
	4	0,44
	5	0,47
	6	0,65
	7	0,41
	8	0,45
	9	0,68
	10	0,65
70/30	1	0,72
	2	0,84
	3	0,81
	4	0,61
	5	0,68
	6	0,42
	7	0,7
	8	0,51
	9	0,51
	10	0,56

Fuente: elaboración propia, 2025

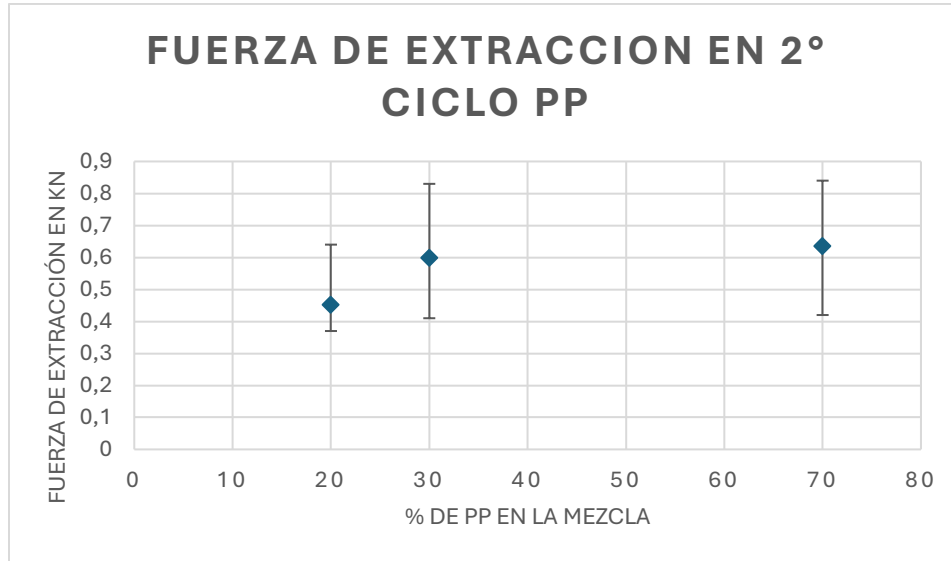


Figura 4.15 Dispersión fuerza de extracción de clavo 2° ciclo de PP

Fuente: elaboración propia, 2025

4.4.- Resultados de Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente de las mezclas se utilizó el principio de Arquímedes como se mencionó anteriormente. Para llevar a cabo el ensayo se determinó la densidad del agua, donde se pesaron 100 ml de agua dando como resultado 100 gr, por lo que se tomó como valor la densidad del agua de $1\text{gr}/\text{cm}^3$. Al momento de sumergir los fragmentos de las mezclas estas flotaban por poseer una densidad menor a la del agua, por lo cual se les debió de dejar un peso encima para poder mantenerlas sumergidas, teniendo en cuenta que se debió de desplazar el agua resultante del empuje del peso. Finalmente se sometieron a ensayos 5 fragmentos de cada mezcla, dejando caer el agua en un recipiente para medir la cantidad de agua desplazada y determinar su volumen. (ver figura 4.15)

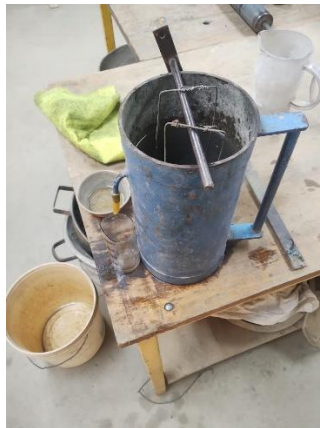


Figura 4.16 método de determinación de Densidad aparente

Fuente: elaboración propia, 2025

Posterior a la determinación de la cantidad de agua desplazada, se determinó las densidades de las mezclas, empezando por el primer ciclo de mezclas de PS, cuya densidad promedio fue mayor en el caso de las mezcla de 50% y con una menor densidad la mezcla con un 70% (ver figura 4.15 y tabla 4.9), lo cual es incongruente considerando que posee una mayor cantidad de PS en comparación de la mezcla de 50%, siendo que el PS cuenta con una densidad de 960 kg/m³ y el HDPE de 940 kg/m³, como se mencionó anteriormente.

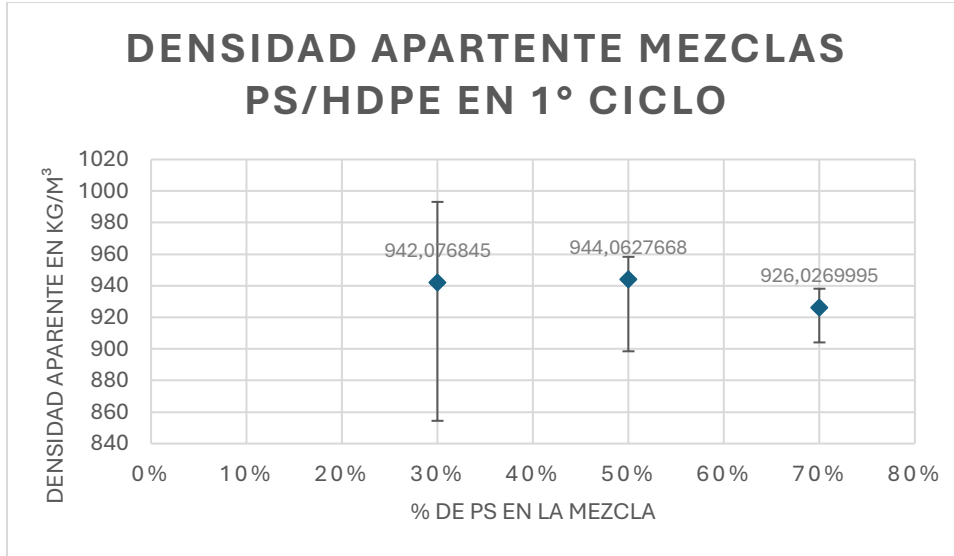


Figura 4.17 Dispersión Densidad Aparente 1° ciclo de PS

Fuente: elaboración propia, 2025

Tabla 4.10 Resultados de densidad aparente en 1° ciclo de mezclas de PS/HDPE

Densidad aparente mezclas PS/HDPE en 1° ciclo				
Mezcla	Peso (gr)	Vol.(cm3)	D. aparente(gr/cm3)	D. aparente(kg/m3)
30/70	30,7	31,4	0,977707006	977,7070064
	14,5	14,6	0,993150685	993,1506849
	15,7	16	0,98125	981,25
	13,5	15,8	0,85443038	854,4303797
	14,1	15,6	0,903846154	903,8461538
50/50	36,6	38,2	0,958115183	958,1151832
	13,8	14,4	0,958333333	958,3333333
	17,3	18,2	0,950549451	950,5494505
	17,7	19,7	0,898477157	898,4771574
	14,8	15,5	0,95483871	954,8387097
70/30	26,4	29,2	0,904109589	904,109589
	9,7	10,5	0,923809524	923,8095238
	15,1	16,2	0,932098765	932,0987654
	13,7	14,7	0,931972789	931,9727891

	9,1	9,7	0,93814433	938,1443299
--	-----	-----	------------	-------------

Fuente: elaboración propia, 2025

En su segundo ciclo, su dispersión disminuye en comparación de su primer ciclo en la variación de sus densidades, aunque su densidad promedio aumenta en todos los casos, sigue poseyendo una mayor densidad las mezclas de 50% de PS y una menor densidad las mezclas de 70% (ver figura 4.16 y tabla 4.10)

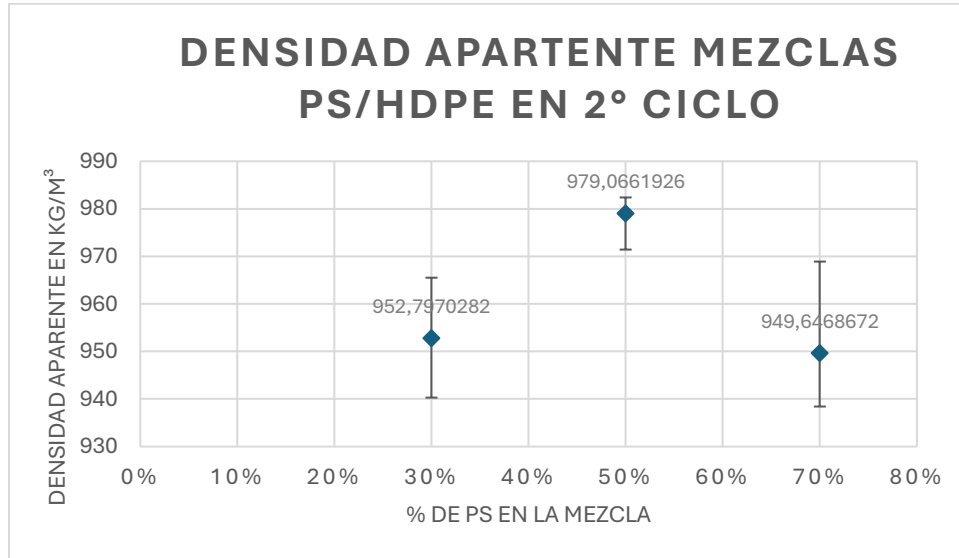


Figura 4.18 Dispersión Densidad Aparente 2º ciclo de PS

Fuente: elaboración propia, 2025

Tabla 4.11 Resultados de densidad aparente en 2º ciclo de mezclas de PS/HDPE

Densidad aparente mezclas PS/HDPE en 2º ciclo				
Mezcla	Peso (gr)	Vol.(cm3)	D. aparente(gr/cm3)	D. aparente(kg/m3)
30/70	21,3	22,25	0,957303371	957,3033708
	14,3	15,1	0,947019868	947,0198675
	14	14,5	0,965517241	965,5172414
	12,6	13,4	0,940298507	940,2985075
	12,4	13	0,953846154	953,8461538
50/50	61,4	62,5	0,9824	982,4
	26,9	27,4	0,981751825	981,7518248
	23,8	24,5	0,971428571	971,4285714
	24,7	25,2	0,98015873	980,1587302
	28,8	29,4	0,979591837	979,5918367
70/30	38,1	40,6	0,938423645	938,4236453
	16,5	17,4	0,948275862	948,2758621
	19,9	21,1	0,943127962	943,1279621
	18,7	19,3	0,968911917	968,9119171

	18,8	19,8	0,949494949	949,4949495
--	------	------	-------------	-------------

Fuente: elaboración propia, 2025

En el caso de las mezclas de PP su densidad disminuía a medida que la cantidad de PP en la mezcla aumentaba, la disminución de la densidad en la mezcla es acorde al porcentaje de PP utilizado en la mezcla dado que este posee una densidad de alrededor 900 kg/m³, en conjunto del HDPE con una densidad de alrededor 940 kg/m³, sin embargo, las densidades resultantes son mayores a las densidades de los componentes de las mezclas. (ver figura 4.18 y tabla 4.11)

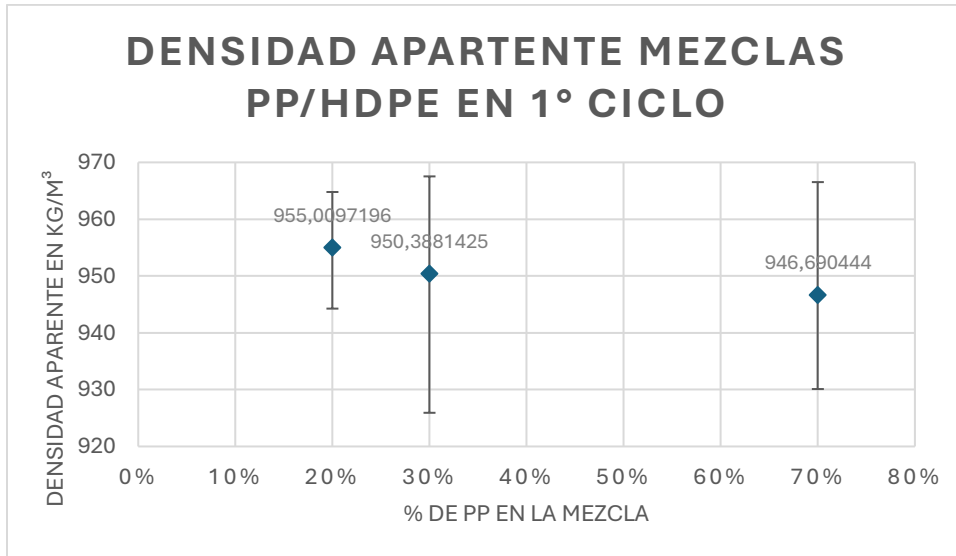


Figura 4.19 Dispersión Densidad Aparente 1° ciclo de PP

Fuente: elaboración propia, 2025

Tabla 4.12 Resultados de densidad aparente en 1° ciclo de mezclas de PP/HDPE

Densidad aparente mezclas PP/HDPE en 1° ciclo				
Mezcla	Peso (gr)	Vol.(cm3)	D. aparente(gr/cm3)	D. aparente(kg/m3)
20/80	28,8	30,5	0,944262295	944,2622951
	13,5	14,1	0,957446809	957,4468085
	13,7	14,2	0,964788732	964,7887324
	14,1	14,7	0,959183673	959,1836735

	15	15,8	0,949367089	949,3670886
30/70	22,5	24,3	0,925925926	925,9259259
	14,9	15,4	0,967532468	967,5324675
	13,5	14	0,964285714	964,2857143
	14,4	15,3	0,941176471	941,1764706
	14,2	14,9	0,953020134	953,0201342
70/30	23,1	23,9	0,966527197	966,5271967
	17,3	18,6	0,930107527	930,1075269
	14,4	15,3	0,941176471	941,1764706
	14,3	15	0,953333333	953,3333333
	19,6	20,8	0,942307692	942,3076923

Fuente: elaboración propia, 2025

En su segundo ciclo, se destaca al igual que en las mezclas de PS por un aumento en sus densidades, en este caso la mezcla con un 30% de PP alcanzó una mayor densidad en comparación con la mezcla que posee un 20% de PP (ver figura 4.18 y tabla 4.12)

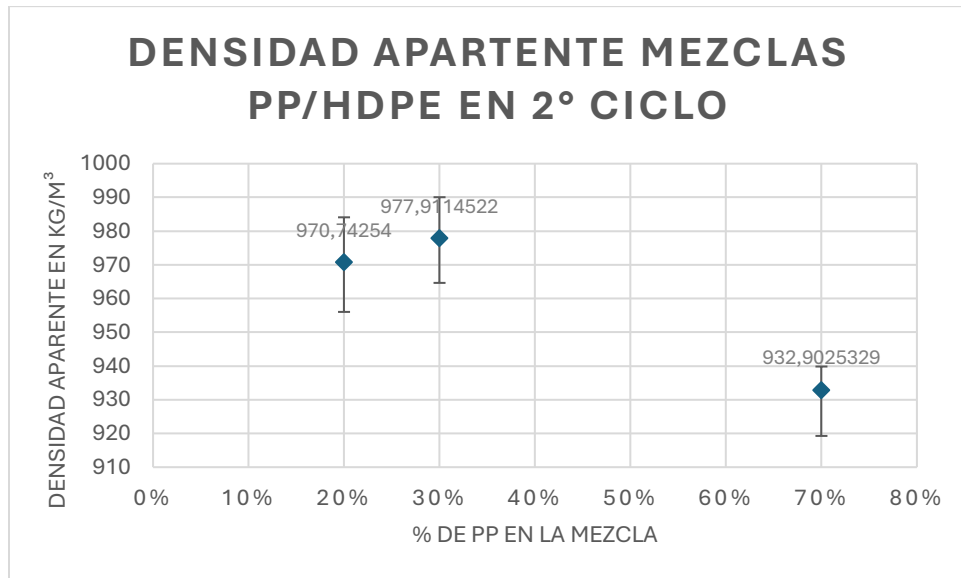


Tabla 4.13 Resultados de densidad aparente en 2° ciclo de mezclas de PP/HDPE

Densidad aparente mezclas PP/HDPE en 2° ciclo

Mezcla	Peso (gr)	Vol.(cm3)	D. aparente(gr/cm3)	D. aparente(kg/m3)
20/80	43,3	44	0,984090909	984,0909091
	17,4	18,2	0,956043956	956,043956
	16,3	16,9	0,964497041	964,4970414
	15,1	15,6	0,967948718	967,9487179
	15,6	15,9	0,981132075	981,1320755
30/70	49,1	49,95	0,982982983	982,982983
	19,9	20,1	0,990049751	990,0497512
	21,6	22	0,981818182	981,8181818
	16,2	16,7	0,97005988	970,0598802
	19,1	19,8	0,964646465	964,6464646
70/30	50,9	55,37	0,919270363	919,270363
	16,7	17,9	0,932960894	932,9608939
	25	26,6	0,939849624	939,8496241
	22,6	24,2	0,933884298	933,8842975
	16,8	17,9	0,938547486	938,547486

Fuente: elaboración propia, 2025

5.- Conclusiones

5.1.- Confección

Dentro del análisis de proceso de fabricación, se detallan las contracciones y aumentos de espesor que sufrieron los paneles durante su confección, en un principio los paneles se fabricaron median una extrusión por moldeo mediante el uso de la prensa, en conjunto del molde que constaba de la placa base. Si bien el agregar unas segunda placa para mantener en correcta presión el material ayudo a mantener el espesor deseado, se debe reconocer que sufre deformación en su superficie, lo que dio como resultado un alabeo en el panel. Para dicho problema las posibles soluciones son el provocar un shock térmico en el material, el cual ayuda a acelerar la cristalización del material, y dentro de los detallado dentro del estado del arte mejoraba las propiedades mecánicas del mismo, sin embargo no se contaba con el equipo necesario para provocar dicho fenómeno en el material, por lo mismo los paneles se fabricaron mediante el proceso de mantener el material sometido a presión, lo cual a su vez generaba dificultades, dado que el equipo utilizado para ello no se encontraba en condiciones óptimas, lo cual daba espacio a la generación de deformación. Por último, se ha de mencionar que no se disponía de un ambiente con temperaturas controladas, por lo cual el material empezaba a cristalizarse a temperatura ambiente de manera temprana antes de llegar a la prensa, si bien podía ser moldeado, este perdía elasticidad al reducir temperatura ligeramente antes.

Si se lograsen mejorar las condiciones anteriormente mencionadas se podría observar mejores resultados.

5.2.- Resistencia a la flexión

En el caso de la resistencia mecánica centrada en la flexión del material según el ensayo especificado por la NCh 3618:2022, al ser un estudio comparativo respecto al OSB en formato de 10 mm de espesor las mezclas superaron en la mayoría de los casos el resultado promedio del OSB. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las mezclas de PS/HDPE presentaron fracturas de tipo frágil, además de presentar resultados con una mayor dispersión, considerando que el material es plástico esto se pudo deber principalmente a las condiciones de confección utilizadas para los paneles en conjunto con la reducción que se les aplicó a las probetas mediante el uso del esmeril angular con un disco de desbaste. Al evaluar las mezclas la ductilidad del material disminuía al aumentar la concentración de poliestireno, por lo cual en esta mezcla propuesta se posiciona como mejor opción para la aplicación en cierros provisorios la mezcla de 30% de PS y 70% de HDPE. Sin embargo, hay otras condiciones a considerar para su aplicación, como su condición frágil, lo cual deja como mejor opción las mezclas de PP hasta un 30%, dado que las mezcla de 70% presentaba una flexibilidad, en lugar de una rigidez como tal.

5.3.- Resistencia a la sujeción de conectores

En el caso de la resistencia mecánica centrada en la sujeción de conectores según la NCh 3618:2022, se destaca que la mezcla de 70% de poliestireno y 30% de polietileno de alta densidad fue la que mejores resultados obtuvo de las mezclas propuestas. Sin embargo, las mezclas de poliestireno en general presentaron fallos como fisuras o desprendimientos de material al se le iba insertando los clavos, o bien podía partirse frente al impacto del martillo, esto señala que bajo las condiciones de confección utilizadas a mayor concentración de poliestireno más frágil se volvía el material. Aunque esta mezcla fuese la que otorgo mejores resultados la dispersión en los resultados de los ensayos en mezclas de poliestireno era más pronunciada que las mezclas de polipropileno, por lo cual los paneles de estas mezclas de poliestireno no presentarían condiciones mínimas para ser utilizadas como paneles por su fragilidad ante la fracturación por la inserción de clavos

Para el caso de las mezclas de polipropileno y polietileno de alta densidad el mejor resultado fue aportado por la mezcla de 70% de polipropileno y 30% de polietileno de alta densidad seguida por el 30% de polipropileno y 70% de polietileno de alta densidad, las mezclas de polipropileno a diferencia de las mezclas de poliestireno no presentaron ningún tipo de fractura mediante la inserción de clavos, por lo cual se proponen las mezclas de polipropileno como la mejor opción para su aplicación como paneles.

Por último, mencionar, que para el uso de paneles de PS se podría realizar perforaciones que permitan al inserción de clavos o tornillos sin que se llegue a dañar el panel por la penetración del clavo en este caso.

5.4.- Densidad aparente

Durante su análisis las mezclas de PS/HDPE obtuvieron densidades cuyos resultados no se diferenciaban demasiado de sus componentes iniciales, sin embargo, en el caso de las mezclas de PP/HDPE estas alcanzaron densidades mayores a sus componentes por separado, lo cual podría explicarse por la compresión a las cuales fueron sometidas las mezclas, aunque también hay que considerar que el material al ser procesado sufrió una cristalización temprana producto de los cambios de temperatura antes de su moldeo. Pese a ello se puede mencionar que las mezclas alcanzaron cierta uniformidad en su composición, esto último dado que las mezclas no presentaron variaciones significativas en sus densidades, destacando que la variación en sus resultados mecánicos se debería principalmente a las deformaciones que sufrían los paneles durante su proceso de cristalización. Por último, cabe mencionar que su alta densidad para ser utilizado en paneles dificultaría su transporte en formatos de tamaño estándar de 1.2m x 2.4 m x 10mm, dado que en todos los casos las mezclas alcanzan los 25 a 28 kg, siendo que en Chile la conocida como “ley del saco” especificada en el código del Trabajo menciona como límite un máximo de 25 kg. Para su posible aplicación se deberá de reducir su espesor o tamaño.

6.- Investigaciones futuras

Como mención a investigaciones futuras se pueden destacar diversos aspectos del material. En primer lugar, la investigación de las variaciones del material en más procesos de extrusión, dado que por limitaciones de tiempo se lograron abarcar 2 ciclos de producción, por lo cual sería de suma importancia el seguir investigando esta área del material para poder atribuirle un perfil como material en el aporte de la economía circular, además de investigar otras propiedades mecánicas del material.

En segundo lugar, la aplicación de aditivos ignífugos, dado que el plástico al ser fabricado a partir de restos fósiles como el crudo, es un material relativamente inflamable, por lo cual esto podría aportar en su utilización como material en el rubro de la construcción, lo cual llevaría estudios más exhaustivos para poder asegurar su resistencia.

En tercer lugar, investigar métodos que permitan reducir la densidad del material, dado que los compuestos poliméricos en esta investigación poseen una densidad relativamente alta, lo cual facilitaría su transporte.

Por último, desarrollar mejores métodos de fabricación para el material, dado que al encontrarse limitado por el equipo disponible el material presentó diversas dificultades durante su fabricación, por lo que se espera que bajo un mejor proceso de fabricación se obtengan mejores resultados en sus propiedades mecánicas.

Bibliografía

- ASIPLA. (n.d.). *ESTADÍSTICAS INDUSTRIA DEL PLÁSTICO 2023*.
<https://doi.org/https://asipla.cl/wp-content/uploads/2024/07/informe-estadistico-anio-2023-resumen-ejecutivo.pdf>
- Askeland, D. R. ., Bhattacharya, D. K. ., Chhabra, R. P. ., & Wright, W. J. . (2016). *The science and engineering of materials*. Cengage Learning.
- Culbert, S., Luo, C., Park, A., Spitzer, B., Lynch, J., & Chang, E. (2018). Development and Characterization of Plastic Composites. *2018 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference, URTC 2018*.
<https://doi.org/10.1109/URTC45901.2018.9244786>
- Eduardo Rojas Silva, J., José Reyes Cerda, F., Ruiz Castro, M., Moya Dimter, A., Rivera Córdova, N., & Jorge González Moller Diagramación Eduardo Correa Arias, E. (n.d.). *EQUIPO RESPONSABLE*. www.inacap.cl/cedemcedem@inacap.cl
- Joshi, J., Lehman, R., & Nosker, T. (2006). Selected physical characteristics of polystyrene/high density polyethylene composites prepared from virgin and recycled materials. *Journal of Applied Polymer Science*, *99*(5), 2044–2051.
<https://doi.org/10.1002/app.22492>
- MMA. (n.d.). *10-residuos*. <https://doi.org/https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/10-residuos.pdf>
- OECD. (2022). Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060. *Global Plastics Outlook*.
- Stewart, K. M. E., Stonecipher, E., Ning, H., & Pillay, S. B. (2023). Mixing rules for high density polyethylene-polypropylene blends. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, *101*(9), 5395–5407. <https://doi.org/10.1002/cjce.25011>
- Sutar, H., Sahoo, P. C., Sahu, P. S., Sahoo, S., Murmu, R., Swain, S., & Mishra, S. C. (2018). Mechanical, Thermal and Crystallization Properties of Polypropylene (PP) Reinforced Composites with High Density Polyethylene (HDPE) as Matrix. *Materials Sciences and Applications*, *09*(05), 502–515. <https://doi.org/10.4236/msa.2018.95035>
- Wu, Z. H., Zhao, Y. Q., Zhang, G. Z., Yang, Z. T., & Qu, J. P. (2013). Multifractal analysis on dispersion of immiscible high-density polyethylene/polystyrene blends processed via polymer vane plasticating extruder. *Journal of Applied Polymer Science*, *130*(4), 2328–2335. <https://doi.org/10.1002/app.39434>
- Zahran, R. R., El-Latif, M. M. A., Konsowa, A. E. A., & Awwad, M. (2010). Development of isotropic compatible HDPE/PP blends for structural applications. *Journal of Applied Polymer Science*, *115*(3). <https://doi.org/10.1002/app.30838>

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. (2022). NCh 3618 Madera - Tableros de uso estructural a base de madera - Requisitos y ensayos

GAP POLYMERS, (2022) DENSITY OF PLASTIC: TECHNICAL GUIDE :
<https://www.gap-polymers.com/en/blog-post/density-of-plastic>