



# **Reciclaje termo - mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios.**

**Carlos Humberto Quintero Peña**

Universidad de Manizales  
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas  
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente  
Manizales, Colombia

2013



# **Reciclaje termo - mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios.**

**Carlos Humberto Quintero Peña**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título  
de:

**Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director:

M. Sc Juan David Adame Rodríguez

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados (BSI) Universidad de Manizales

Grupo de investigación:

Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo CIMAD

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2013



*A mi familia por la paciencia tenida durante estos tres años y la tolerancia establecida para poder terminar esta labor encomendada y gratificante. En especial al ser que me genera tantas ganas de seguir adelante, Mi adorada hija "Laura".*

*Carlos Humberto Quintero Peña.*



# Agradecimientos

Primero agradezco a Dios por permitirme continuar con mis estudios en el camino recorrido y poder cualificar mis competencias para que mi vocación y mi servicio cumplan la misión en el campo de la docencia. A La Universidad y mis maestros, por haberme aceptado como parte de la comunidad educativa, brindándome la oportunidad de profundizar en un área del saber, que es prioridad para aquellos a quienes nos importa el planeta y tenemos conciencia ambiental. A mis compañeros de maestría porque con su participación y generosidad al compartir su saber me enriquecieron y motivaron en este reto emprendido. A mi director de tesis por su orientación y acompañamiento para culminar un pequeño aporte a la investigación en medio ambiente y desarrollo sostenible. A la Fundación Verde Natura por invitarme a participar de un proyecto innovador en el campo del reciclaje de materiales poliméricos. Finalmente, quiero hacer un reconocimiento especial al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación “Colciencias”, que por medio del convenio número 523-2011 articulado al programa de *Emprendimiento de Base Tecnológica*, brindo los recursos para llevar a cabo la ejecución de este proyecto.



## Resumen

Debido al aumento demográfico, sumado al uso indiscriminado y sin control de recursos no renovables en esta sociedad actual de consumo en la que convivimos los seres humanos, se hace imperativo realizar acciones encaminadas a mitigar el uso de dichos recursos y ampliar la vida útil de los materiales que consumimos diariamente reduciendo, reutilizando y reciclando. El poliestireno expandido o icopor (EPS) es un derivado del petróleo que como material presta un gran servicio en nuestra cotidianidad, desde embalajes hasta la fabricación de utensilios para comida, construcción, industria y aseo; sin embargo, genera volúmenes masivos de desperdicios no reciclables y no re incorporables en el medio a través de los ciclos biogeoquímicos de la materia, en donde finalmente terminan en los mejores casos aglutinados en basureros, reduciendo el espacio y tiempos de almacenamiento de los mismos. El EPS se reciclo mediante el método termo-mecánico, con el fin de obtener y recuperar una resina termoplástica que reduzca el volumen de dicho material, con miras ecológicas en la mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios, como a su vez la incorporación a nivel industrial siendo sustituto y/o mejorador de propiedades de otros materiales puros o reciclados.

**Palabras clave:** Poliestireno, Icopor, EPS, Reciclaje, Termo-mecánico, Resina

## Abstract

Due to the demographic increase; together with the indiscriminate and uncontrolled use of non renewable resources presented in the actual consumer society in which we as human beings live; it is necessary to do some actions aimed to mitigate the use of those resources; as well as enlarging the useful life of the materials we consumed daily through reducing, reusing and recycling those products. The expanded polystyrene or polystyrene (EPS) is a petroleum product which as material, brings us a great service in our everyday life; from packing until the manufacturing process of food tools, construction, industry and cleanness. However, it also generates huge amounts of non recyclable and non re-embeddable wastes in the environment through biogeochemical cycles of the matter. Where those wastes eventually ends up, in the best cases, clustered into landfills, reducing their space and storage times. The EPS was recycled through the thermo-mechanic method in order to get and retrieve a thermoplastic resin which helps us to decrease that material with the idea of mitigating the ecological environmental impact in landfills as well as its incorporation to the industry as a substitute and / or a properties enhancer from other pure and recycle materials.

**Keywords:** Polystyrene, EPS, Recycling, Thermo-mechanical, Resin



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de cuadros</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>15</b>
<b>1. Marco Teórico</b> .....	<b>17</b>
1.1 Plástico .....	17
1.2 El poliestireno expandido (Icopor).....	18
1.3 Obtención del poliestireno expandido (EPS).....	19
1.4 Problemáticas ambientales asociadas a los plásticos y al EPS. ....	19
1.5 Técnicas para la recuperación del Icopor (EPS) .....	21
1.6 Reciclaje poliestireno expandido en Colombia .....	22
1.6.1 Reciclaje Químico.....	22
1.6.2 Reciclaje Mecánico y Trituración .....	23
1.6.3 Reciclaje por Aglutinamiento.....	23
<b>2. Antecedentes</b> .....	<b>24</b>
<b>3. Metodología</b> .....	<b>25</b>
3.1 Materiales .....	25
3.2 Procedimientos.....	26
3.2.1 Ubicación del Área de estudio .....	26
3.2.2 Recuperación mecánico – térmica de Poliestireno Expandido (EPS).....	26
3.2.3 Caracterización física (cuantitativa – cualitativa) de la resina obtenida en la recuperación del EPS .....	27
3.2.4 Métodos de disminución de volumen del EPS, a partir de técnicas de reducción química, trituración mecánica y aglutinamiento.....	28
3.2.4.1. Reciclaje Químico .....	28
3.2.4.2. Reciclaje Mecánico y Trituración.....	28
3.2.4.3. Reciclaje por Aglutinamiento .....	29
3.2.5 Diseño experimental.....	29
<b>4. Resultados y Discusión</b> .....	<b>31</b>
4.1. Recuperación mecánico – térmica de Poliestireno Expandido (EPS).....	31
4.2. Caracterización física (cuantitativa – cualitativa) de la resina obtenida en la recuperación del EPS .....	32

4.3.	Comparación de la recuperación mecánico – térmica del EPS con respecto a otros métodos de disminución de su volumen .....	36
4.3.1.	Reciclaje Químico .....	36
4.3.2.	Reciclaje Mecánico y Trituración .....	37
4.3.3.	Reciclaje por Aglutinamiento .....	38
4.3.4.	Análisis de la recuperación de EPS por procesos mecánico - térmico en comparación con el método químico, por aglutinamiento y mecánico – trituración.....	39
4.4.	Recuperación del EPS a través del reciclaje termo –mecánico como estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios.....	40
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>42</b>
5.1	Conclusiones .....	42
5.2	Recomendaciones.....	42
<b>6.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>44</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Máquina Reciclaje Térmico – Mecánico.....	27
<b>Figura 2:</b> Resina Reciclaje Térmico – Mecánico.....	27
<b>Figura 3:</b> Procedimiento realizado en el reciclaje químico del EPS.....	28
<b>Figura 4:</b> Procedimiento realizado en el reciclaje mecánico y trituración del EPS...	28
<b>Figura 5:</b> Procedimiento realizado en el reciclaje por aglutinamiento del EPS.....	29
<b>Figura 6:</b> Espectro Infrarrojo de resina recuperada de la técnica M-T del EPS.....	32
<b>Figura 7:</b> Producto del reciclaje del EPS tratamiento Químico .....	37
<b>Figura 8:</b> Producto del reciclaje del EPS tratamiento Químico .....	38
<b>Figura 9:</b> EPS Molido .....	38
<b>Figura 10:</b> Máquina de Reciclaje por Aglutinamiento .....	39
<b>Figura 11:</b> Reciclaje por Aglutinamiento y Resina Aglutinada.....	39

## Lista de cuadros

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1:</b> Materiales.....	25
<b>Cuadro 2:</b> Pruebas físicas cuantitativas y cualitativas para la caracterización de polimeros .....	27
<b>Cuadro 3:</b> Resultados de Tamizado .....	31
<b>Cuadro 4:</b> Resultados de Temperatura de Ablandamiento VICAT.....	34
<b>Cuadro 5:</b> Resultados ensayo de la Resistencia a la Tensión .....	35
<b>Cuadro 6:</b> Resultados ensayo de Resistencia a la Flexión.....	35
<b>Cuadro 7:</b> Resultados de las Pruebas físicas a la Resina Recuperada del EPS.....	36

## Introducción

El calentamiento global es un fenómeno que nos involucra a todos los humanos en el planeta y conlleva a una relación entre la biología, la ecología, la psicología y la economía (Rozas, 2003). El efecto invernadero es producido por los gases tales como el anhídrido carbónico, el metano y el óxido nitroso, en donde el Dióxido de carbono es el responsable en un 70% de este efecto, gases que son generados por las actividades humanas y más en las grandes metrópolis por los diferentes medios de transporte, grandes industrias y el mal manejo de los residuos sólidos (Rozas, 2003).

Ante la gran contaminación mundial, el planeta tierra tiene por naturaleza la vía para contrarrestar dicho fenómeno; no obstante, la sociedad humana actual en su afán de mejorar su nivel de vida, ha transformado sus ecosistemas deteriorando el ambiente a partir de la destrucción de sus bosques, cuencas hídricas y diversidad biológica, a lo que se suma la explotación masiva y transformación de minerales, cuyos productos en algunos casos (como los plásticos) son acumulados en dichos espacios a manera de basuras, interrumpiendo la reintroducción de sus componentes al medio, a partir de los tan importantes ciclos biogeoquímicos (Rozas, 2003).

Para Colombia, la composición física del producto de todos sus residuos sólidos corresponde en un 13% a plásticos y afines, arrojando un valor aproximado de 3400 toneladas de desechos diarios en basureros (Jaramillo y Zapata, 2008).

Dado el desarrollo que ha surgido en el país por los avances tecnológicos en cuanto a elementos para el embalaje y empaques basados en el Poliestireno Expandido (EPS), se presenta un problema porque el ciclo de vida de estos materiales es corto, su descomposición en el ambiente es muy lenta (pueden durar siglos), cumplen su función industrial muy rápido y terminan formando rápidamente parte de la acumulación de los residuos sólidos generados a diario por la humanidad (Cáceres, et al., 2009).

Los problemas que plantean los residuos sólidos, traen consigo la necesidad de buscar soluciones que favorezcan un mejor manejo y aprovechamiento de éstos, ya sea a través de su reducción, reutilización o reciclaje, debido a que se acumulan rápidamente en los lugares utilizados para su recolección, favoreciendo algunos inconvenientes en el área de la salubridad e higiene, a lo que se suma la destrucción del ambiente (Arandes, et al., 2004).

Conforme a lo descrito anteriormente el EPS (Poliestireno expandido) debido a sus características de baja densidad y de material comprimible acarrea la necesidad de su disminución en cuanto al volumen disponible presente en los sitios de recolección de residuos sólidos urbanos (basureros).

Es de resaltar que el EPS, por su composición y su origen derivado del petróleo y por tanto de una materia prima agotable, es un residuo de alto valor, relativamente fácil de recuperar y abundante (tanto o más que el vidrio en los residuos domésticos y creciente

entre los residuos industriales). Paradójicamente no ha sido objeto de una recogida selectiva y prácticamente la mayoría del que se ha recuperado procede de las plantas de tratamiento de residuos domésticos. En conjunto, el porcentaje de recuperación del poliestireno expandido utilizado en diferentes sectores industriales y domésticos es muy bajo (Arandes, et al., 2004).

En la actualidad algunas instituciones gubernamentales y no gubernamentales en Colombia han comenzado a tomar conciencia sobre esta problemática ambiental; no obstante, son pocos los trabajos realizados, destacándose algunos proyectos liderados por la Fundación Verde Natura sobre este tema en la ciudad de Bogotá, con el fin de minimizar el problema entorno a la disminución del volumen depositado en rellenos sanitarios, ya que los residuos de EPS son generados a diario desde diversas fuentes, como el sector de la construcción y embalaje de elementos electrónicos, entre otros (Melo, 2010).

La reducción del volumen de desecho de estos materiales, se puede realizar de diferentes formas, es importante y prioritario escoger la estrategia que utilice menos consumo de energía para su transformación.

La importancia de este proyecto radicó en evaluar el método termo-mecánico en la recuperación del Poliestireno Expandido - EPS (ICOPOR), como posible estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios, espacios en donde se presenta su mayor acumulación y problemáticas de este orden, a través su obtención en forma de resina, la caracterización física de dicha resina (cuantitativamente – cualitativamente) y un análisis comparativo de ésta técnica con respecto a otras como lo son la reducción química, trituración mecánica y aglutinamiento.

Las razones para promover el reciclado y acciones a desarrollar, según Gaiker (2007), son:

- 1) Protección del medio ambiente: Reducción del consumo de recursos (materias primas y energía) - Disminución de los impactos en suelos, aguas y aire (emisiones y vertidos)
- 2) Protección de la salud de los seres humanos.

Y las estrategias, son:

- 1) Prevención: Reducción o minimización – Reutilización
- 2) Reciclado y valorización: Reciclaje mecánico – Reciclaje químico (plásticos)
- 3) Recuperación energética: Eliminación (incineración)
- 4) Vertido: Vertido controlado

# 1. Marco Teórico

## 1.1 Plástico

Los plásticos se obtienen por procesos químicos que conllevan a formar estructuras más complejas que los compuestos naturales debido a que se forman enlaces entre las moléculas constitutivas formando largas cadenas y a estos materiales les llamamos “macromoléculas y/o polímeros”.

Según Groover (1997), “los polímeros son los más nuevos de los tres tipos básicos de materiales y, al mismo tiempo, los más antiguamente conocidos por el hombre. Un *polímero* es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga, cada molécula está hecha de unidades repetitivas que se conectan entre sí. Puede haber miles de millones de unidades en una sola molécula de polímero. El término se deriva de las palabras griegas *poly*, que significa muchos, y *meros* que significa parte. La mayoría de los polímeros se basan en el carbono y, por consiguiente, son considerados sustancias químicas orgánicas. Sin embargo, el grupo también incluye un número de polímeros inorgánicos.”

Los materiales se pueden dividir en las siguientes categorías (Groover, 1997):

“a) *Polímeros termoplásticos, o termoplásticos (TP)*, como se les llama frecuentemente, son materiales sólidos a temperatura ambiente, pero cuando se someten a temperaturas de algunos cientos de grados se convierten en líquidos viscosos. Esta característica permite conformarlos fácil y económicamente en productos útiles. Pueden sujetarse repetidamente a ciclos de calentamiento y enfriamiento sin que se degraden significativamente.

b) *Polímeros termofijos, o termofijos (TS)*, no toleran ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento como lo hacen los termoplásticos. Con calentamiento inicial, se ablandan y fluyen para ser moldeados, pero las temperaturas elevadas producen también una reacción química que endurece el material y lo convierte en un sólido infusible. Si este polímero termofijo se recalienta, se degrada por pirolisis en lugar de ablandarse.

c) *Elastómeros*. Son Hules. Los Elastómeros son polímeros que exhiben una extrema extensibilidad elástica, cuando se sujetan a esfuerzos mecánicos relativamente bajos. Algunos elastómeros pueden estirarse alargando 10 veces su longitud y luego recuperan completamente su forma original. Aunque las propiedades son bastantes diferentes a las de los termofijos, comparten una estructura molecular similar a la de éstos, pero diferente de la de los termoplásticos.”

Existen muchos procedimientos químicos para la manufactura de polímeros, describiendo los dos procedimientos más ampliamente utilizados, como son:

Polimerización por adición, que consiste en el uso de un monómero como materia prima. Monómero significa “una parte”, y es una sustancia de moléculas pequeñas que finalmente forman el polímero al unirse en largas cadenas moleculares. La característica que comparten todas las moléculas pequeñas capaces de formar polímeros por adición es que son químicamente insaturadas. Esto significa que poseen un doble enlace entre dos de sus átomos de carbono. Algunos ejemplos de polímeros de adición son: Polietileno, Polipropileno, Poliestireno, Cloruro de Polivinilo, Poliacrilonitrilo, Polimetacrilato y Polimetilmetacrilato (Morton, 2004).

Polimerización por condensación, incluye reacciones químicas comunes que se lleva a cabo por etapas, entre muchos monómeros dispares que pueden ser idénticos, para obtener polímeros, pero con la formación lateral de moléculas pequeñas (por ejemplo agua) que se segregan de la reacción. Sufren cambios tanto el ordenamiento de los átomos como la composición elemental porcentual. Algunos ejemplos de polímeros por policondensación, son: polietilentereftalato, fibras, nylon (Morton, 2004).

## **1.2 El poliestireno expandido (Icopor)**

El poliestireno expandido (EPS), se define 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 tanto no representa ningún tipo de peligro para el medio ambiente especialmente la capa de ozono (Ramón, 1988).

Como todos los plásticos, el poliestireno proviene del petróleo del cual se obtiene una sustancia llamada estireno (monómero) el cual se polimeriza con agua y un agente expansor para obtener el poliestireno expandible o expandido (EPS), el cual es la materia prima en la industria de la transformación de los artículos 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 (Ramón, 1988).

Según Macrogalleria (2008), el poliestireno es un plástico económico y resistente, el cual se puede evidenciar en diferentes productos de la cotidianidad en la vida diaria, por ejemplo, la cubierta exterior de la computadora está hecha de poliestireno, al igual que las maquetas de autos y aviones. El poliestireno a su vez se puede presentar en forma de espuma para envoltorio y como aislante. Las tazas plásticas transparentes están hechas de poliestireno. También, una gran cantidad de partes moldeadas en el interior de los autos, como los botones de la radio están constituidos por EPS. Finalmente, puede

resaltarse el uso de dicho material en juguetes y en la constitución de partes exteriores de secadores de cabello y accesorios de cocina.

### **1.3 Obtención del poliestireno expandido (EPS)**

El EPS se obtiene a través del moldeado por vapor, el cual consta de tres etapas: pre expansión, maduración y moldeo (Ramón, 1988).

Se obtiene el PS en perlas por polimerización en suspensión, que se impregnan con un agente expansor, generalmente pentano, a alta presión y temperatura, aunque también se puede llevar a cabo la impregnación con la polimerización, en la pre expansión se calienta con vapor de agua, lo que produce un doble efecto: ablandamiento de las perlas por efecto de la dilatación del pentano que se encuentra dentro de las perlas obtenidas. 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 pentano residual, el aire, se dilatan y el PS 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.

### **1.4 Problemáticas ambientales asociadas a los plásticos y al EPS.**

En la actualidad debido a la tecnología y la gran variedad de materiales plásticos existentes se puede desarrollar productos con gran variedad de propiedades y características para toda aplicación requerida, ya que se pueden trabajar solo los polímeros o con mezcla de otros polímeros, junto con aditivos o ayudas de proceso las cuales pueden modificar el comportamiento de estos materiales en el momento de su manufactura y así poder llegar a satisfacer todas las necesidades del factor humano en la necesidad de mejorar su calidad de vida (Cáceres, et al., 2009).

Debido al aumento dado en los últimos años a los plásticos por su versatilidad en y por el desarrollo tecnológico que se estima crece un 4% anualmente, utilizados en los envases, en la automoción, vivienda, vestido y todo tipo de bienes de consumo (Arandes, et al., 2004).

El consumo del EPS en los últimos años se ha aumentado desde los 10 M de Tm en 1978 hasta los 60 M Tm en el año 2000 de los cuales el 50% corresponde a USA y el resto se reparte por igual entre Europa y Japón, sin tener en cuenta los países

latinoamericanos nos reporta que el consumo de plásticos en España en el 2000 fue de 2.0 M de Tm. (Arandes, et al., 2004).

Ante estos valores se debe tomar conciencia para desarrollar metodologías en las cuales se pueda aumentar la vida útil de estos materiales, realizando una recuperación o un reciclado para llegar a sustituir algunos materiales de bienes de consumo y minimizar el daño a la naturaleza y aún más evitar que se aglomeren en los centros de acopio de los residuos sólidos urbanos, porque las estadísticas de estos es de que son en un 60% de polietileno (PE) y polipropileno (PP) y en menor proporción de poliestireno (PS), cloruro de vinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD), poli(metacrilato de metilo) (PMMA), etc.

Por esto la tendencia es que no lleguen estos materiales a los vertederos, realizando una recolección en los lugares que se generen, como un acopio y destinarlos a los sitios de reciclado o de recuperación, recogida selectiva, ya que generan un problema en los vertederos de residuos sólidos urbanos, por su baja degradabilidad.

Los plásticos por su composición y su origen derivado del petróleo son un residuo de alto valor, relativamente fácil de recuperar y abundante (tanto o más que el vidrio en los residuos domésticos y creciente entre los residuos industriales). El porcentaje de recuperación del plástico utilizado en diferentes sectores industriales es muy bajo, ya que ellos mismo lo reciclan para su propio proceso y el que más afecta es los residuos domésticos, que aún no se les ha dado tratamiento (Ramón, 1988).

Conforme a lo anterior, la explicación de esta situación se debe a varios motivos:

- El envase plástico no es retornable como las botellas de vidrio (por ejemplo, las experiencias de retornos con el plástico de PET llevado a cabo en Alemania se han abandonado por su ineficacia y coste).
- Su baja densidad eleva el costo de transporte, haciendo imprescindible su rotura para el transporte a los centros de reciclaje.
- La diversidad de materiales plásticos, de diferente composición, exige una separación en familias antes de ser reciclado, complicando la recogida selectiva.

La reutilización directa de los materiales plásticos está limitada actualmente al 1-2%, debido a los cada vez más elevados requerimientos de calidad de los productos (Ramón, 1988). Así, el plástico reciclado obtenido de los envases alimentarios y embalajes, con el que se obtiene una granza de buena calidad, no se puede volver a emplear en la fabricación de nuevos envases para alimentos por razones sanitarias, y debe usarse para otro tipo de aplicaciones. Además, gran parte del plástico presente en la basura doméstica es del tipo film, muy difícil de recuperar. El deterioro de la calidad y también del aspecto físico del producto ha ido acompañado en las dos últimas décadas de una

reducción del costo de las materias primas, siempre derivadas del petróleo (Ramón, 1988).

Según Gaiker (2007), la valoración y aprovechamiento de un residuo genérico post-consumo son las siguientes:

- 1) Recogida, identificación y separación d los residuos
- 2) Acondicionamiento
- 3) Procesado y transformación de los materiales recuperados
- 4) Medida de propiedades del nuevo producto obtenido.

## 1.5 Técnicas para la recuperación del Icopor (EPS)

Las tecnologías utilizadas para el reciclado de los materiales plásticos, se definen a partir de los siguientes tratamientos: Primario, secundario, terciario y cuaternario (Cempre, 1998)

El tratamiento primario consiste en operaciones mecánicas para obtener un producto de similares características que el producto original. Este reciclado se aplica para el aprovechamiento de recortes de las plantas de producción y transformación, y corresponde a un porcentaje muy reducido de los denominados residuos plásticos, porque este residuo no sale de las empresas, por que corresponde a desperdicios que deben controlar y reusar en el mismo proceso de transformación, pero el articulo generado y usado como bien de consumo, cuando termina su vida útil, ya se denomina residuo sólido urbano y debe contemplarse para un reciclaje.

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

El reciclado terciario, o “reciclado químico”, persiguen el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del plástico, por transformación del mismo en hidrocarburos, los cuales pueden ser materias primas integrables bien nuevamente en la ruta de obtención de plásticos o en otras rutas de la industria petroquímica. Los métodos pueden ser químicos o térmicos, dependiendo del tipo de polímero. En este se usa la solvólisis o descomposición química, que se puede realizar por la vía de la metanólisis, glicólisis, hidrólisis y aminólisis.

El reciclado cuaternario consiste en la incineración para recuperar energía. Actualmente es muy criticado socialmente por los problemas medioambientales. Este método es interesante desde el punto de vista de recuperación de energía de los materiales plásticos, los cuales poseen un elevado poder calorífico (PE, 43 MJ/kg; PP, 44 MJ/kg; PS, 40 MJ/kg; PVC, 20 MJ/KG, etc.). Sin embargo, la combustión debe estar sujeta a fuertes controles medioambientales, para neutralizar los residuos sólidos y los efluentes gaseosos (como cloruro de hidrógeno de la combustión del PVC) (Arandes, et al., 2004).

## **1.6 Reciclaje poliestireno expandido en Colombia**

Para saber cómo es el reciclaje del poliestireno expandido, debemos conocer como es su ciclo de vida, para así analizar las formas de realizar su reciclado o reutilizado.

En un análisis del ciclo de vida se cuantifica el impacto del producto durante su producción, distribución, uso, para su tratamiento en cuanto a eliminación, reciclado o rehúso (Samper, 2008).

La serie de normas internacionales ISO 14000 incluye la norma 14040 que nos informa sobre el análisis del ciclo de vida de los materiales y la serie 14025 nos ofrece una buena base de información para el análisis del ciclo de vida.

Para el sector de la construcción se deben tener normas sobre la posibilidad de dejar el material en las construcciones y así no tener que realizar disposición del material como desecho, ya que cumple con propiedades de aislamiento acústico y térmico, al igual que no absorbe humedad.

En Colombia se están utilizando los siguientes métodos para el reciclado del Poliestireno Expandido: (Samper, 2008).

- Reciclaje Químico
- Reciclaje Mecánico y Trituración
- Reciclaje por Aglutinamiento

### **1.6.1 Reciclaje Químico**

El reciclaje químico se basa en la solubilidad del material en diferentes solventes de acuerdo a su característica de polaridad usando un solvente con la misma característica, según García (2009), el poliestireno es un compuesto no polar, con lo cual se debe usar

un solvente no polar para llegar a formar soluciones, dando buenas características y llegando a soluciones saturadas, para garantizar la solubilidad total del material.

### **1.6.2 Reciclaje Mecánico y Trituración**

En la gestión y tratamiento de residuos urbanos se tiene el reciclado mecánico que según Gaiker (2007) nos informa sobre base de la operación es la reducción de tamaño mediante la aplicación de una serie de fuerzas. De acuerdo a esto existen numerosas unidades de trituración teniendo cada equipo sus propias características idóneas para aplicaciones específicas. En el mercado existe una amplia variedad de fabricantes, sistemas de trituración y molienda según el tipo de material a tratar y las necesidades de reducción de tamaño. Pueden adaptar diversas configuraciones: Trituradora de rodillos, Molino de cuchillas, Molino de martillos.

### **1.6.3 Reciclaje por Aglutinamiento**

Proceso que consiste en precalentar las partículas de plástico en una cesta rotativa, para que al girar a altas velocidades se precalienten las partículas y estas se unen para unirse y formar un solo bloque de material, minimizando volumen, pero consumiendo mucha energía (Cempre, 1998).

## 2. Antecedentes

Donati en el 2008 nos informa sobre la ventaja a nivel mundial del reciclaje del poliestireno expandido (EPS), en cuanto al tamaño del grano al contenido del gas y a sus propiedades, el reciclaje del material de poliestireno expandido (EPS) se hace cada vez más factible por el impacto ambiental generado.

García en el 2009 nos relaciona la forma de poder solubilizar los residuos del poliestireno expandido (EPS) para reducir su volumen, degradar las cadenas poliméricas pero a una temperatura de 60 °C.

La Fundación Verde Natura con el lema “RECICLAMOS ICOPOR (EPS) PARA UN MUNDO MEJOR”, es la única Fundación sin ánimo de lucro, creada en Colombia para aportar al medio ambiente un proceso de reciclaje del Poliestireno Expandido –ICOPOR- (EPS) y Poliestireno Extruido (XPS) que contribuye a minimizar la contaminación a través de la disminución de éstos residuos sólidos.

Lo están realizando, desarrollando cadenas de reciclaje dentro de los actores del ciclo de vida del Poliestireno Expandido –ICOPOR- (EPS) y del Poliestireno Extruido (XPS), recibiendo y acopiando EPS y XPS, para obtener una resina con características similares a los polímeros originales y poder aumentar el ciclo de vida de estos materiales, acondicionándolos para mezclarlos con otros materiales reciclados y aprovechar las propiedades tanto de la resina obtenida como de los otras resinas obtenidas del reciclaje de materiales con ciclo de vida terminal.

A nivel de Colombia se tiene una gran ventaja para realizar este proceso de reciclar los materiales de poliestireno expandido por el análisis de las importaciones realizadas en el año 2011, que muestran que el 44% del material importando se destinó a la fabricación de dicho material sin tocar el reglón de los envases para comida, se entiende que es para construcción y embalaje, lo cual nos da un gran valor a tener de toneladas para el reciclaje, del cual solo una empresa está utilizando aproximadamente el 3%.

Según Gaiker (2007), la comunidad europea (UE) aprobó la Directiva 94/62/CE, integrada en la normativa española con la ley 11/97 del 24 de abril de envases y residuos de envases. Esta ley pide prevenir y reducir el impacto sobre el medio ambiente de los envases, además de propiciar la gestión de los residuos de envases en todo su ciclo de vida.

## 3. Metodología

### 3.1 Materiales

Cuadro 1. Materiales

EQUIPOS PRINCIPALES	EQUIPOS AUXILIARES
Máquina Reciclaje Térmico - Mecánico	Computador Janus
Tamizadora Mecánica FRITSCHE Analysette 3, con código EF-E00TA01.	Cámara fotográfica Fuji film
Inyectora DEMAG 150 – 452NCIIK, con una fuerza máxima de cierre de 150 Ton, una capacidad máxima de plastificación de 230 g de PS, tornillo de Diámetro 45 mm.	Termohigrómetro OAKTON, código EF-E00TH01, trazado con el Laboratorio de Metrología Dimensional del ASTIN –SENA mediante el informe de verificación No. MD0467-11-1.
Espectrómetro de Luz Infrarroja FTIR Perkin Elmer 1600 Código QP-E00IR01, trazado con material de referencia Película de Poliestireno TRM PE01652 por Analítica y Redes reporte de servicio No. 4424/12.	Balanza OHAUS CD 11 con capacidad máxima de 150 kg y una resolución de 0,01 kg.
Plastómetro de extrusión ATLAS MFI 2, código EF-E00PE01 trazado con el Laboratorio de temperatura Metrologic Colombia S.A.S., mediante certificado 1487C y con el Laboratorio de Metrología Detecto de Colombia Ltda., mediante certificado número 17190-C	Balanza analítica SHIMADZU Libror AEG-220 (Resolución 0,1 mg), código QP-E00BA01, trazado con el Laboratorio de Metrología Detecto de Colombia Ltda., mediante certificado número 18485 C
Máquina Universal de Ensayos GOODBRAND, Celda de 500 kgf código EF-A02MU01, trazado con el Laboratorio de Calibración de Ingeniería de Control de Calidad ICC LAB mediante certificado No. 1531.	Termohigrómetro CONTROL COMPANY Modelo 4154, código QP-E00TH02, trazado con el Laboratorio de Temperatura y Humedad Metrologic Colombia mediante certificado No. 0271.
Máquina Universal de Ensayos GOODBRAND, Celda de 50 kgf código EF-E00M01, trazado con el Laboratorio de Calibración de Ingeniería de Control de Calidad ICC LAB mediante certificado No. 1510.	Termohigrómetro CONTROL COMPANY Modelo 4185, código QP-E00TH03, trazado con el Laboratorio de Temperatura y Humedad Metrologic Colombia mediante certificado No. 0269
Cámara de Calefacción, código EF-E00CC01 con reloj comparador trazado con el Laboratorio de Metrología Dimensional del ASTIN – SENA mediante certificado No. MD-0435-11-7 y trazado con el Laboratorio de Temperatura Metrologic Colombia S.A.S. mediante certificado No. 1486 C y con masas o discos trazados con el Laboratorio de Metrología Detecto de Colombia Ltda., mediante certificados No. 17273 C y 17296 C.	Picnómetro Vilab de 25 mL, QP-E00PI01 trazado por laboratorio de Metrología de la Universidad del Valle, Metro calidad, mediante certificado No. V3438.
Horno de aire caliente, modelo DSO-300. Distribuido por ANIKRON C.A.	Termómetro de vidrio -4°C a 32°C, QP-E00TE02 trazado por SICOTRONICA E.U. mediante certificado No. 5679.
	Termohigrómetro TRACEABLE HYGROMETER, código QP-E00TH03, trazado con el Laboratorio Metrologic Colombia S.A.S. por medio del certificado No. 0269.
Aglutinadora de plásticos de 30 HP, capacidad 40 kilos.	Calibrador Pie de Rey MITUTOYO, código EF-E00CA01, trazado con el Laboratorio de Metrología del ASTIN – SENA mediante certificado No. MD-

## **3.2 Procedimientos**

### **3.2.1 Ubicación del Área de estudio**

Se dividió la fase de campo en dos etapas: la primera se llevó a cabo en las instalaciones de la Fundación Verde Natura, ubicado en la ciudad de Bogotá D.C., haciendo uso de sus laboratorios de ingeniería orientado al reciclaje Termo – mecánico, químico, por aglutinamiento y mecánico trituración.

La segunda fase se ejecutó en los laboratorios de ensayos físicos de polímeros del centro ASTIN del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA regional Valle, en donde se realizaron los diferentes análisis cualitativos al material obtenido del reciclaje mecánico - térmico del EPS.

### **3.2.2 Recuperación mecánico – térmica de Poliestireno Expandido (EPS)**

Se alimentó la máquina de reciclaje térmico – mecánico con 5000 gr de material de Poliestireno Expandido (EPS) que ha culminado su vida útil, con el fin de molerlo y triturarlo, dicho producto se pasó por un extruder especial con temperatura de 150 °C con la pretensión de fundirlo (ver figura 1, obteniendo así una masa solida (ver figura 2) sin agente expansor que aumentó su densidad. Es de resaltar, que dicha masa sale caliente del equipo (extruder) y en forma intermitente, por lo cual, es necesario enfriar dicho material a temperatura ambiente llenando recipientes en forma de rectángulos de 5 kilos. Por otra parte, se realizó un proceso de molienda (tamizado) después de enfriar los rectángulos, para obtener así una granulometría determinada.



Figura 1 Máquina Reciclaje Térmico – Mecánico

Foto Quintero, 2012



Figura 2 Resina Reciclaje Térmico – Mecánico

### 3.2.3 Caracterización física (cuantitativa – cualitativa) de la resina obtenida en la recuperación del EPS

Conforme el laboratorio de ensayos físicos del centro ASTIN del SENA regional Valle, se llevó a cabo la determinación de las propiedades físicas de la resina obtenida del reciclaje mecánico – térmico del EPS, a través de diferentes pruebas cualitativas y cuantitativas como se describen en el cuadro 2 (estandarizadas bajo normas internas del laboratorio):

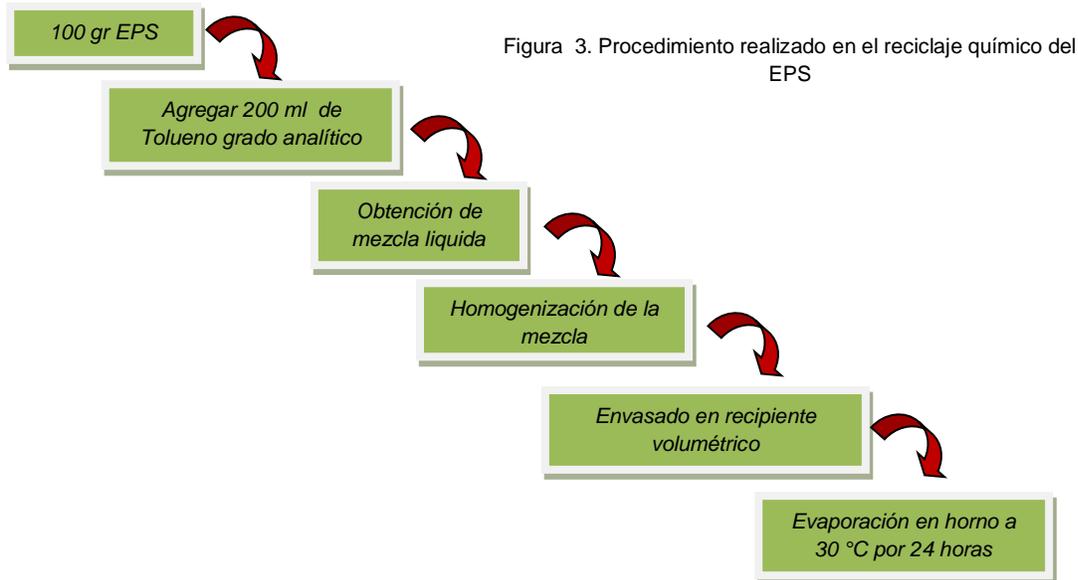
Cuadro 2. Pruebas físicas cuantitativas y cualitativas para la caracterización de polímeros.

PRUEBA CUALITATIVA	NORMA
Análisis Cualitativo por Espectrometría Infrarroja	Método 9230-ST-I-46
Ensayo de Fluidez - MFI	Método 9230-ST-I-09
PRUEBA CUANTITATIVA	NORMA
Temperatura de Ablandamiento VICAT	Método 9230-ST-I-10
Densidad	Método 9230-ST-I-44
Ensayo de Tracción	Método 9230-ST-I-06
Ensayo de Flexión	Método 9230-ST-I-14

### 3.2.4 Métodos de disminución de volumen del EPS, a partir de técnicas de reducción química, trituración mecánica y aglutinamiento

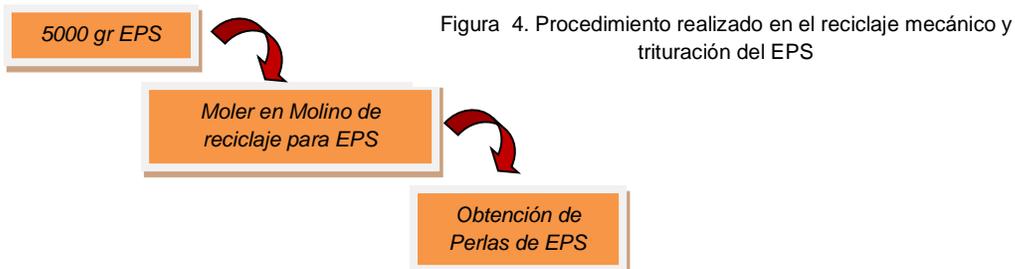
#### 3.2.4.1. Reciclaje Químico

En la siguiente figura 3, se describe la metodología que fue realizada en el reciclaje químico del EPS.



#### 3.2.4.2. Reciclaje Mecánico y Trituración

En la siguiente figura 4, se describe la metodología que fue realizada en el reciclaje mecánico y trituración del EPS.





### 3.2.4.3. Reciclaje por Aglutinamiento

En la siguiente figura 5, se describe la metodología que fue realizada en el reciclaje por aglutinamiento del EPS.



Figura 5. Procedimiento realizado en el reciclaje por aglutinamiento del EPS

### 3.2.5 Diseño experimental

Este proyecto se postuló desde el paradigma cuantitativo de investigación, apoyado desde una estadística descriptiva conforme a sus variables a evaluar que son: caracterización física de la resina (obtenida del reciclaje mecánico – térmico del EPS) y aprovechamiento del EPS (con respecto a la comparación de la recuperación del EPS a partir de las técnicas de reciclado mecánico – térmico, químico, por aglutinamiento y mecánico – triturado).

Es de resaltar que la estadística descriptiva se dedica a recolectar, caracterizar, ordenar, analizar y representar un conjunto de datos, con el fin de describir apropiadamente las diversas características de ese conjunto (Samper, 2008).

## 4. Resultados y Discusión

### 4.1. Recuperación mecánico – térmica de Poliestireno Expandido (EPS)

Una vez recuperada la resina obtenida a partir del técnica mecánico – térmica y condensada en bloques se procedió a tamizar dicho material. Para el cernido del material se utilizaron tamices No. 5, 14 y 70 en una tamizadora mecánica. El material se dividió en varias cargas, cada una de las cuales se tamizó durante cinco minutos, posteriormente se procedió a recolectar el material, obteniéndose la masa total retenida por cada uno de los tamices (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de Tamizado

MUESTRA	TAMIZ No. (ABERTURA DEL TAMIZ EN mm)	% PASA
Polímero Particulado	5(4)	58,19
	14(1,4)	19,94
	70(0,21)	0,00

La resina obtenida por los diversos tipos de tamizaje, se presentó en forma de masa sólida que debe ser triturada para obtener una granulometría homogénea, caracterizándose por no poseer agente expansor o aire entre su estructura, y mayor densidad (similar a la resina del poliestireno sin expandir).

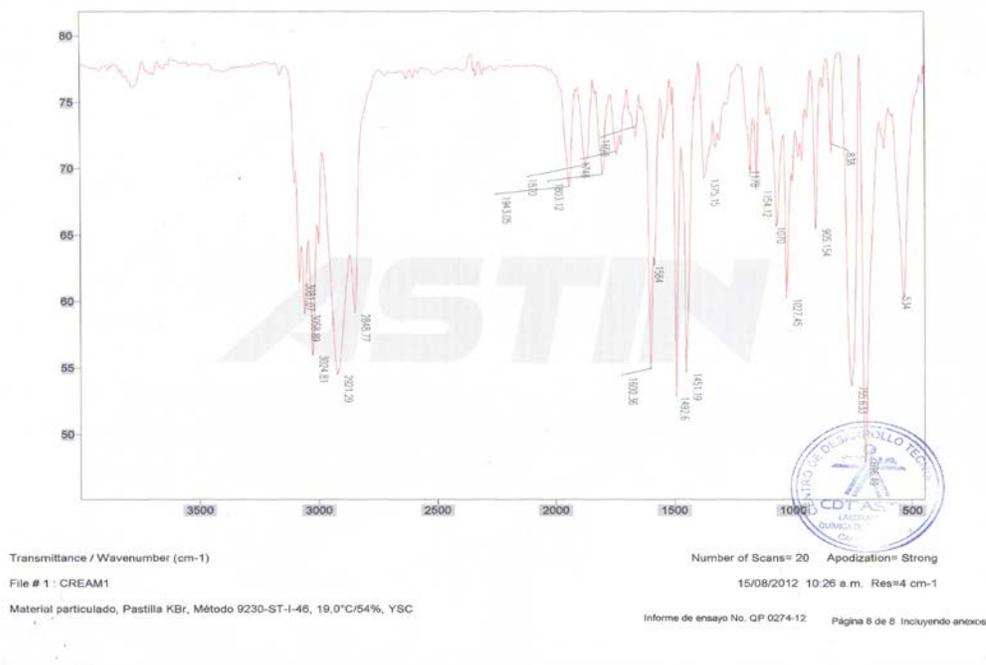
Los materiales en forma de pellets tienen la ventaja de poder ser mezclados entre sí para obtener mejores propiedades y ser transformados por los métodos tradicionales de inyección, extrusión, soplado o calandrado (Cempre, 1998).

## 4.2. Caracterización física (cuantitativa – cualitativa) de la resina obtenida en la recuperación del EPS

### 4.2.1. Análisis cualitativo por espectroscopia infrarroja

Se realizó un análisis cualitativo por espectrometría Infrarroja, de la resina recuperada del proceso mecánico – térmico del EPS, obteniendo los resultados que se aprecian en la figura 6. Dicho ensayo fue realizado bajo condiciones ambientales del laboratorio (temperatura de 19,0 °C y humedad relativa del 54%).

Figura 6. Espectro Infrarrojo de resina recuperada de la técnica M-T del EPS



Una vez comparado el espectro de la resina obtenida, con respecto al patrón de poliestireno (PS) analizados en espectroscopio, se logró corroborar que dicha material está constituido en un 99% por PS, el cual puede volver a ser aprovechado para elaborar EPS u otros tipos de productos que requieran del mismo.

#### 4.2.2. Análisis cualitativo por ensayo de Fluidez - MFI.

El ensayo se realizó bajo condiciones de laboratorio a temperatura de 21,0 °C y humedad relativa del 46,0%. Se obtuvo un valor promedio del Índice de fluidez de 40,4100 g/10 min, con una desviación estándar de 1.8955 g/10 min.

En este reporte se realizan algunas aclaraciones debido al comportamiento del material durante el ensayo, pues su granulometría no se encontraba uniforme de acuerdo a la forma obtenida del proceso de recuperación (sin ningún tratamiento posterior).

Se plantean las siguientes aclaraciones:

- *Descripción del ensayo:* El material fue fundido y extruido en un equipo llamado Plastómetro de extrusión, a través de un dado con dimensiones especificadas, bajo condiciones definidas de temperatura, carga y posición del pistón en el barril, en determinado tiempo.

- *Naturaleza y forma física del material cargado:* El equipo se cargó con material particulado.

- *Temperatura y carga a la cual se realiza el ensayo:* Temperatura de 230°C, con una carga de 3,8 kg (TF-230,0/3,8)

- *Procedimiento empleado:* Procedimiento A (Manual)

- *Número de cortes por muestra:* dos (2) cortes y dos (2) ensayos

- *Conducta inusual del material o alguna anomalía:* El material presentada partículas compactas que evitaban la extrusión del fundido, obstaculizando el paso del material a través del dado del Plastómetro.

De acuerdo a lo informado por el laboratorio y por la desviación estándar, no se puede confiar en este valor por la conducta presentada del material en el equipo, se sugiere realizar otra prueba con material granulado más homogéneo y sin contaminación.

#### 4.2.3. Análisis cuantitativo de la Determinación de Temperatura de Ablandamiento VICAT

El ensayo se realizó bajo condiciones de laboratorio a temperatura de 21,4 °C y humedad relativa del 48,0%. Obteniendo los resultados que se consignan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados de Temperatura de Ablandamiento VICAT.

PROPIEDAD	UNDS	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
Espesor	mm	3,98	0,01
Temperatura de Arranque Inicial	°C	20,0	0,0
Temperatura de Ablandamiento Vicat	°C	108,7	0,1

Por los valores de desviación estándar se puede definir la temperatura de VICAT del material como la dada en el cuadro 4.

#### 4.2.4. Análisis cuantitativo de la Determinación de Densidad por el Método de Desplazamiento

El ensayo se realizó bajo condiciones de laboratorio a temperatura 23,0 °C y humedad relativa del 45,5%, obteniendo un valor promedio de la densidad de 0,9721 g/cm<sup>3</sup>, con una desviación estándar de 0,0034 g/cm<sup>3</sup>.

Por los valores de desviación estándar se puede definir el valor de la densidad del material estudiado.

#### 4.2.5. Análisis cuantitativo de la Determinación de la Resistencia a la Tensión

El ensayo se realizó bajo condiciones de laboratorio a temperatura de 21,7 °C y humedad relativa del 46,0%, obteniendo los resultados que se consignan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados ensayo de la resistencia a la tensión

PROPIEDAD	UNDS	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Ancho mínimo	mm	10,33	0,03
Espesor mínimo	mm	3,95	0,02
Resistencia a tensión en rotura	MPa	19,533	1,4201
Resistencia máxima a la tensión	MPa	19,533	1,4201
Deformación máxima	%	1,160	0,129
Deformación en rotura	%	1,160	0,129

Por los valores dados en la desviación estándar en las resistencias se sugiere repetir el ensayo para asegurar un mejor resultado por los inconvenientes de contaminación que presentó el material en la prueba de índice de fluidez (MFI).

#### 4.2.6. Análisis cuantitativo de la determinación de la resistencia a la flexión

El ensayo se realizó bajo condiciones de laboratorio a temperatura de 21,4 °C y humedad relativa del 48,0%, obteniendo los resultados consignados en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Resultados ensayo de resistencia a la flexión.

PROPIEDAD	UNDS	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Espesor	mm	3,97	0,01
Fuerza máxima	N	73,040	4,910
Esfuerzo Máximo	MPa	42,592	2,773

Por los valores de desviación estándar no se puede tener confianza del resultado, se sugiere repetir la prueba con material no contaminado.

En el cuadro 7 se resume los valores obtenidos en las diferentes pruebas físicas cuantitativas y cualitativas de la resina recuperada del EPS a partir del método mecánico – térmico:

Cuadro 7. Resultados de las pruebas físicas a la resina recuperada del EPS

PROPIEDAD	METODO INTERNO SENA ASTIN	UNIDADES	VALOR RESINA
Densidad	9230-ST-I-44	g/cm <sup>3</sup>	0,9721
MFI	9230-ST-I-09	g/10 min	40,410
Resistencia a la Tensión	9230-ST-I-06	MPa	19,533
Deformación a la Tensión	9230-ST-I-06	%	1,16
Resistencia a la Flexión	9230-ST-I-14	N	73,040
Esfuerzo a la Flexión	9230-ST-I-14	MPa	42,592
T° Vicat	9230-ST-I-10	°C	108,7

### 4.3. Comparación de la recuperación mecánico – térmica del EPS con respecto a otros métodos de disminución de su volumen

#### 4.3.1. Reciclaje Químico

El EPS se disuelve con tolueno, este desempeña el papel de reunir las moléculas de aire atrapadas en las perlas del polímero y agruparlas para obtener una masa sólida sin aire incluido, tiene la ventaja de minimizar espacio, reduciéndose a una masa homogénea, que luego se puede secar y así obtener una masa de Poliestireno no expandible, el cual puede ser molido y agregado a otros materiales plásticos para la obtención de nuevos productos provenientes de materiales reciclados. La desventaja de esta técnica se encuentra vinculada al manejo del solvente, el cual está restringido en Colombia debido a los diferentes problemas asociados a la salud ocupacional de sus manipuladores (García, et al. 2009).

Por otra parte, es de resaltar que aún reciclado el EPS bajo esta técnica, se conserva propiedades organolépticas del solvente (tolueno) como su olor, a lo que se suma su alta pegajosidad, la cual es perjudicial para el manejo del triturado, haciéndose imprescindible su secado en estufa para así minimizar los residuos del solvente y reducir su acción

pegajosa. Es de mencionar que el color que presenta dicho producto va a depender del color original del material a reciclar.



Figura 7. Producto del reciclaje del EPS tratamiento Químico

Finalmente, dentro de las propiedades físicas de dicho material recuperado presenta una masa solida con buena dureza aunque es un poco frágil (ver figura 7); no obstante, su comportamiento se asemeja al de la resina virgen, el cual se debe moler con una determinada granulometría para poder ser transformado nuevamente o mezclado con otras resinas con igual granulometría y así poder realizar mezclas y aporte su propiedad mecánica.

#### 4.3.2. Reciclaje Mecánico y Trituración

Este tratamiento consistió en moler mecánicamente los materiales de EPS para triturarlos (ver figura 8) y dejarlos en forma de perlas, minimizando así el volumen del material, obteniéndose una masa con menos aire atrapado entre sus perlas. La finalidad de este proceso recae en su transporte a los sitios de acopio, minimizando el costo.

Foto: Quintero, 2012



Figura 8 Molino Reciclaje EPS

Foto: Quintero, 2012



Figura 9. EPS Molido

El material transformado queda en forma de perlas (ver figura 9), de forma semejante a las del material cuando se dirige a la producción de un determinado artículo. Este producto puede ser mezclado de nuevo con material virgen y procesado para obtener una nueva pieza de poliestireno expandido. Dicho proceso, es generalmente utilizado en la producción de materiales de Icopor, con el fin de minimizar los desperdicios ocurridos en la planta de manufactura, pero hasta el momento nunca a gran escala (Cempre, 1998).

### 4.3.3. Reciclaje por Aglutinamiento

Este proceso consistió en someter el material a una fuerza centrífuga, con el fin de convertir en pedazos el material de poliestireno expandido (ver figuras 10) que al volver a pasar por la centrifuga merma su tamaño hasta convertirse en material pulverulento, minimizando de esta forma el aire atrapado del material, obteniendo la granza de diferentes tamaños (ver figuras 11). Conforme a lo anterior, la fricción generada en dicho proceso eleva la temperatura ocasionando unión de las partículas pequeñas que pasan después a una prensa para ser aglutinadas o compactadas (ver figuras 11).



Figura No. 10 Maquina de Reciclaje por Aglutinamiento



Figuras 11. Resinas. Reciclaje por Aglutinamiento.

Resina aglutinada

Proceso que implica un alto consumo de energía por el equipo usado para su reciclaje, no es muy aconsejable debido al balance energético neto generado. (Cempre, 1998).

#### **4.3.4. Análisis de la recuperación de EPS por procesos mecánico - térmico en comparación con el método químico, por aglutinamiento y mecánico – trituración.**

De acuerdo al cuadro 7 sobre los datos obtenidos de la caracterización de la resina obtenida por el proceso mecánico – térmico, se toman como valores de propiedades físicas, del proceso de reciclaje mecánico-térmico, porque de los otros procesos de reciclaje solo se trabajó en la forma física y no se tomaron muestras para realizar los

análisis correspondientes de propiedades físicas, debido a que el material usado es el mismo.

Lo analizado en los procesos corresponde a la parte de procedimiento estándar para la viabilidad de uso en la Fundación Verde Natura, debido a que se posee el equipo para la realización del procedimiento mecánico-térmico.

#### **4.4. Recuperación del EPS a través del reciclaje termo – mecánico como estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios.**

La mejor manera de no producir Residuos Sólidos Urbanos es minimizando la producción de materiales que tenga poca vida útil, en segundo lugar es realizar la alternativa de las 3R (Reducir, Reusar, Reciclar), la cual es la alternativa de la industria para reducir el consumo de recursos no renovables, la alternativa de los usuarios en darle un uso diferente al de la vida útil del material y la tercera es la dada por la presente investigación de poder realizar un tratamiento a los materiales post-consumo para poder aumentar su vida y poder procesarlos minimizando el uso de los recursos no renovables. (Cempre, 1998).

El ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en su resolución número 1023 del 28 de julio de 2005, considera en su artículo tercero la adopción de la guía 27 para el sector industrial-manufacturero, que corresponde a la guía ambiental sector plásticos procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo, la cual brinda las disposiciones para poder realizar la estrategia de las 3R y dar disposiciones sobre el manejo, recolección, disposición de los residuos sólidos provenientes de materiales plásticos en especial el poliestireno expandido (EPS) y en la cual adapta la recuperación de materiales expandidos en la forma de reciclaje mecánico.

La resina obtenida es fundamental en la incorporación de otras resinas recuperadas para realizar mezclas y obtener materiales con diferentes propiedades para satisfacer las necesidades de la vida diaria.

Al comparar el método termo-mecánico con otros, se puede destacar, que en la trituración mecánica solamente se reduce el volumen del material pero no se puede usar para otros procesos porque aún le quedan residuos del agente expansor, en la reducción química se tiene problemas con el solvente debido a su olor característico con que queda impregnado el material y se debe realizar el proceso de secado para minimizar este efecto y no se puede usar directamente en mezcla con otros materiales y en el proceso por aglutinamiento, proceso por el cual la ventaja que posee es de reducir volumen pero como para poder transportar el material minimizando gastos de envío.

La aplicación de la guía 27 emanada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en su artículo tercero del sector industrial-manufacturero respalda la investigación para llegar a reducir los impactos ambientales referentes a minimizar el uso de recursos no renovables y aumentar la vida útil de materiales que han tenido un uso.

La densidad promedio del icopor es de  $50 \text{ kg/m}^3$ , lo que nos indica que por cada  $\text{m}^3$  se almacenan 50 kg, lo cual indica un gran espacio, si se dispone de materiales con una densidad de  $1 \text{ g/cm}^3$ , se puede almacenar 1.000 kilogramos de residuos sólidos, lo cual hace evidente la recuperación de espacio al poder transformar los residuos del poliestireno expandido y así aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios.

## **5. Conclusiones y Recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

Al evaluar el método termo-mecánico en la recuperación del Poliestireno Expandido (ICOPOR), se puede concluir, que la transformación del EPS por medio de esta estrategia se obtuvo una resina lista como materia prima recuperada y disponible para otros tipos de usos, conforme al análisis realizado en torno a sus propiedades físicas cuantitativas y cualitativas que le caracterizan.

Al comparar el método termo-mecánico con otros métodos de reducción de volumen (para EPS) como lo son la trituración mecánica, recuperación química y por aglutinamiento, se obtiene una resina termoplástica, moldeable, sin agente expansor, sin olor y lista para ser utilizada con diversos materiales de forma pura o en mezcla.

Al caracterizar la resina obtenida del EPS a través del método termo-mecánico se puede concluir que dicho material aumenta su densidad y reduce su espacio, lo cual es ideal como estrategia de su recuperación en procesos de reciclaje, mitigando su impacto ambiental y aumentando su capacidad de uso con proyección de aprovechamiento en rellenos sanitarios.

### **5.2 Recomendaciones**

La resina obtenida a partir de la recuperación por proceso termo-mecánico del EPS, podría funcionar como factor de adición de propiedades beneficiosas mezclándose con otros materiales plásticos y favoreciendo la elaboración de productos de uso común.

---

Se sugiere realizar una nueva investigación pero con un post-tratamiento a la resina obtenida para mejorar sus granulometría y la contaminación presentada en este análisis para poder obtener unos valores de propiedades físicas más ajustados al valor de la resina virgen, en condiciones de material de primera calidad.

El reciclaje termo-mecánico del poliestireno expandido (EPS), libera diversos tipos de gases a partir del calentamiento realizado para su recuperación; por tal razón, se sugiere realizar investigaciones en recintos cerrados y en sistemas de condensación, con el fin de recuperar los agentes expansores.

## 6. Bibliografía

ARANDES, José M, BILBAO Javier, LÓPEZ VALERIO, Danilo. Reciclado de Residuos Plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros. Volumen 5(1), Marzo de 2004. Pág. 28-45. (En Línea). Página web: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAR04/Danilo2004.pdf>.

CÁCERES M<sup>a</sup> Angélica, SÁNCHEZ SOTO Miguel, MASPOCH M<sup>a</sup> Lluisa, SÁNCHEZ HERNÁNDEZ Mónica, SÁNCHEZ ROJO Antonio. Desarrollo de un Proceso de Reciclaje para la Fracción Mixta de Residuos de Plástico, Provenientes de Plantas de Separación Selectiva. II Congr<sup>s</sup> UPC Sostenible, Vol. 2015, Año: 2009. Barcelona. Actas de Congresos Nacionales. Barcelona. 2009. Página(s): 22-24. (En línea) Página web: <http://www.upc.edu/ccp>.  
[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)

CEMPRE URUGUAY, COMPROMISO EMPRESARIAL PARA EL RECICLAJE, Residuos Sólidos Urbanos, Manual de Gestión Integral. Uruguay. 1998. (En línea). Página web: [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).

DONATI, Gianni. Innovations in recycled Expanded Polystyrene Foam for Use in Electronic Protective Packaging. California, February 2008. Undergraduate student. Industrial Technology & Packaging. California State Polytechnic. University San Luis Obispo. (En línea). Página web: <http://www.iopp.org/files/public/DonatiCalPolyEPS.pdf>.

GAIKER, IK4 RESEARCH ALLIANCE, Reciclado de materiales: Perspectivas, Tecnologías y Oportunidades. Departamento de Innovación y Promoción Económica. Abril, 2007. (En línea). Página web: [http://www.bizkaia21.net/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio\\_Sostenible/dokumentuak/2010\\_0902123356112\\_Informe\\_Reciclaje.pdf](http://www.bizkaia21.net/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio_Sostenible/dokumentuak/2010_0902123356112_Informe_Reciclaje.pdf).

GARCIA María Teresa, DUQUE Gema, GRACIA Ignacio, DE LUCAS Antonio, RODRIGUEZ Juan F., Recycling extruded polystyrene by dissolution with suitable solvents. Chemical Feedstock Recycling & Other Innovative Recycling. Techniques 6. J

Mater Cycles Waste Manag (2009) 11:2–5. DOI 10.1007/s10163-008-0210-8. Special Feature: Original Article. (En línea). Página web: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10163-008-0210-8>. Online ISSN: 1611-8227

GNAUCK, Bernhard/FRÚNDT, Peter. Introducción Asequible a la Química de los Plásticos. Hanser Editorial. 1992. S.L. Barcelona. ISBN 87454-05-4.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas, 1ª. Ed. Pearson Educación. 1997. ISBN 968-880-846-6.

GUIAS AMBIENTALES, SECTOR PLÁSTICOS. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministro de Ambiente. Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible. República de Colombia. Bogotá, Colombia. Julio de 2004. (En línea). Página web:

[http://www.minambiente.gov.co/documentos/guia\\_ambiental\\_proceso\\_basico\\_para\\_transf\\_plastico.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/guia_ambiental_proceso_basico_para_transf_plastico.pdf).

(En línea). Página web: <http://fundacionverdenatura.org/>. Fundación Verde Natura. 2012.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Bogotá: ICONTEC, 2008. 23 p.: il. (En línea). Página web: [http://www.intenalco.edu.co/Guia\\_normas\\_icontec.pdf](http://www.intenalco.edu.co/Guia_normas_icontec.pdf)

JARAMILLO, HENAO Gladys, ZAPATA MÁRQUEZ Lilibiana María. Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia, Medellín, Colombia. 2008, pág. 33. Especialización en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Posgrados de Ambiental. (En Línea). Página web: <http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>.

MACROGALLERIA. El maravilloso ciber mundo de los polímeros. 2008. (En Línea). Página web: <http://www.pslc.ws/spanish/floor4.htm>.

“BG. MELO ESCOBAR Diego, BG. DE CASTRO ARCE Ernesto. Modelo de Gestión de Residuos Sólidos Domiciliarios en Unidades Residenciales. Caso de Estudio Portal de la 183. Componente Epidemiológico y Salubridad. Bogotá D.C., Colombia, 2010, pág. 40. Biólogo Especialista en Planeación Ambiental y Manejo de los Recursos Naturales. Universidad Militar “Nueva Granada”, Facultad de Ingeniería, Planeación Ambiental y Manejo de Recursos Naturales. (En Línea). Página web: <http://bibliodigital.umng.edu.co:8080/UMNG/bitstream/10654/534/1/MODELO%20DE%20GESTION%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20DOMICILIARIOS%20EN%20UNIDAS%20RESIDENCIALES.pdf>

MORTON – JONES, D.H. Procesamiento de Plásticos. Inyección, Moldeo, Hule, PVC. Limusa, Noriega Editores. 2004. ISBN 968-18-4434-3.

RAMÓN CARPIO, Ma. Y DE María RUIZ, M.R: Ingeniería de los Materiales Plásticos. Ed. Díaz de Santos. 1988 Madrid. ISBN 84-86251-85-0.

ROZAS O., Germán. Aproximación Psico Comunitario Ambiental al Problema de Calentamiento Global. Vol. XII, N° 2: Pág. 19-34. 2003. (En línea) Página web: [www.revistapsicologia.uchile.cl/index.php/RDP/article/.../18151](http://www.revistapsicologia.uchile.cl/index.php/RDP/article/.../18151).

SAMPER, M.D.; RICO, M.I.; FERRÁNDIZ, S.; LÓPEZ, J. Reducción y Caracterización del Residuo de Poliestireno Expandido. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Castellón, 23-24 de Julio de 2008. REDISA ´2008. Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales. Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universidad Politécnica de Valencia. (En Línea). Página Web: <http://www.redisa.uji.es/artSim2008/tratamiento/A27.pdf>

SAMPIERI, R. (2006). Metodología de la Investigación. Cuarta Edición. Editorial Mc Graw Hill. México. (En Línea). Página Web: [http://www.upsin.edu.mx/mec/digital/metod\\_invest.pdf](http://www.upsin.edu.mx/mec/digital/metod_invest.pdf).