

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS PERFILES  
EXTRUIDOS A PARTIR DE MEZCLAS DE POLIMEROS RECICLADOS PARA LA  
FABRICACION DE ESTIBAS DE MADERAS PLASTICAS EN MADERPOL S.A.S**

**CARLOS ARTURO OSPINA RESTREPO**

**COD: 200320007012**

**TEL: 3015050102**

**Correo: [cospina2@eafit.edu.co](mailto:cospina2@eafit.edu.co)**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN  
MEDELLÍN  
2014**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEADES MECÁNICAS DE LOS PERFILES  
EXTRUIDOS A PARTIR DE MEZCLAS DE POLIMEROS RECICLADOS PARA LA  
FABRICACION DE ESTIBAS DE MADERAS PLASTICAS EN MADERPOL S.A.S**

**CARLOS ARTURO OSPINA RESTREPO**

**COD: 200320007012**

**TEL: 3015050102**

**Correo: [cospina2@eafit.edu.co](mailto:cospina2@eafit.edu.co)**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero de  
Producción**

**Asesora: Sandra Milena González Villa  
Ingeniera de Producción  
Especialista en diseño de materiales**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN  
MEDELLÍN  
2014**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presente jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

## TABLA DE CONTENIDO

Pag.

<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	<b>7</b>
<b>TABLA DE ILUSTRACIONES</b> .....	<b>9</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</b> .....	<b>11</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>4. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>14</b>
4.1 PROPIEDADES INGENIERILES A LARGO PLAZO DE LA MADERAPLASTICA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCION MARÍTIMA.....	14
4.2 PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE PLANCHAS DE MADERA PLASTICA HECHAS CON PLASTICO Y ASERRÍN.....	16
4.3 DISEÑO DE UN MOLDE PARA EL FORMADO CONTINUO DEL PERFIL UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE TABLAS DE MADERA PLÁSTICA EN LA EMPRESA PLASMACO.....	16
4.4 ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA MADERA SINTÉTICA FABRICADA A PARTIR DE LA MEZCLA DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO Y DESPERDICIO DE FIQUE.....	17
4.5 DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN, MOLIDO O REDUCCIÓN DE TAMAÑO Y ALMACENAMIENTO PARA RECICLAJE DE PLÁSTICO .....	17
4.6 DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNIDADES PRODUCTIVAS PARA EL RECICLAJE DE PLÁSTICOS .....	18
4.7 ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN ANTIOQUIA: CASO ÁREA METROPOLITANA.....	18
4.8 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y MORFOLÓGICA DE TERMOPLÁSTICOS RECICLADOS ESPUMADOS REFORZADOS CON SUB PRODUCTOS DE MADERA ..	19
4.9 EXTRUSIÓN DE PERFILES ESPUMADOS DE MADERA PLÁSTICA .....	19

4.10 CHARACTERISTICS OF WOOD-FIBER PLASTIC COMPOSITES MADE OF RECYCLED MATERIALS.....	20
<b>5. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 MATERIALES PLASTICOS RECICLADOS.....</b>	<b>21</b>
5.1.1 Polipropileno.....	21
5.1.1.1 Polipropileno reciclado.....	24
5.1.2 Polietileno.....	24
5.1.2.1 Polietileno reciclado.....	27
<b>5.2 MADERA PLASTICA.....</b>	<b>29</b>
5.2.1 Características.....	31
5.2.2 Ventajas.....	31
5.2.3 Aplicaciones.....	32
<b>5.3 RECICLAJE.....</b>	<b>32</b>
5.3.1 Reciclaje de plástico.....	33
5.4 COMPORTAMIENTO DEL REPROCESAMIENTO Y PROPIEDADES DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS.....	34
5.5 RECICLAJE MECANICO.....	35
5.5.2 Reducción de tamaño de partícula.....	39
5.5.3 Lavado.....	40
5.5.4 Identificación y clasificación de los plásticos.....	40
5.5.5 Aglomeración.....	41
<b>6. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA MADERA PLÁSTICA.....</b>	<b>43</b>
6.1 EXTRUSIÓN.....	48
6.1.1 La extrusora de plastificación.....	50
6.1.2 Zona de alimentación.....	51
6.1.3 Zona de fusión.....	51
6.1.4 Zona de dosificación.....	52
6.1.5 Datos de extrusión.....	52
<b>7. ESTUDIO DE LA MEZCLA DE PP Y PE RECICLADO PARA LA INCORPORACION EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE MADERPOL SAS.....</b>	<b>53</b>

7.1	MEZCLAS POLIMERICAS .....	53
7.2	PROCESO DE MEZCLADO .....	55
7.2.1	Mezclado distributivo .....	57
7.2.2	Mezclado dispersivo .....	57
<b>8.</b>	<b>EXPERIMENTACIÓN .....</b>	<b>58</b>
8.1	MEDICIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y FACTOR DE COMPACTACIÓN....	58
8.1.1	Densidad Aparente .....	58
8.1.2	Factor de compactación .....	58
8.1.3	Equipos e Instrumentos .....	59
8.1.4	Cálculos.....	62
8.2	ENSAYO PARA DETERMINAR GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO .....	64
8.2.1	Materiales y equipos.....	64
8.2.2	Procedimiento.....	64
8.3	ENSAYO MFI (INDICE DE FLUIDEZ).....	66
8.3.1	Materiales de Ensayo .....	67
<b>9.</b>	<b>ANALISIS EXPERIMENTAL .....</b>	<b>68</b>
<b>10.</b>	<b>PRUEBAS MECANICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>11.</b>	<b>ANALISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
11.1	RESULTADOS DENSIDAD APARENTE .....	75
11.2	RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO .....	77
11.3.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE INDICE DE FLUIDEZ (MFI).....	81
11.4	RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXION.....	82
<b>12.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>13.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>93</b>
<b>14.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del PP .....	23
Tabla 2 Propiedades del PE .....	27
Tabla 3. Proceso de elaboración de la madera plástica en Maderpol SAS .....	47
Tabla 4 Mezclas de polímeros compatibles, parcialmente compatibles e incompatibles .....	57
Tabla 5. Medidas de las probetas utilizadas en las pruebas .....	73
Tabla 6. Composición de las mezclas para tablas y largueros .....	74
Tabla 7. Peso de las 3 muestras de PP de fibra y PP aglutinado.....	75
Tabla 8. Resultados de la prueba de densidad para los dos PP .....	75
Tabla 9. Peso de las 3 muestras de PE Laminado.....	76
Tabla 10. Resultados de la prueba con el método C (Primera muestra) .....	76
Tabla 11. Resultados de la prueba con el método C (Segunda muestra).....	76
Tabla 12. resultados de la prueba con el método C (Tercera muestra).....	76
Tabla 13. Registro de datos para el PP granulado.....	77
Tabla 14. Registro de datos para el PE laminado .....	78
Tabla 15. Registro de datos para la Rafia .....	80
Tabla 16. Condiciones del ensayo para el PE en escamas reciclado.....	81

Tabla 17. Condiciones del ensayo para el PP granulado reciclado .....	81
Tabla 18. Resultados del ensayo MFI para el PE en escamas reciclado .....	81
Tabla 19. Resultados del Ensayo MFI para el PP granulado reciclado .....	82
Tabla 20. Tabla de mezclas y geometrías de perfiles .....	82
Tabla 21. Resultados de las pruebas de Flexión para tablas. ....	83
Tabla 22. Resultados de las pruebas de Flexión para largueros .....	84



## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Residuos de película antes y después de la aglomeración. ....	41
Ilustración 2 Ejemplo de extrusora mono husillo. ....	49
Ilustración 3 Características de un tornillo sencillo. ....	49
Ilustración 4 Esquema de diferentes extrusoras doble tornillo. ....	50
Ilustración 5 Esquema de una extrusora de plastificación mono tornillo. ....	50
Ilustración 6 Clasificación de las mezclas poliméricas dependiendo su clasificación ..	53
Ilustración 7 Mecanismo de desarrollo morfológico en mezclas poliméricas. ....	56
Ilustración 8 Dispositivos para el ensayo de densidad aparente y factor de empaquetamiento. ....	59
Ilustración 9 Método B. Dispositivo para realizar medición de densidad aparente y factor de empaquetamiento .....	60
Ilustración 10 Peso de 500cm <sup>3</sup> del primer material. ....	61
Ilustración 11 Peso del cilindro con el material. ....	61
Ilustración 12 Método C para material en polvo o escamas .....	63
Ilustración 13 Cuarteo del material. ....	65
Ilustración 14 Separación de tamices con material retenido en cada tamiz. ....	65
Ilustración 15 Ensayo MFI (Medición del índice de fluidez). ....	66
Ilustración 16. Polietileno reciclado en escamas y polipropileno reciclado. ....	67

Ilustración 17 Vistas de los perfiles de la tabla.....	68
Ilustración 18. Vistas de los perfiles del larguero .....	69
Ilustración 19. Resultados en STATHGRAPHICS.....	71
Ilustración 20. Aplicación de la carga para el ensayo.....	72
Ilustración 21. Gráfica del porcentaje de PP granulado que pasa los tamices .....	78
Ilustración 22. Gráfica del porcentaje de PE Laminado que pasa los tamices.....	79
Ilustración 23. Gráfica del porcentaje de Rafia que pasa los tamices.....	80
Ilustración 24. Esfuerzo vs deformación Tablas con PP50% y PE50% .....	85
Ilustración 25. Esfuerzo vs deformación Tablas con PP70% y PE30% .....	86
Ilustración 26. Esfuerzo vs deformación Tablas con PP30% y PE70% .....	87
Ilustración 27. Esfuerzo vs deformación Largueros con PP50% y PE50%.....	88
Ilustración 28. Esfuerzo vs deformación Largueros con PP70% y PE30%.....	89
Ilustración 29. Esfuerzo vs deformación Largueros con PP30% y PE70%.....	90

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Maderpol S.A.S es una empresa dedicada a la producción y fabricación de madera plástica utilizada en aplicaciones de sectores como: mobiliario urbano, construcción, fincas, industria de alimentos, logística y servicios públicos. Sus productos son fabricados con polímeros reciclados de excelente calidad y resistencia. (Maderpol S.A.S, 2012)

La misión de Maderpol S.A.S es desarrollar madera plástica con buena calidad para ofrecer a los clientes en los diferentes sectores del agro, la construcción, la ganadería, la avicultura, la minería, la arquitectura, entre otros, soluciones oportunas y eficaces a sus necesidades, contribuyendo además a la disminución de la tala de árboles para favorecer al medio ambiente. (Maderpol S.A.S, 2012)

La visión de Maderpol S.A.S, para el año 2016, es ser reconocidos a nivel nacional e internacional como la empresa líder en el desarrollo y diseño de la madera plástica. Ser identificados como una empresa innovadora, comprometida y confiable con sus clientes, con el recurso humano y técnico más capacitado del país capaz de brindar la mejor asesoría y pronta solución a las exigencias del mercado. (Maderpol S.A.S, 2012)  
Sus políticas de calidad son:

- Cumplir con altos estándares de calidad en nuestros productos.
- Ofrecer soluciones a las necesidades de los clientes.
- Mejoramiento continuo en la eficacia y eficiencia en los sistemas de gestión.
- Responsabilidad social.
- Responsabilidad ambiental. (Maderpol S.A.S, 2012)

## 2. INTRODUCCIÓN

Maderpol S.A.S es una empresa actualmente en crecimiento, fabricante de madera plástica a partir de material plástico reciclado, está ubicada en el sur del Valle de Aburrá; actualmente tiene la necesidad de normalizar técnicamente sus productos mediante fichas técnicas que soporten las características técnicas y mecánicas de su producción. Maderpol S.A.S manifestó esta necesidad a la universidad EAFIT y actualmente se inicia una investigación como proyecto de grado para evaluar las propiedades mecánicas y establecer una ficha técnica del producto.

Es importante para mí como futuro ingeniero de producción participar de este proyecto ya que en este estaré soportando conocimientos técnicos ingenieriles, herramientas y conceptos adquiridos durante la carrera como: materiales, ensayos y propiedades de los materiales, procesamiento de plásticos, reciclaje de materiales plásticos, extrusión de polímeros, mecánica de los materiales entre otros. Reuniendo todos estos conocimientos aplicaremos en esta empresa los conceptos más importantes para la elaboración de estas fichas técnicas.

Este proyecto se realizó con el fin de normalizar la producción de perfiles de madera plástica; bajo fichas técnicas que especifiquen sus propiedades mecánicas de mayor relevancia para su uso. El uso de fichas técnicas es de suma importancia ya que éstas son las que proporcionan la información necesaria para el cliente y también para los productores mismos del artículo; con estas características se determinan sus propiedades y procesabilidad dándole al cliente una idea de su tolerancia máxima para establecer las aplicaciones concretas y posibles usos aptos para este tipo de producto.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la flexión de los perfiles extruidos a partir de mezclas de polímeros reciclados para la fabricación de estibas de maderas plásticas en Maderpol S.A.S

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el proceso de la elaboración de la madera plástica en la empresa.
- Realizar un estudio de las mezclas de los materiales plásticos reciclados para incorporarlos en la producción.
- Realizar un análisis experimental para la dosificación utilizada en las mezclas entre el PP y el PE en esta empresa.
- Obtener perfiles con los materiales y las mezclas arrojadas en el diseño de experimentos para la conformación de probetas mediante el proceso de extrusión.
- Realizar ensayos de laboratorio tales como densidad aparente y factor de empaquetamiento, tamizaje e índice de fluidez al PP y PE reciclados utilizados en Maderpol SAS.
- Evaluar bajo normas técnicas internacionales las propiedades mecánicas en pruebas de flexión para las probetas extruidas en Maderpol SAS.

## **4. ESTADO DEL ARTE**

### **4.1 PROPIEDADES INGENIERILES A LARGO PLAZO DE LA MADERAPLASTICA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCION MARÍTIMA**

La madera plástica es actualmente uno de los mayores productos manufacturados que se fabrica con el uso de residuos plásticos mezclados recuperados en programas de reciclaje. Normalmente, 50% o más de la materia prima utilizada para la madera plástica se compone de polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE) y polipropileno (PP). El polietileno de alta actúa como adhesivo y encapsula plásticos de alta fusión y aditivos (fibras de vidrio y fibras de madera) dentro de una estructura rígida. Otros aditivos son normalmente incorporados dentro de una extrusión mixta para mejorar la apariencia o el rendimiento de los productos de madera. Estos aditivos incluyen agentes espumantes, estabilizadores UV y pigmentos. Pruebas anteriores y programas de investigación han mostrado las propiedades ingenieriles de perfiles de madera plástica que permiten ser usados en variedades de aplicaciones tales como pilotes marinos, muelles y sus superficies, cercas y bancas para parques. (Vincent T. Breslin a, 1998)

La madera plástica es ampliamente comercializada como alternativa a la madera tratada con arseniato de cobre cromado (CCA) para aplicaciones marinas. La madera plástica está diseñada para durar más que los productos de madera convencionales y se afirma que poseen propiedades beneficiosas tales como alta resistencia, durabilidad y resistencia a la corrección. También se comercializa como un material ambientalmente preferible al CCA para tratar la madera. La madera plástica de construcción posee una densa superficie lisa, dura resistente al daño debido a la polilla de mar y no necesita ser tratada con conservantes antes de su uso en el entorno marino. Estudios recientes han demostrado que la liberación de cobre, cromo y arsénico de la madera tratada con CCA es continua en el medio ambiente marino. La madera tratada con CCA también ha sido identificada como una fuente de contaminación en los sedimentos marinos. En contraste, se demostró que la lixiviación de metales y contaminantes orgánicos de la madera de construcción de plástico en

agua de río era baja y no se identificaron altos compuestos tóxicos. (Vincent T. Breslin a, 1998)

Estudios recientes de laboratorio muestran que las propiedades de ingeniería de la madera plástica son inferiores a la madera de construcción convencional y se recomiendan restricciones sobre cómo la madera plástica se debe utilizar en la construcción naval. Los plásticos son susceptibles a daños debidos a la radiación UV y la deformación bajo carga constante. Las medidas de las propiedades de ingeniería de los perfiles de madera de construcción de plástico están sujetas al deterioro debido a que la intemperie en el medio ambiente marino no es bien conocida. (Vincent T. Breslin a, 1998)

Este artículo propone como la madera plástica se ha convertido en un material aceptable para la construcción marítima, para muelles y embarcaderos con mejores expectativas de durabilidad y propiedades mecánicas.

También se estudian las propiedades mecánicas a largo plazo de este material fabricado con residuos de polímeros y de otro polímero especial llamado TRIMAX. Adicionalmente nos muestra un estudio realizado en Nueva York más específicamente en West Meadow donde se construyó un muelle con madera plástica para reemplazar la madera convencional, dando un periodo de dos años para extraer muestras de la madera y hacer pruebas de laboratorio tales como módulo de compresión, estabilidad dimensional, módulo de elasticidad, dureza superficial etc. Durante los ensayos se encontró que el valor crítico fue el del módulo de elasticidad el cual disminuyó a casi la mitad en el primer año y para el segundo año se había elevado nuevamente a los valores iniciales; este fenómeno se identificó solo en los meses de verano entre julio y septiembre lo cual puede explicarse de algún modo con el aumento de temperatura por el efecto climático, aunque no se muestra una clara tendencia en los cambios del módulo de elasticidad durante el periodo de dos años de la prueba; esto también puede ser un reflejo de la heterogeneidad del material en lugar de un cambio en las propiedades iniciales de madera debido a la intemperie. Lo cual deja la madera plástica como material restringido para no portantes aplicaciones estructurales marítimas. (Vincent T. Breslin a, 1998)

Ventaja: nos da a conocer el comportamiento de la madera plástica en construcciones marítimas y cómo responden sus propiedades mecánicas bajo condiciones de corrosión en el medio marítimo.

#### **4.2 PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE PLANCHAS DE MADERA PLASTICA HECHAS CON PLASTICO Y ASERRÍN**

La madera plástica se ha utilizado para reemplazar en varias ocasiones a la madera convencional. De esto es lo que nos habla este artículo donde hacen un estudio proponiendo una madera plástica fabricada a base de plástico y aserrín como material estructural en obras de construcción. Si bien, la madera plástica no es un material aprobado por las leyes y códigos de construcción comunes, en este estudio logran someter este material ya incluido en la obra estructural a pruebas bajo condiciones degradadas suponiendo temperaturas de verano e invierno; ensayos los cuales arrojan como conclusión que la madera plástica es un material que no representa riesgos de seguridad pero por ser un material más resbaladizo que la madera convencional, no es apropiado para este tipo de estructuras. (Cock & Daguer, 2000)

Ventaja: muestra como la madera plástica es un material versátil, que responde bien a condiciones muy degradadas y utilizable en un sin número de aplicaciones, pero que también es un material muy nuevo al cual le falta más tiempo de evolución para ser aceptado en el campo de la construcción.

#### **4.3 DISEÑO DE UN MOLDE PARA EL FORMADO CONTINUO DEL PERFIL UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE TABLAS DE MADERA PLÁSTICA EN LA EMPRESA PLASMACO**

Este proyecto de grado fue realizado por un estudiante de EAFIT en conjunto con una empresa llamada PLASMACO la cual produce productos de madera plástica a base de PP y PE, sus productos son: estacones y estibas industriales. Esta tesis surge de la necesidad de la empresa por conocer acerca del mejoramiento continuo del proceso, mejoras de herramientas y nuevas tecnologías y la utilización eficiente de sus recursos para así estar a la vanguardia de las exigencias y estándares de calidad en el medio



de las estibas fabricadas a base de estos materiales; también menciona una idea general de la producción de estibas y estacones de madera plástica y de cómo en Colombia aún no hay un óptimo proceso de fabricación para este tipo de productos ya que no se cuenta con un conocimiento técnico avanzado para diseñar procesos eficientes de producción y no se cuenta con la herramienta adecuada para su fabricación. (Castro, 2010)

Ventaja: esta tesis nos muestra los usos comunes de la madera plástica que coinciden con los productos que se fabrican en MADERPOL SAS como lo son estacones y estibas de madera plástica; y lo más importante es que nos indica las debilidades técnicas y físicas de las empresas fabricantes de productos con este material.

#### **4.4 ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA MADERA SINTÉTICA FABRICADA A PARTIR DE LA MEZCLA DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO Y DESPERDICIO DE FIQUE**

En el proyecto se expone cómo a partir de los desperdicios generados por la industria del plástico se genera un nuevo material, como lo es la madera plástica, que ha llegado como una solución a la disposición final de estos residuos. Para el desarrollo de este proyecto fue necesario conocer las características de cada uno de los componentes, analizar la forma de como mezclarlos, conocer los procesos de fabricación, y finalmente elaborar una madera plástica reforzada, partiendo de la información obtenida. (Mejia Velez & Jaramillo Ramírez, 2010)

Ventaja: La información que nos brinda sobre las características de cada uno de los componentes, el análisis de la forma de cómo mezclarlos y el conocimiento de los procesos de fabricación

#### **4.5 DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN, MOLIDO O REDUCCIÓN DE TAMAÑO Y ALMACENAMIENTO PARA RECICLAJE DE PLÁSTICO**

Este proyecto trata de aportar una estructuración funcional y técnica a los recicladores de materiales plásticos, mediante el diseño de un sistema de alimentación, molido o reducción de tamaño y almacenamiento para reciclaje de plástico, con el fin de darle

un valor agregado a los residuos sólidos, convirtiendo un residuo en materia prima de un nuevo proceso productivo. (Vargas Jaramillo & Castrillon Mazo, 2008)

Diferencia: La forma en que abarcan el proyecto, ya que se realiza un diseño de un sistema de alimentación, molido y almacenamiento para el reciclaje del plástico. Mientras que nuestro proyecto no comprende el diseño de un sistema, sino la evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas utilizadas para la elaboración de la madera plástica.

#### **4.6 DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNIDADES PRODUCTIVAS PARA EL RECICLAJE DE PLÁSTICOS**

En este proyecto se propone la creación de diferentes iniciativas para el proceso de reciclaje mediante el estudio de una unidad productiva básica móvil, enfocada a comunidades pequeñas, con el fin de que los municipios y/o corporaciones ambientales la reconozcan como solución a la reducción de los plásticos en los rellenos sanitarios. Por medio del reciclado mecánico, la unidad productiva básica móvil facilita el transporte, selección, almacenamiento y procesamiento de los desechos plásticos para ser reutilizados como materia prima. (Bustamante Arias & Bernal Garcia, 2004)

Ventaja: La concientización que adoptó la comunidad, en la importancia de reciclar residuos plásticos para su posterior reutilización, reconociendo dicho proceso como una solución a la reducción de los desechos plásticos en los rellenos sanitarios.

#### **4.7 ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN ANTIOQUIA: CASO ÁREA METROPOLITANA**

El proyecto presenta información sobre el reciclaje de plásticos; sus orígenes, y los diferentes métodos empleados a nivel mundial para llevar a cabo esta actividad. Se habla sobre la evolución y el estado en que se encuentra el sector de reciclaje de plásticos en Antioquia, que procesos se llevan a cabo, y que tipo de tecnología se emplea en los procesos de transformación de los residuos plásticos. Se indaga sobre

el manejo del tema del reciclaje de plásticos en las corporaciones ambientales en la región y sobre la evolución de la disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Medellín. (Díaz Cadavid, 2007)

Ventaja: Información sobre el reciclaje de plásticos, sus procesos y tipo de tecnología empleada en ellos. Saber cuáles fueron sus orígenes y los métodos empleados a nivel mundial en el proceso de reciclaje.

#### **4.8 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y MORFOLÓGICA DE TERMOPLÁSTICOS RECICLADOS ESPUMADOS REFORZADOS CON SUB PRODUCTOS DE MADERA**

El proyecto busca caracterizar materiales compuestos de madera y termoplásticos reciclados espumados. Este proceso se realiza con la ayuda de un agente químico, con el fin de que el polímero se espume, y un agente de acoplamiento el cual hace que tanto el polímero reciclado como la fibra de madera obtenga un aumento en su adherencia. Como resultado se observa que el agente espumante hace que la densidad de los compuestos disminuya y que las propiedades mecánicas sean superiores que en los compuestos en los que no se utilizó el agente. (Moreno, Rodrigue, Giroux, Ballerini, & Gacitúa, 2013)

Ventaja: Información sobre las propiedades mecánicas de los diferentes compuestos que se diseñaron para la realización de dicho estudio, lo que permite contextualizar y conocer un poco más sobre las propiedades que brindan dichos compuestos en relación con su morfología, densidad y propiedades mecánicas.

#### **4.9 EXTRUSIÓN DE PERFILES ESPUMADOS DE MADERA PLÁSTICA**

Este proyecto busca aprovechar los residuos orgánicos que se producen en la industria agrícola y maderera colombiana para implementarlos en la elaboración de perfiles espumados de madera plástica y a la vez establecer los parámetros del proceso más importantes que puedan incidir en las características del producto final. Para su consecución, utilizan agentes espumantes químicos de fácil adquisición y

disposición en Colombia, y la cascarilla de café, como refuerzo en el material compuesto. En el proceso de extrusión se empleó una matriz polimérica de PEAD y un agente de acople para garantizar la adhesión entre las fibras del café y el PEAD. (Delgado & Medina, 2003)

Ventajas: Conocer cómo es el comportamiento y propiedades que se obtienen de la extrusión de perfiles espumados de madera plástica con la ayuda de agentes químicos espumantes, así como su caracterización y preparación de materiales empleados, y las condiciones ideales para procesar perfiles y poder obtener las mejores características del proceso.

#### **4.10 CHARACTERISTICS OF WOOD-FIBER PLASTIC COMPOSITES MADE OF RECYCLED MATERIALS**

En este proyecto se evaluó la viabilidad de producir paneles compuestos experimentales mediante el reciclaje de residuos sólidos urbanos, como el polietileno de alta densidad, el polipropileno y la fibra de periódicos viejos, por medio de una prensa neumática (*air-forming and hot press*). Para lograr dicho objetivo se estudiaron los efectos de la fibra en la resistencia a la tracción, propiedades de los enlaces internos, resistencia a la flexión, porcentaje a la absorción de agua de los materiales compuestos de plástico de fibra de madera, entre otros. Además, de la concentración del polipropileno reciclado empleado como agente de acoplamiento que mejora la compatibilidad entre la fibra y las dos matrices de plástico de fibra de madera y las propiedades mecánicas de los materiales compuestos resultantes. Como resultado se encontró que los materiales compuestos con PEAD proporcionan propiedades superiores en comparación con los materiales compuestos con PP. (Ashori & Nourbakhsh, 2008)

Ventaja: Dar a conocer una de las cualidades que tiene el polipropileno reciclado empleado como agente de acoplamiento, ofreciendo una mejor compatibilidad entre la fibra de papel periódico viejo y las matrices de plástico de fibra de madera, el cual nos puede ayudar como agente de acoplamiento en la obtención de la mezcla utilizada para la elaboración de los perfiles de madera plástica.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 MATERIALES PLASTICOS RECICLADOS

#### 5.1.1 Polipropileno

El polipropileno PP es el segundo termoplástico lineal más común de la familia de las poliolefinas. En comparación con el polietileno de alta y baja densidad, el PP tiene una baja resistencia al impacto pero tiene una mayor resistencia a la tracción y trabaja a temperaturas superiores. El PP es principalmente fabricado por procesos de polimerización para obtener cadenas estructurales altamente regulares. (La Mantia, 2002)

Poco antes de 1869 se comenzó a estudiar la polimerización del polipropileno con una técnica de reacción con ácido sulfúrico concentrado, pero el resultado fue un líquido viscoso sin propiedades importantes para la industria; su real e importante aparición fue en 1955 cuando Natta y Ziegler, dos químicos dieron origen a un catalizador que polimerizaba el PP con propiedades mecánicas fuertes; gracias a estas propiedades, el desarrollo industrial del PP tuvo un crecimiento acelerado desde su introducción en el mercado en 1965. (J. Karger - Kocsis, 1995)

La forma más importante del PP comercialmente es el PP isotáctico. Este polímero es producido por polimerización a bajas presiones usando catalizadores Ziegler-Natta. En este caso el 90% de los polímeros resultantes son en la forma isotáctica, con unidades de repetición unidas de manera "cabeza a cola". (La Mantia, 2002)

En la estructura del PP isotáctico, las unidades del monómero son añadidas cabeza a cola con el grupo metilo todos alineados en el mismo lado de la cadena del polímero, usando la nueva catálisis de metaloceno es posible producir diferentes tipos de estructuras de PP: isotácticas, sindiotácticas, atácticas y semi-isotáctica.

La forma isotáctica presentan en su mayoría estructuras regulares y por la presencia de los voluminosos grupos del CH<sub>3</sub>, las cadenas del PP forman hélices en el estado cristalino con tres monómeros por cada vuelta de la hélice.

La temperatura de fusión del PP isotáctico es 176°C el cual es más alto que el del HDPE. La temperatura de transición vítrea del PP ocurre a los 0°C lo cual hace que el polímero sea quebradizo por debajo de ésta temperatura. (La Mantia, 2002)

El PP se inyectado para crear formas específicas y aplicaciones muy versátiles, se inyecta para fabricar bomperes y tableros de autos, también se utiliza para hacer bolsas o empaques plásticos con un proceso de extrusión soplado, con la ayuda de la extrusión también es posible fabricar perfiles, tuberías y láminas; también es utilizado para hacer fibras textiles tejidas y no tejidas. (J. Karger - Kocsis, 1995)

Así como el PE, el PP tiene excelentes propiedades dieléctricas, es insoluble a temperatura ambiente pero disuelve en hidrocarburos e hidrocarburos clorados arriba de los 80°C. El PP es más sensible que el PE a la oxidación por agentes oxidantes y por el aire a elevadas temperaturas. Esto se debe a la presencia H lábiles unidos a los átomos terciarios de carbono y como resultado se añaden antioxidantes al polímero. De la mayoría de los polímeros, el PP es el más ligero, tiene excelente resistencia a disolventes orgánicos, tiene una buena resistencia al calor y a la fluencia. La degradación térmica del PP ocurre por encima de los 330°C de la misma manera que la del PE, con una multitud de hidrocarburos siendo producidos. El rendimiento del monómero a degradarse es menos que el 1%. Las propiedades del PP son enumeradas en la **Tabla 1****Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (La Mantia, 2002).

En las diferentes aplicaciones en las que se utiliza el PP se debe tener como variable importante el peso molecular, ya que en algunos casos como por ejemplo para el sector textil; el PP para fabricar las fibras debe tener un alto peso molecular. Esto obliga a que para cada aplicación sea necesario el control de los parámetros de polimerización y las características de las cadenas moleculares. (J. Karger - Kocsis, 1995)

La mayoría del PP reciclado es obtenido de aplicaciones automotrices, incluyendo carcasas de baterías y bumpers de carros. El principal tipo de reciclaje para el PP es regranulación, pero en el caso de baterías de coches el proceso de reciclaje es principalmente para recuperar el contenido de plomo de la batería. (La Mantia, 2002)

<b>Propiedades del PP</b>	
<b>Propiedad</b>	
<b>Coefficiente de expansión térmica (0°C) (/K)</b>	10.5 x 10 <sup>-5</sup>
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	
Isotáctico amorfo	0.850-0.854
Isotáctico cristalino	0.932-0.943
Sindiotáctico amorfo	0,856
Sindiotáctico cristalino	0.959-0.910
Atáctico	0.850-0.900
<b>Constante dieléctrica (1 kHz)</b>	2.2-2.3
Alargamiento de rotura (%)	100-600
<b>Transición vítrea (°C)</b>	
Isotáctico	-7
Sindiotáctico	-9
Atáctico	-10
Resistencia al impacto (Mpa)	2.8-6.9
<b>Punto de fusión (°C)</b>	
Isotáctico	186
Sindiotáctico	138
Índice de refracción	1,49
Resistencia a la tracción (Mpa)	29.3-38.6
Módulo de tracción (Mpa)	1032-1720

**Tabla 1 Propiedades del PP**

Fuente: (La Mantia, 2002)

El PP existe comercialmente como copolímero y mezclas. Aproximadamente 30% de los productos en PP son copolímeros. Tanto los copolímeros en bloque como los copolímeros aleatorios de etileno aumentan las propiedades de impacto del PP. Otros

copolímeros comerciales dignos de nombrar son los cauchos de etileno-propileno (EPR por sus siglas en inglés ethylene-propylene rubbers) y los terpolímeros de etileno propileno dieno (EPDM ethylene-propylene-diene terpolymers), ambos de estos son reticulados para producir caucho (La Mantia, 2002).

#### 5.1.1.1 Polipropileno reciclado

El polipropileno (PP) es usado en un amplio rango de aplicaciones. Las principales fuentes de PP recuperado son carcasas de batería, películas, partes de automotores, etc. En muchos casos, la estructura y morfología, y las propiedades del PP son muy similares a las del polímero virgen. Cambios significantes en la estructura, morfología y propiedades son hallados cuando las partes de PP son expuestas a duras condiciones durante su vida útil, en particular, parachoques de carros sujetos a exposiciones al aire libre, tubos para el agua caliente, etc. La degradación del PP se debe a la pérdida de estabilizadores y son particularmente rápidos y peligrosos. De hecho el PP es muy propenso a todo tipo de degradación por su estructura química especialmente por la presencia de un flojo átomo terciario de carbono en la cadena principal. Los fenómenos de degradación durante el proceso son acelerados por la presencia de esfuerzos mecánicos. Por esta razón solamente una buena estabilización permite el proceso y el uso del PP. (La Mantia, 2002)

#### 5.1.2 Polietileno

El polietileno es una poliolefina sintética de monómeros olefínicos que para su polimerización son utilizados radicales libres convencionales y complejos metálicos que actúan como catalizadores estero específicos como los Ziegler- Natta y los metalocenos los cuales se nombraran más adelante. (Gómez, 2012)

Es una de las poliolefinas más comerciales y producidas por año en el mundo. Las diferentes estructuras químicas que forman las cadenas del PE dan paso a las variedades que existen de este polímero. Junto con el PP, el PE es la poliolefina más requerida para el consumo anual mundial en envases, empaques, tuberías, productos



inyectados, sector farmacéutico entre otros; debido a esto, el PE no solo representa una gran parte de los residuos plásticos si no que también debido a las características similares de densidad y propiedades físicas del PP en comparación con el polietileno de grado HDPE que se nombrara más adelante, se hace complejo la separación para el reciclaje. (Gómez, 2012)

Las propiedades del polietileno se deben a la larga extensión en sus cadenas ramificadas. Existen varios tipos de polietileno, entre ellos, el polietileno de alta densidad y el polietileno de baja densidad, HDPE (High density polyethylen) y LDPE (Low density polyethylen) respectivamente. El polietileno de alta densidad se produce por la polimerización iniciada de radicales libres de etileno. La reacción es llevada a cabo bajo altas presiones (1500 – 3000 atm) y bajo altas temperaturas (80 -300°C) ya que se requiere una alta concentración de monómeros para producir altos pesos moleculares. Por estas extremas condiciones, el polímero resultante tiene un alto grado de cortas y largas cadenas ramificadas que limitan la cristalización alrededor de un 50% y conduce a un relativo amplio rango de fusión. (La Mantia, 2002)

Entre sus propiedades físicas que dependen de la cristalinidad y peso molecular el PE tiene un punto de fusión en el rango de 120 a 130°C en el HDPE y punto de fusión promedio en el LDPE de 105 a 115°C y entre sus propiedades químicas los polietilenos de alta y baja densidad poseen una excelente resistencia química y no es atacado por oxidantes suaves o agentes reductores. (Mariano, 2012)

El polietileno de baja densidad es producido usando catalizadores Philips o Ziegler-Natta y el polímero resultante es más lineal y tiene un alto grado de cristalización comparado con el polietileno de baja densidad. Estos han sido un progreso significativo a lo largo de los últimos 20 años en el desarrollo de nuevos tipos de catalizadores. La nueva clase de catalizador de metalloceno ha dado lugar a un proceso de catalización mejorado y el desarrollo de nuevos polímeros con propiedades controladas. Aunque poseen la misma estructura química, los diferentes grados de polietileno proporcionan una gama de materiales con propiedades considerablemente diferentes, por la diferencia en los grados de ramificación, peso molecular y distribución del peso molecular. (La Mantia, 2002)

La temperatura de fusión para el PE es relativamente baja, tal como se espera para polímeros con enlaces flexibles de Carbono – Carbono y dispersivas fuerzas intermoleculares. Ha habido un debate considerable entre el valor de la transición vítrea y valores entre - 130 – 30°C han sido establecidos. El polietileno es insoluble a temperatura ambiente y la solución puede ser preparada por calentamiento en hidrocarburos o hidrocarburos halogenados. Los grados en su ramificación no solo afectan las propiedades en estado sólido sino que también influyen en su comportamiento de fusión. (La Mantia, 2002)

La presencia de largas ramificaciones produce un decrecimiento en la tendencia de la cadena del polímero a entrelazarse en comparación con estructuras más lineales reduciendo así la viscosidad de fusión. El PE puede ser oxidado por fuertes agentes oxidantes o en aire bajo irradiación UV y en altas temperaturas. La degradación del PE ocurre sobre los 270°C. Las principales propiedades del HDPE y el LDPE son mostradas en la **Tabla 2**;Error! No se encuentra el origen de la referencia..

El PE tiene una amplia gama de usos por su bajo costo, buena procesabilidad, alta resistencia al impacto, excelente resistencia química y propiedades de aislamiento eléctrico. El uso más común de ambos tipos de polietileno tanto de baja como de alta densidad es para hacer películas para empaques en general, principalmente bolsas y envolturas de alimentos, como resultado de sus propiedades de aislamiento eléctrico es muy usado para cables y revestimientos. Otros usos para el HDPE son para la inyección y soplado de partes moldeadas, notablemente botellas para alimentos y tarros para químicos. (La Mantia, 2002)

El HDPE es reciclado generalmente por granulación, en forma de gránulos. Los contaminantes son removidos por lavado y los gránulos son separados de otros componentes plásticos por medio de un tanque de flotación. El LDPE no es reciclado de la misma forma, los principales productos reciclables son las envolturas y empaques. El LDPE reciclado es convertido en pellets y es incorporado en otros productos plásticos. El mayor inconveniente con el reciclaje del LDPE es la remoción de aditivos, pese a esto los nuevos procesos de reciclajes han podido hacer frente a dicho inconveniente. (La Mantia, 2002)

<b>Propiedades del PE</b>		
<b>Propiedad</b>	<b>PEAD</b>	<b>PEBD</b>
Coeficiente de expansión térmica (/K)	13 x 10 <sup>-5</sup>	10 x 10 <sup>-5</sup>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.941-0.965	0.910-0.925
Constante dieléctrica (1 kHz)	2,32	2,28
Alargamiento de rotura (%)	90-800	20-130
Transición vítrea (°C)	-	80±10
Resistencia al impacto (Mpa)	>110	5.5-96
Punto de fusión (°C)	138	113
Índice de refracción	1,54	1,51
Resistencia a la tracción (Mpa)	17.9-33.1	15.2-78.6
Módulo de tracción (Mpa)	413-1034	55.1-172

**Tabla 2 Propiedades del PE**

Fuente: (La Mantia, 2002)

#### 5.1.2.1 Polietileno reciclado

Los diferentes tipos de estructuras de los polietilenos comerciales influyen fuertemente el comportamiento del reciclaje de estos materiales. En efecto la presencia de ramificaciones, tanto largas como cortas, cambia la degradación cinética y las propiedades finales de los materiales reciclados después de pasos repetitivos en el proceso. Este comportamiento es particularmente importante porque esos materiales plásticos son sometidos no solamente a degradación termo mecánica durante el reproceso, sino también algún otro tipo de degradación durante su ciclo de vida. En efecto la foto oxidación u otros tipos de degradación dan lugar a diferentes estructuras y cambios morfológicos dependiendo de la estructura del polietileno. (La Mantia, 2002)

- *Polietileno de alta densidad HDPE* Las principales fuentes de recolección de HDPE son envases para líquidos y películas para envolturas; por otra parte el reciclaje de tanques para gasolina de autos está incrementando. En todos los casos el peso molecular de estos productos de HDPE post-consumo se mantienen lo bastante alto porque la degradación de los materiales es moderada por el corto tiempo de la vida útil de estos productos. Esta última característica implica que las propiedades de los materiales reciclados son similares a la de los polímeros vírgenes. **(La Mantia, 2002)**

Los polímeros reciclados se someten en general al menos a dos o tres procesos y cada proceso de fusión genera degradación en los materiales, es posible el uso de materiales plásticos secundarios mezclados con polímeros vírgenes, y generalmente ocurre que estas cantidades de polímeros reciclados sean reprocesadas más veces. Este hecho implica que las propiedades de estos plásticos reciclados cambien con el número de reprocesos y disminuyan continuamente

Es entonces necesario saber que la relación entre las propiedades y el reprocesamiento tiene como finalidad pronosticar hasta cierto punto las posibles características de los plásticos reciclados y consecuentemente las posibles aplicaciones de estos. Por supuesto, las propiedades finales dependerán no solamente del número de reproceso, sino también en las características de los plásticos reciclados, en el tipo de reprocesamiento y en las condiciones del proceso. (La Mantia, 2002)

Las principales aplicaciones de HDPE reciclado son envases para líquidos que no están en contacto con alimentos (entre ellos botellas multicapa que tiene una capa interior de polietileno de alta densidad reciclado), tuberías de drenaje, paletas y películas para sacos y bolsas de basura. (La Mantia, 2002)

- *Polietileno de baja densidad (ldpe) y polietileno lineal de baja densidad (lldpe)*  
El polietileno de baja densidad (LDPE) y el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) recuperados vienen principalmente de envolturas y películas plásticas para uso agrícola. En el primer caso, la estructura del material es muy similar a la del polímero virgen como tal por el corto tiempo de vida útil y por las suaves condiciones de servicio. En el caso de las películas para uso agrícola, por el contrario la degradación es usualmente severa y la estructura puede estar drásticamente modificada. Por esta razón, las propiedades de las muestras de LDPE y el LLDPE pueden ser muy diferentes. (***La Mantía, 2002***)

## **5.2 MADERA PLASTICA**

La madera plástica se obtiene a partir del reciclaje de los residuos sólidos urbanos (RSU) y plásticos 100% reciclados. Los principales residuos sólidos urbanos son los residuos de madera, los residuos de papel y los residuos de plástico (Stark, Winandy, & Clemons, 2004). El reciclaje de estos componentes para la elaboración de la madera plástica permite que presente mayores prestaciones que la madera convencional, ofreciendo grandes oportunidades de aprovechamiento de las ventajas estéticas de la madera natural además mejorando sus propiedades al incorporar las ventajas del plástico. La madera fabricada con plástico reciclado se caracteriza por ser un material 100% reciclado y reciclable, evitando la tala de árboles, por lo que es un elemento con un alto porcentaje ecológico. (Stark, Winandy, & Clemons, 2004)

Hoy en día, existe un gran potencial para el desarrollo de nuevos mercados que emplean los compuestos de madera plástica virgen y reciclado. El crecimiento de este mercado está siendo favorecido por los estudios e investigaciones que se han venido realizando en algunas de las instituciones y laboratorios alrededor del mundo, sobre los compuestos de madera plástica y otros compuestos de madera alternativa, como lo hace el Laboratorio de Productos Forestales del servicio forestal de EE.UU (USDA).

En Estados Unidos, aproximadamente la mitad de todos los materiales industriales utilizados, son a base de madera. La harina de madera o aserrín, es el relleno más

utilizado para reforzar los compuestos de madera plástica. (Stark, Winandy, & Clemons, 2004)

Entre las diversas ventajas que la madera plástica ofrece a la industria, las más destacadas son: alta durabilidad en exterior, segura, no se astilla, fina y de gran duración, alta resistencia al impacto, apta para trabajo pesado, impermeable, higiénica e inmune a plagas y tiene una excelente relación costo beneficio con respecto a la madera tradicional.

En el mercado existen dos términos que hacen referencia a la madera plástica, *PLASTIC LUMBER* que hace referencia a madera 100% de plástico reciclado obtenida del reciclaje de termoplásticos y *WOOD PLASTIC COMPOSITE (WPC)*, que es la combinación de restos de madera y plásticos 100% reciclados. Su vida útil es mayor que los productos de madera natural ya que combina las calidades y apariencia de la madera con las ventajas de durabilidad y resistencia del plástico. Ambos se diferencian en que los WPC tienen al menos 50% o más de fibra de madera, mientras que la *plastic lumber* no posee porcentajes de fibra de madera (Council, American Wood).

Uno de los sectores productivos que más ha crecido en estos últimos años es el de la fabricación de plásticos, lo que conlleva a que las cantidades de desechos plásticos aumenten y, en consecuencia, se incrementen las cantidades de plásticos reciclados, lo que ha provocado la potenciación de la industria recuperadora. (Maderpol S.A.S, 2012)

El desarrollo de nuevos materiales derivados del reciclaje de plásticos y de la madera se está convirtiendo en una alternativa real y ventajosa, abriéndose toda una gama de oportunidades y posibilidades por su aplicación en productos para diferentes ámbitos debido a las numerosas ventajas que presentan, sobretodo, para su uso en exterior, ya que soportan las condiciones climáticas mucho mejor que la madera, no requieren mantenimiento y resisten a parásitos. Se logra trabajar igual que la madera natural, se puede serrar, clavar, atornillar, soldar, encolar, etc. En comparación con la madera natural no es necesario hacerle mantenimiento y no transfiere electricidad. Sin embargo, uno de los mayores retos técnicos en la creación de materiales a base de plástico ha sido encontrar la mezcla perfecta de plástico, fibras y aditivos, puesto que ellos deben resistir al sol, conservar su color y forma, y repeler la humedad (Power,

2004). Además, su valor ecológico es evidente, ya que este material permite fabricar estructuras recicladas y reciclables que favorecen la reutilización y la valorización de los residuos. (Maderpol S.A.S, 2012)

La fabricación de madera plástica tiene lugar mediante un proceso limpio, sin problemas medioambientales, que comienza con la recolección del plástico reciclado en las plantas de reciclaje, donde se separan los termoplásticos, se trituran, se mezclan homogéneamente y se funden en un proceso de extrusión a alta temperatura.

Este compuesto sale tintado de fábrica, donde se le añaden aditivos para mejorar la resistencia del material frente al envejecimiento y la intemperie (Maderpol S.A.S, 2012).

### **5.2.1 Características**

Entre las características propias de la madera de plástico reciclado, que la diferencian de la madera natural, se encuentran: (Maderpol S.A.S, 2012)

- Impermeable, no deja pasar el agua y la humedad.
- Anticorrosivo, no se deteriora bajo la acción de productos químicos.
- Imputrefascible, no se pudre al aire o en contacto con arena o agua.
- Resistente a la intemperie, bajo cualquier condición meteorológica.
- Buena resistencia mecánica, material duradero.
- Higiénico, inmune a microorganismos, roedores e insectos.
- Pírorresistente, alta resistencia al fuego.
- Seguro, no se agrieta ni produce astillas.

### **5.2.2 Ventajas**

El material de madera plástica está diseñado para tener el máximo de beneficios ecológicos y funcionales con características de reducción de residuos y evita la tala indiscriminada de árboles, contribuyendo a la protección del medio ambiente. (Maderpol S.A.S, 2012)

- Material resistente, durabilidad 5 veces mayor que la madera natural.

- Tintes ecológicos, variedad de colores.
- Sin mantenimiento, no requiere pinturas ni plaguicidas.
- Natural, no empleo de químicos tóxicos (As, Cr, Cu).
- Aislante acústico, térmico y eléctrico.
- Reciclado, ahorro de materias primas vírgenes y evita la tala indiscriminada de árboles.
- Reciclable, fomenta el reciclaje.
- Material ecológico, contribuye al desarrollo sostenible. (Maderpol S.A.S, 2012)

### **5.2.3 Aplicaciones**

La madera plástica es un material versátil, usado ampliamente en numerosas aplicaciones durables para exterior en condiciones atmosféricas adversas. Entre las aplicaciones más comunes de la madera de plástico reciclado se encuentra el mobiliario urbano, decks y elementos para exterior, ya que no necesita mantenimiento y presenta alta durabilidad. Entre las aplicaciones más comunes se destacan: vial (Puentes), mobiliario exterior (bancos, papeleras, paneles), elementos para jardín (pérgolas, jardineras), ganadero (pisos para caballerizas, corrales, establos), y otros (Maderpol S.A.S, 2012).

- Bodegas
- Juegos Infantiles
- Pisos
- Puentes
- Senderos

### **5.3 RECICLAJE**

Se entiende por reciclaje a la operación compleja de recoger, recuperar, transformar y elaborar un material aparte de residuos de otros, ya sea la elaboración parcial o total. (Elias, 2009)



Para aprovechar total o parcialmente el material se deben realizar varias actividades que responden a términos como: recolección, recuperación, reutilización y valorización entre otros. Los materiales que se originen después de este proceso de actividades pueden ser para el mismo uso anterior o para otro en particular. El reciclaje puede describirse como el proceso que consiste en hallar el medio para sacar provecho de los residuos. (Elias, 2009)

Existen 3 categorías: reciclaje primario, secundario y terciario.

- **Reciclaje Primario** Reutilización del mismo material en un proceso q se puede repetir un número de veces por ejemplo el periódico y el vidrio q se pueden incorporar en los mismos procesos para hacer el mismo producto.
- **Reciclaje Secundario** Utilización de un material reciclable en otro que se puede reciclar nuevamente por ejemplo el cartón.
- **Reciclaje Terciario** Utilización del material reciclable en un producto que no se reciclara nuevamente, por ejemplo el vidrio para hacer asfalto y el papel en papel higiénico. (CODESARROLLO, 1997)

### 5.3.1 Reciclaje de plástico

Los mayores generadores de residuos plásticos son las empresas y todas con muy pocas excepciones reciclan ellas mismas sus residuos ya que conocen las ventajas del reciclaje de plásticos. Para adecuar los residuos, estos se llevan a una maquina llamada molino donde se reducen las partículas (Ehrig, R.J., 1992).

Otros generadores de residuos plásticos son los almacenes y las bodegas ya que cada gran producto por ejemplo viene empacado en una bolsa de material plástico o bien se encuentra sujetado con bloques de plástico espumoso, en general los materiales plásticos se pueden reciclar de casi todos los sectores, sector de construcción, en la industria y hasta en los hogares donde se desechan los materiales plásticos como bolsas, juguetes, desechables etc.; en los rellenos sanitarios en muchas ciudades es donde inicia la cadena del reciclaje por parte del recolector primario. (Ehrig, R.J., 1992)

Para el procedimiento apropiado del reciclaje de plásticos se deben llevar a cabo las siguientes actividades: el reciclador compra los materiales de quienes los recolectan de un modo u otro, luego de esta tarea se continúa con la limpieza de estos materiales, unos dan a la basura por no ser posible descontaminarlos o por estropicios de otras índoles. Luego de esto viene la clasificación, esta es una tarea muy estricta, luego de esto se procede a hacer la disminución del tamaño de partícula, para esto se muele, se pica o se tritura volviéndose fragmentos más pequeños según los requerimientos del cliente (Ehrig, R.J., 1992).

No siempre las condiciones de los materiales plásticos son óptimas y con estos se suelen realizar productos que no requieran condiciones óptimas de pureza. (Ehrig, R.J., 1992)

#### **5.4 COMPORTAMIENTO DEL REPROCESAMIENTO Y PROPIEDADES DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS**

El reciclaje de polímeros homogéneos es relativamente un reto fácil solamente cuando su estructura es conservada y sin que haya tenido una degradación significativa durante el tiempo de vida y durante las operaciones de procesamiento. En efecto, los fenómenos de la degradación causan disminución del peso molecular, formación de ramificaciones y otros grupos químicos, etc., dando lugar como consecuencia de estos cambios estructurales y morfológicos a un notable empeoramiento de todas las propiedades físicas. Mientras los materiales secundarios que mantienen sus propiedades pueden ser usados para aplicaciones similares a la de los polímeros vírgenes, los materiales secundarios con propiedades más bajas son menos valiosos y pueden ser usados solamente para aplicaciones donde las propiedades específicas son más bajas que las de los polímeros vírgenes.

El reto más relevante en el reciclaje mecánico de polímeros homogéneos es evitar además la degradación de la estructura polimérica durante las operaciones de reproceso y el empeoramiento del material final. Este puede ser obtenido por medio de la elección correcta de maquinaria y condiciones de procesamiento y mediante la adición de estabilizadores y otros aditivos antes de la fundición. (Ehrig, R.J., 1992)

## 5.5 RECICLAJE MECANICO

El reciclado mecánico es el método más común de reciclaje, aquí los plásticos son molidos físicamente de nuevo a un tamaño adecuado (triturado) para volver a transformarse. El uso final puede ser el mismo original o uno diferente. (Goodship, 2007)

En la industria del plástico ha sido durante mucho tiempo una práctica común reprocesar los residuos derivados de la producción normal. Éste reciclaje, conocido como reciclaje primario, tiene un sentido económico, ya que reduce tanto la producción de residuos como la utilización de las materias primas. Por ejemplo, en el moldeo por inyección, el material triturado desde los residuos de arranque y la producción de residuos que se generan con el rechazo de partes, puede servir de realimentación directamente en la máquina de producción. (Goodship, 2007)

Para la recuperación de material usado o reciclado fuera de este escenario, la situación es ligeramente diferente y puede ser necesario un mayor esfuerzo en la parte del reproceso. Este tipo de reciclaje mecánico se denomina reciclaje secundario. (Goodship, 2007)

El material de fuentes externas puede ser recibido en una variedad de formas, tales como pacas, molduras o grandes grumos. Éste probablemente necesita ser reducido en tamaño, se limpian, se separan y posiblemente se peletizan antes de que pueda ser reprocesado en la producción. (Goodship, 2007)

Las características de los plásticos pueden cambiar dependiendo de la exposición térmica, mecánica (cizalla), oxidativa y procesos fotoquímicos de degradación. Las características de los materiales reciclados pueden ser muy diferentes de los plásticos vírgenes. Idealmente, para producir productos de alta calidad, es obligación contar con materiales de alta calidad. Para esto, se debe prestar atención a varios factores: se debe determinar si el material es puro o mezclado y si está contaminado, por ejemplo, con metal o madera. Para facilidad de la alimentación en las máquinas de procesamiento ya sea de moldeo por inyección, extrusión o de moldeo por soplado, el tamaño y la forma del material triturado (es decir, la densidad aparente) deben ser

adecuados. Si el material es higroscópico (absorción de agua), por ejemplo poliamida, puede requerir de pre-secado.

Por último, se debe volver a procesar el material reciclado por sí solo, mezclado con otro material virgen o modificado con aditivos en un ciclo de bucle cerrado. Esta es la razón por la cual el reciclaje primario es tan común; la clave es tener el conocimiento y la confianza de los materiales que se están utilizando. (Goodship, 2007)

Por ejemplo un ciclo de bucle cerrado se observa en la industria automotriz. Desde 1991 Volkswagen ha reciclado parachoques chatarra hechos de un grado modificado de polipropileno (PP). Su proveedor recupera el material, que se mezcla a continuación con virgen y se devuelve al proceso de producción de parachoques. Las propiedades de los parachoques producidos son tan buenas como los manufacturados utilizando solo material virgen.

En las pruebas se encontró que no hay diferencia significativa en sus propiedades hasta que el material ha sido fundido y extruido ocho veces. (Goodship, 2007)

Es fácil ver el beneficio del reciclaje en estos bucles cerrados. Uno de los mayores factores en contra de la utilización de material reciclado es la preocupación por parte de los usuarios que el uso de material reciclado reducirá la calidad de su producto y un supuesto daño a la maquinaria de procesamiento. (Goodship, 2007)

Por esta razón en el Reino Unido, una serie de grupos como El Programa de Acción de Recursos (WRAP) y el Consorcio para el Reciclaje Automotriz (CARE), han defendido un programa de normalización de materiales reciclados. Donde se espera que al proporcionar un claro conjunto de propiedades para los materiales reciclados, los diseñadores estén mejor posicionados para especificar, y tener confianza en los estos materiales. (Goodship, 2007)

Los efectos sobre las propiedades del material de reciclado mecánico se pueden explorar mediante ciclos repetidos de éste material a través de máquinas de procesamiento. El material de cada bucle de ciclo cerrado se puede evaluar; Por ejemplo, en la producción de los parachoques de Volkswagen se mencionó

anteriormente que las pruebas encontraron que las propiedades claramente se modificaban sólo después de ocho ciclos de reprocesamiento. (Goodship, 2007)

Experimentos de este tipo han demostrado que las propiedades a corto plazo no varían demasiado si el material no contiene fibra de vidrio. La Fibra de Vidrio es un refuerzo muy común usado en los plásticos. La resistencia mecánica del plástico es dependiente de la longitud de las fibras utilizadas y el procesamiento reduce esta longitud residual. Sin embargo, se debe tener precaución aquí, pues hay que tener en cuenta que estas son propiedades solamente de corto plazo. Los efectos a largo plazo del tratamiento repetido en propiedades plásticas están todavía bajo investigación. Al igual que los materiales cuando se mezclan con material virgen, y se someten a degradación acelerada seguirá siendo tema de la investigación actual. Parece claro no obstante, que los parámetros de procesamiento incorrecto (temperaturas demasiado altas) provocan más daños en los plásticos que repetir el procesamiento a temperaturas adecuadas. (Goodship, 2007)

Uno de los criterios importantes para el procesamiento de alta calidad es la homogeneidad del material.

Cuando los materiales reciclados son mezclas de diferente viscosidad y color, es importante que se mezclen conjuntamente de manera adecuada para formar un material consistente. Existen tornillos especiales para los equipos de procesamiento. Estos tornillos homogenizan y mejoran tanto la calidad del producto como la reproducibilidad. La homogeneidad es una palabra que se encontrará clave. Es un concepto demasiado importante, ya que gran parte del trabajo realizado en el procesamiento de un material se lleva a cabo para llegar a un estado consistente. Esto tiene una serie de ventajas: (Goodship, 2007)

- Maquinaria altamente automatizada puede ser utilizada en la producción con el conocimiento de que no va a ser necesario hacerle ajustes en gran medida.
- Las propiedades y la calidad del componente de producción son conocidos y no pueden variar drásticamente.
- Los procedimientos de calidad duran menos tiempo y las fallas son más fáciles de rastrear e identificar.
- El cliente obtendrá un producto de alta calidad.

De hecho, conseguir la homogeneidad con materiales reciclados, especialmente los materiales mezclados, es muy difícil y a veces imposible; es por esto que la tecnología de reprocesamiento de plásticos reciclados todavía tiene una tarea a desarrollar; lo cual significa que es muy necesario el control de calidad para los productos reciclados como para material virgen. (Goodship, 2007)

#### 5.5.1 Contaminantes

Algunos polímeros son inmiscibles y la mezcla puede causar deterioro de las propiedades mecánicas, por los contaminantes que posean. Los contaminantes pueden incluir pintura, etiquetas, revestimientos, polvo, madera, metales, residuos de cola o tintas de impresión. Los metales son un problema particular en el reprocesamiento, ya que pueden dañar el funcionamiento interno de las máquinas. La protección contra la contaminación de metal ferroso, normalmente se adhiere de los imanes situados en las tolvas de alimentación, estos son utilizados incluso en el procesamiento de materiales vírgenes. Desafortunadamente, los metales no ferrosos son magnéticos y por lo tanto no son tan fáciles de eliminar, y si no se pueden quitar con la mano, se alimentan con el resto del material. (Goodship, 2007)

Si el nivel de otro tipo de contaminación es bajo y los contaminantes no se funden dentro de las temperaturas de fusión del polímero, pueden ser retirados de la masa fundida sin demasiada dificultad utilizando un filtro pantalla. Una pantalla de filtro se ve como un colador de malla muy fina y detiene las partículas más grandes, que son incapaces de pasar a través de ella; vienen en una variedad de tamaños de malla para adaptarse a la aplicación y la necesidad. (Goodship, 2007)

Estas pantallas necesitan cambiarse a intervalos regulares para evitar que se bloqueen. La frecuencia de cambio dependerá del nivel de contaminación. Los dispositivos de filtro de este tipo se pueden utilizar en la extrusión o en máquinas de moldeo por inyección. Sin embargo, sólo niveles bastante bajos de contaminación pueden ser tolerados, por lo general 1% o menos. (Goodship, 2007)

Si la pantalla se bloquea, la presión en el sistema aumentará a medida que el material fundido tenga una brecha mucho más estrecha para fluir. Esto también aumentará la fuerza cortante en el material. Puede dar lugar a calentamiento por cizallamiento del plástico, elevando la temperatura en el interior del barril de la extrusora o máquina de

moldeo por inyección. Los efectos de todos estos procesos será un cambio en las propiedades de viscosidad y de flujo del material en comparación a cuando la pantalla se desbloquea. Con el moldeo por inyección se pueden requerir cambios de configuración en la máquina. Por tanto, cualquier moldeo puede tener propiedades diferentes a las producidas cuando la pantalla este relativamente clara. Por lo tanto, es muy importante para controlar los cambios. (Goodship, 2007)

Los contaminantes reducen las propiedades mecánicas de los componentes, por lo tanto, la filtración con pantallas puede mejorar las propiedades, sin embargo, esto puede ser compensado por el aumento de cizallamiento asociado con la acumulación de presión en la masa fundida detrás de las pantallas de filtro. El aumento de cizallamiento podría causar degradación y reducir el rendimiento mecánico. Por lo tanto, el tamaño de la malla debe ser bien seleccionado para equilibrar estos dos efectos. (Goodship, 2007)

Si los contaminantes se funden durante el procesamiento, no habrá ninguna manera de eliminarlos y se homogeneizaran en la masa fundida durante la etapa de procesamiento; dichos contaminantes pueden posteriormente estar visibles en el producto final. (Goodship, 2007)

#### 5.5.2 Reducción de tamaño de partícula

La reducción de tamaño es necesaria, ya que las partículas de material deben ser de un tamaño adecuado para su posterior procesamiento. Esto puede implicar un proceso de dos etapas, la primera utilizando una trituradora para producir grandes partículas de aproximadamente 25-50mm. Estos materiales pueden ser en copos.

Los cortadores rotatorios se emplean más comúnmente para este último, ya que pueden ser utilizados para triturar (reducir el tamaño) prácticamente cualquier plástico. El cortador rotativo es un dispositivo bastante simple que consiste en un rotor y unas cuchillas, cuchillos estacionarios, la cámara de molienda de rotación y la pantalla.

Los movimientos de plástico entre las cuchillas fijas y rotativas son cortados a la medida. Este tamaño se determina por el tamaño de malla de la pantalla, un tamaño común es de alrededor de 5mm x 5mm. Un cortador rotativo debe ser capaz de disipar el calor generado por la acción de corte de las cuchillas. Esto se puede hacer con un

extractor de aire, que también ayuda en el movimiento de material triturado fuera de la cámara. Debido a que los contaminantes pueden entrar en el sistema por la dureza variable y variedad de plásticos, las cuchillas están montadas para alcanzar la mejor acción de corte posible.

Es importante, como característica de diseño que las cuchillas se puedan rápidamente re- establecer, sustituir o retirar para volver a afilar, ya que son propensos a sufrir un desgaste considerable. (Goodship, 2007)

### 5.5.3 Lavado

Se requiere del lavado para eliminar la suciedad y los residuos que se adhieren al plástico. Se aumenta la pureza de los plásticos y en algunos casos mejora la eficiencia de otros procesos tales como la clasificación. Los principios son los mismos que los aplicados a cualquier detergente de lavado doméstico. Los contaminantes deben adherirse más fuertemente al medio de limpieza que el plástico para permitir la eliminación.

El lavado también elimina etiquetas y residuos de agua y otros líquidos solubles. Una vez que se lavan los materiales estos necesitan ser secados. Esto se puede hacer mecánicamente simplemente usando la gravedad y un transportador para permitir que cualquier líquido se drene. Los métodos térmicos utilizan aire caliente para secar las escamas de plástico. (Goodship, 2007)

### 5.5.4 Identificación y clasificación de los plásticos

Una forma de permitir una fácil identificación de los plásticos es marcar las molduras. Esto es obligatorio en la industria del embalaje, ya que para convertir las botellas de plástico o contenedores se debe revelar un código de identidad de plástico. Esto permite que los plásticos sean ordenados manualmente. Clasificación manual es un proceso laborioso que requiere muy poco equipo, pero que confía en la exactitud de la mano de obra humana para producir un producto de alta pureza. (Goodship, 2007)



### 5.5.5 Aglomeración

La aglomeración es una etapa del proceso para ser llevado a cabo después de que el material se clasifica en una corriente bastante homogénea. El objetivo de la aglomeración es aumentar la densidad aparente de los residuos, lo cual es necesario para asegurar una buena alimentación para algunas unidades de plastificación. Se encuentra más aplicación en los residuos plásticos con escamas de película, que puede tener una densidad aparente de sólo 100 a 150 kg/m<sup>3</sup>. Esto puede hacer que tanto la alimentación y el almacenamiento sea una tarea engorrosa. (Goodship, 2007).

Un ejemplo de residuos de película antes y después de la aglomeración se muestra en la Ilustración 1.

La aglomeración puede ser diferenciada del procesamiento, como en este caso el objetivo es simplemente para unir los copos entre sí en sus superficies y por tanto, sólo las superficies de los plásticos se ven afectadas. La presión o fusión se utilizan para ello con el material que se destacó térmicamente en las partículas de la superficie sólo por un tiempo relativamente corto. (Goodship, 2007)



**Ilustración 1 Residuos de película antes y después de la aglomeración.**

Fuente: (Goodship, 2007)

La aglomeración térmica es el método que más se practica con los desechos plásticos.

Ahora se han discutido una serie de etapas para preparar los desechos para su procesamiento. Como se ha visto, la preparación de residuos para su tratamiento puede ser larga y difícil técnicamente. Por esta razón, la mayor parte del coste en materiales de reprocesamiento proviene de estas necesarias etapas de pre-procesamiento. (Goodship, 2007)



En 2006, un plan para recolectar botellas de leche de HDPE y reciclarlas en nuevas botellas de leche se probó con éxito en el Reino Unido. Las botellas recicladas se obtienen de botellas recogidas en las aceras; las botellas se lavaron en una solución cáustica al 2% a 93°C para eliminar los contaminantes, las etiquetas y los adhesivos.

Una vez secas, las técnicas de clasificación que se utilizan para identificar las botellas eran ambos detectores IR y ordenación por mano con el fin de conseguir un flujo de reciclado de color natural puro. Esto se utilizó como una mezcla de 30% de material reciclado contra 70% de plástico virgen para hacer nuevas botellas de leche. El uso de materiales reciclados plásticos en contacto con alimentos también significó pruebas rigurosas para garantizar el cumplimiento de la legislación de envasado de alimentos.

Esta es la primera prueba de lo que se esperaba se convierta en una práctica establecida en el futuro. (Goodship, 2007)




El reciclaje de botellas de HDPE es un buen negocio, ya que es un material de alto volumen y fácilmente identificable en el flujo de residuos y de recogida en las aceras. Por ejemplo, el reciclaje de botellas de plástico en los EE.UU. generó un poco menos de 1 billón de kg de material en 2005 y 27,1 % de esta era HDP. (Goodship, 2007)


## 6. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA MADERA PLÁSTICA

	Actividad	Nombre Maquina	Tiempo	Imagen	Descripción
1	Almacenamiento	Procedimiento Manual realizado por operario	N/A		El material llega a la empresa proveniente de sus proveedores de PP y PE donde previamente se les han aplicado el proceso de aglutinado y laminado respectivamente.
2	Mezcla de los materiales	Procedimiento Manual realizado por operario con una pala corriente	60 min y 120 min		La mezcla de los materiales se hace por uno o dos empleados con método manual y con una pala, este proceso se hace con una mezcla de 50% PE y 50% PP <b>Nota:</b> El tiempo depende del número de operarios realizando la labor.

	Actividad	Nombre Maquina	Tiempo	Imagen	Descripción
3	Suministro de material en la tolva	Procedimiento Manual	90 kg = 1 min		El empleado vacía el material en la tolva con ayuda de un balde accediendo a dicha tolva por medio de las escalas que posee la extrusora.
4	Proceso de extrusión	Extrusora diseñada a la medida de la empresa (Hechiza), con 2 cabezales	Preparación de la Extrusora = 45 min; vaciado completo de la extrusora antes de empezar el día = 15 min		El proceso de extrusión comienza desde la tolva y pasando por sus 3 zonas: alimentación, compactación y dosificación. Finalizando esta última zona es donde el material se deposita en los moldes por medio de dos cabezales.
5	Llenado del molde	Moldes diseñados a la medida de su perfilera	Tabla = 5.3 min Larguero = 4.3 min		El llenado del molde se hace a través de la boquilla o dado de extrusión hacia el molde; luego de llenarse el molde el operario lo baja al tanque de enfriamiento para someterlo al siguiente proceso.

	Actividad	Nombre Maquina	Tiempo	Imagen	Descripción
6	Enfriamiento de la pieza	Tanque de Enfriamiento	Tabla = 23 min Larguero = 27 min		El enfriamiento de la pieza se hace por medio de un tanque de enfriamiento lleno de agua donde se introduce el molde completo después de ser desmontado de la maquina extrusora dejándose el periodo de tiempo establecido para luego proceder con el desmolde de la pieza.
7	Desmolde	Proceso manual realizado por un operario con ayuda de un martillo	3 min		El desmoldeo lo hace el operario manualmente sacando la pieza del molde y retirando el exceso de material que queda en el punto de inyección de material del molde con la ayuda de un martillo.
8	Almacenamiento de producto terminado1	Procedimiento Manual	1 min		Este proceso no es más que el transporte de la pieza hacia su sitio de almacenamiento de producto en proceso.

	Actividad	Nombre Maquina	Tiempo	Imagen	Descripción
9	Corte o refilado a la medida del cliente	Cortadora de disco	0.30 min		Las piezas son cortadas por un operario con una sierra dependiendo de la medida requerida; se cortan 200 tablas por hora y se le hacen 3 cortes.
10	Ensamble de la (estiba, amueblamiento urbano)	Taladro	4 min		El armado de la estiba se hace con la ayuda de un operario por medio de un taladro que inserta los tornillos industriales de sujeción y el tiempo de este proceso se cuenta por cada estiba.
11	Almacenamiento producto terminado 2	Procedimiento Manual	1 min		El almacenamiento de la estiba se hace una encima de la otra por un operario que la acarrea manualmente hasta el lugar de almacenaje de producto terminado

	Actividad	Nombre Maquina	Tiempo	Imagen	Descripción
12	Marcado y resanado	Molde de marcado, aerosol color negro y espátula para el resane	Marcado = 0.30 min Resanado= 1.06 min		El marcado se hace por medio de un molde con el logo de la empresa y con marcación por medio de aerosol negro, el resane se hace llenando los huecos significativos encontrados en las estibas por medio de una masilla y con ayuda de una espátula. Son 200 estibas por hora marcando y 50 estibas por hora resanando.

**Tabla 3. Proceso de elaboración de la madera plástica en Maderpol SAS**

Fuente: Ospina 2014

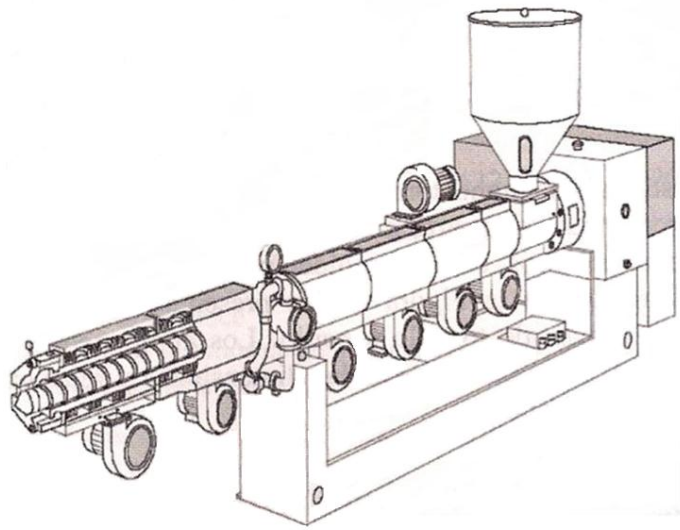
## 6.1 EXTRUSIÓN

En la extrusión, un polímero fundido se bombea a través de un dado que tiene una forma definida y se convierte en un perfil. Este perfil puede ser una lámina, una película, un tubo o tener cualquier otra forma en su sección recta. (Osswald, et al, 2010)

En la industria de polímeros actual, la extrusora más comúnmente usada es la de tornillo sencillo (también conocida como mono tornillo o mono husillo), representada en la Ilustración 2. Esta consiste en un tornillo encerrado en un cilindro caliente. La mayoría de estos cilindros tienen también un sistema de refrigeración. La alimentación de la extrusora se hace por medio de una tolva que se encuentra al inicio del tornillo, este tornillo rota gracias a acción de un motor. El tornillo es el componente más importante de la extrusora y la actuación dentro del proceso de extrusión depende del diseño del tornillo. La geometría de un tornillo convencional sencillo se muestra en la ilustración 3. El tamaño del tornillo depende de su diámetro y longitud. La longitud es dada normalmente por la relación entre la longitud y el diámetro (L/D). Un tornillo convencional típico tiene 3 secciones: (1) sección de alimentación con una profundidad de canal constante llamada profundidad de alimentación, (2) sección de bombeo con una profundidad de canal de poca profundidad constante denominada "profundidad de medición" y (3) sección de compresión, sección de transición o sección de fundición, entre la sección de alimentación y la sección de bombeo, con un decrecimiento de la profundidad del canal. (Osswald, et al, 2010)

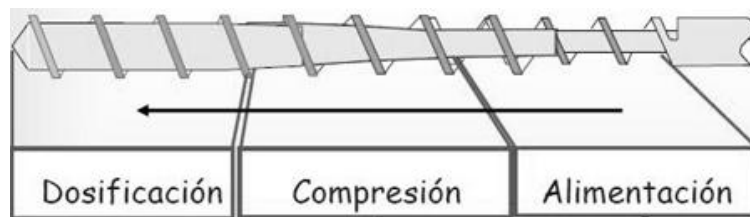
La superficie de los tornillos son altamente pulidas para evitar atascamientos y estancamientos del polímero, esto se realiza con cromo, níquel u otro material resistente a la corrosión y la abrasión. (Chung, 2000)





**Ilustración 2 Ejemplo de extrusora mono husillo.**

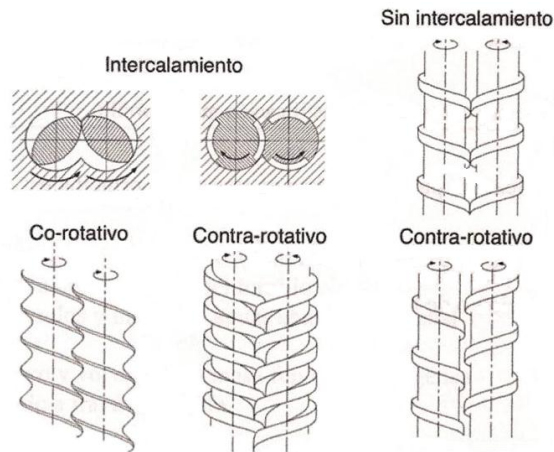
Fuente: (Osswald, et all, 2010)



**Ilustración 3 Características de un tornillo sencillo.**

Fuente: Morton and Jones

Otra clase importante de extrusora es la de doble tornillo (también llamada doble husillo), representa en la Ilustración 4. Los tornillos gemelos pueden tener movimientos de rotación en el mismo sentido (co-rotante) o en sentido contrario (contra-rotante), y pueden tener o no encajamiento entre sus hélices. Las extrusoras doble tornillo se emplean primariamente como dispositivos para mezclado y elaboración de compuestos, lo mismo que como reactores de polimerización. (Osswald, et all, 2010)

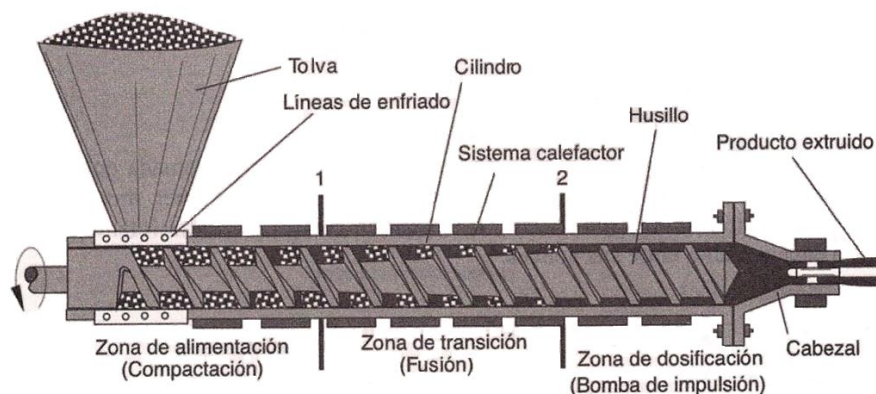


**Ilustración 4 Esquema de diferentes extrusoras doble tornillo.**

Fuente: (Osswald, et all, 2010)

### 6.1.1 La extrusora de plastificación

La extrusora de plastificación mono tornillo es el equipo más comúnmente usado en la industria de polímeros. Puede ser parte de una unidad de moldeo por inyección y se la encuentra en numerosos procesos, como el moldeo por soplado, el soplado de películas y el recubrimiento de alambres. En la Ilustración 5. Se representa el esquema de una extrusora plastificante, o de tres zonas, de tornillo sencillo. Los componentes más importantes se encuentran marcados. (Osswald, et all, 2010)



**Ilustración 5 Esquema de una extrusora de plastificación mono tornillo.**

Fuente: (Osswald, et all, 2010)

La extrusora de plastificación puede dividirse en tres zonas principales:

- La zona de alimentación o transporte de sólidos.
- La zona de fusión o plastificación.
- La zona de dosificación o de bombeo.

Las tareas de una extrusora de plastificación son:

- Transportar los gránulos de plástico (también conocidos como pellets) o el sólido en polvo desde la tolva hasta el canal del tornillo.
- Compactar los gránulos y moverlos aguas abajo por el canal.
- Fundir los gránulos.
- Mezclar el polímero y volverlo una masa fundida homogénea.
- Bombear el fundido a través del dado.

#### 6.1.2 Zona de alimentación

La función de la zona de transporte de sólidos es mover los gránulos o polvos de polímero desde la tolva hasta el canal del tornillo. Una vez el material está en el canal del tornillo, se compacta y se mueve a través de dicho canal. El proceso de compactar los gránulos y moverlos sólo se puede cumplir si la fricción en la superficie del barril supera la fricción en la superficie del tornillo. Esto puede visualizarse si uno se imagina que el material dentro del canal del tornillo es una tuerca puesta sobre un tornillo. Si rotamos el tornillo en ausencia de fricción externa, la tuerca (pellets de polímero) se moverá con el tornillo, sin desplazarse en la dirección axial. Cuando aplicamos fuerzas externas (fricción del barril), la velocidad de rotación de la tuerca es menor que la del tornillo, lo cual causa que se deslice en la dirección axial. En la práctica, el polímero sólido es "desatornillado" del tornillo. (Osswald, et all, 2010)

Para mantener un alto coeficiente de fricción entre el barril y el polímero, se debe enfriar la sección de alimentación, usualmente con líneas de agua fría. Las fuerzas de fricción también producen un aumento en la presión en la sección de alimentación. Esta presión comprime el lecho de sólidos, el cual continúa su viaje a lo largo del canal a medida que se va fundiendo en la zona de transición. (Osswald, et all, 2010)

#### 6.1.3 Zona de fusión

La zona de fusión o de transición es la porción de la extrusora en donde el material se funde. La longitud de esta zona es una función de las propiedades del material, la

geometría del tornillo y las condiciones de procesamiento. Durante la fusión, el lecho de sólidos se encoge, a medida que en uno de sus lados se forma una piscina de fundido. (Osswald, et al, 2010)

#### 6.1.4 Zona de dosificación

La zona de dosificación es la sección más importante en las extrusoras de fundido y en las extrusoras convencionales mono tornillo, las cuales dependen de dicha zona para generar presiones suficientes para el bombeo. Tanto en las extrusoras de barril liso como en las de barril ranurado, el diámetro del tornillo determina la capacidad de bombeo de la extrusora. (Osswald, et al, 2010)

#### 6.1.5 Dados de extrusión

El dado de extrusión (también llamado cabezal) da a la masa fundida de polímero su forma final. El dado está localizado en el extremo de salida de la extrusora y es usado para producir: (Osswald, et al, 2010)

- Películas planas y láminas.
- Tuberías y películas tubulares para bolsas.
- Filamentos y hebras.
- Perfiles huecos para marcos de ventanas.
- Perfiles abiertos.

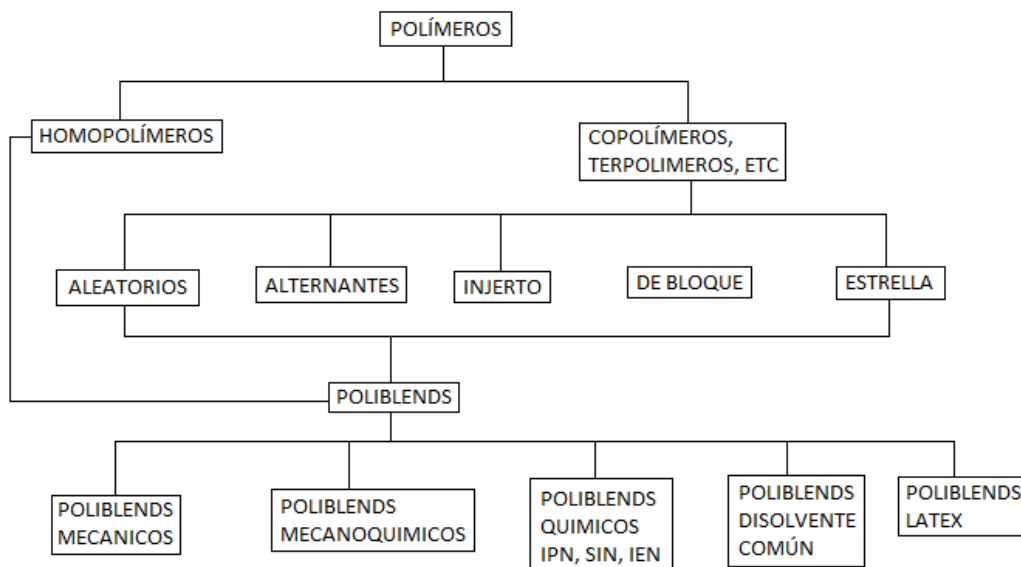
No siempre es suficiente con someter el sistema a grandes esfuerzos de deformación para obtener una mezcla homogénea. El tipo de dispositivo de mezclas, la orientación inicial y la posición de los dos o más fluidos componentes juegan un papel significativo en la calidad de la mezcla. (Osswald, et al, 2010)

## 7. ESTUDIO DE LA MEZCLA DE PP Y PE RECICLADO PARA LA INCORPORACION EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE MADERPOL SAS

### 7.1 MEZCLAS POLIMERICAS

Hace ya más de 30 años el interés por los materiales poliméricos ha tenido un crecimiento constante, especialmente cuando se trata de polímeros con aplicaciones y propiedades específicas; debido a esto, los materiales poliméricos se han estudiado en tal manera que se quiere cada vez más desarrollar nuevos materiales poliméricos a partir de la combinación de otros ya existentes y la adición de aditivos, pigmentos, fibras de refuerzo etc. (Rico, 1993)

Existen varios tipos de mezclas las cuales se muestran en la Ilustración 6.



**Ilustración 6** Clasificación de las mezclas poliméricas dependiendo su clasificación

Fuente: (Rico, 1993)

Una mezcla polimérica mecánica se realiza en un recipiente abierto con 2 polímeros fundidos o se hace en una extrusora; la temperatura de procesamiento debe ser mayor a la temperatura de transición vítrea  $T_g$  para cada uno de los polímeros amorfos y

mayor a la temperatura de fusión  $T_f$  cuando se trata de polímeros semicristalinos. (Rico, 1993)

Dependiendo del estado térmico en el que se encuentren los componentes de la mezcla, los esfuerzos de cizalladura producidos entre éstos pueden iniciar reacciones de degradación con la generación de radicales libres, los cuales podrían reaccionar con otros polímeros presentes produciendo copolímeros de bloque o de injerto; esta mezcla se conoce como mecano-química. (Rico, 1993)

La mayor parte de las mezclas poliméricas resultan ser inmiscibles; sus características son la opacidad, múltiples transiciones térmicas y propiedades mecánicas muy pobres. Existen otros tipos de mezclas llamadas mezclas miscibles termodinámicamente, su característica principal son una única fase amorfa única de transición térmica y una única transición térmica; por lo general estas mezclas tienen propiedades físicas mayores a la de sus componentes. (Rico, 1993)

Miscibilidad: Una mezcla miscible se define como una mezcla homogénea que presenta propiedades homogéneas a nivel macroscópico, la homogeneidad en este caso se presenta con propiedades microscópicas como la transición vítrea y transparencia óptica. (Rico, 1993)

Por ejemplo; dos polímeros fundidos mezclados con una proporción del 50% a una temperatura de  $160^{\circ}\text{C}$  puede ser no miscible por su tamaño de dominio que resulta muy grande para representar miscibilidad y puede también poseer varias fases a esta temperatura y composición; pero al bajar la temperatura a la mitad por ejemplo la mezcla puede variar a tal punto en el cual muestre una composición homogénea transparente de una sola fase. (Gómez, 2012)

Hablando de propiedades microscópicas, las mezclas miscibles son aquellas que exhiben una transición vítrea única. (Rico, 1993)

## 7.2 PROCESO DE MEZCLADO

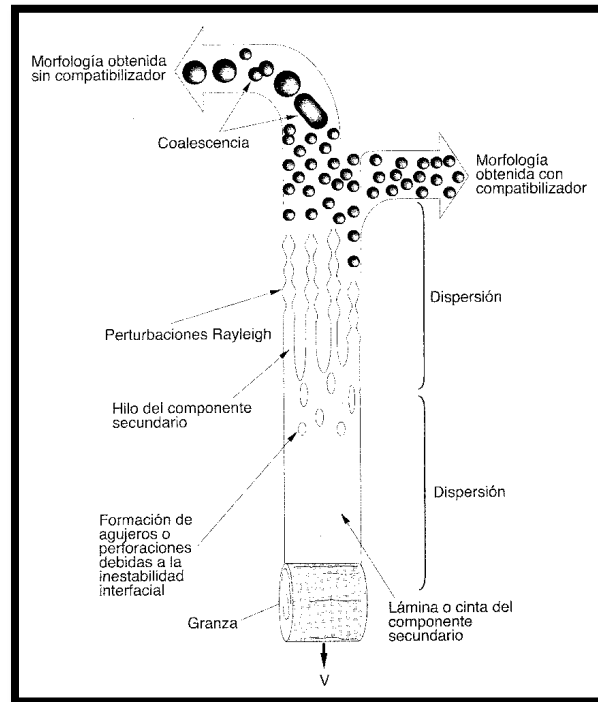
Hoy en día, la mayoría de los procesos comprenden alguna clase de mezclado. Parte integral de una extrusora de tornillo es una zona de mezclado. De hecho, la mayoría de las extrusoras de doble tornillo son usadas principalmente como dispositivo de mezcla. De forma similar, la unidad plastificante de una máquina de moldeo por inyección tiene a menudo una zona de mezclado. Esto es importante porque la calidad del producto terminado en casi todos los procesos depende en parte de qué tan bien fue mezclado el material. Tanto las propiedades del material como la capacidad del compuesto de ser conformado dependen en gran medida de la capacidad de la mezcla. Por lo tanto, un mejor entendimiento del proceso de mezclado ayuda a optimizar las condiciones de proceso y a mejorar la calidad de las piezas terminadas (Osswald, et al, 2010).

El proceso de mezclado o agregado de polímeros consiste en distribuir o dispersar un componente menor o secundario dentro de un componente mayor, que sirve como matriz. Puede pensarse que el componente mayor es la fase continua, y que los componentes menores son las fases distribuidas o dispersas en forma de pequeñas gotas, filamentos o aglomerados. (Osswald, et al, 2010)

Cuando se va a crear una mezcla de polímeros, siempre debe tenerse en mente que esa mezcla probablemente se volverá a fundir en el procesamiento subsiguiente o en el proceso de formado. Puede suceder, por ejemplo, que un sistema rápidamente enfriado, que se congela como una mezcla homogénea, al volverse a calentar posteriormente se separe en fases a causa de la coalescencia. Para propósitos prácticos, una mezcla como esa no es procesable. Para evitar este problema, es común el uso de compatibilizantes, que son macromoléculas usadas para asegurar la compatibilidad en las capas límite entre las dos fases (Osswald, et al, 2010).

El mezclado puede ser distribuido o dispersivo. El desarrollo morfológico de mezclas de polímeros se determina por tres mecanismos competitivos: mezclado distributivo, mezclado disperso y coalescencia. La Ilustración 7 presenta un modelo, que ayuda a visualizar los mecanismos que gobiernan el desarrollo morfológico en mezclas poliméricas. El proceso empieza cuando una delgada cinta de polímeros se funde y sale del gránulo. A medida que la cinta se estira, la tensión superficial hace que se

desgarre y forme hebras. Estas hebras se estiran y su radio se reduce, hasta que la tensión superficial se vuelve tan significativa que conduce a perturbaciones de Rayleigh. Estas causan que las hebras se rompan en pequeñas gotas (Osswald, et all, 2010).



**Ilustración 7 Mecanismo de desarrollo morfológico en mezclas poliméricas.**

Fuente: (Osswald, et all, 2010)

Hay tres categorías de mezclas posibles:

- Mezclas homogéneas de polímeros miscibles
- Mezclas de una sola fase de polímeros parcialmente miscibles
- Mezclas multi-fase de polímeros inmiscibles



La Tabla 4 Incluye una lista de polímeros parcialmente compatibles, compatibles e incompatibles

<b>Mezclas de polímeros miscibles</b>	Caucho natural y polibutadieno Poliámidas (por ej. PA 6 y PA 66) Éter de polifelineno (PPE) y PS	
<b>Mezclas de polímeros parcialmente miscibles</b>	PE y PIB PP (5% PE en PP)	PE y PC y PBT
<b>Mezclas de polímeros inmiscibles</b>	PS/Mezclas PE PP/Mezclas PS	PA/Mezclas PE

**Tabla 4 Mezclas de polímeros compatibles, parcialmente compatibles e incompatibles**

Fuente: (Osswald, et all, 2010)

#### 7.2.1 Mezclado distributivo

El mezclado distributivo o laminar de líquidos compatibles se caracteriza por la distribución de las pequeñas gotas o fase secundaria dentro de la matriz. Esta distribución se alcanza porque el sistema se somete a grandes deformaciones, de manera que aumenta el área entre las dos (o más) fases existentes y disminuyen las dimensiones locales, o espesores de estricción, de la fase secundaria. (Osswald, et all, 2010)

#### 7.2.2 Mezclado dispersivo

El mezclado dispersivo en el procesamiento de polímeros consiste en romper una fase secundaria inmisible o un aglomerado de partículas sólidas y dispersarlas a través de la matriz. Aquí, la deformación impuesta no es tan importante como el esfuerzo aplicado, el cual causa que el sistema se desintegre. Por lo tanto, el tipo de flujo que haya dentro del mezclador tiene un papel preponderante en la desintegración de los aglomerados de partículas sólidas o de las pequeñas gotas de fluido en el momento de dispersarlas dentro del conjunto de la matriz. (Osswald, et all, 2010)

## 8. EXPERIMENTACIÓN

### 8.1 MEDICIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y FACTOR DE COMPACTACIÓN

El objetivo de este procedimiento fue medir la densidad aparente y el factor de empaquetamiento para las muestras de PP Aglutinado, PP Aglutinado (rafia) y PE Laminado (Escamas), materia prima que se utiliza actualmente en Maderpol S.A.S

#### 8.1.1 Densidad Aparente

La densidad aparente es el cociente entre la masa de un determinado material Sólido (ya sea granulado, polvo, espumado) por unidad de volumen. Es decir cuánto ocupará dicho material considerando el volumen real debido a su morfología. Es útil para el diseño de tolvas y tanques de almacenaje y fines de logística (diseño de galpones para estiba de material, contenedores, etc.). (ASTM D1895-10)

#### 8.1.2 Factor de compactación

La relación entre el volumen que presenta una cantidad antes y después de ser moldeado. Equivale al inverso de la relación entre las densidades del material antes y después del moldeado (ASTM D1895-10)

Según el tipo de granulometría del material utilizado para determinar la densidad aparente y el factor de compactación, se diferencian tres métodos según la norma ASTM 1895 (NTC 955).

Método A: Se emplea para determinar la densidad aparente de materiales plásticos en forma de polvo o gránulos finos.

Método B: Se emplea para determinar la densidad aparente de materiales plásticos granulares, gruesos, cúbicos, cilíndricos o de cualquier otra forma que presentan dificultad para fluir a través de un cono.

Método C: Se emplea para determinar la densidad aparente de materiales plásticos en forma de escamas gruesas, virutas o trozos que no pasan a través de los embudos del método A y método B.

En este caso se emplearan los métodos B y C para el PP aglutinado y de fibra (gránulos) y para el PE laminado (escamas) respectivamente. (ASTM D1895-10)

### 8.1.3 Equipos e Instrumentos



**Ilustración 8 Dispositivos para el ensayo de densidad aparente y factor de empaquetamiento.**

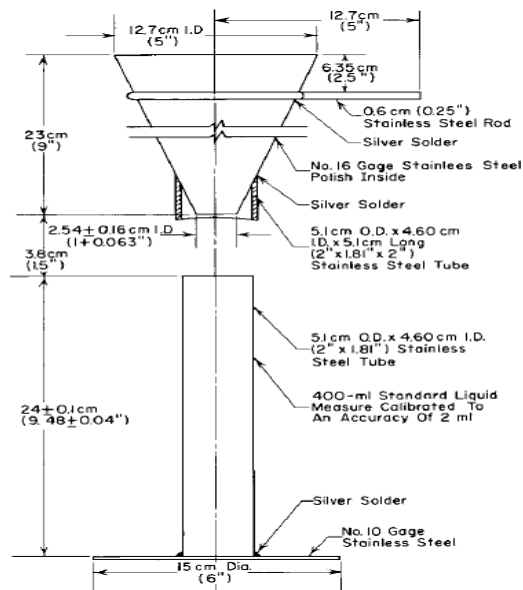
Fuente: (ASTM D1895-10) Dispositivo fabricado por grupo de procesamiento de plásticos.

Método De Ensayo B para PP Aglutinado y PP de fibra (material en gránulos gruesos)  
Se montó el cono B en el soporte como se indica en la Ilustración 9, luego se tapó la parte inferior del cono B para asegurar que no haya pérdida de material de la muestra.

El cilindro B con capacidad  $400 \text{ cm}^3$  se ubicó exactamente debajo del cono B a una distancia de 38 cm y se midieron  $500 \pm 20 \text{ cm}^3$  de la muestra de las dos clases de PP (gránulos gruesos) ver Ilustración 10. Se pesó el cilindro B vacío, el cual pesó 896,5g. Se tomaron medidas del cilindro para calcular su volumen el cual era  $400 \text{ cm}^3$  y se vertieron las muestras en el cono B luego se quitó rápidamente la tapa inferior del cono para que las muestras caigan libremente al interior del cilindro. Como hubo interrupción del flujo, se empujó suavemente con una varilla. Cuando se depositó todo

el material dentro del cilindro, se empleó una espátula para que el material quedara a nivel del borde superior del cilindro (enrasado).

Por último se pesó el cilindro con el material de las muestras y se calculó el peso del material y su densidad, ver Ilustración 11. Este procedimiento se realizó 3 veces con cada muestra y aquí están los resultados. (ASTM D1895-10)



**Ilustración 9 Método B. Dispositivo para realizar medición de densidad aparente y factor de empaquetamiento**

Fuente: NORMA TECNICA (ASTM D1895-10) Montaje para realizar medición de densidad aparente.



**Ilustración 10** Peso de 500cm<sup>3</sup> del primer material.

Fuente: Ospina septiembre 2013



**Ilustración 11** Peso del cilindro con el material.

Fuente: Ospina Septiembre 2013

#### 8.1.4 Cálculos

El modelo de cálculo empleado para la medición de densidad aparente y factor de empaquetamiento es:

- Cálculo de la Densidad Aparente

$$V = HA$$

$$D = \frac{P}{V}$$

Siendo:

V: Volumen ocupado por el material plástico en el cilindro en  $\text{cm}^3$

D: Densidad aparente en  $\text{g}/\text{cm}^3$

H: Altura del material plástico dentro del cilindro, en cm

A: Área interna de la sección transversal del cilindro, en  $\text{cm}^2$

P: Peso del material en el cilindro en g.

- Cálculos Factor De Compactación

$$FC = D_2 / D_1$$

D2: Densidad el material antes de ser compactado

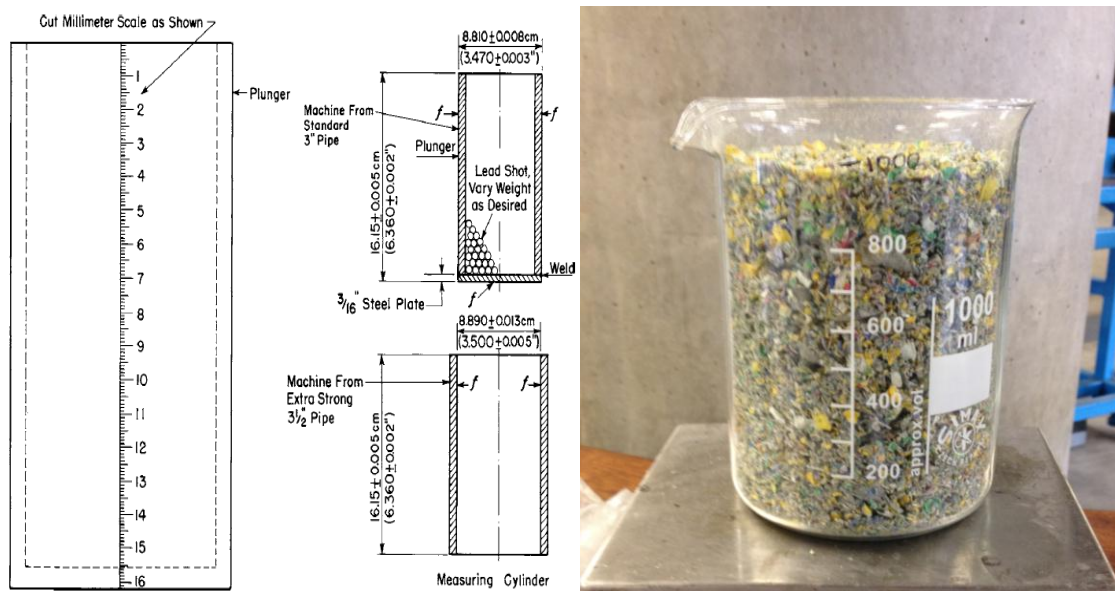
D1: Densidad del material después de ser compactado

FC: Factor de Compactación

Si el material compactado toma una forma geométrica conocida, en este caso la forma del cilindro, se calcula su volumen y luego se calcula la densidad dividiendo la masa sobre el volumen, en  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

## Método De Ensayo C (material en escamas gruesas)

Se monta el cilindro medidor en el soporte, se pesan 60 g +/- 0.2 g del PE luego se deja caer lentamente la muestra del PE dentro del cilindro medidor asegurando que quede distribuida en forma uniforme, se mide la altura a la cual queda el material, se toma un cronómetro y se deja caer el pistón dentro del cilindro, cuando pasa un minuto de caído el pistón se toma la altura final de la muestra del PE sin retirar el pistón pisador y para finalizar con el ensayo se repite el procedimiento 2 veces más. (ASTM D1895-10)



**Ilustración 12 Método C para material en polvo o escamas**

Fuente: (ASTM D1895-10) y Ospina septiembre 2013

## 8.2 ENSAYO PARA DETERMINAR GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

Este ensayo determina la composición granulométrica por tamizado y en esta oportunidad se realizará para PP granulado, PE laminado y Rafia o cabuya (PP).

### 8.2.1 Materiales y equipos

Se utilizó una balanza con precisión de 0.01g para medir la masa de los materiales a tamizar, utilizaremos los tamices de  $\frac{3}{4}$  de pulgada  $\frac{1}{2}$  pulgada  $\frac{3}{8}$  de pulgada, el tamiz número 4, 8, 10, 16, 30, 40, 50, 100 y 200; y algunos recipientes y bandejas para cuartear y pesar los materiales. (NTC 1522, 1979)

### 8.2.2 Procedimiento

Primero se esparce el material y se cuartea de acuerdo a la norma ICONTEC NTC1522 dividiéndose la muestra en 4 partes como se muestra en la Ilustración 13 y tomando pequeñas porciones de cada parte hasta que se alcance una cantidad de 500g. Esto con el fin de tomar una muestra proporcionada y homogénea; el tamaño de la muestra se sigue de acuerdo a la norma dependiendo del tamaño máximo de las partículas de estos materiales.

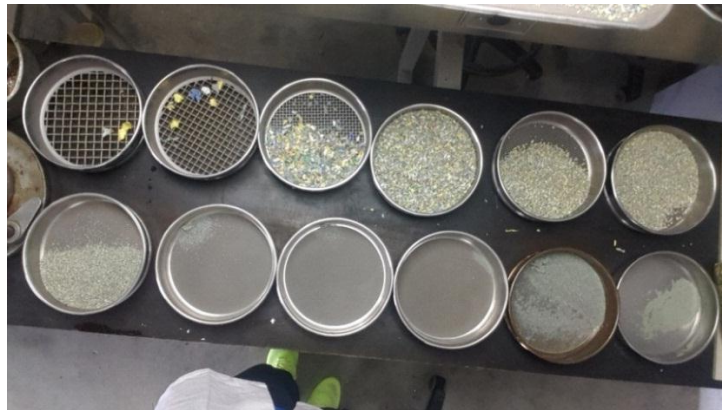
Después de tener la muestra, el material se suministra por el primer tamiz que viene organizado desde el número más pequeño en la parte superior hasta el más grande en la parte inferior. En este caso se empieza por el PP granulado con el tamiz de  $\frac{3}{8}$  de pulgada hasta el tamiz #100, se tapan los tamices y se agita manualmente durante 10 a 12 minutos, luego de esto se destapan los tamices y se separan (ver Ilustración 14), se pesa el material retenido por cada tamiz y se registran los pesos. Para el PE laminado se usaron los tamices desde el  $\frac{1}{2}$  pulgada hasta el tamiz #200 y para la RAFIA se utilizaron los tamices desde el de  $\frac{3}{4}$  de pulgada hasta el tamiz #100. (NTC 1522, 1979)





**Ilustración 13 Cuarteo del material.**

Fuente: Ospina Marzo 2014

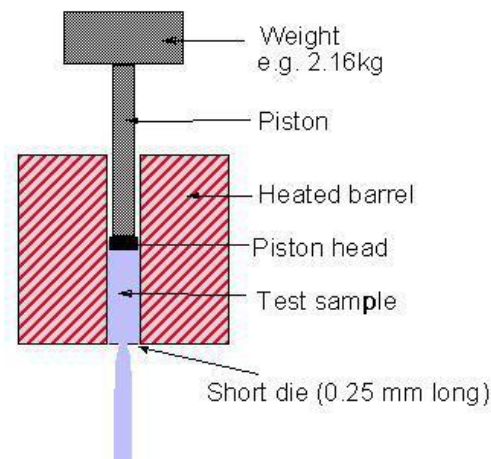


**Ilustración 14 Separación de tamices con material retenido en cada tamiz**

Fuente: Ospina Marzo 2014

### 8.3 ENSAYO MFI (INDICE DE FLUIDEZ)

El ensayo MFI determina la fluidez de un polímero cuando se hace pasar por un dado capilar con una presión y una temperatura determinada, se define como la cantidad de material en gramos que fluye por este dado en 10 minutos manteniendo la presión y la temperatura constante para determinar cómo se comporta el material bajo estas condiciones de proceso.



**Ilustración 15 Ensayo MFI (Medición del índice de fluidez).**

Fuente: (ASTM D1238)

El ensayo de MFI consiste en una pequeña cámara, un pistón y un material dentro de ella (ver Ilustración 15); las principales condiciones para depositar el material allí dentro son:

- Que el material tenga un tamaño de partícula adecuado.
- Material virgen (gránulos o pellets) o reciclado (escamas, crispetas, pellets o polvo).

La cámara posee un pequeño dado con una perforación de un diámetro muy pequeño y teniendo el material dentro de la cámara se busca que al incrementar una presión por medio de un pistón (carga en kilogramos fuerza) y al incrementar la temperatura de acuerdo a la norma y dependiendo del material, este material tiene a pasar por el dado o boquilla; de acá salen las probetas para las pruebas. (ASTM D1238)

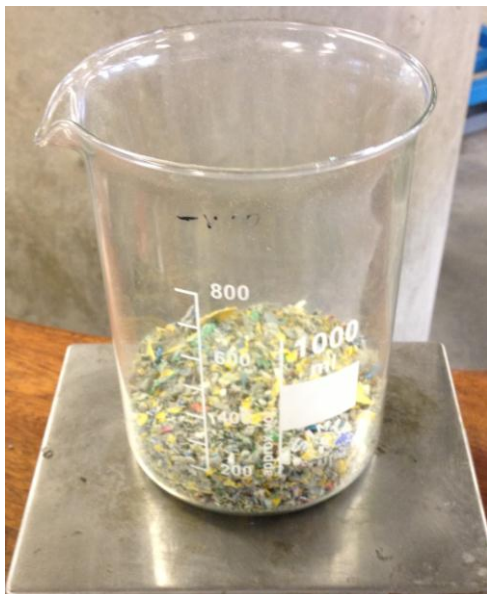
A diferencia de las pruebas de tensión, en donde se tiene la probeta lista y normalizada; en la prueba de MFI no hay una probeta como tal, en esta prueba se realizan las probetas de una manera diferente, haciendo cortes por unidad de tiempo; la probeta es la cantidad en gramos que pasa a través de la boquilla por unidad de tiempo, el corte se realiza cada 20 segundos y se realiza en 5 veces. (ASTM D1238)

Existe en esta prueba otro concepto muy importante llamado el MVI, este es el índice de fluidez volumétrica y se relaciona con la cantidad en  $\text{cm}^3$  que pasa durante 10 minutos y se obtiene con ayuda del equipo y con estos dos datos es posible hallar la densidad del material relacionando el dato gravimétrico dado por el MFI y el volumétrico dado por el MVI con la fórmula ya conocida de densidad la cual es

$$D = \frac{MFI\left(\frac{g}{10\text{ min}}\right)}{MVI\left(\frac{\text{cm}^3}{10\text{ min}}\right)}. \text{ (ASTM D1238)}$$

### 8.3.1 Materiales de Ensayo

Polietileno reciclado en escamas y polipropileno reciclado



**Ilustración 16. Polietileno reciclado en escamas y polipropileno reciclado.**

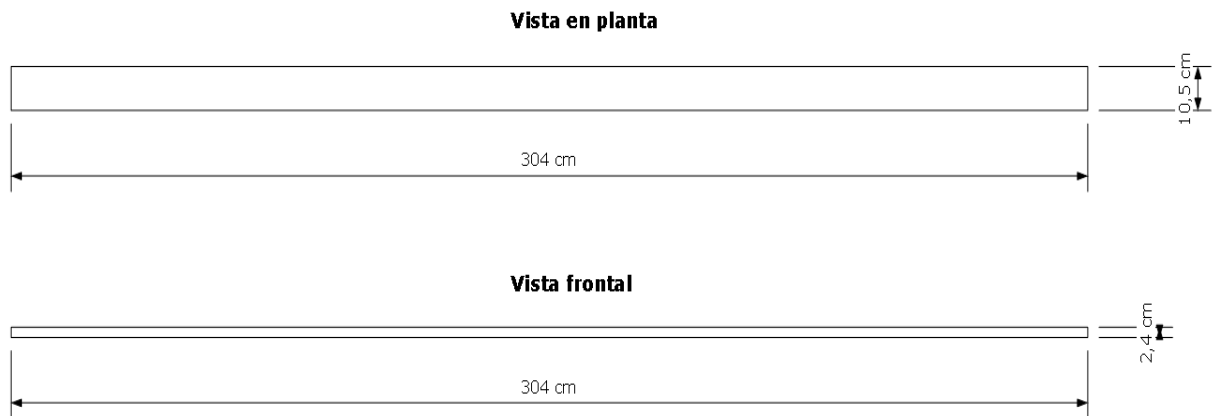
Fuente: Ospina Marzo 2014

## 9. ANALISIS EXPERIMENTAL

El diseño de experimentos para estas pruebas lo vamos a desarrollar en el software STATGRAPHICS, el cual es una gran herramienta para desarrollar diversos diseños de experimentos. Nuestro experimento consiste en un diseño Factorial  $2^k$ , En este caso con un nivel  $N=2$  y un factor  $K=3$ ; el nivel escogido es  $N=2$  por la variable geometría del perfil en la cual intervienen 2 geometrías diferentes de perfil. Y el factor elegido es el 3 ya que para cada geometría existen 3 mezclas diferentes, lo que da lugar a un diseño de experimentos factorial  $2^3$ , por sus 2 geometrías y sus 3 mezclas en cada una.

Las geometrías están así: geometría 1 ver Ilustración 17 y geometría 2 ver Ilustración 18:

Geometría 1 = tabla con medidas de 304cm de largo; 10,5cm de ancho y 2.4cm de espesor

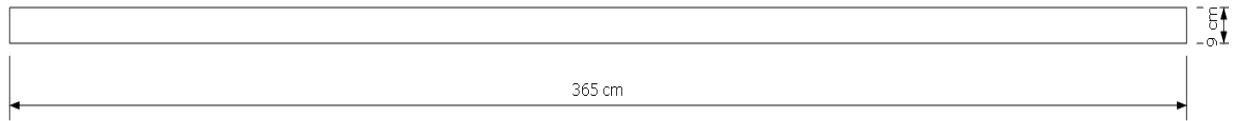


**Ilustración 17 Vistas de los perfiles de la tabla.**

Fuente: Ospina Marzo 2014

Geometría 2 = larguero con medidas de 243cm de largo; 9cm de ancho y 3,5cm de espesor

**Vista en planta**



**Vista frontal**



**Ilustración 18. Vistas de los perfiles del larguero**

Fuente: Ospina Marzo 2014

Como se habló anteriormente, para cada geometría hay 3 mezclas establecidas las cuales son las mismas para cada una:

Mezcla 1 = 70% PP y 30% PE

Mezcla 2 = 30% PP y 70% PE

Mezcla 3 = 50% PP y 50% PE

# RESULTADOS EN STATGRAPHICS:

**Asistente de Diseño de Experimentos**

Paso 1. Definir las variables respuesta a ser medidas

Nombre	Unidades	Analizar	Objetivo	Desvío	Impacto	Sensibilidad	Bajo	Alto
Resistencia	Media	Maximizar		3.0	Alto		30.0	70.0

Paso 2. Definir los factores experimentales que van a variar

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Bajo	Alto	Niveles
A.Mezcla 1		Continuo	Controlable	-1.0	1.0	
B.Mezcla 2		Continuo	Controlable	-1.0	1.0	
C.Mezcla 3		Continuo	Controlable	-1.0	1.0	

Paso 3. Selección del diseño experimental

Tipo de Factores	Diseño	Puntos Centrales	Punto Central	Diseño es	Número de Replicaciones	Total Ejecuciones
Factorial	Factorial	0	Colocación Aleatoria	Si	1	16

Total Bloques: 2, Error D.F.: 8

Número de muestras por ejecución: 1

Paso 4. Indicar el modelo inicial a ajustar a los resultados del experimento

Factores	Modelo	Coefficientes	Efectos excluidos
Proceso	cuadrático	8	

**Hoja de trabajo para DDE Madera Plástica.sgx**

Ejecución	Bloque	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Resistencia
1	1	-1.0	1.0	1.0	
2	1	1.0	1.0	1.0	
3	1	-1.0	-1.0	1.0	
4	1	-1.0	-1.0	-1.0	
5	1	1.0	-1.0	1.0	

**Asistente de Diseño de Experimentos**

Paso 1. Definir las variables respuesta a ser medidas

Nombre	Unidades	Analizar	Objetivo	Desvío	Impacto	Sensibilidad	Bajo	Alto
Resistencia	Media	Maximizar		3.0	Alto		30.0	70.0

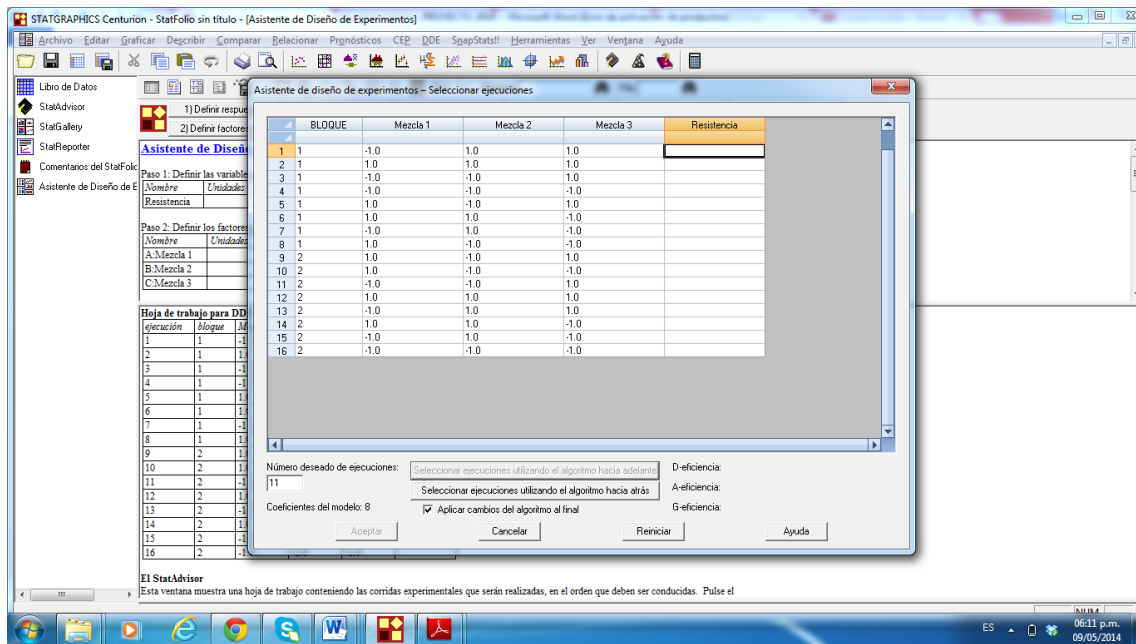
Paso 2. Definir los factores experimentales que van a variar

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Bajo	Alto	Niveles
A.Mezcla 1		Continuo	Controlable	-1.0	1.0	
B.Mezcla 2		Continuo	Controlable	-1.0	1.0	
C.Mezcla 3		Continuo	Controlable	-1.0	1.0	

**Hoja de trabajo para DDE Madera Plástica.sgx**

Ejecución	Bloque	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Resistencia
1	1	-1.0	1.0	1.0	
2	1	1.0	1.0	1.0	
3	1	-1.0	-1.0	1.0	
4	1	-1.0	-1.0	-1.0	
5	1	1.0	-1.0	1.0	
6	1	1.0	1.0	-1.0	
7	1	-1.0	1.0	-1.0	
8	1	1.0	-1.0	-1.0	
9	2	1.0	-1.0	1.0	
10	2	1.0	1.0	-1.0	
11	2	-1.0	-1.0	1.0	
12	2	1.0	1.0	1.0	
13	2	-1.0	1.0	1.0	
14	2	1.0	1.0	-1.0	
15	2	-1.0	1.0	-1.0	
16	2	-1.0	-1.0	-1.0	

El StatAdvisor  
Esta ventana muestra una hoja de trabajo conteniendo las corridas experimentales que serán realizadas, en el orden que deben ser conducidas. Pulse el



**Ilustración 19. Resultados en STATGRAPHICS**

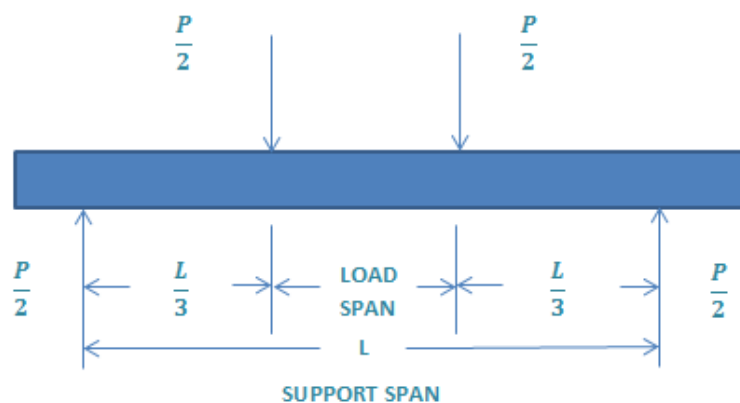
El diseño de experimentos nos sugiere realizar 3 mezclas con los diferentes porcentajes de los materiales, porcentajes los cuales ya fueron mostrados al inicio de este capítulo. Después de obtener estos porcentajes y habiéndose elaborado las probetas con dichas condiciones se deben evaluar con la prueba de tensión y entrar cada uno de los datos obtenidos en la matriz final arrojada por el programa para que este aleatoriamente nos sugiera la mejor combinación para maximizar la resistencia a la flexión que fue la variable a evaluar para este diseño de experimentos.

## 10. PRUEBAS MECANICAS

Uno de los objetivos de este proyecto es la conformación de perfiles para obtener probetas y evaluarlas bajo normas técnicas internacionales, en este caso la prueba que se realizó fue la prueba de flexión para madera plástica realizada bajo la norma técnica internacional “ASTM D6109 – 97 Standard test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic Lumber” este método sirve para determinar las propiedades de flexión de la madera plástica con secciones rectangulares o cuadradas (secciones cuadradas no aplican para esta tesis); es de aclarar que para este método no se pueden modificar las dimensiones de las probetas excepto en su longitud. (ASTM D6109-97)

Para esta prueba existen dos métodos, método A para probetas rectangulares y método B para probetas cuadradas, pero como se mencionó anteriormente, el método B para secciones cuadradas no aplica en este proyecto. (ASTM D6109-97)

El método para el test consiste en descansar la probeta o tabla en dos soportes y cargarla en dos puntos por dos narices de carga cada una a igual distancia del punto de soporte adyacente, la distancia entre estos dos puntos es de  $\frac{1}{3}$  entre el espacio de los soportes como se muestra en la Ilustración 20. (ASTM D6109-97)



**Ilustración 20. Aplicación de la carga para el ensayo**

Fuente: (ASTM D6109-97)



Área de la Sección Transversal	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Tabla	380	105	24
Larguero	505	90	35

**Tabla 5. Medidas de las probetas utilizadas en las pruebas**

Para este proyecto se tienen dos perfiles diferentes que encajan en el método A de perfiles rectangulares.

El primer perfil descansará en un espacio de soportes de 384 mm; este espacio se halló gracias a la norma que dicta un espacio de soportes de 16 veces la medida más pequeña de la tabla que en este caso fue de 24 mm.

En esta prueba la probeta es deflectada hasta la ruptura o hasta una deformación del 3%, lo que ocurriera primero.

Para hallar la deflexión del 3% para el caso en que la probeta no sufra ruptura, se usó la fórmula de deflexión que dicta la norma.

$$D = 0.21rL^2/d$$

D = Deflexión en el espacio medio

r = Deformación del 3%

d = Espesor de la probeta

Usando la fórmula el resultado arrojado fue de 26,05mm los cuales sugieren que si la probeta no sufre alguna ruptura se debe tomar el valor de la carga hasta 26,05mm de deflexión.

Para el otro perfil el cual tenía un espesor de 35mm, el espacio entre apoyos fue de 560mm

El número de probetas a utilizar son 5 probetas por cada prueba. La longitud de las probetas fueron de 380mm y 505mm respectivamente, la longitud se halló respetando la medida de un 10% de la longitud entre apoyos como mínimo para cada lado de la probeta después de los apoyos los apoyos.

<b>Mezclas</b>	<b>Tabla</b>	<b>Larguero</b>
<b>Mezcla 1</b>	PE50% - PP50%	PE50% - PP50%
<b>Mezcla 2</b>	PE30% - PP70%	PE30% - PP70%
<b>Mezcla 3</b>	PE70% - PP30%	PE70% - PP30%

**Tabla 6. Composición de las mezclas para tablas y largueros**

Se realizaron en total 30 ensayos de flexión de la siguiente manera:

Hubo 2 geometrías con 3 mezclas diferentes por cada geometría (6 combinaciones en total); para cumplir con la norma cada prueba se debe evaluar 5 veces, entonces se realizan 5 pruebas por 3 mezclas por 2 geometrías diferentes, lo cual suma un total de 30 pruebas; 15 pruebas por cada geometría.

## 11. ANALISIS DE RESULTADOS

### 11.1 RESULTADOS DENSIDAD APARENTE

Las siguientes tablas muestran los datos del peso del PP aglutinado y el PP de fibra y los resultados después de las pruebas de densidad aparente para cada una de las muestras.

Estas pruebas fueron realizadas con el método B de densidad aparente para muestras granulares o gruesas.

<b>Peso del Material</b>	<b>g.</b>
PP Fibra (1)	143.7
PP Fibra (2)	148
PP Fibra (3)	142.4
PP Aglutinado (1)	137.5
PP Aglutinado (2)	139.8
PP Aglutinado (3)	130.9

**Tabla 7. Peso de las 3 muestras de PP de fibra y PP aglutinado**

	<b>PP Fibra</b>	<b>PP Aglutinado</b>
Volumen del Material $\text{Cm}^3$	400	400
Densidad aparente del Material $\text{g/cm}^3$ (1)	0.36	0.34
Densidad aparente del Material $\text{g/cm}^3$ (2)	0.37	0.35
Densidad aparente del Material $\text{g/cm}^3$ (3)	0.36	0.33

**Tabla 8. Resultados de la prueba de densidad para los dos PP**

La densidad de estos dos tipos de PP es baja debido a los grandes espacios vacíos que quedan entre los gránulos cuando el material está ocupando todo el cilindro.

La siguiente tabla muestra los pesos del material PE laminado antes de realizar el procedimiento del factor de empaquetamiento.

<b>Peso del Material</b>	<b>g.</b>
PE Laminado (1)	118.4
PE Laminado (2)	120.6
PE Laminado (3)	117.8

**Tabla 9. Peso de las 3 muestras de PE Laminado.**

Las siguientes 3 tablas son los datos del procedimiento para la prueba de factor de empaquetamiento realizado 3 veces para el PE laminado mediante el método C.

<b>Medida antes de compactar (cm)</b>	11.6
<b>Medida compactada (cm)</b>	11.5
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.01

**Tabla 10. Resultados de la prueba con el método C (Primera muestra)**

<b>Medida antes de compactar (cm)</b>	11.8
<b>Medida compactada (cm)</b>	11.45
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.03

**Tabla 11. Resultados de la prueba con el método C (Segunda muestra)**

<b>Medida antes de compactar (cm)</b>	11.8
<b>Medida compactada (cm)</b>	11.4
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.04

**Tabla 12. resultados de la prueba con el método C (Tercera muestra)**

A diferencia de la densidad de los PP anteriores, este PE laminado posee más alta densidad debido a su forma de escamas o polvo fino ya que deja menos espacios entre granos y su compactación es poca.

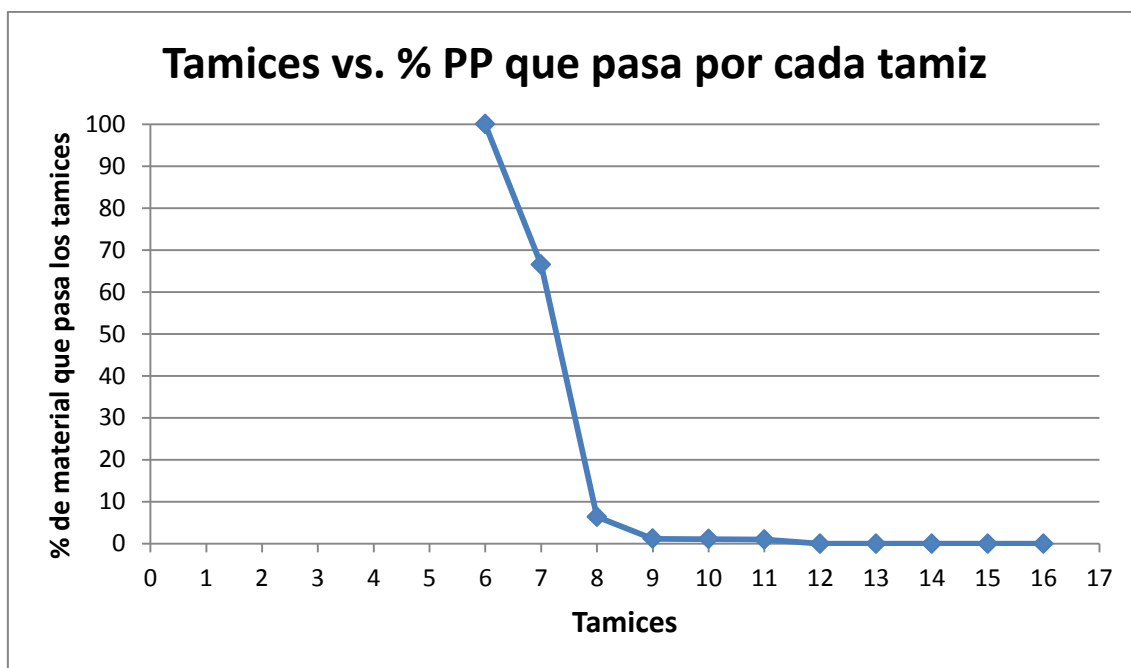
## 11.2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO

Las siguientes son las tablas y graficas que muestran los registros de los resultados de la prueba de granulometría por tamizado de cada uno de los materiales usados.

Tamiz Icontec	Masa Retenida g.	%Retenido	%pasa
9.51mm (3/8 pulg)	167,5	33,5	66,5
4.76mm (No. 4)	300,7	60,1	6,4
2.38mm (No. 8)	26	5,2	1.2
2mm (No.10)	0,4	0,1	1.1
1.19mm (No.16)	0,5	0,1	1
(No. 30)	0,1	0	0
(No.40)	0,1	0	0
(No.50)	0,1	0	0
(No.100)	0,1	0	0
(No.200)	0	0	0

**Tabla 13. Registro de datos para el PP granulado**

**OBSERVACIONES:** Se observa que al terminar todo el material hay una retención de basura o lana que se recogieron en los tamices 16 y 30; de igual manera todo esto se tomó en cuenta para el peso del material.



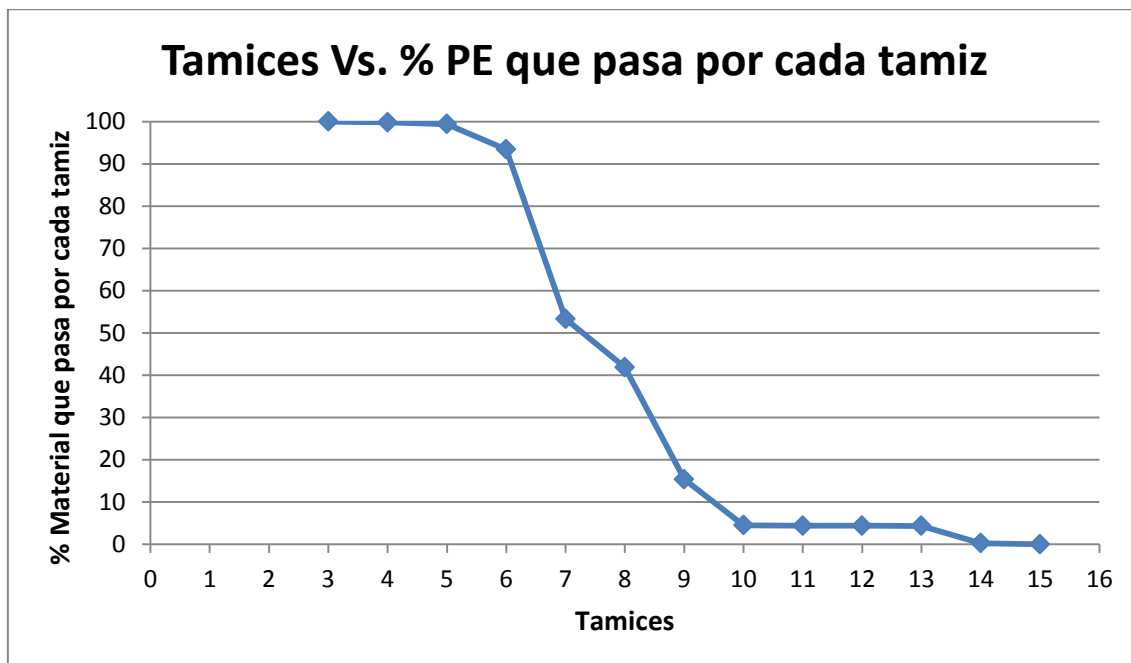
**Ilustración 21. Gráfica del porcentaje de PP granulado que pasa los tamices**

En este ensayo con el PP granulado es evidente que el tamaño de grano lo ubicamos entre los tamices #4 y el tamiz de  $\frac{3}{8}$  de pulgada ya que en estos tamices fue donde hubo mayor cantidad de material retenido.

Tamiz Icontec	Masa Retenida g.	%Retenido	%pasa
12.7mm (1/2 pulg)	0,9	0,2	99,8
9.51mm (3/8 pulg)	1,9	0,4	99,4
4.76mm (No. 4)	30	6	93,4
2.38mm (No. 8)	200,4	40,1	53,3
2mm (No.10)	57	11,4	41,9
1.19mm (No.16)	132,5	26,5	15,4
(No. 30)	54,5	10,9	4,5
(No.40)	0,4	0,08	4,42
(No.50)	0,1	0,02	4,4
(No.100)	0,1	0,02	4,38
(No.200)	20,5	4,1	0,28
Recolector	1,7	0,34	0

**Tabla 14. Registro de datos para el PE laminado**

**OBSERVACIONES:** Se observó en la malla #50 una basura o lana y se observó en el recolector y en las 2 últimas mayas (100 y 200) un cambio de material muy fino que puede ser polvo o impurezas del material.



**Ilustración 22. Gráfica del porcentaje de PE Laminado que pasa los tamices**

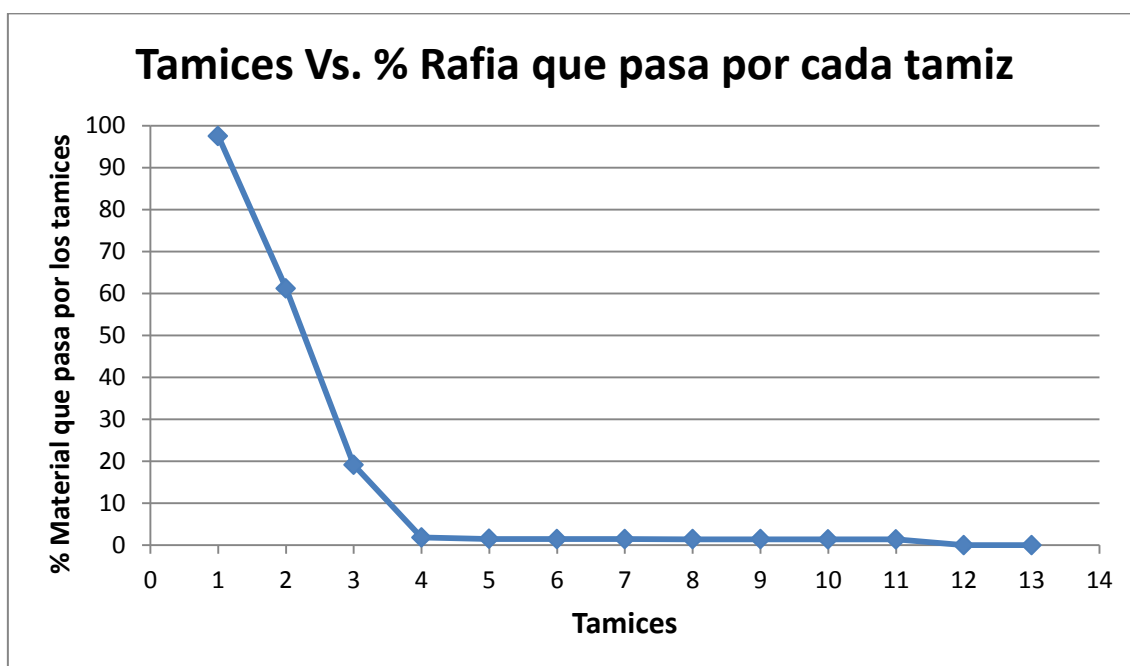
Esta muestra con el PE laminado es mucho más variable que la anterior ya que el tamaño de los granos no es muy constante y varían muchos unos tamaños con otros, la masa retenida se retuvo entre los tamices # 30 y numero # 4, lo cual es muy difícil establecer un rango de tamaño determinado.

Tamiz Icontec	Masa Retenida g.	%Retenido	%pasa
19mm (3/4 pulg)	12,4	2,48	97,52
12.7mm (1/2 pulg)	181,6	36,32	61,2
9.51mm (3/8 pulg)	210,3	42,06	19,14
4.76mm (No. 4)	86,6	17,32	1,82
2.38mm (No. 8)	1,7	0,34	1,48
2mm (No.10)	0,1	0,02	1,46
1.19mm (No.16)	0,1	0,02	1,44

Tamiz Icontec	Masa Retenida g.	%Retenido	%pasa
(No. 30)	0,1	0,02	1,42
(No.40)	0,1	0,02	1,40
(No.50)	0,1	0,02	1,38
(No.100)	0,1	0,02	1,36
(No.200)	0	0	0
Recolector	0	0	0

**Tabla 15. Registro de datos para la Rafia**

**OBSERVACIONES:** En la primera malla (3/4pulg) quedaron solo 4 partículas con un peso total de 12,4g. En el tamiz número 8 se observó que las partículas tienen la geometría propia de la cabuya o rafia, son alargadas y no están aglutinadas. En la malla número 100 se observó material pero quedan dudas si es polvo o impureza.



**Ilustración 23. Gráfica del porcentaje de Rafia que pasa los tamices.**

En este último ensayo se deja ver que el tamaño de grano de este PP de rafia y el del PP granulado son un poco más parecidos ya que el rango de masa retenida está casi entre los mismos tamices a diferencia que en este último la rafia amplía más su tamaño desde el tamiz # 4 hasta el tamiz de 1/2 pulgada.



### 11.3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE INDICE DE FLUIDEZ (MFI)

#### Resultados del Ensayo (Expedidos por el ICIPC):

Este ensayo fue realizado en el ICIPC bajo los estándares de la norma ASTM D1238 las fechas 2 de octubre de 2013 y 26 de Mayo de 2014 respectivamente; las condiciones estan descritas en las siguientes tablas.

Las siguientes son las condiciones bajo las cuales se realizaron los ensayos con cada uno de los materiales usados.

Temperatura de ensayo (°C)	190
Carga aplicada (kg)	2,16
Tiempo de fundido (min)	4
Longitud de medida (mm)	6.35

Tabla 16. Condiciones del ensayo para el PE en escamas reciclado

Temperatura de ensayo (°C)	230
Carga aplicada (kg)	2,16
Tiempo de fundido (min)	2
Longitud de medida (mm)	25.4

Tabla 17. Condiciones del ensayo para el PP granulado reciclado

Los siguientes son los resultados del ensayo MFI realizado en el ICIPC con los dos materiales usados.

Característica	MFR (g/10min)	MVR (cm <sup>3</sup> /10min)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Medición 1	0,15	0,19	0,80
Medición 2	0,16	0,20	0,79
Medición 3	0,16	0,21	0,79
Promedio	0,16	0,20	0,79
Desviación estándar	0,01	0,01	0,01

Tabla 18. Resultados del ensayo MFI para el PE en escamas reciclado

Característica	MFR (g/10min)	MVR (cm <sup>3</sup> /10min)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Medición 1	6.96	8,08	0,86
Medición 2	6.89	8,12	0,85
Medición 3	6,77	8,37	0,81
Promedio	6,87	8,19	0,84
Desviación estándar	0,10	0,15	0,03

**Tabla 19. Resultados del Ensayo MFI para el PP granulado reciclado**

#### 11.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXION

A continuación se presenta el análisis de los resultados de las pruebas de flexión realizadas en el laboratorio de la universidad EAFIT con la maquina universal

La siguiente tabla muestra los porcentajes de los materiales en las mezclas por cada una de las geometrías usadas.

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Geometría 1	70%PP y 30%PE	30%PP y 70%PE	50%PP y 50%PE
Geometría 2	70%PP y 30%PE	30%PP y 70%PE	50%PP y 50%PE

**Tabla 20. Tabla de mezclas y geometrías de perfiles**

Los resultados que arroja el ensayo después de hacer cada prueba de flexión son resultados de fuerza en Newton con las gráficas de fuerza vs desplazamiento que está anexa a esta investigación; después de obtener estos resultados se procede a calcular los esfuerzos de flexión para cada una de las pruebas y su grafica de esfuerzo vs deformación.

Los siguientes son los resultados de la prueba para las tablas y los largueros, estos resultados son expedidos por la máquina y se dan en fuerza en Newton (N) los cuales son valores máximos de resistencia a la flexión de los perfiles antes de la ruptura o en

su deflexión máxima; también se muestra en la tabla el esfuerzo máximo de cada perfil en mega pascales (MPa) calculado con la fórmula de flexión expuesta más adelante.

En este caso no se evaluaron los blancos, los cuales son las mezclas con el 100% de PE y 0% de PP y viceversa, ya que por políticas de la empresa este tipo de pruebas no se realizan para evitar riesgos en la moldería y evitar que se quede atascado el material dentro del molde.

Tabla	Composición	Carga (N)	Esfuerzo (MPa)
1	PP(50%);PE(50%)	4008	30.98
2	PP(50%);PE(50%)	3810	29.45
3	PP(50%);PE(50%)	3944	30.49
4	PP(50%);PE(50%)	3668	28.35
5	PP(50%);PE(50%)	3523	27.23
6	PP(70%);PE(30%)	4085	31.58
7	PP(70%);PE(30%)	4236	32.74
8	PP(70%);PE(30%)	4367	33.76
9	PP(70%);PE(30%)	4342	33.56
10	PP(70%);PE(30%)	4422	34.18
11	PP(30%);PE(70%)	3033	23.45
12	PP(30%);PE(70%)	3460	26.75
13	PP(30%);PE(70%)	3838	29.67
14	PP(30%);PE(70%)	3985	30.80
15	PP(30%);PE(70%)	3969	30.68

**Tabla 21. Resultados de las pruebas de Flexión para tablas.**

Larguero	Composición	Carga (N)	Esfuerzo (MPa)
1	PP(50%);PE(50%)	4136	27.90
2	PP(50%);PE(50%)	4270	28.81
3	PP(50%);PE(50%)	4364	29.44
4	PP(50%);PE(50%)	4460	30.09

Larguero	Composición	Carga (N)	Esfuerzo (MPa)
5	PP(50%);PE(50%)	4749	32.04
6	PP(70%);PE(30%)	4980	33.60
7	PP(70%);PE(30%)	4800	32.38
8	PP(70%);PE(30%)	4880	32.92
9	PP(70%);PE(30%)	5660	38.19
10	PP(70%);PE(30%)	5560	37.51
11	PP(30%);PE(70%)	3680	24.83
12	PP(30%);PE(70%)	3560	24.02
13	PP(30%);PE(70%)	3560	24.02
14	PP(30%);PE(70%)	4360	29.42
15	PP(30%);PE(70%)	4320	29.15

**Tabla 22. Resultados de las pruebas de Flexión para largueros**

Para estos esfuerzos calculados en las tablas anteriores se utilizó la fórmula a continuación para esfuerzos de flexión:

$$S = PL/bd^2$$

Dónde:

S = Esfuerzo en las fibras exteriores dentro del espacio entre apoyos (MPa)

P = Carga en el punto de apoyo (N)

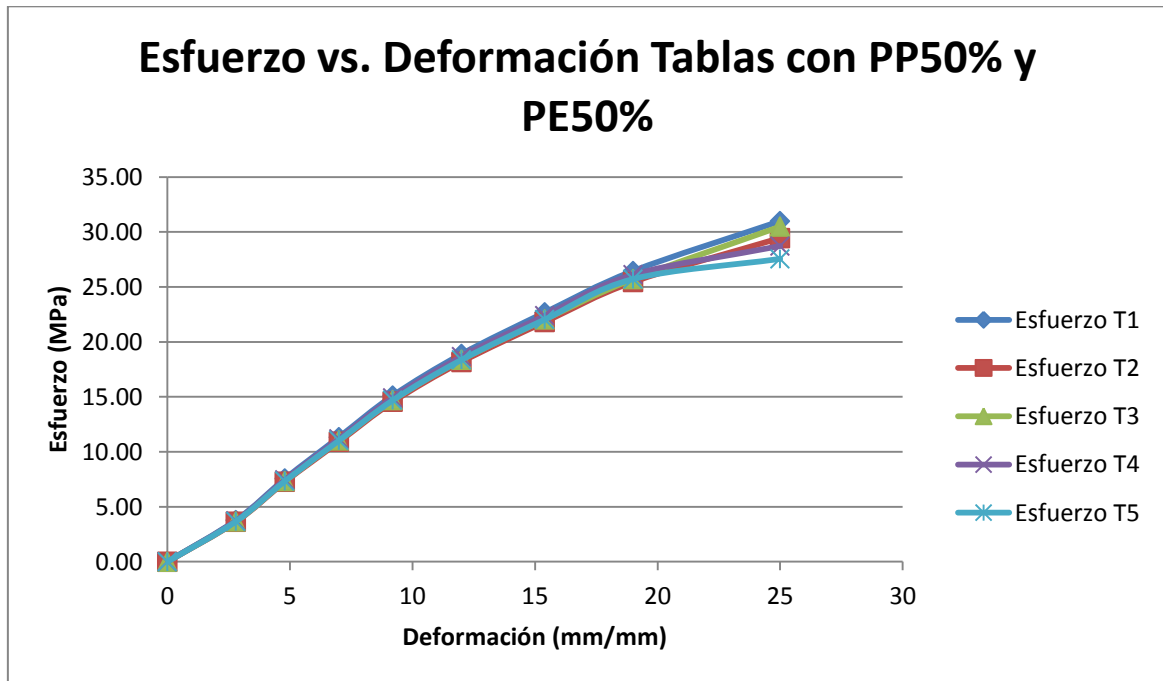
L = Espacio entre apoyos (mm)

b = Ancho de la viga (mm)

d = Espesor de la viga (mm)

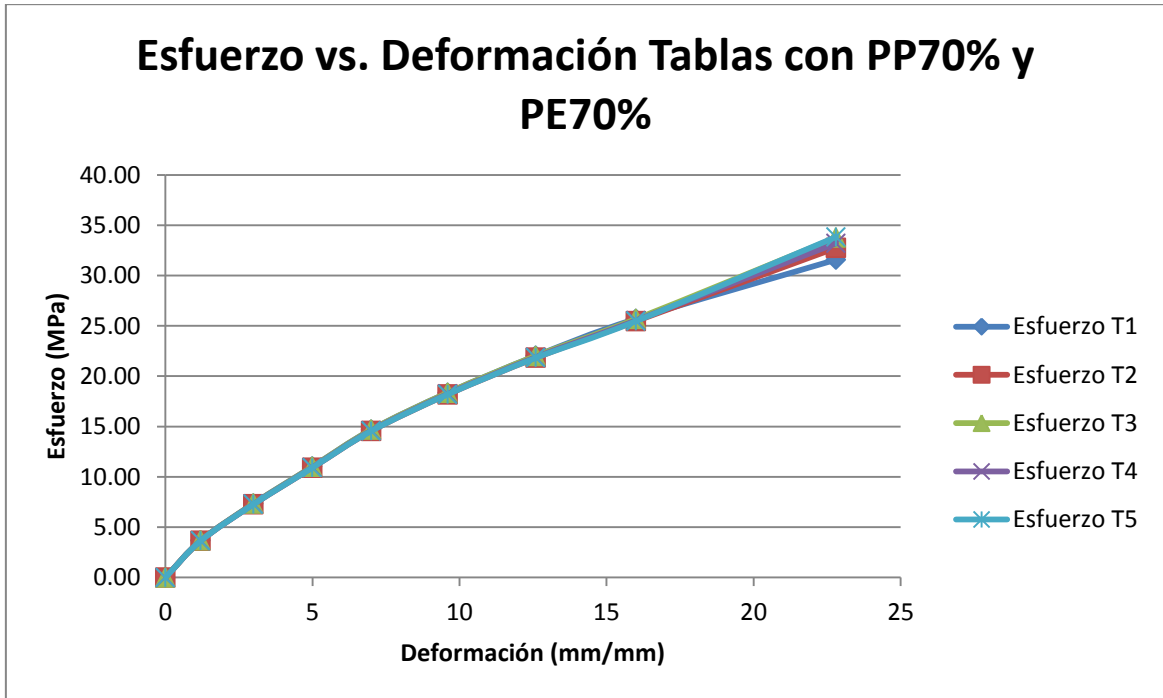
Antes de iniciar con el análisis de las gráficas de esfuerzo vs deformación es de aclarar que ya se tenía un pronóstico general para los resultados del ensayo de flexión debido a lo que ya se conoce de las propiedades mecánicas de los dos polímeros por separado; se pronosticaba que el perfil que tuviera mayor porcentaje de PP granulado sería el que más resistiera fuerza en el ensayo con la máquina universal para ensayos de flexión. Veamos cuáles son los resultados numéricos en las gráficas que se muestran a continuación:

A continuación se presentan las gráficas de esfuerzo deformación para las 3 mezclas de tablas y largueros.



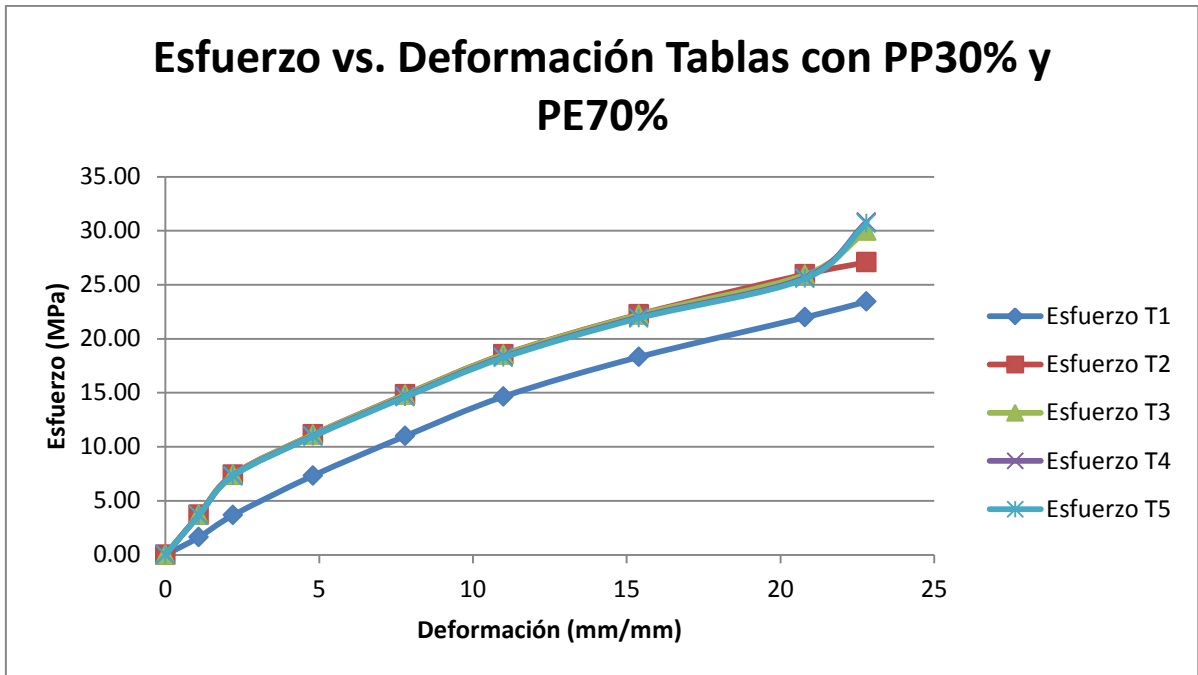
**Ilustración 24. Esfuerzo vs deformación Tablas con PP50% y PE50%**

En el ensayo anterior en la Ilustración 24 se observa en el esfuerzo soportado por el perfil, un rango de valores entre los 27,2 y 31,9 MPa para los cuales ninguno de estos valores dio pie a la ruptura de ningún perfil de ensayo.



**Ilustración 25. Esfuerzo vs deformación Tablas con PP70% y PE30%**

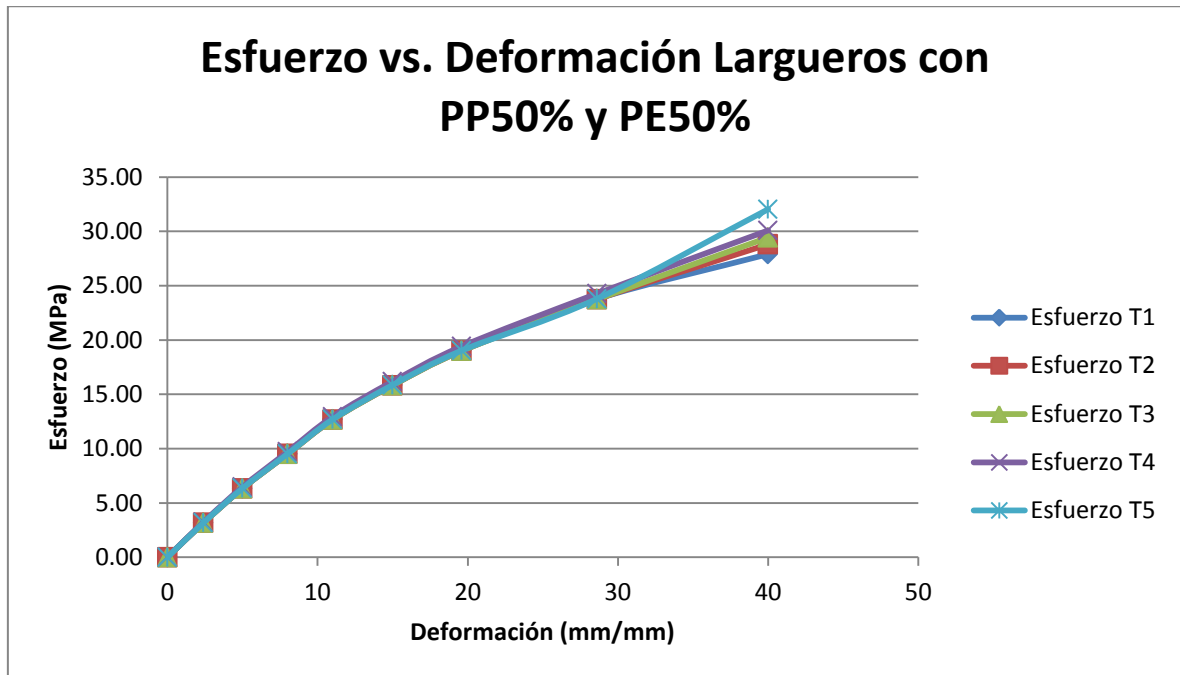
En la Ilustración 25 se ve claramente el aumento del esfuerzo de flexión dejando un rango de valores de 31,6 a 34,2 Mpa; tampoco hubo ruptura en ninguno de los perfiles y confirmamos el pronóstico del mayor esfuerzo soportado por el perfil que tiene mayor concentración de PP analizando que en este ensayo el perfil que menos soportó fuerza tiene un valor de esfuerzo mayor comparado con el perfil que más soportó fuerza en el ensayo de las concentraciones de materiales de 50%PP y 50%PE



**Ilustración 26. Esfuerzo vs deformación Tablas con PP30% y PE70%**

En este último ensayo para las tablas con mayor porcentaje de PE en la mezcla vemos un comportamiento de esfuerzo mayor de lo esperado donde el rango estuvo entre 23,5 y 30,8 MPa; aunque no estuvo muy alejado de lo esperado si es de anotar que tuvo un comportamiento muy parecido al primer ensayo donde la mezcla estaba repartida por mitades.

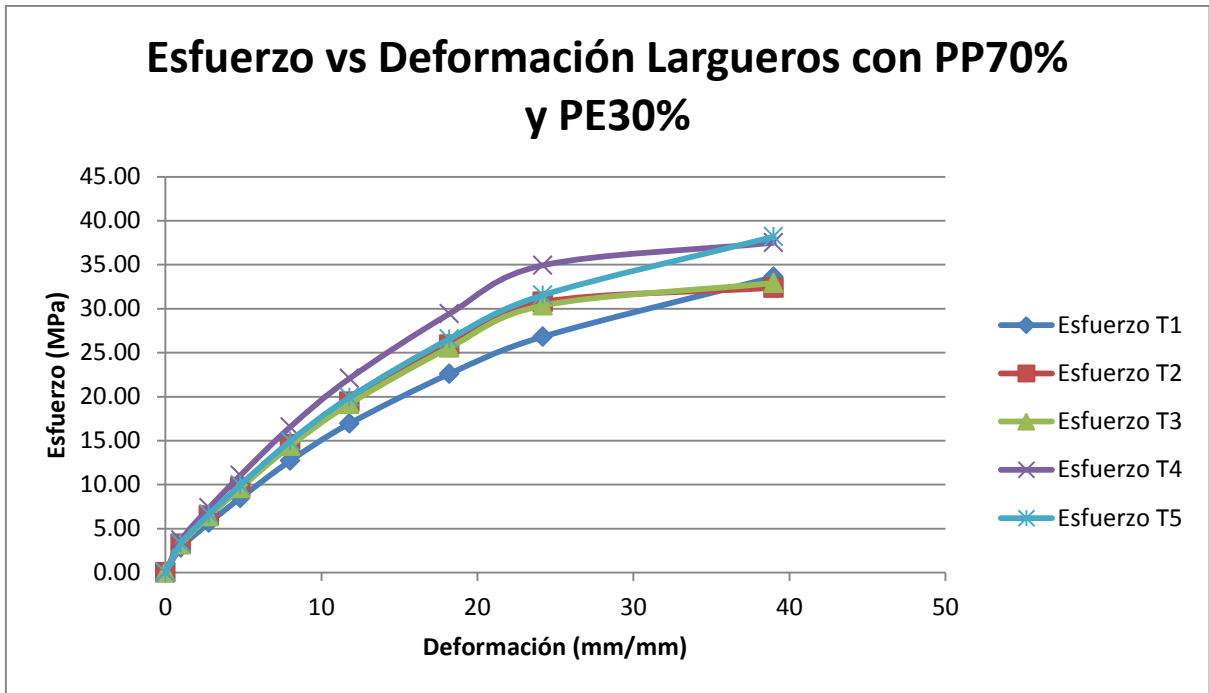
Para el ensayo con los largueros se tuvo la misma apreciación en cuanto a lo pronosticado para la mezcla en las tablas ya que contamos con los mismos porcentajes de mezcla; se esperaba que los mayores valores de esfuerzo estuvieran en las muestras que contenían mayor porcentaje de PP.



**Ilustración 27. Esfuerzo vs deformación Largueros con PP50% y PE50%**

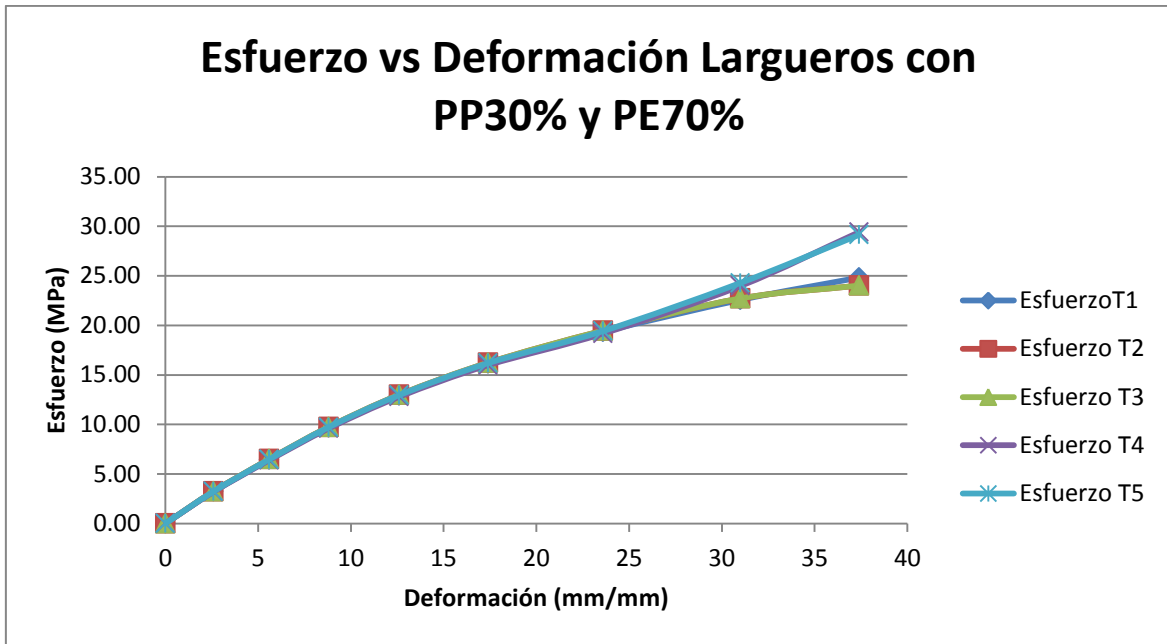
En el ensayo de la Ilustración 27 el rango de valores estuvo entre 27,9 y 32 MPa, muy parecido al rango de valores en las tablas comparado con la de la misma concentración en la mezcla que estuvo entre 27,5 y 31MPa lo que fue inesperado ya que se esperaba que este rango fuera más alto por la diferencia de la geometría de sus perfiles, ya que la carga en este ensayo va soportada en una altura y un ancho de viga con mayores longitudes que el de las tablas.





**Ilustración 28. Esfuerzo vs deformación Largueros con PP70% y PE30%**

En la Ilustración 28 vemos que el rango de valores es muy parecido comparado a su par en mezcla en el ensayo de las tablas, aunque esta vez en el rango de valores vemos un aumento de casi 4 Mpa en su límite superior dejando un valor máximo de 38,2 MPa, en estos ensayos tampoco hubo ruptura de ninguna probeta.



**Ilustración 29. Esfuerzo vs deformación Largueros con PP30% y PE70%**

En este último ensayo graficado en la Ilustración 29 vemos un rango de valores de 24,02 y 29,2 MPa; rango más bajo que las demás gráficas y de los cuales se esperaba precisamente eso por su porcentaje de materiales en la mezcla.

Analizando los resultados en las gráficas del ensayo de flexión, se nota que no es muy relevante las geometrías de los perfiles para los esfuerzos, ya que aunque se dio el pronóstico anticipado del comportamiento de los perfiles en las diferentes mezclas de materiales durante las pruebas de flexión, no hubo diferencias muy significativas comparando los resultados de los esfuerzos con las geometrías de los perfiles, siendo estos esfuerzos muy similares entre las tablas y largueros.

## 12. CONCLUSIONES

- Se recomienda a la empresa Maderpol SAS estandarizar los procesos con un enfoque técnico e ingenieril, ya que se observó que no hay estándares de variables como temperaturas, presiones y tiempos en el proceso de extrusión de los perfiles de madera plástica.
- En el estudio de compatibilidad de los materiales de insumos de la madera plástica utilizados en Maderpol SAS se encontró que la mezcla entre el PP y el PE es muy favorable para sus productos básicamente por ser polímeros en donde en su mezcla aun sin ser miscible se obtiene un material con la combinación de las principales propiedades mecánicas de los dos materiales como lo son la alta resistencia mecánica del PP y la suficiente flexibilidad del PE.
- Se concluye que aunque el PP y PE son polímeros de la misma familia de las poliolefinas y comparten un rango similar en densidad  $(0,85 - 0,95) \frac{g}{cm^3}$  y punto de fusión no muy diferente  $(110 - 170)^\circ C$  no sostienen una mezcla miscible por la separación de fases que se produce en la mezcla entre ellos a determinadas temperaturas; pero es una mezcla beneficiosa para la creación de productos con buena resistencia a la flexión.
- Se comprueba que el software statgraphics cumple con las expectativas como herramienta para la evaluación de variables dentro de un diseño de experimentos en el cual intervenga más de una variable de interés, en este caso de estudio se utilizó para maximizar la resistencia a la flexión dependiendo de las mezclas utilizadas.
- Por medio del ensayo de flexión se evaluó la resistencia de la madera plástica en cada una de sus mezclas y perfiles y se encontró que la mezcla que obtuvo un promedio más alto de resistencia a la flexión (34,9 MPa) fue la mezcla donde hay mayor porcentaje de PP (70% de PP y 30% de PE) material que tiene como característica darle mayor rigidez a la mezcla para los perfiles.
- La mezcla con mayor porcentaje de PE (70%) es una mezcla con la cual se obtiene un material flexible lo que se traduce en un perfil con propiedades menos favorables para el uso del producto final, por ejemplo, la propiedad de resistencia a la flexión se ve desfavorecida evidenciando un dato promedio en

los esfuerzos de 28 MPa contra 33 MPa de la mezcla donde hay mayor cantidad de PP.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- Ashori, A., & Nourbakhsh, A. (22 de Septiembre de 2008). *Science Direct*. Recuperado el 20 de Julio de 2013, de [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman)
- ASTM D1238, A. (s.f.). Ensayo para determinar el índice de fluidez.
- ASTM D1895-10, A. (s.f.). ASTM 1895 Standard Test Methods for Apparent Density, Bulk Factor, and Pourability of Plastic Materials. USA.
- ASTM D6109-97, A. (s.f.). Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastic lumber.
- Bustamante Arias, S. M., & Bernal Garcia, M. (13 de Octubre de 2004). Diseño y evaluación de unidades productivas para el reciclaje de plasticos. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Castro, J. F. (2010). Diseño de un molde para el formado continuo del perfil utilizado en la elaboración de tablas de madera plástica en la empresa PLASMACO. *Diseño de un molde para el formado continuo del perfil utilizado en la elaboración de tablas de madera plástica en la empresa PLASMACO*. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Chung, C. i. (2000). *Extrusion of polymers. Theory and practice*. New York: Hanser.
- Cock, M. L., & Daguer, C. A. (2000). PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE PLANCHAS DE MADERA PLASTICA HECHAS CON PLASTICO Y ASERRÍN. *PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE PLANCHAS DE MADERA PLASTICA HECHAS CON PLASTICO Y ASERRÍN*. Medellín, Antioquia, Colombia.
- CODESARROLLO, P. d. (1997). *Manual tecnico pedagogico de reciclaje*. Medellín: Impresos Caribe Ltda.
- Council, American Wood. (s.f.). *American Wood Council*. Recuperado el 1 de Agosto de 2013, de [http://www.awc.org/helpoutreach/faq/faqFiles/Plastic\\_Wood-Lumber.php](http://www.awc.org/helpoutreach/faq/faqFiles/Plastic_Wood-Lumber.php)
- Delgado, O. F., & Medina, J. A. (Noviembre de 2003). *Fuente Académica Premier (EBSCO Host)*. Recuperado el 8 de Julio de 2013, de <http://ehis.ebscohost.com.ezproxy.eafit.edu.co/ehost/detail?vid=3&sid=17abb6c8-171e-4f59-8533-b290d06103da%40sessionmgr10&hid=105&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2I0ZT1laG9zdC1saXZl#db=fua&AN=20066167>
- Diaz Cadavid, O. d. (18 de Julio de 2007). Estudio de la evolución del reciclaje de plasticos en Antioquia: Caso area metropolitana. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Eafit, U. (2013). *Práctica de Laboratorio*. Medellín.

- Ehrig, R.J. (1992). *Plastics Recycling: Products and Processes*. Munich, Vienna, New York, Barcelona: Hanser Publishers.
- Elias, X. (2009). *Reciclaje de residuos industriales*. Diaz de santos.
- Gómez, L. G. (2012). MEZCLAS MULTICOMPONENTES DE POLIOLEFINAS/PS SIN COMPATIBILIZAR: REOLOGÍA, PROCESAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MECÁNICA. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Gómez, L. G. (2012). Mezclas multicomponentes de poliolefinas/PS sin compatibilizar: Reología, procesamiento y caracterización morfológica y mecánica. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Goodship, V. (2007). *Introduction to Plastic Recycling*. Shrewsbury: Smithers Rapra.
- INTERNATIONAL, A. (s.f.). ASTM, ASTM 1238.
- J. Karger - Kocsis. (1995). *Polypropylene. Structure, blends and composites*. London: Chapman & Hall.
- La Mantia, F. (2002). *Handbook of Plastics Recycling*. (F. La Mantia, Ed.) Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
- Maderpol S.A.S. (5 de Enero de 2012). *Maderpol*. Recuperado el 8 de Julio de 2013, de <http://maderpol.com.co/>
- Mariano. (16 de julio de 2012). *Tecnología de los plasticos*. Recuperado el 26 de Octubre de 2015, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2012/07/polietileno-pe.html>
- Mejia Velez, M. d., & Jaramillo Ramírez, J. M. (12 de Enero de 2010). Elaboración y evaluación de una madera sintética fabricada a partir de la mezcla de material plástico reciclado y desperdicio de fique. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Moreno, P., Rodrigue, D., Giroux, Y., Ballerini, A., & Gacitúa, W. (2013). *Academic Search Complete (EBSCO Host)*. Recuperado el 4 de Junio de 2013, de <http://ehis.ebscohost.com.ezproxy.eafit.edu.co/ehost/detail?vid=3&sid=c6e7765d-a707-4bbc-adaf-2ac433305427%40sessionmgr12&hid=7&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#db=a9h&AN=89040385>
- NTC 1522, I. (1979). ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA POR TAMIZADO. *ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA POR TAMIZADO*.
- Osswald, et all. (2010). Ciencia de Polímeros para Ingenieros. En *Ciencia de Polímeros para Ingenieros* (págs. 198-204). Cúcuta: Guaduales Limitada.

Power, M. (16 de Enero de 2004). *Builderonline*. Recuperado el 30 de Junio de 2013, de <http://www.builderonline.com/decking/the-plastic-building-product-revolution.aspx>

Rico, G. L. (1993). Mezcla de polimeros. Estudio de su compatibilidad. Madrid, España.

Stark, N., Winandy, J., & Clemons, C. (27-28 de Abril de 2004). *KSU Faculty Member's websites*. Recuperado el 22 de Junio de 2013, de <http://faculty.ksu.edu.sa/othman/CHE498/Wood%20Recycling/CONSIDERATIONS%20IN%20RECYCLING%20OF%20WOOD-PLASTIC%20COMPOSITES.pdf>

Vargas Jaramillo, E., & Castrillon Mazo, J. E. (15 de Mayo de 2008). Diseño de un sistema de alimentación, molido o reducción de tamaño y almacenamiento para reciclaje de plástico. Medellín, Antioquia, Colombia.

Vincent T. Breslin a, \*. U. (1998). Long-term engineering properties of recycled plastic lumber used in pier construction. New York, USA.

## 14. ANEXOS