



**APROVECHAMIENTO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO (ICOPOR)  
RECICLADO COMO ALTERNATIVA A LA FIBRA DE VIDRIO EN EL PROCESO  
DE PRODUCCIÓN DE AUTOPARTES EN LA EMPRESA VENTILADORES GBA**

**DAYLIN JULIETH BETANCOURT SÁNCHEZ**

**Documento de grado para optar el título de Ingeniera Ambiental  
Modalidad Solución a un Problema de Ingeniería**

**Directora  
JOHANNA KARINA SOLANO MEZA  
Ingeniera Química  
Máster en Tecnología Ambiental**


**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.  
2015**

## CONTENIDO

<b>1. RESUMEN DEL PROYECTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>7</b>
<b>4. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>8</b>
<b>4.1. MARCO CONTEXTUAL.....</b>	<b>8</b>
<b>4.2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
4.2.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES .....	10
4.2.2. PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES ASOCIADAS AL POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	11
4.2.3. TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO .....	13
4.2.4. ENSAYOS MECÁNICOS .....	14
4.2.5. ENSAYO TÉRMICO (TGA).....	18
<b>4.3. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>19</b>
<b>4.4. MARCO INSTITUCIONAL .....</b>	<b>22</b>
<b>4.5. MARCO NORMATIVO .....</b>	<b>23</b>
4.5.1. GTC 53-2: APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS .....	23
4.5.2. ACUERDO INTERNACIONAL DE RECICLADO DE EPS.....	23
4.5.3. PROYECTO ECO EPS.....	24
4.5.4. ASTM D638-02: MÉTODO ESTANDARIZADO PARA PRUEBAS DE TRACCIÓN EN PLÁSTICOS .....	24
<b>5. DESARROLLO CENTRAL.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1. EQUIPOS EMPLEADOS .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>28</b>
<b>5.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>29</b>
<b>5.4. PRODUCCIÓN DE LAS MUESTRAS PILOTO .....</b>	<b>31</b>
<b>5.5. CONDICIONES DEL PROCESO.....</b>	<b>32</b>
<b>5.6. ENSAYOS DE RESISTENCIA TÉRMICA Y MECÁNICA.....</b>	<b>32</b>
<b>5.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>



5.7.1. TENSIÓN- DEFORMACIÓN .....	34
5.7.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	39
5.7.3. DUREZA SHORE A .....	40
5.7.4. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO.....	42
<b>5.8. CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS MATERIALES EMPLEADOS .....</b>	<b>46</b>
<b><u>6. VALORACIÓN ECONÓMICA.....</u></b>	<b><u>48</u></b>
6.1. VALOR PRESENTE NETO (VPN) .....	49
6.2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	50
<b><u>7. IMPACTO SOCIAL .....</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b><u>8. IMPACTO AMBIENTAL.....</u></b>	<b><u>52</u></b>
<b><u>9. CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>53</u></b>
<b><u>10. RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>54</u></b>
10.1. RESPECTO AL PROCESO.....	54
10.2. GENERALES .....	54
<b><u>11. BIBLIOGRAFÍA .....</u></b>	<b><u>56</u></b>
<b><u>12. ANEXOS .....</u></b>	<b><u>61</u></b>
ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO. ....	61
ANEXO 2: TABLA DE RESULTADOS GENERALES PARA TODAS LAS MUESTRAS EN EL ENSAYO DE TENSIÓN- DEFORMACIÓN.....	64
ANEXO 3: TABLA DE RESULTADOS GENERALES PARA TODAS LAS MUESTRAS EN EL ENSAYO DE DUREZA. ....	65
ANEXO 4: CURVAS DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO.....	66


 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 4 de 70

## 1. RESUMEN DEL PROYECTO

Ventiladores G.B.A es una empresa dedicada a la fabricación de ventiladores para vehículos de todas las marcas mediante la transformación de resinas plásticas por el proceso de inyección. La producción de autopartes incluye el polipropileno PP como materia prima principal y la fibra de vidrio como insumo. Los estándares de fabricación de los ventiladores producidos para los sistemas de refrigeración de automotores deben garantizar la resistencia de los productos en condiciones a las que estarán sometidos dentro del motor. Para lograrlo, el polipropileno es mezclado con fibra de vidrio en el proceso de inyección para aumentar la resistencia y la dureza del producto final, debido a que está expuesto a cambios de temperatura, choques con otras piezas, desgaste e impactos inesperados en el vehículo.

Sin embargo, las fibras de vidrio generalmente ocasionan afecciones a la salud leves como irritación de la piel y los ojos, además en las vías respiratorias por su adhesión a la membrana de los pulmones de quien las manipula, donde es posible evidenciar síntomas como tos, dolor de garganta e irritación en los ojos [1]. Para lograrlo, se evaluó el efecto de la modificación de la concentración de EPS y su tamaño de partícula en las mezclas con PP y se realizó un análisis económico de las materias primas y las posibilidades de ahorro en el proceso.

De esta manera, el estudio sintetizó y caracterizó un material obtenido a partir de la mezcla polipropileno virgen-poliestireno expandido EPS (ICOPOR) reciclado como una alternativa de aprovechamiento para el icopor dentro del proceso de fabricación de autopartes a modo de sustituto de la fibra de vidrio en el proceso de producción. El objetivo fue comparar las propiedades mecánicas y térmicas del material obtenido (PP-EPS) con el material actualmente utilizado en la planta (PP-fibra de vidrio) para el que no existían estudios previos. Las mezclas se caracterizaron mediante ensayos de tensión-deformación, dureza Shore A y análisis termogravimétrico (TGA).

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 5 de 70

## 2. INTRODUCCIÓN

La industria de la transformación de materias primas plásticas es de movimiento continuo debido a la gran demanda de la población por productos de bajo costo, especialmente por su característica de ser desechables. No es difícil deducir que la cantidad de residuos generados es alta debido a que muchos de los productos como envases alimentos o embalaje son instantáneamente desechados luego de consumir o utilizar el bien que está contenido allí.

Así mismo, para quien está interesado en los beneficios económicos que trae participar del negocio del reciclaje de plásticos, hay buenas posibilidades teniendo en cuenta que estos residuos aprovechables se comercializan por peso y los procesos de transformación son simples para introducirlo de nuevo a procesos productivos.


En este estudio se caracterizó un material compuesto por materia prima nueva y reciclada, incluyendo plásticos como el polipropileno virgen y poliestireno expandido EPS (icopor) reciclado proveniente de los residuos de embalaje de electrodomésticos. Este último, ha resultado ser un problema para su disposición final por las características de alto volumen y bajo peso porque como ya se mencionó, es el peso la característica tomada en cuenta para comercializar residuos.

En general, se plantean objetivos ambientales que requieren involucrar propuestas técnicas y económicas ya que contribuye al reemplazo de la fibra de vidrio en el proceso productivo sin comprometer la salud de los empleados expuestos, aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y genera el aprovechamiento de un residuo de difícil manejo. Técnicamente, la viabilidad de la propuesta se comprueba a partir de ensayos térmicos y mecánicos en laboratorio, con un ahorro significativo en el cambio de insumos del proceso productivo.

Las alternativas de aprovechamiento para el EPS son pocas y así mismo la cantidad de investigaciones llevadas a cabo. Este estudio se ha motivado por los estudios previos que se han realizado en el tema en donde se incluye el icopor para la mejora de mezclas asfálticas en cuanto a su resistencia [2] y el aumento en la resistencia de los residuos de madera en mezcla con EPS reciclado [3]. La alternativa de aprovechamiento del residuo presentada en este documento tiene gran importancia para futuras investigaciones o para dar profundidad al tema presentado.



Ventiladores G.B.A., una empresa que participa del sector de fabricación de autopartes en Colombia, permitió el uso de sus herramientas y maquinaria para realizar pruebas piloto de los materiales.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 7 de 70

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la posibilidad de aprovechamiento del poliestireno expandido (icopor) reciclado como alternativa a la fibra de vidrio en el proceso de inyección de autopartes plásticas en la empresa Ventiladores G.B.A.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar y analizar las propiedades mecánicas de la mezcla poliestireno expandido reciclado– polipropileno a través de pruebas de tensión, deformación y resistencia térmica.
- Determinar la viabilidad técnica y económica del uso de la mezcla polipropileno - poliestireno expandido reciclado en la fabricación de autopartes plásticas.



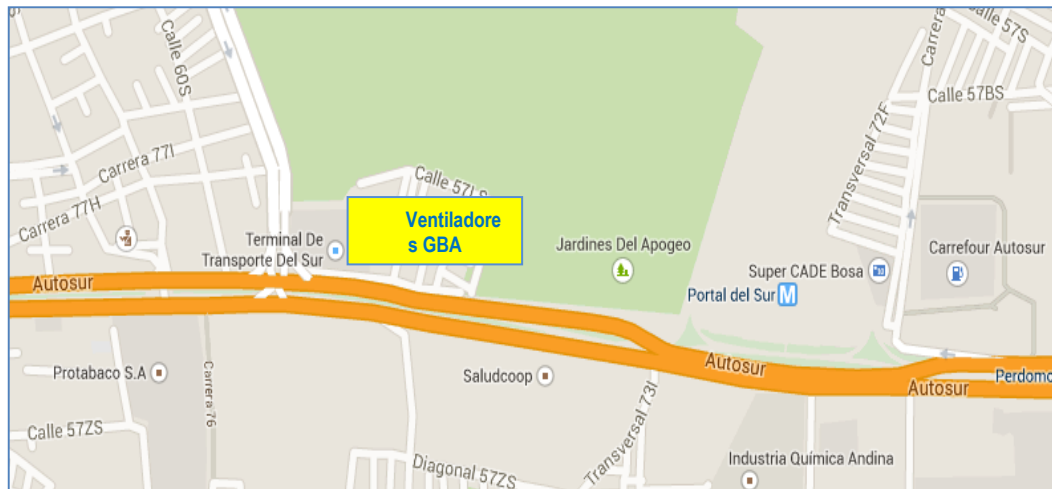
## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1. MARCO CONTEXTUAL

Ventiladores G.B.A se encuentra ubicado en el sur de Bogotá en la localidad número 7 correspondiente a Bosa, la cual limita por el norte con la localidad de Kennedy y con el municipio de Mosquera, al oriente con la localidad de Kennedy por el eje del río Tunjuelo. Al sur con la localidad de Ciudad Bolívar y el municipio de Soacha, y al occidente con los municipios de Soacha y Mosquera por el eje del río Bogotá [4].

La empresa está rodeada específicamente de lugares como el terminal de transportes del sur, el cementerio del Apogeo y el Portal del sur de Transmilenio; y vías principales como la Autopista Sur, avenida Agoberto Mejía y la avenida ciudad de Villavicencio.

**Figura 1. Mapa de ubicación de la empresa**  
Fuente: Google Maps.




Ventiladores G.B.A es una empresa dedicada a la fabricación de autopartes plásticas posicionada en el mercado positivamente por sus clientes en el reconocimiento de su amplia gama de ventiladores para sistemas de refrigeración de automotores de todas las marcas.

Hace más de 20 años, la empresa ha venido ampliando su listado de productos homologados de origen colombiano para marcas multinacionales como Chevrolet,

Sede Principal: Cra.9ª N° 51-11 PBX: 587 87 97 - Sede Norte: Cra. 9ª N° 72-90 Tel. 2 35 73  
12


www.usta.edu.co - E-mail: usantotomas@usantotomas.edu.co - Bogotá D.C. - Colombia



 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 9 de 70

Renault, Mazda, Ford, Nissan y Toyota con más de 120 referencias distintas, que han atravesado ya las fronteras hacia países como Venezuela y Ecuador donde los vehículos son similares a los que transitan en Colombia.

La calidad de sus materias primas ha permitido que los productos elaborados compitan no solo en precio, sino en calidad con ventiladores importados de Asia, con proveedores reconocidos como Propilco y Comai, filiales de Polipropilenos del Caribe. En la actualidad, Ventiladores G.B.A cuenta con suficiente infraestructura técnica, tecnológica y física para continuar siendo un gran fabricante y distribuidor de autopartes en el país.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 10 de 70

## 4.2. MARCO TEÓRICO

Para llevar a cabo el proyecto, ha sido importante conocer los materiales implicados en el proceso enfatizando en las características físicas que permiten los cambios de estado de los mismos, las problemáticas ambientales relacionadas con el poliestireno expandido que señalen la importancia de incluir el residuo en un proceso productivo y por supuesto, las pruebas mecánicas específicas a las que se deben someter las pruebas piloto obtenidas y las normas técnicas que rigen los procesos.

El icopor reciclado es seleccionado para el proyecto a partir del caso real en que el material ha participado como insumo en el proceso de producción de mezcla asfáltica caliente, mejorando hasta en 55% la resistencia del producto final [2].


### 4.2.1. Caracterización de materiales

- Poliestireno expandido (EPS- icopor)

El poliestireno expandido (EPS) está definido como un material rígido de celda cerrada rellena de aire, proveniente del polímero poliestireno con un agente expansor diferente a los compuestos fluorados de carbono, por lo cual no representa ningún tipo de peligro para la capa de ozono [5].

Como la mayoría de los plásticos, el poliestireno proviene del petróleo del cual se obtiene una sustancia llamada estireno monómero, se polimeriza con agua y un agente expansor y se obtiene el poliestireno expandido (EPS), que es materia prima en la industria para el sector de la construcción, embalaje y envase, entre otras aplicaciones diversas, por sus características de aislante acústico, térmico, de inocuidad y por su baja absorción de agua [5].

El EPS es obtenido en tres etapas por moldeo: pre expansión, maduración y moldeo. El poliestireno en perlas se impregna con un agente expansor, generalmente pentano, a alta presión y temperatura en la fase de pre expansión. En la maduración se enfrían y estabilizan las perlas pre expandidas, condensándose el pentano e introduciéndose aire. El molde se llena de las perlas pre expandidas, se cierra y se calienta inyectando vapor de agua. El poliestireno se ablanda y expande, produciéndose una deformación de las perlas, ocupando los espacios vacíos entre ellas y soldándose entre sí, ocupando la forma del molde en una estructura multicelular [5].

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 11 de 70

- Polipropileno (PP)

Es un termoplástico que por su alta estabilidad térmica le permite trabajar durante mucho tiempo a una temperatura de 100°C en el aire. También es resistente al agua hirviendo pudiendo esterilizarse a temperaturas de hasta 140°C sin peligro de deformación. Es ligero, resistente a la tensión y compresión, baja absorción de humedad, es resistente a gran cantidad de ácidos y es comúnmente utilizado en la producción de bienes de consumo por su nula toxicidad [6].

El PP es el polímero comercial de mayor facilidad de moldeo. Se utiliza en una gran cantidad de láminas, fibras y filamentos. Entre sus propiedades cabe destacar su alto punto de fusión (no funde por debajo de los 160° C), una gran rigidez, alta resistencia a la rotura y a la abrasión, bajo rozamiento, superficie brillante y flotación en agua [6].

- Fibra de vidrio


La fibra de vidrio es un material que conformado por numerosas y extremadamente finas fibras de vidrio. Es utilizada comúnmente como material aislante, también como agente de refuerzo para muchos productos poliméricos para formar un material compuesto muy fuerte y ligero denominado plástico reforzado con fibra de vidrio [7].

El uso de la fibra de vidrio en procesos industriales se ha extendido gracias a que posee propiedades importantes como la resistencia a las temperaturas altas, ser inerte ante los ácidos y tener un excelente aislamiento térmico. Sumado a sus propiedades, es un material fácilmente moldeable y no se requieren grandes inversiones ni maquinaria muy sofisticada para trabajarla.

*“La fibra de vidrio no se vuelve quebradiza, frágil ni blanda tras una exposición a temperaturas de hasta 260 °C. Se puede utilizar en entornos corrosivos ya que resiste todos los solventes, ácidos, gasolinas, humedad, moho, intemperie y químicos. Solamente se afecta por metales altamente alcalinos, flúor a altas temperaturas y algunos complejos halógenos” [8].*

#### **4.2.2. Problemáticas ambientales asociadas al poliestireno expandido**

Actualmente, la gran variedad de materiales plásticos y el desarrollo de sus aplicaciones han permitido solucionar diversos problemas para el hombre en su cotidianidad. *“Los polímeros por sus características y propiedades permiten ser*

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 12 de 70


*trabajados con facilidad solos o mezclados con otros polímeros o aditivos que mejoran las propiedades del producto terminado o las condiciones de trabajo” [9].*

Se estima que anualmente el desarrollo tecnológico de los plásticos crece en un 4% para envases, construcción, industria automotriz y en general para todo tipo de bienes de consumo por su versatilidad en los usos que pueden darse a este material. Así mismo, el consumo de EPS específicamente, para el año 2000 reporta un aumento desde 1978 de los 10 millones de toneladas métricas (M Tm) a 60 M Tm, de los cuales un 50% corresponde a Estados Unidos y el excedente se reparte en Europa y Japón, sin tener cifras significativas para Latinoamérica [10].

En realidad, la necesidad del desarrollo de tecnologías o procesos en los cuales la vida útil de este tipo de productos sea prolongada se hace necesaria, no obstante, estos permiten en su mayoría, ser reutilizados, reciclados y reincorporados para la producción los mismos u otros bienes de consumo minimizando la cantidad de desechos generados, bien sean dispuestos o peor aún aglomerados en centros de acopio por sus características de volumen.

“El icopor está clasificado dentro de los residuos inertes, considerados como aquellos que no permiten su transformación y su degradación natural toma largos periodos de tiempo” [11]. Es así como el EPS no experimenta cambios físicos, químicos y biológicos y por tanto representa una baja toxicidad residual frente a otras clases de residuos, sin embargo, el volumen ocupado por el icopor y su bajo peso, no representan una oportunidad de negocio en ciudades como Bogotá para personal reciclador donde no hay muchas alternativas de inclusión del material en algún tipo de proceso [12].

La problemática del EPS está relacionada más aún con que es un residuo doméstico, ya que si se produjera el residuo a nivel industrial y en grandes cantidades, sería fácilmente incluido en un proceso que genere ingresos económicos para las mismas industrias. Conforme a esto, la situación puede ser relacionada con el hecho de que no hay incentivos para que este material sea retornable como los envases de vidrio, a que la baja densidad del material eleva el costo de transporte y almacenamiento en centros de reciclaje y finalmente, se relaciona con que la reutilización directa de los materiales plásticos está limitada actualmente entre 1% y 2% debido a los cada vez más elevados requerimientos de calidad de los productos [5].

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 13 de 70

#### **4.2.3. Técnicas de recuperación del poliestireno expandido**


El reciclaje de materiales plásticos está definido por tecnologías basadas en tratamientos primarios, secundarios, terciarios y cuaternarios yendo del más sencillo al más complejo [12].

En el tratamiento primario se llevan a cabo operaciones mecánicas para obtener un producto con características similares al producto original. Este tipo de reciclaje se aplica en el aprovechamiento de recortes de la misma planta de producción y transformación y corresponde a un pequeño porcentaje de los residuos plásticos, debido a que este residuo no sale de las empresas, porque corresponde a desperdicios que deben ser controlados y reingresados al mismo proceso de transformación. Así mismo, el artículo generado y usado como bien de consumo, cuando termina su vida útil, ya es denominado residuo sólido urbano y debe contemplarse la posibilidad para una operación de reciclaje [9].

El tratamiento secundario, consiste en la fusión, en la que los desechos son convertidos en productos de diferentes formas y con mayor variedad de aplicaciones, las cuales son diferentes a las del plástico original en un proceso evolutivo “en cascada” hacia prestaciones inferiores del servicio. Esta es la tecnología más usada hasta ahora, particularmente en la industria del automóvil, y “se estima que sólo el 20% los plásticos pueden ser reciclados de esta forma” [9].

*“El reciclaje terciario, llamado también reciclado químico, busca el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del plástico, por transformación del mismo en hidrocarburos y obtener materias primas integrables nuevamente a la ruta de obtención de plásticos o en otras de la industria petroquímica” [9].*

*El reciclaje cuaternario consiste en la incineración para recuperar energía. Este método es significativo desde el punto de vista de recuperación de energía de los materiales plásticos, los cuales poseen un elevado poder calorífico (Polietileno 43 MJ/kg; Polipropileno 44 MJ/kg; Poliestireno 40 MJ/kg; PVC 20 MJ/KG, etc.). Sin embargo, la combustión debe estar sujeta a fuertes controles ambientales para neutralizar los residuos sólidos y los efluentes gaseosos como el cloruro*

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 14 de 70

*de hidrógeno de la combustión del PVC*  
[9].

#### **4.2.4. Ensayos mecánicos**

Los polímeros utilizados en un proceso productivo deben ser seleccionados de forma adecuada atendiendo a criterios de selección como la resistencia térmica, las propiedades mecánicas, la economía y la naturaleza del proceso que se vaya a llevar a cabo, teniendo en cuenta que su comportamiento varía según la temperatura y su tiempo de exposición a esta [13].


A continuación, se describen las pruebas de resistencia que han sido realizadas para verificar si técnicamente el poliestireno expandido es viable para mejorar las propiedades mecánicas y/o térmicas de las autopartes producidas en Ventiladores G.B.A.

- Tensión-Deformación

También llamado ensayo de tracción, tiene como objetivo determinar en los materiales aspectos relacionados con la resistencia y alargamiento. Comúnmente es usado para llevar a cabo operaciones de control de calidad y definir las especificaciones de las piezas que son sometidas a esfuerzos [14].

La prueba está enmarcada bajo la Norma UNE-EN ISO 527: 1996-1997, que determina las propiedades de tracción en plásticos, dentro de la cual la parte II especifica las condiciones de ensayo de plásticos para moldeo y extrusión [13] como el polipropileno que funciona como matriz del proceso. La norma ASTM D638-02a enmarca las condiciones de la probeta de ensayo como se observa en la figura 4.

Para llevar a cabo el ensayo, es necesario obtener probetas por moldeo o inyección con su superficie libre de imperfecciones, poca curvatura y con forma de doble campana, el mínimo de ensayos son 3 probetas que normalmente se deforman hasta la rotura (ver figura 2), con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje [14].

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 15 de 70

**Figura 2. Ejemplos de probetas mecanizadas**

Fuente: [13].



“La probeta se alarga a velocidad constante hasta la rotura a lo largo de su eje principal” [13] (ver figura 5). El ensayo arroja el diagrama de tensión-deformación que muestra las fuerzas aplicadas Vs. los alargamientos obtenidos como se muestra en la figura 3., pasando por todas las fases que allí se mencionan.

- *Punto de fluencia:* durante esta fase el material se deformará plásticamente, con lo que al retirar la fuerza ya no regresará a su forma original [15]. En este punto, el esfuerzo comienza una deformación permanente del 0.2% [16].
- *Límite elástico:* corresponde a la tensión más allá de la cual el material no recupera totalmente su forma original al ser descargado [15].
- *Tensión de rotura:* es el punto máximo de la curva tensión-deformación [15].
- *Límite de proporcionalidad:* tiene gran importancia debido a que comportamiento de los sólidos elásticos está basado en la proporcionalidad entre tensiones y deformaciones [15].



Figura 3. Diagrama tensión- deformación.  
Fuente: [15].

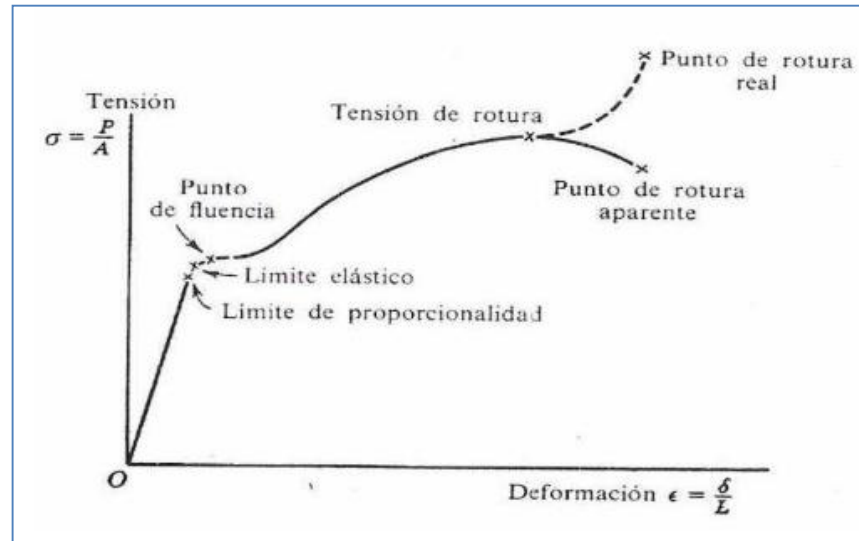
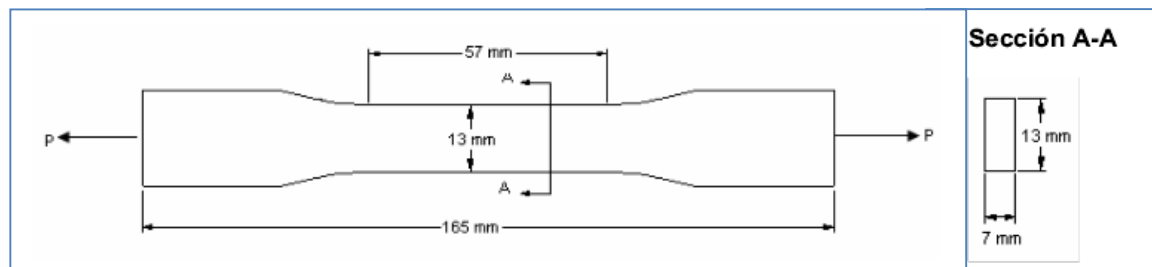


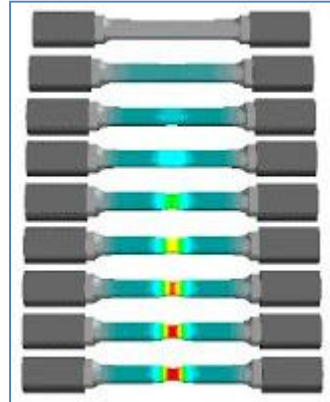
Figura 4. Plano de la probeta para ensayo de tracción en polipropileno.  
Fuente: [15].



La zona central de las probetas es la que soporta mayor deformación y por ende será por allí que se rompa. “La estricción es la etapa en la cual el material concentra la deformación sobre una región específica con lo que se verá más angosto en una región localizada” [17].

**Figura 5. Comportamiento de las probetas durante el ensayo.**

Fuente: [17].



- Módulo de elasticidad

Deducible a partir de la prueba de tracción, el módulo de elasticidad corresponde a la pendiente de la línea recta que se forma en la zona elástica de la curva del diagrama tensión-deformación [16]. Este da cuenta de una medida de la rigidez del material y es específico para cada material [18].


De esta manera, si se tienen dos materiales (A y B), A es más rígido que B si se deforma elásticamente menos que B al aplicarles a ambos la misma fuerza. El material es más rígido entre mayor sea su módulo de elasticidad [16].

- Dureza Shore tipo A

La dureza Shore es una prueba específica para materiales blandos mediante el uso de durómetros tipo A y tipo D, que para la realización de este proyecto se emplea tipo A.

El método permite la medición de la penetración inicial, la penetración después de un periodo de tiempo determinado, o ambas. La dureza es inversamente proporcional a la profundidad de la penetración y depende del módulo de elasticidad y las propiedades viscoelásticas del material. La forma del penetrador, la fuerza aplicada, y la duración del ensayo influyen en los resultados obtenidos.

*“El durómetro Shore consiste en un pisón, un penetrador, un dispositivo de lectura y un resorte calibrado que aplica la carga en el penetrador. Las diferencias entre las diferentes escalas estriban en la forma del penetrador y la fuerza del muelle calibrado. El material es penetrado en un ángulo de 35°” [19].*

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 18 de 70


La escala es tomada de 0 a 100, siendo 0 la penetración total del material y 100 ninguna ralladura en absoluto. El manejo de datos se realiza por promedios. Cada prueba se realiza tres veces y a los promedios es sumada la desviación estándar.

#### **4.2.5. Ensayo térmico (TGA)**

La termogravimetría es un tipo de análisis térmico que ha sido empleado para identificar y medir los cambios físicos y químicos, que sufren los materiales cuando son expuestos a variaciones controladas de temperatura. Es ampliamente utilizada en la caracterización cuantitativa de polímeros, carbón y arcillas, con el propósito de conocer el efecto que tiene la temperatura sobre su comportamiento y la evolución de las propiedades de una muestra.

*El análisis consiste en registrar continuamente la variación de la masa del material cuando se varía la temperatura a razón constante. Como resultado, se obtienen los datos de cambio de masa con respecto a la temperatura o al tiempo y un termograma, el cual representa gráficamente las variaciones porcentuales de la masa. En general, la tasa de pérdida de masa permite identificar la temperatura a la cual ocurre la descomposición máxima, donde se busca como ideal el material que tarde más tiempo en descomponerse, o mejor, soportar mayor temperatura para lograrlo [20].*

“El ensayo permite conocer el rango de estabilidad térmica de los materiales y en el caso de polímeros sus condiciones de degradación” [21]. Este es guiado por la norma ASTM E 1131-08, que describe el procedimiento específico para el análisis termogravimétrico de polímeros y las condiciones de la muestra de masa óptima entre 10mg y 20mg [20].

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 19 de 70

### 4.3. MARCO CONCEPTUAL

- Aprovechamiento:

Proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos [22].

- Compactación de residuos:

Acción de presionar cualquier material para reducir los vacíos existentes en él. El propósito de la compactación en un relleno sanitario es disminuir el volumen que ocuparán los residuos a fin de lograr una mayor estabilidad y vida útil del mismo [23].

- Disposición final:


Definida como la última etapa dentro de la cadena de los residuos en la que se busca captar, disponer y confinar en forma segura los elementos que no fueron utilizados en operaciones anteriores. La disposición final más utilizada corresponde a los rellenos sanitarios [24].

- Moldeo por inyección:

Se fundamenta en fundir un material plástico y hacerlo fluir hacia un molde, a través de una boquilla en la máquina de inyección, en donde llena una cavidad que le da una forma determinada permitiendo obtener una amplia variedad de productos. El moldeo por inyección es la técnica de procesamiento de mayor utilización para la transformación de plásticos. Su popularidad radica en la versatilidad para obtener productos de variadas geometrías y para diversos usos [25].

- Molienda:

Operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los métodos de reducción más

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 20 de 70

empleados en molinos son compresión, impacto, rotamiento de cizalla y cortado [26].

- Propiedades mecánicas de los materiales:

Son las características inherentes que permiten diferenciar un material de otro, no obstante, pueden definirse como aquellas que tienen que ver con el comportamiento de un material bajo fuerzas aplicadas. Las propiedades mecánicas se expresan en términos de cantidades que son funciones del esfuerzo o de la deformación o ambas simultáneamente [27].

- Propiedades térmicas de los materiales:

Se obtienen como respuesta de un material a la aplicación de calor. A medida que un sólido absorbe energía en forma de calor, su temperatura y sus dimensiones aumentan [28].

- Reciclaje:

Proceso mediante el cual ciertos materiales presentes en el flujo de residuos sólidos se separan, recolectan, clasifican, acondicionan y almacenan a fin de reincorporarlos al ciclo productivo como materia prima. Normalmente implica la transformación de algún material para su reaprovechamiento [23].

- Residuos sólidos:


Restos de las actividades humanas considerados como inútiles y sin valor económico para quien lo genera, o sea para el dueño inicial del residuo, por tanto, la actitud instintiva o primaria es tratar de deshacerse de estos materiales [24].

- Termoplásticos:

Plásticos que, a temperatura ambiente, son deformables, se derriten cuando se calientan y se endurecen en un estado vítreo cuando se enfrían lo suficiente.


Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces (historial térmico), generalmente disminuyen estas propiedades.

Dentro de ellos se encuentran el politereftalato de etileno (PET), el polietileno (PE), el policloruro de vinilo (PVC), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el polimetilmetacrilato (PMMA), el teflón (o politetrafluoretileno, PTFE) y el nylon (un tipo de poliamida) [29].

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 21 de 70

- Valorización de residuos:

Un residuo no es siempre un desecho a destruir o confinar, sino también un posible recurso a potenciar y recuperar, puede tener valor. Valorizar los residuos implica optimizar sus características de forma, materia y/o energía, mediante procesos, hasta hoy conocidos de reutilización, recuperación y reciclado [23].

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 22 de 70


#### 4.4. MARCO INSTITUCIONAL

La economía colombiana evidencia una expansión sostenida del consumo ocasionado, entre otros factores, por la mejora en el ingreso, la facilidad de acceso al crédito con favorables tasas de interés, el crecimiento de la población urbana y la profundización del comercio nacional e internacional.

Este buen momento económico por el que atraviesa el país ha impulsado el nivel de producción y consumo de productos transformados de plásticos. *“Este resultado se debe a que la industria plástica es transversal a diversas industrias, que han mostrado un fuerte dinamismo en los últimos años, tales como: alimentos y bebidas, farmacéutica y cosmética, construcción, agroindustria y automotriz, entre otros”* [30].

Aunque Colombia no sea gran productor de las materias primas, ha crecido fuertemente en la industria de la transformación de estas resinas, ubicando en Bogotá el 55% de las empresas dedicadas a estas actividades [31], aportando razones válidas para la realización de este proyecto si se tiene en cuenta que el icopor o poliestireno expandido hace parte de los sectores de envase, empaque y construcción.

Ventiladores G.B.A. hace parte de la industria de transformación de resinas plásticas nacionales e importadas para la fabricación de partes del sector automotriz. Durante más de 20 años en el mercado nacional ha crecido con más variedad de productos en su catálogo, todos obtenidos por inyección y moldeo para sistemas de refrigeración automotor a partir de materias primas de primera mano como fibra de vidrio y polipropileno, dispuestos también a buscar posibles alternativas económicas y técnicas para sus productos.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 23 de 70

## 4.5. MARCO NORMATIVO

### 4.5.1. GTC 53-2: Aprovechamiento de los residuos plásticos

Define el origen y las características de los plásticos teniendo en cuenta el uso avanzado que se le ha dado a las más de 2000 variedades de estos. Presenta los métodos de reciclaje de los mismos con preocupación respecto a la poca vida útil que se les proporciona y el largo tiempo de degradación que está estimado para ellos [32].

Algunos de los ítems más relevantes de la guía se presentan a continuación:

- Tipos de resinas plásticas aprovechables.
- Fuentes generadoras de residuos plásticos.
- Gestión integral de los residuos plásticos.
  - Reducción en la fuente.
  - Separación en la fuente.
  - Recolección selectiva.
  - Reutilización.
  - Acondicionamiento.
- Transporte y almacenamiento de residuos acondicionados.
- Aprovechamiento mediante reciclaje primario, secundario, terciario y cuaternario.
- Disposición final en rellenos sanitarios [32].

### 4.5.2. Acuerdo Internacional de Reciclado de EPS

Más de 30 países en el mundo se han suscrito al Acuerdo Internacional de Reciclado. El acuerdo dispone a los participantes a cumplir lo siguiente:

- Promover el uso del EPS reciclado en más amplia gama de procesos posibles.
- Trabajar en el desarrollo de modelos internacionales de gestión de los residuos de EPS.

Sede Principal: Cra.9ª N° 51-11 PBX: 587 87 97 - Sede Norte: Cra. 9ª N° 72-90 Tel. 2 35 73  
12

www.usta.edu.co - E-mail: usantotomas@usantotomas.edu.co - Bogotá D.C. - Colombia





- Establecer una red de comunicación e intercambio de información sobre el EPS y la correcta gestión de sus residuos en colaboración con los fabricantes, productores de materia prima, organismos administrativos y asociaciones de consumidores.

Algunos de los países firmantes son Alemania, China, Brasil, Corea, España, India, Japón, Argentina, Uruguay, Sudáfrica, USA, Reino Unido, entre otros [33]. Es importante notar que en sur América sólo tres países participan del acuerdo entre los cuales no figura Colombia.

Los países adscritos al acuerdo cuentan con organizaciones de tratamiento y aprovechamiento del EPS, así mismo las empresas productoras están comprometidas con el tratamiento de sus residuos. Algunos ejemplos de dichas organizaciones son la Organización Europea de Poliestireno Expandido, ECO-PSE de Francia, Asociación Brasileña de Poliestireno Expandido, Alianza Internacional de EPS, entre otras [33].

#### **4.5.3. Proyecto ECO EPS**


Consiste en una actuación promovida por la industria del poliestireno expandido mediante la Asociación Nacional de Poliestireno Expandido ANAPE en España, con el que se pretende aumentar la tasa de recuperación de los productos de EPS usados.

El proyecto funciona a través de centros especializados en el reciclaje de EPS donde lo reintroducen al proceso de fabricación del EPS, prestando además los servicios de acopio y transporte del residuo [33].

#### **4.5.4. ASTM D638-02: Método estandarizado para pruebas de tracción en plásticos**

El método de ensayo permite determinar las propiedades de tracción de los plásticos de forma estandarizada. Los datos de prueba obtenidos por este método se consideran relevantes y apropiados para su uso en el diseño de ingeniería, pues demuestra una certeza del 95% que depende, sin embargo, de la uniformidad de la probeta.

Según el estándar ISO 527-1, para la determinación de las propiedades de tracción de los materiales plásticos rígidos como el PP y el EPS, la muestra de ensayo debe contar con las superficies libres de defectos visibles, arañazos o

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 25 de 70

imperfecciones, por tanto las muestras preparadas en moldes por inyección pueden tener diferentes propiedades de tracción que probetas obtenidas mediante mecanizado o corte con troquel debido a la orientación inducida de las fibras.

- Condiciones de prueba:

- I. Llevar a cabo las pruebas a  $23 \pm 2$  °C y  $50 \pm 5$  % de humedad relativa, a menos que la haya alguna especificación relevante del material según el fabricante.
- II. La muestra se coloca en el agarre de la máquina de ensayo, teniendo cuidado de alinear el eje longitudinal de la muestra y los agarres con una línea imaginaria que une los puntos de anclaje de los agarres de la máquina.
- III. Los agarres se aprietan de manera uniforme y con firmeza al grado necesario para evitar el deslizamiento de la muestra durante el ensayo, pero no hasta el punto de aplastar la superficie de la probeta.

De la misma manera, la cantidad de ensayos recomendada por el estándar es de cinco, uno para cada muestra por cada tipo de material que desee comprobarse. También, para cada serie de pruebas, se debe calcular la media aritmética de todos los valores obtenidos y reportarla como el "valor medio" para la propiedad particular en estudio.


- Propiedades y magnitudes obtenidas relevantes para el proyecto:

- Resistencia – Tracción:

Esta propiedad se obtiene dividiendo la carga máxima en Newtons (o libras - fuerza) por el área de la sección transversal mínima de la muestra en metros cuadrados (o pulgadas cuadradas). El resultado es expresado en pascales (o libras de presión por pulgada cuadrada) y reportado con tres cifras significativas. El punto de ruptura está dado por el límite de la tensión máxima llamado resistencia a la rotura.

- Porcentaje de alargamiento:

Equivale al cambio en la longitud de referencia con relación a la longitud original de la muestra, expresado como un porcentaje.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 26 de 70

➤ **Módulo de elasticidad:**

Se expresa en fuerza por unidad de área, usualmente mega pascales (libras-fuerza por pulgada cuadrada). Corresponde a la pendiente de la línea recta que se forma en la zona elástica de la curva del diagrama tensión-deformación [16]. Este da cuenta de una medida de la rigidez del material y es específico para cada uno [18].

➤ **Tensión nominal a la rotura:**

Corresponde a la tensión en el momento de ruptura con respecto a la separación de los agarres originales, de esta manera se obtiene la lectura de la extensión en el punto de ruptura y se divide por la separación de las mordazas originales y el total será multiplicado por 100.

➤ **Elongación:**

Es el aumento de la longitud obtenida respecto a la longitud original de la muestra de ensayo por una carga de tracción. Se expresa en unidades de longitud, generalmente milímetros (pulgadas).

• **Elaboración de informes:**

El informe a elaborar con los datos adquiridos debe contener la información completa y detallada del material ensayado, el procedimiento de la preparación de las muestras de ensayo, tipo de muestra y dimensiones de las pruebas, condiciones de proceso, las condiciones atmosféricas en las salas de verificación, número de muestras analizadas, velocidad de la prueba, porcentaje de elongación, módulo de elasticidad, fecha de la prueba y revisión de la norma ASTM D638-02.

La representación gráfica de los resultados equivale a la curva de tensión-deformación, un diagrama en el que los valores de tensión se representan gráficamente en ordenadas frente a los correspondientes valores de deformación por tracción como abscisas [34].

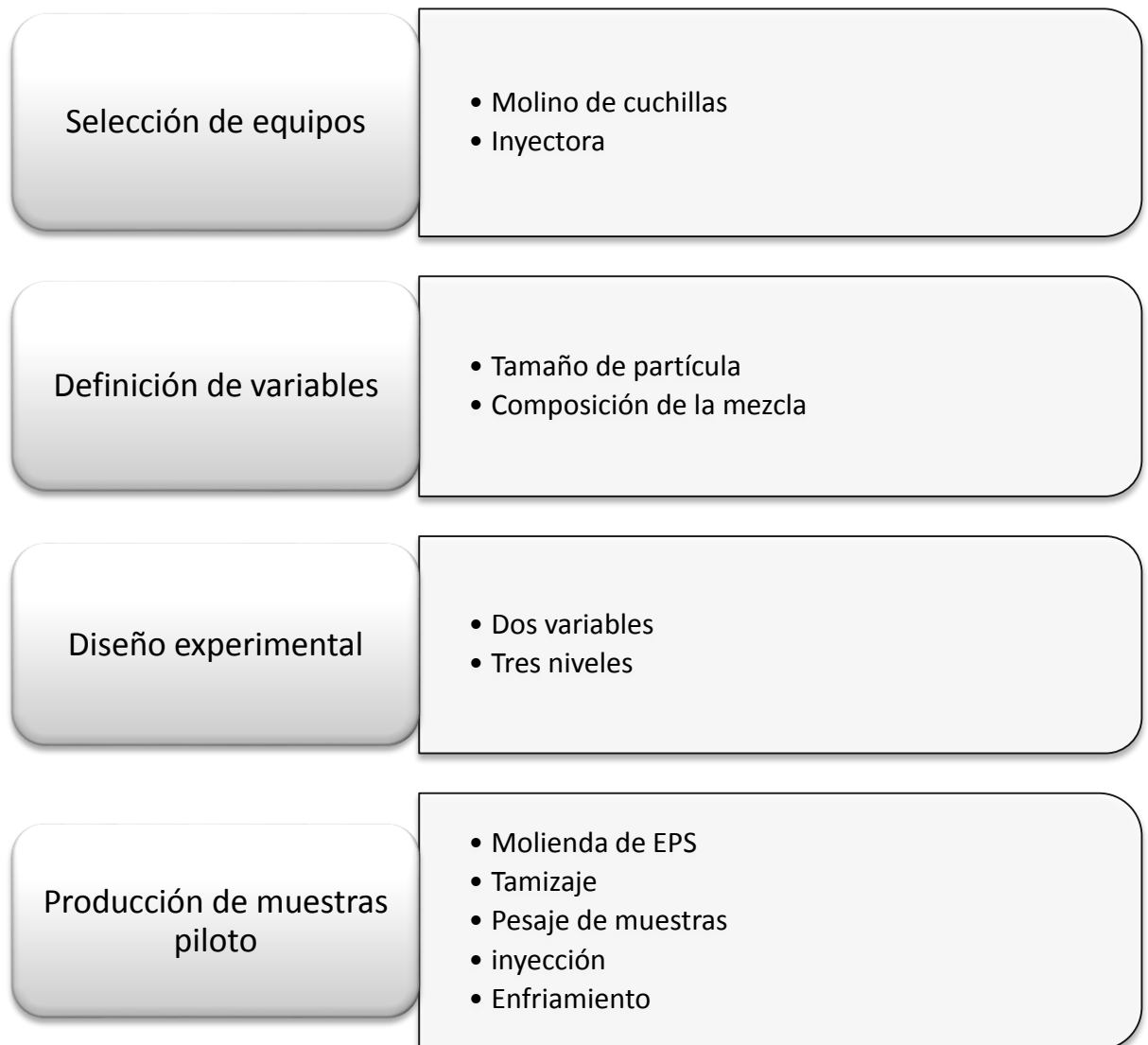



## 5. DESARROLLO CENTRAL

La figura 6 ilustra un panorama global de los procesos llevados a cabo en la realización de este estudio.

**Figura 6. Proceso general del estudio.**

Fuente: La autora.



 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 28 de 70

## 5.1. EQUIPOS EMPLEADOS

- Inyectora

Para el proceso de elaboración de autopartes plásticas es necesario el uso de una máquina inyectora, en la cual el material granulado o peletizado se dirige por una tolva que lo incluye para ser fundido, dirigido por un tornillo y expulsado a un molde de acero en este caso con la forma que requiere la probeta.

La inyectora marca Quaser es la más grande de la empresa, con capacidad de inyección de 500cm<sup>3</sup>, equivalentes a piezas de hasta 475gr, sin embargo las probetas normalizadas fueron obtenidas en una inyectora para piezas pequeñas de hasta 100gr.

- Molino de cuchillas

En el molino de cuchillas se trituró el icopor, luego se introdujo al proceso en mezcla con el polipropileno. Este molino es ideal para la molienda de materiales blandos y semiduros [35] como los plásticos producidos dentro de la misma empresa.


## 5.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Para este estudio las variables seleccionadas fueron el tamaño de partícula y la composición de la mezcla (relación EPS/PP) debido a que el blanco de muestra (PP+ fibra de vidrio) son dependientes de estas características.

- Tamaño de partícula

El tamaño de partícula del icopor fue modificado contando con que el polipropileno por elección del fabricante tiene definido su tamaño en 3.2mm para cada gránulo. La referencia específica del material PP corresponde a homopolímero 40H92N recomendado para procesos de inyección del proveedor Propilco - Esentia.

El molino de la empresa arroja tamaños de partícula superiores a 3mm, para lo cual se emplearon mallas que permitieron tamizar el material y obtener tres rangos de tamaño deseado que sigan indicaciones del diseño experimental para el poliestireno expandido.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 29 de 70

Por su parte, la fibra de vidrio en pellets tiene una longitud de 3.5mm por diseño del fabricante, referencia 400-1NT Comai.

- Composición de la mezcla

La mezcla habitual de fibra de vidrio y polipropileno es 2:1 y fue utilizada como blanco de muestra. En base a ella fueron diseñados los experimentos de polipropileno y poliestireno expandido, de tal manera que se modificó la composición a partir de esta proporción.

### 5.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental factorial, manejando dos variables y tres niveles para cada una de ellas obteniendo así 8 de cada una. Cada uno de los 8 ensayos debe ser por triplicado por recomendación de la norma técnica ASTM D638-02 en un total de 24 ensayos para la prueba de tensión-deformación. La prueba de TGA fue aplicada a todas las variables una sola vez con un total de 8 muestras como se describe en la tabla 1.



**Tabla 1. Descripción del diseño de experimentos.**

**Fuente:** la autora.

Variable	Ensayo	Especificación	Descripción
Tamaño de partícula	Tensión-Deformación	EPS pequeño	PP 3.2mm EPS 15mm
		EPS mediano	PP 3.2mm EPS 40mm
	Dureza TGA	EPS grande	PP 3.2mm EPS 90mm
		Blanco de muestra	PP 3.2mm Fibra de vidrio 3.5mm
Composición de la mezcla	Tensión-Deformación	%EPS > %PP	EPS 70% PP 30%
		%EPS < %PP	EPS 30% PP 70%
	Dureza TGA	%EPS = %PP	PP 50% EPS 50%
		Blanco de muestra	PP 70% Fibra de vidrio 30%

Las proporciones de las mezclas fueron elegidas teniendo en cuenta un aumento y disminución aproximada del 50% de los valores ubicados para el blanco de muestra de polipropileno y fibra de vidrio.



#### 5.4. PRODUCCIÓN DE LAS MUESTRAS PILOTO

El modelo de recuperación del EPS fue por reciclaje primario como la opción más viable ya que Ventiladores G.B.A cuenta con un molino de cuchillas para realizar procesos mecánicos de reducción de tamaño. El icopor de embalaje se trituró para introducirlo al proceso de la misma forma que ingresa el polipropileno y la fibra de vidrio a la inyectora por requerimientos de la máquina [35]. Además, una ventaja del proceso fue obtener icopor limpio para omitir el lavado.

Luego de esto, el total de material de molienda fue tamizado para la separación por tamaño del EPS reciclado como se observa en el anexo 1. Una vez separados los tamaños, se pesaron los materiales en una balanza para apartar las cantidades requeridas según el diseño de experimentos en tamaños y proporciones propuestas.

**Figura 7. Probetas terminadas.**

**Fuente:** la autora.



Manejar las partículas pequeñas de icopor fue complejo porque con facilidad se adhieren a las superficies, entonces para el pesaje de las cantidades, se tomó el total necesario para inyectar las tres probetas de iguales características y no una por una.

Se inyectaron las probetas en un molde mecanizado en acero 1045 para una pieza normalizada, diseñado especialmente para las dimensiones de la inyectora empleada. Además, por ser una pieza plana, larga y delgada, fue necesario incluir en el molde un sistema de expulsión con resortes para no deformar la probeta al retirarla manualmente.



En seguida del pesaje, las proporciones deseadas se mezclaron para cada modelo de probeta y en orden del diseño experimental, se procedió a llenar la tolva. En esta fase los materiales inician un proceso de fundición por transferencia de calor de las láminas conectadas a la termocupla de la máquina, que aumenta la temperatura del sistema para lograr el cambio de estado de los plásticos de sólido a líquido y mantener la mezcla fundida.

Cada probeta adquirida fue enfriada en agua por 10 minutos y rotulada para tener claridad en el diseño de experimentos y para la entrega de estas al laboratorio encargado de aplicar los ensayos mecánicos y térmicos de los materiales.

Algunas de las muestras salieron defectuosas del molde por factores como la baja temperatura de la inyectora, por esto las primeras probetas salieron incompletas hasta que el material se fundió como era requerido. También algunas adheridas al molde para lo que fue ideal la silicona en spray.

## 5.5. CONDICIONES DEL PROCESO

Las condiciones del proceso requeridas por la inyectora se observan en la tabla 2.

**Tabla 2. Condiciones del proceso para obtener las probetas.**

**Fuente:** la autora.

Condición	Magnitud
Temperatura	200°C
Velocidad de inyección	0.5 g/s
Tiempo de ciclos	60 s
Refrigeración	Agua fría durante 10min.

## 5.6. ENSAYOS DE RESISTENCIA TÉRMICA Y MECÁNICA


Los ensayos de termogravimetría, dureza y tensión- deformación fueron llevados a cabo en laboratorios externos a la universidad debido a que no se cuenta con los equipos requeridos. Las muestras rotuladas fueron entregadas

Sede Principal: Cra.9ª N° 51-11 PBX: 587 87 97 - Sede Norte: Cra. 9ª N° 72-90 Tel. 2 35 73

12

www.usta.edu.co - E-mail: usantotomas@usantotomas.edu.co - Bogotá D.C. - Colombia



 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 33 de 70

para las pruebas y en un plazo de 10 días se obtuvieron los resultados al respecto incluidos en los anexos 2,3 y 4 respectivamente.

El equipo empleado para el ensayo de las 8 muestras de termogravimetría corresponde a un Analizador Termogravimétrico TGA/DSC1 METTLER Toledo guiado por la norma ASTM D6370-99. La muestra de 10mg fue colocada en la platina del analizador calibrado y se purgó el equipo a 75cm<sup>3</sup>/min con argón. La muestra se calentó por 2 minutos a 50°C, en seguida se inició el calentamiento a razón de 10C°/min de 50°C a 560°C, se dejó enfriar a 300°C y por 2 minutos se buscó el equilibrio de temperatura.

Se cambia el gas de purga por aire con flujo de 75cm<sup>3</sup>/min y se aumenta la temperatura a razón de 10C°/min desde 300°C a 800°C.

Respecto a la prueba de tensión- deformación de 24 probetas, se recurrió a la Máquina de Ensayo Universal Ez-Lx tipo Shimatzu. Se recurrió al método normalizado según la ASTM D638-02a. Se acondicionaron las probetas a 23 +/- 2°C y humedad relativa del 50 +/- 5% mínimo por 40 horas anteriores a la prueba. Se aplicaron las tolerancias de +/-1 °C y humedad relativa de +/-2%. El test se llevó a cabo a velocidad de 5mm/min +/- 25%

En cuanto al ensayo de dureza, se utilizó el equipo DFH-100 rango Sensor Dual Fricción / carga 1,0 a 100 kg, soportado en la norma ASTM D785-08. El aparato consta de un indentador de bola de acero, montado bajo un sensor de fuerza 100 kg sobre un carro posicionamiento vertical accionado por un motor. La muestra se montó sobre una mesa estacionaria directamente bajo el indentador. En seguida, un carro presionó hacia abajo el penetrador contra la muestra para aplicar un preliminar de carga de 10 kg durante 10 segundos. El carro aumentó la carga a un total de 100 kg durante 15 segundos.

La tabla 3 describe las ecuaciones necesarias para calcular el módulo de elasticidad E a partir del diagrama tensión-deformación de los materiales. Los valores de las variables en las ecuaciones involucradas son arrojados por el software del equipo, entre ellas la fuerza aplicada y la longitud. El área por el contrario, se obtiene de la sección rectangular del centro de la probeta sumando el estiramiento unitario que sufre. Esta propiedad mecánica da cuenta de la rigidez del material, pues a mayor módulo, mayor es la rigidez.

**Tabla 3. Ecuaciones correspondientes al módulo de elasticidad.**

Fuente: [36].

Deformación unitaria	$\varepsilon = \frac{\delta}{l}$	$\delta = \text{Deformación}$ $l = \text{longitud}$
Esfuerzo	$\sigma = \frac{F}{A}$	$F = \text{Fuerza aplicada}$ $A = \text{Área de la sección}$
Módulo de elasticidad	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$	$\sigma = \text{Esfuerzo}$ $\varepsilon = \text{Deformación unitaria}$

## 5.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas llevadas a cabo permiten conocer algunas de las propiedades del material propuesto. Las gráficas presentadas muestran la comparación entre la combinación más acertada de PP con EPS frente a los resultados del PP puro y el PP reforzado con fibra de vidrio.

Por su parte, el tamaño de partícula del EPS es indiferente al tamaño de partícula de la fibra de vidrio debido a que con el uso de tamaños pequeños, se generó oscurecimiento del material por la elevada temperatura que alcanza la inyectora para fundir el PP, por ende se prefieren tamaños superiores a 15mm.

Los datos elegidos para el análisis fueron los que registraron mejores resultados de cada prueba respecto al blanco de muestra en cada ítem como describen las tablas.

### 5.7.1. Tensión- deformación

En total fueron 24 ensayos (8 combinaciones distintas con tres ensayos cada una) analizados por separado para cada variable. Sin embargo, se presentan los resultados para las composiciones más resistentes de las tres repeticiones y la desviación estándar respectiva. En el anexo 2 se observa la tabla completa de los resultados generales del ensayo tensión-deformación.

- Tamaño de partícula:

**Tabla 4. Tensión-Deformación de acuerdo al tamaño de partícula**

**Fuente:** la autora.

Tamaño	Tensión (MPa)	Deformación (%)	Desviación estándar en función de la muestra (%)
Pequeño (15mm)	14,3	1,64	+/- 0.001
<b>Mediano (40mm)</b>	<b>26,5</b>	<b>4,28</b>	<b>+/- 0.01</b>
Grande (90mm)	24	3,72	+/- 0.01
Polipropileno puro	39	4,98	+/- 0.02
Polipropileno reforzado	41,3	4,45	+/- 0.004

En la tabla 4 se observa que el tamaño de 40mm es el que más resiste tensión con un valor de 26.5 MPa frente a los demás. Estos valores corresponden a la tensión máxima que puede soportar el material.

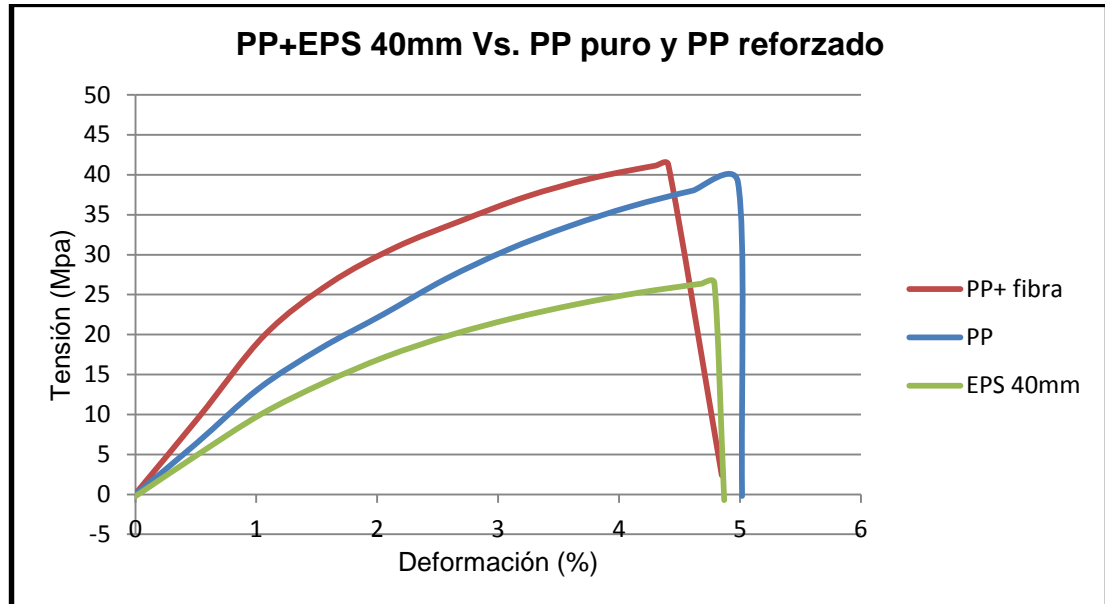
Los resultados denotan la capacidad del material para resistir la tensión aplicada en base a esto se observa que el PP reforzado resiste mayor tensión con una deformación porcentual de 4,45 en un esfuerzo de 41,3 MPa.

La figura 7 muestra el diagrama tensión-deformación para la combinación de material con EPS mediano frente a los datos obtenidos para el PP puro y el PP reforzado con fibra de vidrio.



Figura 8. Curvas de tensión-deformación de acuerdo al tamaño de partícula.

Fuente: Reporte de datos.



Los resultados obtenidos en el ensayo de tensión-deformación para esta combinación de material demostraron que es necesario estudiar a profundidad la mejora de las propiedades del PP respecto al tamaño de partícula del EPS. Es notorio que incluso el PP puro tiene mejores propiedades de resistencia que al ser mezclado con el EPS.

Es relevante notar que el PP con fibra de vidrio no mejora significativamente como lo plantea la empresa, pues los resultados muestran que el PP puro registra 39.05 MPa y con fibra 41.3 MPa como se observa en la tabla 4.

- Composición de la mezcla:

**Tabla 5. Tensión-Deformación de acuerdo a la composición de la mezcla.**

**Fuente:** la autora.

Composición	Tensión (MPa)	Deformación (%)	Desviación estándar en función de la muestra (%)
30 EPS/ 70 PP	25,9	10,03	+/- 0.04
<b>50 EPS/ 50 PP</b>	<b>28,35</b>	<b>5,21</b>	<b>+/- 0.02</b>
70 EPS/ 30 PP	14,27	2,53	+/- 0.006
Polipropileno puro	39	4,98	+/- 0.02
Polipropileno reforzado	41,3	4,45	+/- 0.004

De la misma forma que para el tamaño de partícula, la combinación más idónea en función de la composición de la mezcla es la de 50%PP y 50%EPS como muestra la tabla 5. Este resultado muestra una tensión máxima de 28.35 MPa y una deformación de 5.21% a diferencia del 30%EPS y 70%PP que con sólo 25.9 MPa de tensión se ha deformado en un 10.03%.

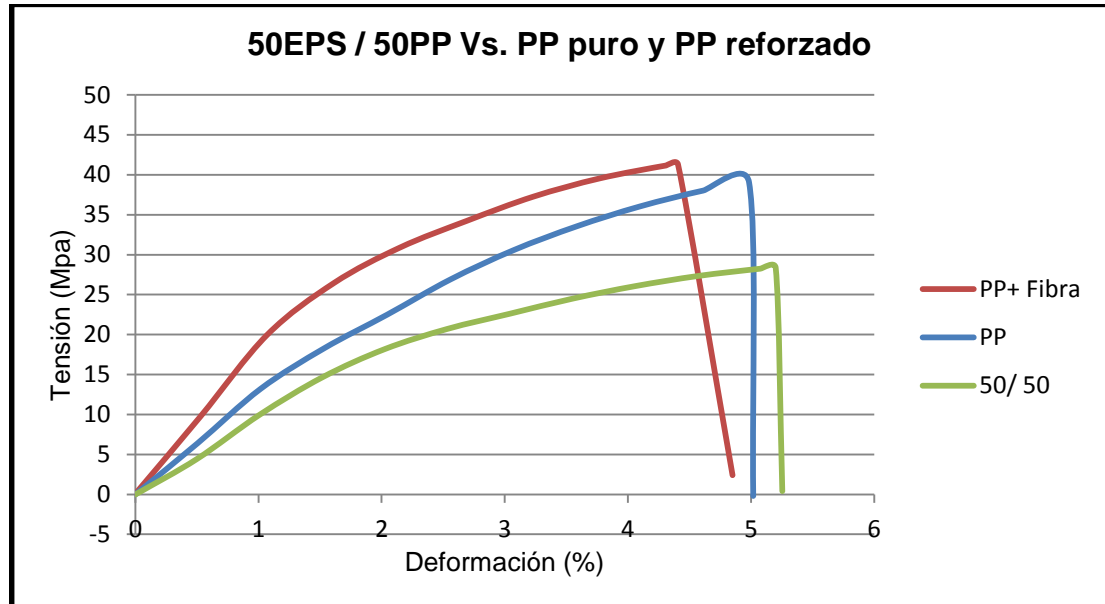
La figura 8 muestra el diagrama tensión-deformación para la variable de composición de la mezcla, en esta se puede observar que el PP reforzado con fibra e incluso el PP puro presentan mayor resistencia a la tracción que la mezcla de PP con EPS al 50%.

En este caso el EPS tampoco funciona como aditivo apropiado para mejorar la calidad del PP respecto a la tracción, pues de la misma manera que con el tamaño de partícula, arroja una tensión inferior que el PP puro y por supuesto menos aún que el PP reforzado con fibra de vidrio.



Figura 9. Curvas de tensión-deformación de acuerdo a la composición de la mezcla.

Fuente: reporte de datos.



La empresa no cuenta con ningún tipo de pruebas de caracterización previa de sus productos, lo que hace necesario plantear una revisión de las características de la mezcla propuesta para verificar si puede llegar a cumplir las mismas funciones sin afectar la calidad final.

Algunos de los resultados obtenidos se aproximaron a las propiedades deseadas según la variable trabajada. Es el caso de la composición de la mezcla al 50%, donde la tensión máxima soportada por el material es mayor que la del tamaño de partícula con valores de 28.35 y 26.5 MPa respectivamente.



### 5.7.2. Módulo de elasticidad

- Tamaño de partícula:

**Tabla 6. Resultados Módulo de elasticidad de acuerdo al tamaño de partícula.**

Fuente: la autora.

Tamaño	Módulo de elasticidad (GPa)	Desviación estándar en función de la muestra (GPa)
Pequeño (15mm)	2.31	+/- 0.36
Mediano (40mm)	3,12	<b>+/- 0.81</b>
<b>Grande (90mm)</b>	<b>3,21</b>	+/- 1.6
Polipropileno puro	3,83	+/- 1.85
Polipropileno reforzado	4,00	+/- 1.6

El módulo de elasticidad describe la rigidez del material, así es que a mayor módulo, mayor rigidez de la muestra.

Esta propiedad tiene una mejora significativa cuando el PP es reforzado con fibra de vidrio e incluso cuando es puro, pero en lo que respecta a la mezcla con EPS, muestra una reducción cuando el tamaño de este disminuye. Para los tamaños más grandes es evidente que el módulo de elasticidad aumenta, lo que implica que es más rígida la mezcla con EPS reciclado grande.



- Composición de la mezcla:

**Tabla 7. Resultados Módulo de elasticidad de acuerdo a la composición de la mezcla.**

**Fuente:** la autora.

Composición	Módulo de elasticidad (GPa)	Desviación estándar en función de la muestra (GPa)
<b>30 EPS/ 70 PP</b>	<b>3,53</b>	+/- 1.16
50 EPS/ 50 PP	3,45	<b>+/- 1.57</b>
70 EPS/ 30 PP	3,38	+/- 1.73
Polipropileno puro	3,83	+/- 1.85
Polipropileno reforzado	4,00	+/- 1.6

Para la variable de composición de la mezcla, los resultados son similares a los de tamaño de partícula aunque se acercan más a los de PP puro. No obstante, se observa que entre menor es la cantidad del icopor en la mezcla, mejores son las propiedades de esta.

La combinación de mezcla propuesta más rígida es de 30% EPS reciclado y 70% PP para tener un valor de rigidez de 3.53 GPa. Teóricamente el módulo de elasticidad del polipropileno corresponde a 1.3GPa [37], lo que muestra que posiblemente el EPS reciclado si podría aumentar estas propiedades.

### 5.7.3. Dureza Shore A

Las tablas 11 y 12 ilustran los resultados de dureza Shore tipo A (ángulo de penetración de 35°) para las combinaciones de material según las variables elegidas, se eligió la combinación más adecuada con el valor más alto si lo que se desea es saber qué material es más duro o resistente a la penetración y/o rayaduras.

- Tamaño de partícula:

**Tabla 10. Resultados dureza Shore de acuerdo al tamaño de partícula.**

**Fuente:** la autora.

Tamaño	Dureza	Desviación estándar en función de la muestra
Pequeño (15mm)	89	+/- 6
Mediano (40mm)	90	<b>+/- 6</b>
<b>Grande (90mm)</b>	<b>93</b>	<b>+/- 4</b>
Polipropileno puro	92	+/- 4
Polipropileno reforzado	94	+/- 4

El material con la dureza similar al PP es el de tamaño grande, correspondiente a 93 +/- 4 en la escala Shore, esto indica que el material no fue atravesado con facilidad. El PP puro presenta un valor inferior a la mezcla con icopor grande e igual a la mezcla con icopor mediano. Sin embargo el polipropileno reforzado con fibra sigue siendo superior en este valor con magnitud de 94 +/- 4 en la escala.

- Composición de la mezcla:

**Tabla 11. Resultados dureza de acuerdo a la composición de la mezcla.**

**Fuente:** la autora.

Composición	Dureza	Desviación estándar en función de la muestra
30 EPS/ 70 PP	90	+/- 5
50 EPS/ 50 PP	92	<b>+/- 5</b>
<b>70 EPS/ 30 PP</b>	<b>93</b>	<b>+/- 4</b>
P0olipropileno puro	92	+/- 4
Polipropileno reforzado	94	+/- 4

Las propiedades del material para la composición de la mezcla son similares a las del tamaño de partícula, mejoran el PP puro pero el PP reforzado con fibra sigue siendo superior en una unidad de la escala. Es posible observar que el aumento en la cantidad de EPS mejora la dureza de la mezcla.

La exposición de los materiales ante el penetrador del durómetro no ha hecho mayor daño a la forma del material en el intento de atravesarlo. Realmente son valores muy similares entre la mezcla original y la mezcla propuesta, para la que se recomienda seguir investigando sobre la combinación más adecuada con EPS ya que se sabe que si mejora la dureza del PP.

Los resultados generales de la prueba de dureza Shore A se ilustran en el anexo 3.

#### **5.7.4. Análisis termogravimétrico**

Las tablas 12 y 13 muestran los resultados generales del ensayo de TGA para las dos variables estudiadas. Se tomaron en cuenta los valores cada 100°C para cada material y finalmente ese calculó el porcentaje de masa inicial que queda luego de someter las muestras a 600°C.

Los valores ilustrados en la tabla corresponden al porcentaje de masa presente en la muestra aún.



- Tamaño de partícula:

**Tabla 12. Resultados termogravimetría de acuerdo al tamaño de partícula.**

**Fuente:** la autora.

Material % Masa	Pequeño (15mm)	Mediano (40mm)	Grande (90mm)	PP puro	PP + fibra
<b>Inicial</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>A 100°C</b>	99,93	99,95	99,92	100	100
<b>A 200°C</b>	99,86	99,91	99,85	99,96	99,97
<b>A 300°C</b>	97,36	97,32	97,22	98	97,57
<b>A 400°C</b>	36,86	36,74	33,86	36,62	38,72
<b>A 500°C</b>	1,3	0,98	0,17	8,81	0,92
<b>A 600°C</b>	1,2	0,94	0,13	8,75	0,88
<b>Masa Inicial (gr)</b>	<b>14,744</b>	<b>15,711</b>	<b>16,287</b>	<b>17,454</b>	<b>18,372</b>
<b>Masa final (gr)</b>	<b>0.012</b>	<b>0.0094</b>	<b>0.0013</b>	<b>0,0875</b>	<b>0.0088</b>

Los resultados consignados en la tabla 12 muestran que el PP con EPS pequeño es la mejor combinación con un porcentaje de masa inicial de 1.2%, aún por debajo del PP puro con 8.75% de la masa inicial.

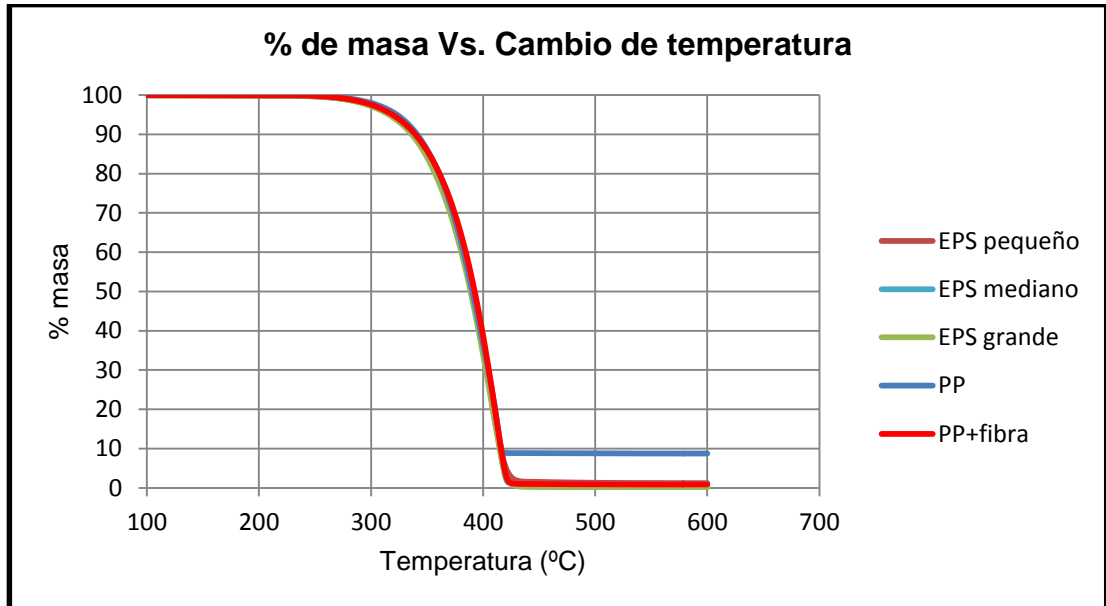
Por su parte el PP reforzado con fibra reporta menor cantidad de masa al final de la prueba, lo que demuestra que este aditivo no mejora las propiedades térmicas del polipropileno.

En esta prueba no se realizaron triplicados del ensayo, los resultados son de una sola muestra de cada material introducida en el analizador termogravimétrico.



Figura 10. Termograma correspondiente al tamaño de partícula.

Fuente: reporte de datos.



El termograma muestra que todos los materiales tienen pérdidas significativas después de los 300°C, pues al alcanzar los 400°C en todos queda menos del 40% de la masa inicial. Es notorio que aunque la mayor parte del tiempo el PP reforzado resiste más a los cambios de temperatura, luego de los 400°C tiene una degradación más rápida que los demás materiales donde el PP puro pierde menos porcentaje de masa que si se combina bien sea con fibra de vidrio o EPS.



- Composición de la mezcla:

**Tabla 13. Resultados termogravimetría de acuerdo a composición de la mezcla.**

**Fuente:** la autora.

Material % masa	30EPS/ 70PP	50EPS/ 50PP	70EPS/ 30PP	PP puro	PP + fibra
<b>Inicial</b>	100	100	100	100	100
<b>A 100°C</b>	100	100	100	100	100
<b>A 200°C</b>	99,98	100	100	99,96	99,97
<b>A 300°C</b>	97,32	96,78	97,61	98	97,57
<b>A 400°C</b>	25,13	25,99	41,28	36,62	38,72
<b>A 500°C</b>	0,25	0,54	5,24	8,81	0,92
<b>A 600°C</b>	0,22	0,41	5,13	8,75	0,88
<b>Masa Inicial (gr)</b>	<b>14,744</b>	<b>15,711</b>	<b>16,287</b>	<b>17,454</b>	<b>18,372</b>
<b>Masa final (gr)</b>	<b>0.022</b>	<b>0.0041</b>	<b>0.053</b>	<b>0,0875</b>	<b>0.0088</b>

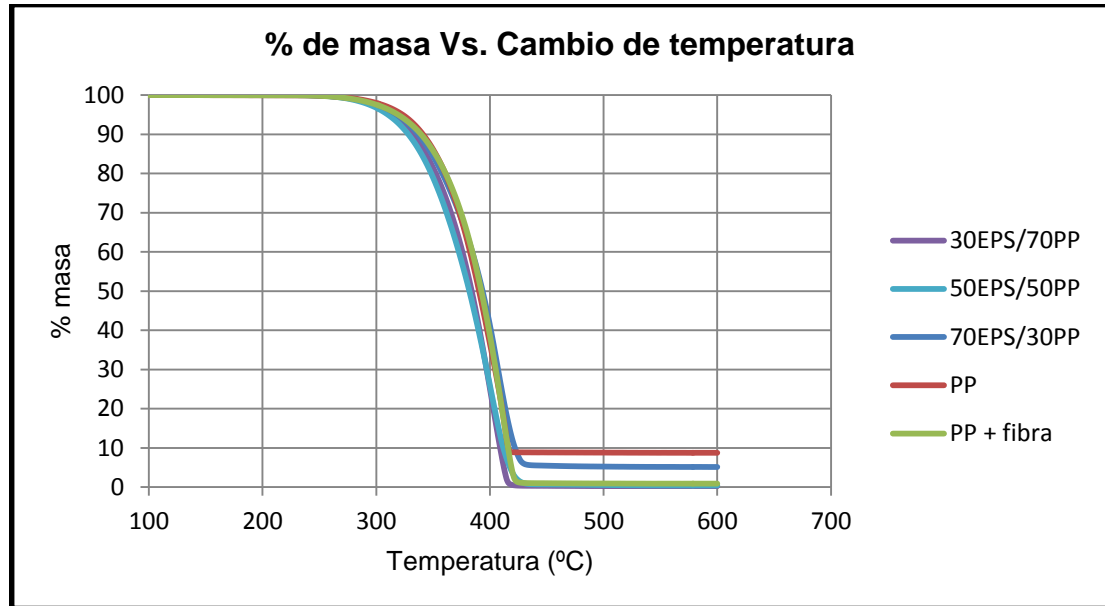
En los resultados es posible ver que al aumentar el contenido de icopor, aumenta la resistencia térmica respecto a la mezcla de PP con fibra, no obstante, el PP puro tiene mejores propiedades en exposición a elevadas temperaturas.

La mezcla de 70% EPS se asimila a la resistencia térmica del PP puro con un 5,13% de la masa inicial de la muestra, la cual difiere bastante del PP reforzado con fibra que solo conserva el 0.88% de la masa inicial.

Cabe resaltar que la fibra es necesaria para aumentar la dureza y la resistencia a esfuerzos a los que la pieza está sometida, pero térmicamente no es adecuada.



**Figura 11. Termograma correspondiente a la composición de la mezcla.**  
Fuente: reporte de datos.




De la misma manera que en el tamaño de partícula, luego de 300°C inicia una descomposición significativa de la masa de las mezclas de materiales.

Es importante resaltar que se acerca más la variable de composición de la mezcla con el aumento significativo de icopor reciclado al 70%. Es más recomendable para el análisis térmico manejar proporciones en la mezcla que tamaños de partícula del EPS reciclado.

En el anexo 4 se observan los termogramas individuales de cada material arrojados originalmente por el equipo.

## 5.8. CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Respecto al poliestireno expandido, es necesario tener en cuenta las condiciones de almacenamiento por el contenido de pentano encapsulado en él. Cabe aclarar que la densidad del pentano es superior que la del aire y tiende a acumularse en lugares bajos, por ende es necesaria una aireación adecuada en el recinto en el que se acumule y se trabaje con él. Este gas es inflamable en mezcla con el aire y deben eliminarse todas las fuentes de ignición si se almacenan cantidades cuantiosas de icopor nuevo porque, en este caso, el EPS reciclado ya

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 47 de 70

ha pasado por varios procesos de aireación que han disminuido las concentraciones de pentano [38].

De la misma manera, el tamaño de partícula es determinante en el uso de icopor para inyección debido que las partículas pequeñas no pueden permanecer mucho tiempo dentro de la boquilla de la máquina, pues la temperatura constante de la termocupla fácilmente funde las piezas más pequeñas (tamaños inferiores a 10mm), ocasionando el cambio de color por la quema del material.

Así mismo, para adecuar el tamaño de partícula del EPS para embalaje, se empleó un molino de cuchillas giratorias, pero se recomienda emplear un molino de cuchillas que genere vórtice para garantizar que el icopor

Ambiental y económicamente, el EPS es un polímero de poco aprovechamiento y de difícil disposición final por su baja compresibilidad para ser llevado a un relleno sanitario como sucede en la ciudad de Bogotá [39]. En la mayoría de los casos, reutilizarlo o reciclarlo económicamente no es viable porque su baja densidad lo hace voluminoso y liviano y no representa oportunidad de negocio para comprarlo por peso. Es así como el poliestireno expandido seguirá siendo un problema mientras los residuos se cuantifiquen en kilogramos y la capacidad del relleno sanitario en volumen de almacenamiento.

## 6. VALORACIÓN ECONÓMICA

Esta valoración se realizó para el mes de febrero del presente año para una referencia, comparando la producción con polipropileno reforzado con fibra de vidrio y reforzado con icopor reciclado para 1000 unidades.

**Tabla 14. Valoración económica de acuerdo a la producción de ventiladores con PP reforzado con fibra de vidrio.**


**Fuente:** la autora.

Datos generales de producción				
Peso total del ventilador	Fibra de vidrio (30%)	PP (70%)	Precio Kg. Fibra de vidrio	Precio Kg. PP
0.45 Kg.	0.135 Kg.	0.315 Kg.	\$10.440	\$4.872
Datos específicos de producción de una unidad				
Precio fibra de vidrio empleada	Precio PP empleado		Precio total	
\$1.410	\$1.535		\$2.976	

Los precios de los materiales corresponden al precio final dado por el fabricante con los impuestos incluidos. El costo de producción calculado solamente incluye el valor de las materias primas plásticas, sin tener en cuenta valores como empleados, maquinaria, servicios públicos, entre otros.

Por el contrario, para la valoración económica de la producción con EPS en las mismas condiciones de la fibra de vidrio, se le asigna un valor tentativo al Kg de material de icopor al que podría encontrarse en el mercado (si existiera) de los recicladores, teniendo en cuenta que otros plásticos peletizados como el PET, el PP o el PE se pagan a \$600 aproximadamente si son para reciclaje.

El valor para el EPS se justifica un poco más elevado que los demás plásticos reciclados por las difíciles condiciones de transporte y almacenamiento debido al volumen que ocupa, pues proporcionalmente un bulto de 25Kg de PE o PP ocupa el mismo espacio de 1Kg de EPS molido.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 49 de 70

**Tabla 15. Valoración económica de acuerdo a la producción de ventiladores con PP reforzado con icopor reciclado.**

Fuente: la autora.

Datos generales de producción				
Peso total del ventilador	EPS (30%)	PP (70%)	Precio Kg. Fibra de EPS	Precio Kg. PP
0.45 Kg.	0.135 Kg.	0.315 Kg.	\$1.000	\$4.872
Datos específicos de producción de una unidad				
Precio EPS empleado	Precio PP empleado	Precio total		
\$135	\$1.535	\$1.670		

Es así como es demostrable que económicamente es muy viable el reemplazo de la fibra por el EPS para procesos que no requieran mayores especificaciones de resistencia mecánica. De esta forma se llegarían a ahorros de \$1.306 en cada unidad, donde la producción mensual no es inferior a 1000 unidades de ventiladores, logrando un ahorro del 43%.

Para este mes de 1000 unidades se alcanzaría un ahorro de \$1'306.000 respectivamente, teniendo en cuenta que es la producción mínima y por tanto el ahorro podría ser mucho mayor. Para sustentar esta información, se recurrió a herramientas de evaluación económica de proyectos como el valor presente neto y la tasa interna de retorno.

### 6.1. VALOR PRESENTE NETO (VPN)

Para determinar este valor, se calculó la producción de piezas con PP + EPS para 3 años consecutivos plasmados en la tabla 16. Se tomó una base de 1000 unidades por mes para un total de 12000 unidades al año.

Los flujos de efectivo se calcularon para el año cero teniendo en cuenta una inversión inicial de \$12'000.000 por concepto de adquisición de un nuevo molino con cuchillas en el fondo especializado para molienda de materiales livianos como el EPS y \$500.000 para compra de sacos de empaque del icopor molido.

La tasa de interés mensual para el pago del molino es de 2% en un total de 36 meses.


**Tabla 16. Valor presente neto para 5 años de producción con PP+EPS**  
**Fuente:** la autora.

Año	Producción (unidades)	Flujo de efectivo	Valor presente	Valor presente neto (VPN)
0	12000	\$-12'500.000	\$-12.500.000,00	\$ 27.205.313,7
1	12000	\$20'040.000	\$ 16.161.290,32	
2	12000	\$20'040.000	\$ 13.033.298,65	
3	12000	\$20'040.000	\$ 10.510.724,72	

El resultado del VPN demuestra que es un proyecto rentable desde el punto de vista económico y financiero, pues la inversión es posible de recuperar en el periodo o año 1 y además permitirá obtener ganancias.

## 6.2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos de efectivo dentro de la operación del negocio y se expresa en porcentaje [40]. En el caso de este estudio, la TIR arroja un valor de 150% obtenido a partir de los flujos de efectivo y comprobado al reemplazar la tasa de interés por este porcentaje donde el VPN se hace cero.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 51 de 70

## 7. IMPACTO SOCIAL


El impacto social del proyecto está evaluado desde tres perspectivas que se relacionan a grandes rasgos con la salud de los empleados de la empresa, los beneficiados con la comercialización del residuo como pueden ser posiblemente los recicladores y el beneficio que se logra al darle un segundo uso a un residuo de difícil manejo.

En el primer grupo de interés, los empleados tendrán una reducción a la exposición de las fibras de vidrio mezcladas con el material empleado para mejorar el polipropileno. Este beneficio aplica no solo para esta empresa, sino también para todas aquellas que deseen aplicar un nuevo material para otro tipo de productos que no requieran propiedades tan altas de calidad y no deseen incluir la fibra de vidrio en su proceso productivo.

El material particulado generado en el momento de mezclar el material para llenar tolvas es significativo para el personal que trabaja alrededor y especialmente para la persona que desempeña la labor. Además de esto, en el momento de limpieza de materiales reciclados dentro de la empresa el tamizado genera grandes cantidades de residuos de fibra que podrían ser absorbidos en las vías respiratorias de los trabajadores.

En segundo lugar, pero no menos importante, se encuentra el grupo de personas beneficiadas económicamente al encontrar un mercado para el icopor en el medio del reciclaje. Este residuo puede convertirse en una opción de negocio nueva para los recicladores, fijando un precio de mercado justo para las partes interesadas teniendo en cuenta factores como transporte y almacenamiento del residuo y por supuesto pensando en que el icopor de embalaje es bastante liviano y voluminoso para ser comercializado por unidades de peso.

Por último, la población en general recibirá beneficios indirectos como reducción en impactos negativos, por ejemplo la contaminación visual que produce el residuo acumulado sin disposición final y sin alternativas de aprovechamiento.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 52 de 70

## 8. IMPACTO AMBIENTAL


*“El EPS está clasificado dentro de los residuos no aprovechables porque en países como Colombia, no representa una opción de negocio ni para los recolectores por su bajo peso, ni para los industriales en procesos de reciclaje porque no se tiene claro un proceso específico en el cual incluirlo, más que la producción del mismo icopor” [41].*

En la actualidad, grupos de investigación se interesan por incluir residuos dentro de procesos industriales ya establecidos y que en este caso, es un residuo voluminoso y difícil de compactar en rellenos sanitarios a diferencia de otro tipo de materiales que llegan allí habitualmente. De esta forma, se expone el caso real en que el icopor reciclado ha participado como insumo en el proceso de producción de mezcla asfáltica caliente, mejorando hasta en 55% la resistencia del producto final para pavimentos [2].

Por su parte, el reciclaje del icopor es sencillo mediante procesos mecánicos de trituración para obtener granza y producir nuevas piezas de poliestireno [42]. No obstante, es ambientalmente importante caracterizar materiales que pueden ser reincorporados a procesos productivos con el fin de evitar la disposición directa de residuos y prolongar así, el ciclo de vida de los mismos.

En este ámbito, se favorecerá la vida útil de los lugares de disposición final como rellenos sanitarios ya que este tipo de desechos ya no ocuparán extensos espacios y se reducirá la posible contaminación visual que existe en la ciudad en lo que a poliestireno expandido se refiere. *“Este método de reciclaje no solo reduce el volumen del EPS y proporciona poliestireno para reprocesamiento, sino que limita el uso de recursos no renovables para la obtención de nuevas materias primas o insumos” [38].*

Igualmente, el reemplazo de las fibras de vidrio permitirá una reducción de las enfermedades laborales de los empleados en sus vías respiratorias por la exposición durante el horario de trabajo.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 53 de 70


## 9. CONCLUSIONES

Aunque existe una disminución en las propiedades de tensión-deformación, es importante resaltar que en cuanto a dureza la mezcla propuesta mejora y frente a la resistencia térmica no existen cambios significativos en la estabilidad del material. El estudio permitió conocer la posibilidad de reemplazar la fibra de vidrio por icopor como aprovechamiento del residuo.

Económicamente hablando, se demostró un ahorro del 43% con el cambio de insumos de fibra de vidrio por EPS reciclado, soportado además por indicadores como el valor presente neto y una tasa interna de retorno de 150% a tres años en la producción mensual mínima de Ventiladores G.B.A.

La investigación acerca de las propiedades del material propuesto se hace atractiva de forma ambiental, técnica y económica. Las posibilidades de encontrar un producto para las especificaciones del mismo son altas teniendo en cuenta que la industria de transformación de plásticos en el país actualmente está en continuo desarrollo y que los rellenos sanitarios tienen vida útil limitada y corta especialmente por residuos voluminosos como el icopor.

La investigación continuará encaminada a encontrar aquellos productos en los que pueda aplicarse el material propuesto y además encontrar la combinación más adecuada en todos los aspectos técnicos para la fabricación de piezas plásticas con poliestireno expandido reciclado.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 54 de 70

## 10. RECOMENDACIONES

### 10.1. RESPECTO AL PROCESO

- El poliestireno expandido fundido o caliente puede provocar quemaduras. Debe proteger la piel expuesta como manos y brazos, la locación debe tener estaciones de lavado de ojos y/o duchas de seguridad cerca del puesto de trabajo.
- En el proceso de calentamiento del EPS es fundamental el uso de tapabocas porque la inhalación de los vapores del mismo puede provocar mareo, náuseas, dolor de cabeza e incluso efectos narcóticos.
- Deben mejorarse los procedimientos en cuanto a la molienda de EPS, se recomienda compactar en caliente primero el material y luego si proceder a moler para aumentar la densidad del producto y reducir la polución generada por partículas suspendidas de bajo peso [3].
- Deben emplearse buenas prácticas de organización en la zona de trabajo para evitar suspender partículas de icopor molido recogiendo este residuo suavemente para no generar nubes de polvo.


### 10.2. GENERALES

- Las pruebas de resistencia térmica y mecánica de la mezcla propuesta permiten conocer ciertas propiedades del nuevo material para posibles usos fuera de Ventiladores G.B.A., aplicados a otros procesos productivos que no requieran especificaciones de calidad de este tipo, pero que permitan la inclusión del icopor reciclado.
- Se recomienda a Ventiladores G.B.A. investigar acerca de las propiedades técnicas óptimas que requiere la fabricación de autopartes con el fin de comparar y llegar a mejoras en su proceso y por tanto en la calidad de su producto ya que no contaban con pruebas mecánicas y térmicas para las piezas elaboradas.
- Es recomendable continuar con la investigación sobre este proyecto debido a que se abre un sinnúmero de posibilidades frente a nuevos




materiales de fabricación en la industria de transformación de plásticos, con otro tipo de pruebas, puede determinarse completamente la ficha técnica de la mezcla más adecuada para elaborar un producto terminado con dichas especificaciones.

- Los estudios complementarios próximos a la presente investigación estarán enfocados a la realización de pruebas químicas del material obtenido, seguido a esto, una nueva etapa de análisis estadístico de las combinaciones ideales para un material con buenas propiedades físicas, químicas y térmicas.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 56 de 70

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2004) Reseña toxicológica de las fibras vítreas sintéticas. [Online]. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs1614.html#](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs1614.html#)
- [2] J. Cárdenas and E. Fonseca, "Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polímero reciclado, estudiada desde la relación viscosidad- temperatura," *Revista EIA*, no. 12, pp. 125-137, Dic. 2009. [Online]. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n12/n12a10.pdf>
- [3] Poletto Matheus, Juliane Dettenborn, Mara Zeni, and Ademir Zattera, "Characterization of composites based on expanded polystyrene wastes and wood flour," *ELSEVIER*, vol. 31, no. 4, pp. 779-784, Abril 2011. [Online]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10005817>
- [4] Alcaldía Local de Bosa. (2014) Alcaldía Mayor de Bogotá. [Online]. <http://www.bogota.gov.co/localidades/bosa>
- [5] M. Ramos Carpio and M. Ruíz, *Ingeniería de los Materiales Plásticos*, Segunda ed., Díaz de Santos, Ed. Madrid, España, 1988.
- [6] Tecnología de los Plásticos. (2011, Jun.) Polipropileno. [Online]. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html>
- [7] Tecnología de los Plásticos. (2011, Dic.) Fibra de vidrio. [Online]. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>
- [8] QuimiNet. (2012, Ene.) Características y propiedades de las bandas de fibra de vidrio. [Online]. [www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-propiedades-de-las-bandas-de-fibra-de-vidrio-2662505.htm](http://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-propiedades-de-las-bandas-de-fibra-de-vidrio-2662505.htm)
- [9] M. Cáceres, M. Sánchez Soto, M. Maspoch, M. Sánchez Hernández, and A. Sánchez Rojo. (2014) Desarrollo de un proceso de reciclaje para la fracción mixta de residuos de plástico, provenientes de plantas de separación selectiva. [Online]. [http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/8207/1/09\\_M\\_Angelica\\_Caceres.pdf](http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/8207/1/09_M_Angelica_Caceres.pdf)
- [10] J. Arándes, J. Bilbao, and D. López Valerio, "Reciclado de residuos plásticos," *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. V, no. 1, Mar. 2004.

 <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
	DOCUMENTO DE GRADO	Pág. 57 de 70

[Online]. <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAR04/Danilo2004.pdf>

- [11] Universidad Industrial de Santander. (2000) Gestión integral de residuos. [Online]. <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/documentos/capacitaciones/Capacitacion%20Gestin%20Integral%20de%20Residuos.pdf>
- [12] Econocom OSIATIS. (2013) Generación de residuos inertes. [Online]. [http://www.osiatis.es/iso\\_14001/planificacion-evaluacion-residuos-inertes.php](http://www.osiatis.es/iso_14001/planificacion-evaluacion-residuos-inertes.php)
- [13] R. Benavente. (2011, Feb.) Ensayo de tracción. [Online]. <http://www2.ictp.csic.es/qf/ppcontrol/bibliografia/D21-Propiedadesmecanicas-RBenavente.pdf>
- [14] Tecnología de materiales industriales. (2012) Ensayo de tracción universal. [Online]. [http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/practicas-1/Practica\\_II-TRACCION.pdf](http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/practicas-1/Practica_II-TRACCION.pdf)
- [15] P. Gallego Botero and R. Claros. (2007, Nov.) Diseño mecánico de una máquina universal de ensayos para polímeros. [Online]. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1113/1/621815G166dm.pdf>
- [16] Universidad Centroamericana Jose Simeón Cañas. (2012) Propiedades Mecánicas: curva Esfuerzo – Deformación. [Online]. <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/Tema%2008.pdf>
- [17] Tecnología de los plásticos. (2011, Jun.) Propiedades mecánicas. [Online]. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html>
- [18] R. Lorenzo. (2010, Dic.) Módulo de elasticidad. [Online]. [http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CEcQFjAF&url=http%3A%2F%2Fmateriales.wikispaces.com%2Ffile%2Fview%2FM%25C3%25B3dulo%2Bde%2Belasticidad.doc&ei=WsNFVIOqEobLsAT8rYHACQ&usq=AFQjCNEbXTNOxASi4NObxS3HXkXe865dHw&sig2=S\\_VxF\\_ov](http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CEcQFjAF&url=http%3A%2F%2Fmateriales.wikispaces.com%2Ffile%2Fview%2FM%25C3%25B3dulo%2Bde%2Belasticidad.doc&ei=WsNFVIOqEobLsAT8rYHACQ&usq=AFQjCNEbXTNOxASi4NObxS3HXkXe865dHw&sig2=S_VxF_ov)
- [19] KANSERT, S.L. Ensayos de dureza. [Online]. [www.kansert.es/Shore.swf](http://www.kansert.es/Shore.swf)



- [20] E. Rodríguez. (2012, Jul.) Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico. [Online]. <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCUQFjAB&url=http%3A%2F%2Frevistas.ucr.ac.cr%2Findex.php%2Fmateriales%2Farticle%2Fdownload%2F13470%2F13366&ei=9slJVlfCldLKgwT39YCgCw&usq=AFQjCNFogTnY3BlrSh5zq8Q2GSnVwDouHQ&sig2=GCi6SgH>
- [21] J. Rodríguez Fernández, "Técnicas de difracción y termogravimetría para la determinación estructural de materiales," *Revista digital Innovación y experiencias educativas*, no. 39, Feb. 2011. [Online]. [http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod\\_ense/revista/pdf/Numero\\_39/JORGE\\_RODRIGUEZ\\_1.pdf](http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_39/JORGE_RODRIGUEZ_1.pdf)
- [22] Presidencia de la República de Colombia, DECRETO 1505 DE 2003, Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones, 2003.
- [23] Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. (2009) Glosario. [Online]. <http://www.ambiente.gob.ar/observatoriorsu/grupo.asp?Grupo=8075&Subgrupo=8223>
- [24] Academia Nacional de Ingeniería, "Residuos Sólidos y su Gestión," Sección Ambiente y Energía, Academia Nacional de Ingeniería, Buenos Aires, Seminario 2007.
- [25] Universidad de Antioquia. (2012) Diseño de moldes de inyección de termoplásticos. [Online]. [http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes\\_inyeccion/unidad\\_2/proceso\\_inyeccion.html](http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_2/proceso_inyeccion.html)
- [26] Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires. (2011) Molienda. [Online]. [materias.fi.uba.ar](http://materias.fi.uba.ar)
- [27] Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Introducción al Comportamiento Mecánico de Materiales. [Online]. [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec2/2\\_4.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec2/2_4.htm)



- [28] Universidad del País Vasco. Propiedades Térmicas. [Online]. [http://www.ehu.es/estibalizapinaniz/Materiales2012-2013/Propiedades\\_t%C3%A9rmicas.pdf](http://www.ehu.es/estibalizapinaniz/Materiales2012-2013/Propiedades_t%C3%A9rmicas.pdf)
- [29] Representación y Distribución de Materias Primas para Plásticos. (2011) Termoplásticos. [Online]. <http://www.efsplasticos.cl/paq/materiales-de-ingenieria.php#4>
- [30] Mauricio Contreras. (2014, Diciembre) Industria de plásticos en Bogotá. [Online]. <http://es.investinbogota.org/invierta-en-bogota/invertir-bogota/industriales-bogota/industria-plasticos-bogota>
- [31] Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia. (2013, Enero) Informe de industria. [Online]. <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CC4QFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.mincit.gov.co%2Fdescargar.php%3Fid%3D65998&ei=MWwJVfnYMIqYNtrUgtgK&usq=AFQjCNH-moPEO1PPX8EqHVK6Y8mmlpOjbA&bvm=bv.88198703,d.eXY>
- [32] ICONTEC, "Guía para el Aprovechamiento de los Residuos Plásticos," Icontec Internacional, Guía Técnica Colombiana 53-2, 2004.
- [33] ANAPE Asociación Nacional de Poliestireno Expandido de España. El poliestireno expandido y el medio ambiente. [Online]. <http://www.anape.es/pdf/EI%20EPS%20en%20el%20Medioambiente.pdf?publicacion=EI%20Poliestireno%20Expandido%20y%20el%20Medioambiente>
- [34] ASTM International, Standar Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- [35] FRITSCH. (2014) Molinos a cuchillas. [Online]. [www.fritsch.es/productos/molienda/molinos-a-cuchillas/](http://www.fritsch.es/productos/molienda/molinos-a-cuchillas/)
- [36] Richard Budynas and Keith Nisbett, *Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley*, Novena ed. México: Mc Graw Hill, 2011.
- [37] Plasticbages Industrial S.L. (2009) Características técnicas del polipropileno. [Online]. <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspolipropileno.html>



- [38] Premio Odebrecht para el Desarrollo Sostenible Ecuador. (2014) Reciclaje de poliestireno expandido (espuma flex) por el método de disolución-precipitación. [Online].  
[http://www.premioodebrecht.com.ec/site/descargas/PDF/proyecto\\_segundo\\_lugar\\_2014.pdf](http://www.premioodebrecht.com.ec/site/descargas/PDF/proyecto_segundo_lugar_2014.pdf)
- [39] C. Contreras. (2006) Manejo integral de aspectos ambientales- Residuos sólidos. [Online].  
[http://www.javeriana.edu.co/ier/recursos\\_user/IER/documentos/OTROS/Pres\\_Residuos\\_CamiloC.pdf](http://www.javeriana.edu.co/ier/recursos_user/IER/documentos/OTROS/Pres_Residuos_CamiloC.pdf)
- [40] Jose Didier Vaquiro. (2012) Tasa Interna de Retorno. [Online].  
<http://www.pymesfuturo.com/tiretorno.htm>
- [41] M. Samper, M. Rico, S. Ferrandiz, and J. López, "Reducción y caracterización del residuo de poliestireno expandido," Escuela Politecnica Superior de Alcoy, Alcoy , I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos 2008. [Online].  
<http://www.redisa.uji.es/artSim2008/tratamiento/A27.pdf>
- [42] Verde Natura. (2011, Abr.) Reciclaje de Icopor. [Online].  
<http://reciclajeicopor.blogspot.com/2011/04/reciclaje-de-icopor-en-colombia.html>
- [43] Zwick Roell. (2014) Ensayos de impacto. [Online].  
<http://www.zwick.es/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-demoldeo/ensayo-de-impacto.html>
- [44] D. Askeland, *Ciencia e ingeniería de los materiales*, Cuarta ed., Alejandro Gómez Ruíz, Ed. Mexico D.F., Mexico: Thomson, 2004. [Online].  
<http://www.4shared.com/web/preview/pdf/Sfdwywxl>
- [45] Escuela Colombiana de Ingeniería. (2011) Máquina de impacto, protocolo. [Online].  
[http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7124\\_impacto.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7124_impacto.pdf)
- [46] Ensinger. (2014) Elongación a la rotura. [Online].  
<http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-mecanicas/elongacion-a-la-rotura/>



- [47] A. Tellez Maldonado, "La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá," Instituto de Estudios Ambientales IDEA, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Tesis de investigación 2012. [Online]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/7080/1/905077.2012.pdf>
- [48] CEMPRE Uruguay, "Residuos Sólidos Urbanos: manual de gestión integral," Compromiso Empresarial para el reciclaje Uruguay, Montevideo, Uruguay, Manual 1998. [Online]. [http://www.cempre.org.uy/docs/manual\\_girsu/capitulo\\_1\\_y\\_capitulo\\_2.pdf](http://www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/capitulo_1_y_capitulo_2.pdf)

## 11. ANEXOS

### Anexo 1: fotografías del proceso.

#### EPS recolectado.



El volumen recolectado de EPS fue significativo para dos días de recolección que coincidieron con el paso del servicio de aseo de la ciudad. Esto para un perímetro de 1Km en un barrio de Bogotá.

#### Tamices elaborados.



Los tamices tienen medidas de 40x40 cm con dos tamaños de orificio para separar partículas de tamaños inferiores a 10mm



### Separación de tamaño de partícula del EPS molido.



La separación se realizó por dos razones, para introducir el material a la tolva y para llevar a cabo la metodología de la variable de cambio de tamaño de partícula.

### Gránulos de PP.

### Gránulos EPS molido para introducir al proceso.



El EPS seleccionado pasa a ser mezclado con el PP en las mezclas y proporciones planteadas en el diseño de experimentos.

### Tolva de llenado.

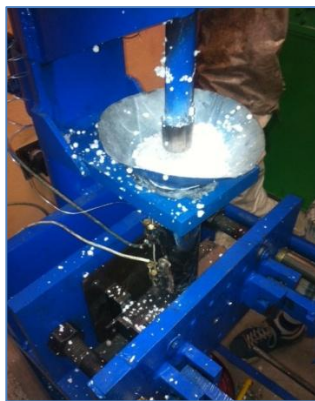


El PP original es granulado color natural transparente.



El material mezclado es puesto en la tolva de alimentación de la inyectora para pasar al molde de la pieza.

### Inyectora en producción.



Elaboración de las probetas por inyección en una máquina manual.

**Anexo 2: Tabla de resultados generales para todas las muestras en el ensayo de tensión-deformación.**

Muestra	n	Energía 1 Calc.at. Entre Áreas J	Max. Fuerza Calc.at. Entre Áreas N	Max. Tensión Calc.at. Entre Áreas N/mm2	rotura deformación %	Desv. estándar en función de la muestra
PP FIBRA	I	2,27555	916,808	41,2976	4,45%	+/- 0,004
PP FIBRA	II	1,85662	838,45	37,768	3,66%	
PP FIBRA	III	1,53114	863,008	38,8742	3,71%	
PP	I	3,83687	1522,83	39,046900	4,98%	+/- 0,02
PP	II	7,2569	1348,73	35,5829	8,99%	
PP	III	6,96678	1195,05	30,3784	9,37%	
50-50	I	3,12187	1105,73	28,3509	5,21%	+/- 0,02
50-50	II	1,33463	866,901	22,2282	3,06%	
50-50	III	0,70669	729,435	18,7035	2,16%	
30 EPS/70PP	I	1,32271	868,623	22,2724	3,11%	+/- 0,04
30 EPS/70PP	II	5,40679	1009,99	25,8972	10,03%	
30 EPS/70PP	III	1,08288	793,617	20,3492	2,61%	
EPS MEDIANO	I	2,16284	974,814	24,9952	4,37%	+/- 0,01
EPS MEDIANO	II	0,69465	659,38	16,9072	2,26%	
EPS MEDIANO	III	2,58743	1032,31	26,495	4,28%	
70%EPS/30% PP	I	0,84377	593,496	14,2667	2,53%	+/- 0,006
70%EPS/30% PP	II	0,36564	577,124	13,8732	1,45%	
70%EPS/30% PP	III	0,40526	543,003	13,053	1,57%	
EPS GRANDE	I	1,92976	993,1	23,8776	3,72%	+/- 0,01
EPS GRANDE	II	0,61327	499,524	12,0078	2,23%	
EPS GRANDE	III	0,64371	583,618	14,0293	2,21%	
EPS PEQUEÑO	I	0,38172	506,981	12,1849	1,57%	+/- 0,001
EPS PEQUEÑO	II	0,41216	477,957	11,4894	1,75%	
EPS PEQUEÑO	III	0,45304	594,564	14,29	1,64%	

**Anexo 3: Tabla de resultados generales para todas las muestras en el ensayo de dureza.**

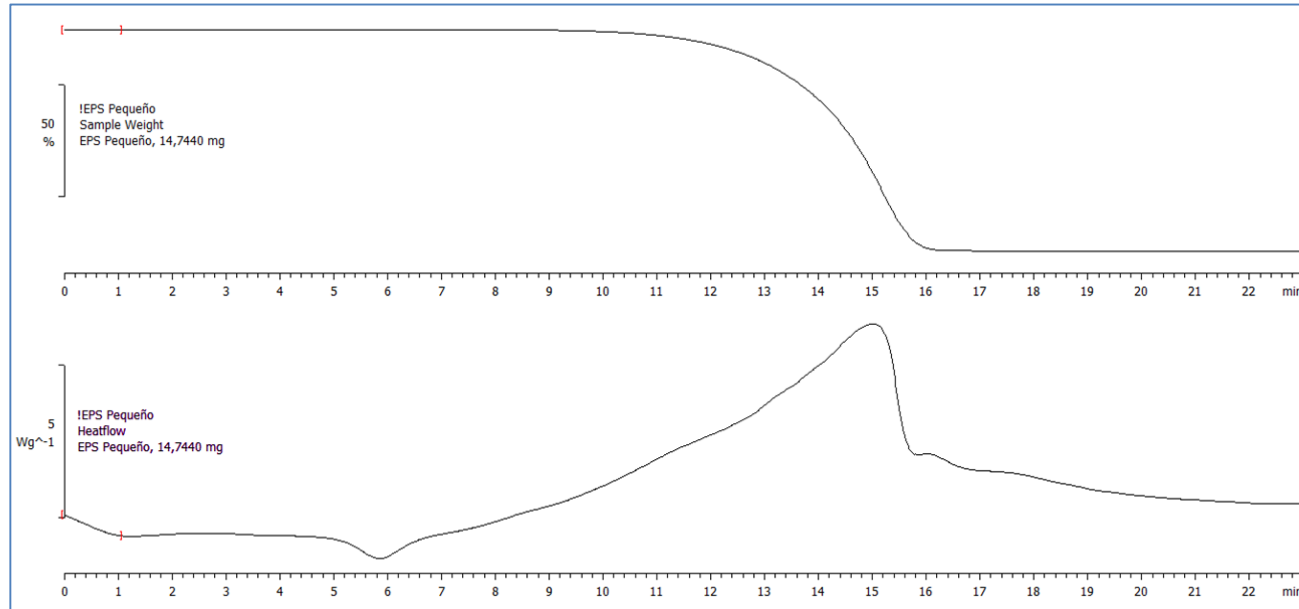
Replicado Muestra	30EPS/70PP			70EPS/30PP			50%/50%			EPS PEQUEÑO			EPS MEDIANO			EPS GRANDE			PP		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	80	79	79	85	99	90	84	99	91	85	82	82	89	80	98	95	97	93	96	98	9
2	95	96	96	92	85	95	94	95	92	90	81	90	87	98	95	98	85	89	98	90	9
3	90	86	89	86	95	97	93	91	90	92	80	78	77	90	95	95	87	97	99	98	8
4	89	89	91	93	91	97	90	92	85	89	98	92	88	85	95	97	91	91	95	93	8
5	90	95	98	90	93	97	93	89	89	80	95	85	84	85	90	97	89	93	91	95	8
6	87	88	92	94	82	95	78	99	89	93	94	90	88	89	95	92	95	87	93	90	8
7	88	88	97	92	88	93	94	97	90	95	80	85	95	95	90	98	95	93	94	92	9
8	80	90	97	98	90	89	85	95	89	90	91	95	87	93	95	85	97	93	94	90	8
9	87	88	89	97	96	94	91	97	91	87	94	95	75	95	92	95	98	91	98	97	9
10	89	92	98	95	95	93	95	92	98	96	95	95	89	92	98	92	88	95	98	90	9
Promedio 1	88	89,1	92,6	92,2	91,4	94	89,7	95	90,4	89,7	89	88,7	85,9	90	94,3	94,4	92,2	92	95	93,3	88
Promedio 2	90			93			92			89			90			93			92		
Des. estándar en función de la muestra	5			4			5			6			6			4			4		



### Anexo 4: Curvas de análisis termogravimétrico.

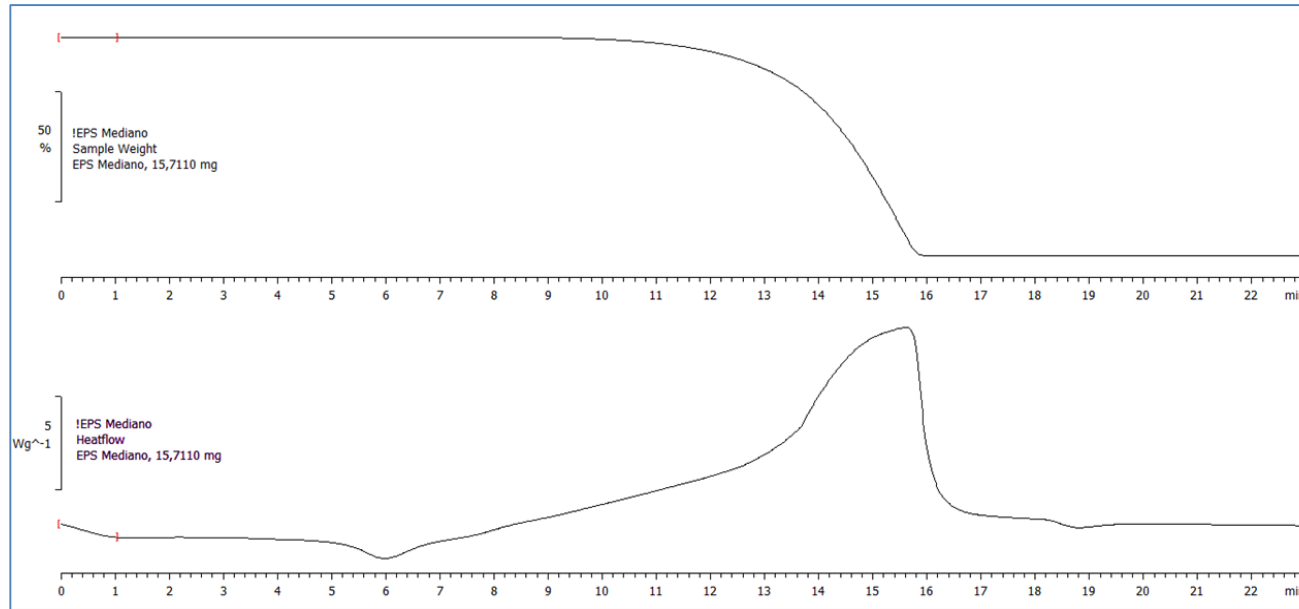
#### 1. Tamaño de partícula:

- EPS pequeño+ PP

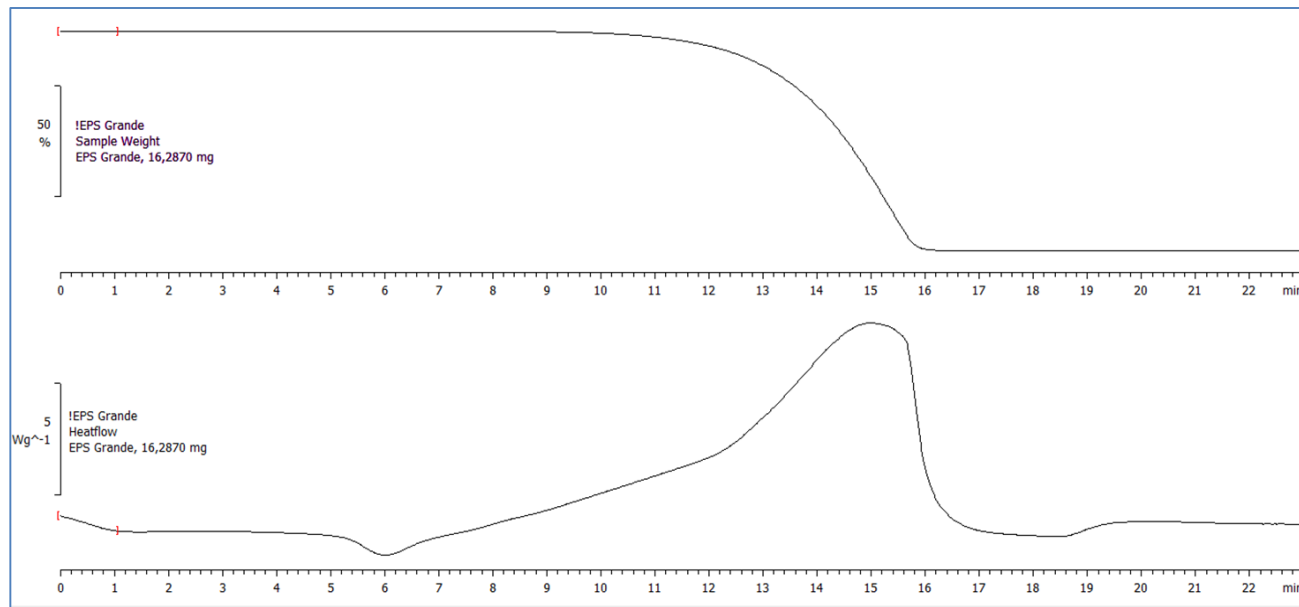




- EPS mediano+ PP



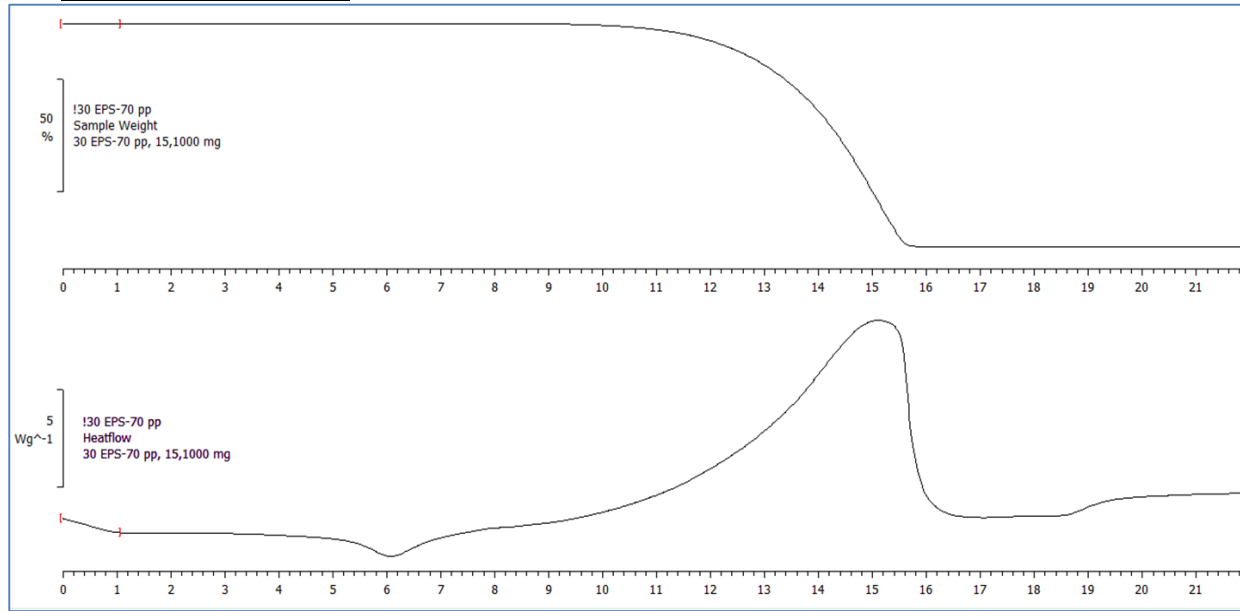
- EPS grande+ PP



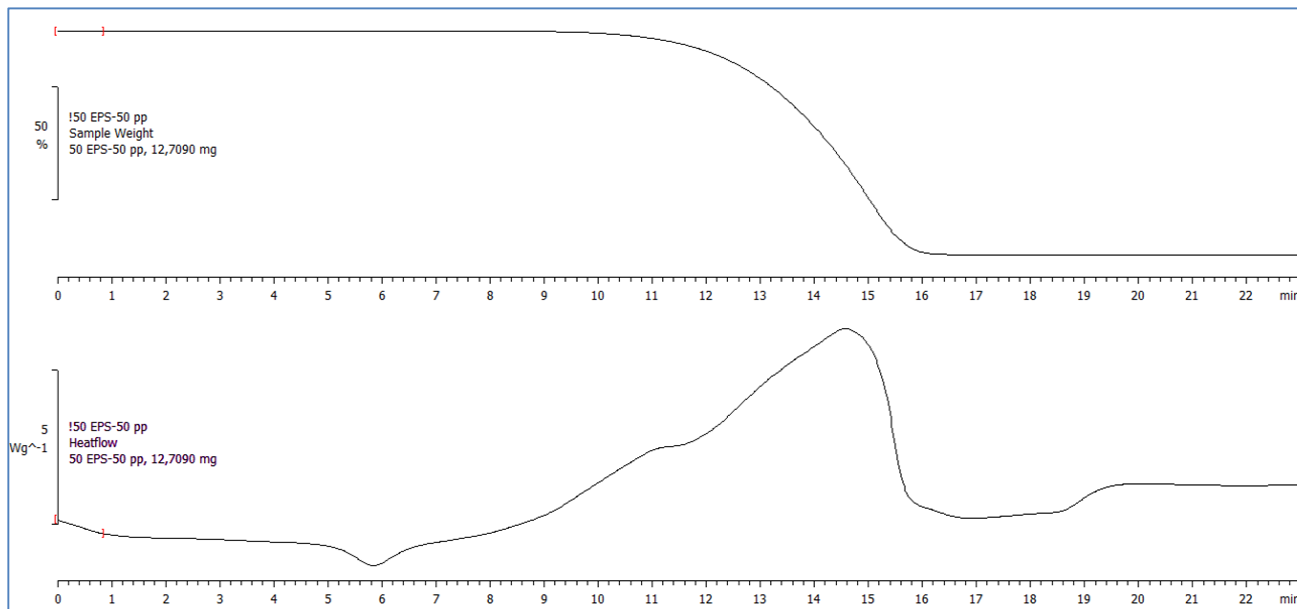


## 2. Composición de la mezcla:

- 30% EPS – 70% PP

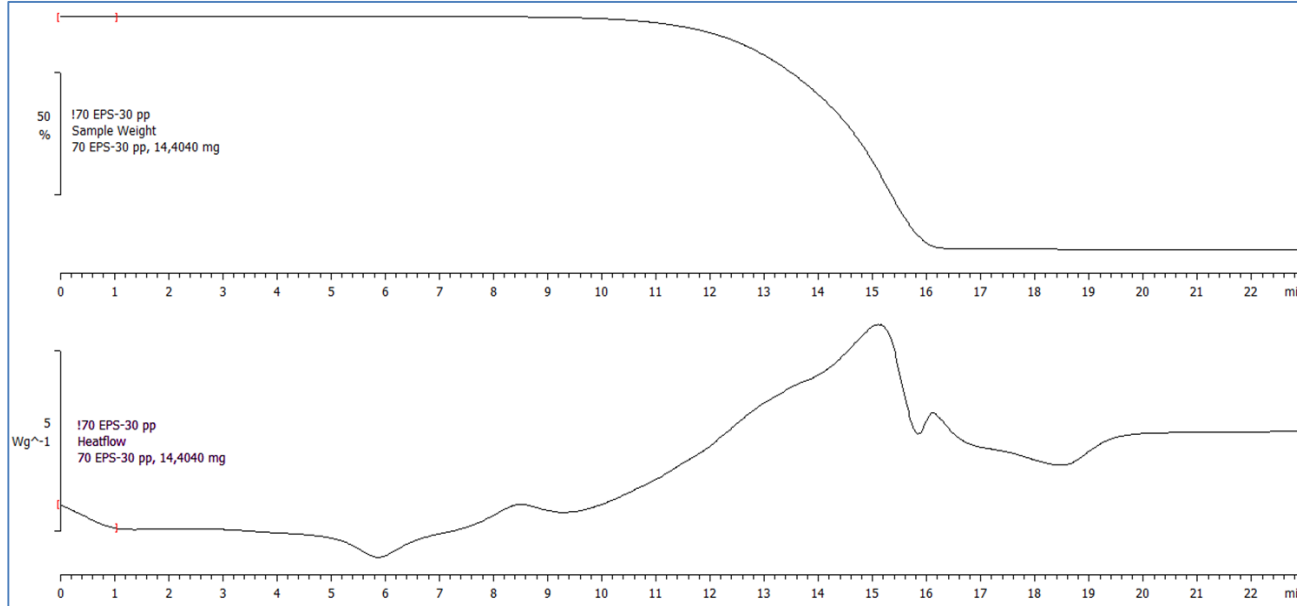


- 50%% EPS – 50% PP



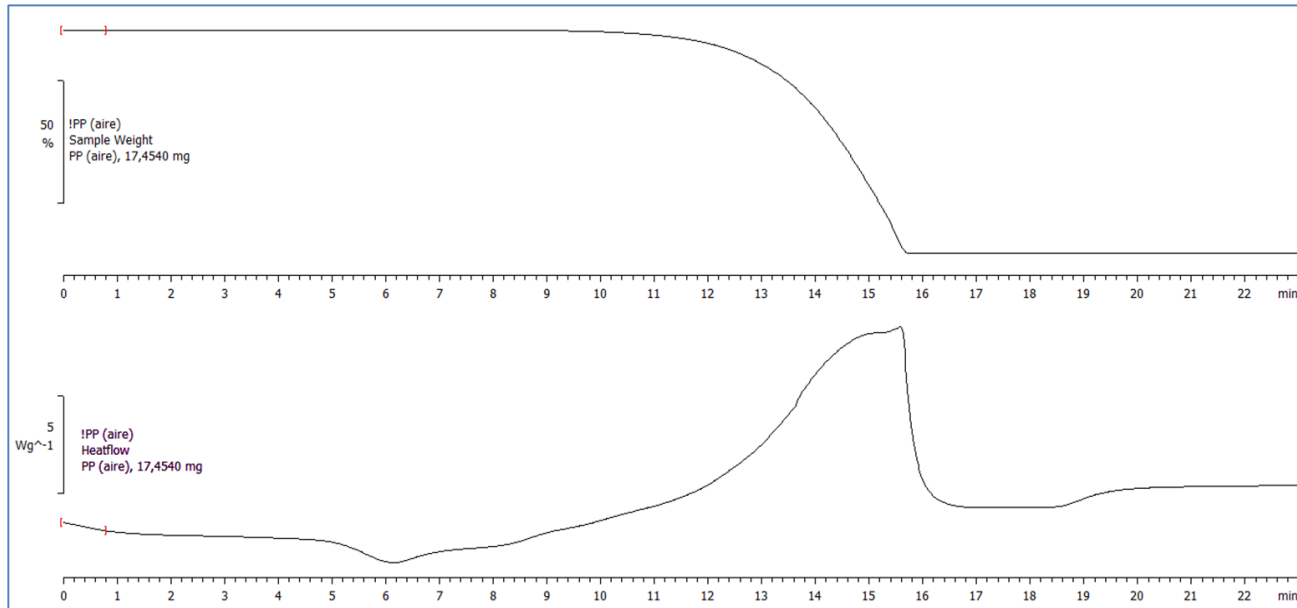


- 70% EPS – 30% PP



### 3. Blancos de muestra:

- PP puro





- PP+ fibra de vidrio

