

**CARACTERIZACIÓN DEL POLIPROPILENO RECICLADO DISPONIBLE A  
PARTIR DE TAPAS, PARA REINCORPORARLO EN PROCESOS  
PRODUCTIVOS, MEZCLADO CON POLIPROPILENO VIRGEN**

**NATALY GALVIS GUTIERREZ 200410061012**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERA DE PRODUCCIÓN**

**MEDELLÍN**

**2014**

**CARACTERIZACIÓN DEL POLIPROPILENO RECICLADO DISPONIBLE A  
PARTIR DE TAPAS, PARA REINCORPORARLO EN PROCESOS  
PRODUCTIVOS, MEZCLADO CON POLIPROPILENO VIRGEN**

**NATALY GALVIS GUTIERREZ 200410061012**

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de  
Ingeniero de Producción**

**Asesor: Sandra Milena González Villa  
Especialista en diseño de materiales**

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

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

---

Medellín, Mayo de 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, sobre todo a mi abuela Blanca Casas Yepes, a mi madre Marta Gutiérrez Casas y Carolina Villa Sanín por ser el apoyo fundamental en mi vida y el motor para el alcance de logros.

A la universidad EAFIT, a mis compañeros de curso y a todos aquellos que hicieron parte de mi formación académica y personal.

A Sandra Milena González Villa por su permanente y constante asesoría durante el desarrollo del proyecto.

Y a todas aquellas personas que me acompañaron en mi proceso formativo.

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	OBJETIVO GENERAL .....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
3	ESTADO DEL ARTE.....	20
4	RECICLAJE MECANICO.....	25
4.1	SEPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	26
4.2	TRITURACIÓN.....	26
4.3	LAVADO.....	27
4.4	SECADO .....	27
5	EL POLIPROPILENO (PP) .....	28
5.1	PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO .....	28
5.1.1	Isotáctica .....	28
5.1.2	Sindiotáctica .....	29
5.1.3	Atáctica.....	29
5.2	CLASIFICACION DEL POLIPROPILENO .....	30
5.2.1	Homopolímero de polipropileno (PP-H). .....	30
5.2.2	Copolimerizados en bloque de propileno (PP-B). .....	30
5.2.3	Copolimerizados de polipropileno de distribución Random (PP-R). .	30

5.2.4	Otro (PP-Q).....	31
5.3	PROPIEDADES POLIPROPILENO .....	31
5.4	PROPIEDADES FISICAS .....	31
5.5	PROPIEDADES MECÁNICAS .....	31
5.6	PROPIEDADES QUIMICAS.....	32
6	DIAGRAMAS DEL POLIPROPILENO VIRGEN.....	34
6.1	DIAGRAMA PVT POLIPROPILENO .....	34
6.2	DIAGRAMA VISCOSIDAD VS RATA DE CIZALLADURA .....	35
7	EXPERIMENTACIÓN .....	37
7.1	RECICLAJE MECANICO .....	37
7.2	SEPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	37
7.3	TRITURACIÓN.....	38
7.4	LAVADO.....	39
7.5	SECADO .....	40
7.6	REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA .....	42
7.7	TAMIZAJE .....	44
7.8	MEDICIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO.....	46
7.8.1	Densidad aparente. ....	46
7.8.2	Factor de empaquetamiento.....	47
7.9	MEDICIÓN DEL INDICE DE FLUIDEZ (MFI).....	50

7.10	ANÁLISIS INFRARROJO (FTIR) .....	54
7.11	ANÁLISIS DE CALORIMETRIA DE BARRIDO (DSC).....	55
7.12	MEZCLAS.....	57
7.13	CONFORMACIÓN DE PROBETAS, INYECCIÓN.....	60
7.14	PRUEBAS DE TENSIÓN .....	63
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	66
8.1	REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULA .....	66
8.2	TAMIZAJE .....	68
8.3	MEDICION DE LA DENSIDAD APARENTE Y FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO.....	69
8.4	MEDICION DEL INDICE DE FLUIDEZ (MFI).....	71
8.5	ANÁLISIS INFRARROJO.....	73
8.6	ANÁLISIS DE CALORIMETRIA DE BARRIDO (DCS) .....	75
8.7	CONFORMACIÓN DE PROBETAS, INYECCIÓN .....	79
8.8	PRUEBAS DE TENSIÓN .....	81
9	FICHA TECNICA .....	84
10	CONCLUSIONES.....	85
11	BIBLIOGRAFIA.....	87
12	ANEXOS.....	90

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del Polipropileno Virgen.....	33
Tabla 2 Datos del proceso de reducción de tamaño de partícula.....	44
Tabla 3 Datos, prueba de tamizaje.....	46
Tabla 4 Datos obtenidos, Polipropileno, peso y altura .....	49
Tabla 5 Datos obtenidos, densidad aparente y factor de compactación .....	50
Tabla 6 Porcentajes de mezclas .....	58
Tabla 7 Características relevantes de la inyectora Maqui-Chen .....	60
Tabla 8 Datos tres velocidades diferentes de tensión .....	65
Tabla 9 Porcentaje de pérdida de peso y reducción de volumen .....	66
Tabla 10 Resultados finales densidad aparente.....	67
Tabla 11 Resultados finales, volumen y densidad promedio.....	67
Tabla 12 Tipos de tamiz y pesos.....	69
Tabla 13 Densidad aparente .....	70
Tabla 14 Datos obtenidos factor de empaquetamiento .....	70
Tabla 15 Datos, ensayo número 1 (MFI).....	71
Tabla 16 Datos, ensayo número 2 (MFI).....	72
Tabla 17 Datos, ensayo número 3 (MFI).....	72
Tabla 18 Datos, ensayo promedio (MFI) .....	73
Tabla 19 Pesos de las probetas .....	79
Tabla 20 Propiedades mecánicas .....	82
Tabla 21 Tabla final de cálculos de prueba de tensión .....	83

Tabla 22 Ficha técnica Polipropileno Reciclado (Tapas de envases) ..... 84

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Peso del tamiz con material vs tipo de tamiz .....	68
--	----

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Cadena Isotáctica .....	28
Ilustración 2 Cadena Sindiotáctica .....	29
Ilustración 3 Cadena Atáctica.....	29
Ilustración 4 Tapas negras recicladas de Polipropileno .....	38
Ilustración 5 Tapas picadas.....	39
Ilustración 6 Lavado Polipropileno reciclado .....	40
Ilustración 7 Secado Polipropileno reciclado.....	41
Ilustración 8 Horno marca Nabertherm para secar el Polipropileno reciclado.....	41
Ilustración 9 Molino Ball & Jewell .....	43
Ilustración 10 Volumen Polipropileno en escamas.....	43
Ilustración 11 Tamizaje.....	45
Ilustración 12 Cilindro medidor, método C.....	48
Ilustración 13 Cilindro medidor, Método C.....	49
Ilustración 14 Plastómetro .....	51
Ilustración 15 Material Polipropileno reciclado .....	53
Ilustración 16 Plastómetro .....	54
Ilustración 17 Espectrómetro transformada de Fourier .....	55
Ilustración 18 Calorímetro diferencial de barrido (DSC) .....	56
Ilustración 19 Polipropileno 100% virgen .....	58
Ilustración 20 Polipropileno 70% reciclado, 30% virgen .....	59
Ilustración 21 Polipropileno 70% virgen, 30% reciclado .....	59
Ilustración 22 Inyección de probetas .....	61

Ilustración 23 Probetas inyectadas Polipropileno 100% virgen .....	62
Ilustración 24 Probetas Polipropileno 100% reciclado.....	62
Ilustración 25 Dimensiones probetas .....	63
Ilustración 26 Maquina universal prueba de tensión .....	64
Ilustración 27 Monómero Polipropileno .....	74

## LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 PVT Polipropileno .....	35
Diagrama 2 Viscosidad Vs Rata de cillazadura.....	36
Diagrama 3 Análisis infrarrojo para Polipropileno virgen y reciclado.....	74
Diagrama 4 Tapas negras de Polipropileno, Termograma DSC primer calentamiento .....	76
Diagrama 5 Tapas negras de Polipropileno, Termograma DSC enfriamiento.....	77
Diagrama 6 Tapas negras de Polipropileno, Termograma DSC segundo calentamiento .....	78

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como fin realizar una ficha técnica del Polipropileno post consumo a partir de tapas de envases de color negro. Se efectúa un proceso de reciclaje mecánico y posteriormente se elaboran los ensayos correspondientes, para conocer las propiedades y características del Polipropileno reciclado.

La caracterización del Polipropileno reciclado busca consolidar las propiedades que son vitales para generar una ficha técnica del Polipropileno post consumo, dicha ficha técnica será de utilidad para el procesamiento de este material en la elaboración de productos finales.

Se evalúan algunas propiedades físicas, químicas, mecánicas y reológicas; las cuales se realizan bajo las normas técnicas internacionales ASTM que sirven como guía para efectuar cada prueba, adicionalmente se elaboran mezclas entre Polipropileno virgen y Polipropileno reciclado para conocer las propiedades mecánicas y su variación respecto al porcentaje de cada mezcla.

Al realizar las pruebas se obtienen varios datos que son organizados e incluidos en tablas de Excel para un buen análisis y así obtener los resultados que sirven para definir los valores en la ficha técnica.

Todo este proceso lleva finalmente a una ficha técnica del polímero reciclado abierta al público para el procesamiento de este material.

## GLOSARIO

**Calorimetría:** Realiza un barrido y toma ciertos puntos para medir el calor en una muestra por medio de un calorímetro.

**Caracterización de materiales plásticos:** Conjunto de pruebas basadas en normas internacionales para conocer las propiedades de un material plástico.

**Peletizado:** Granulo seco que se obtiene de inyectar el polímero para formar un espagueti, después de enfriarse se pica y de ahí se obtiene el “pellet”.

**Polimerización:** Formación de moléculas o macromoléculas a partir de varias moléculas llamadas monómeros.

## **PALABRAS CLAVES**

Polipropileno, Post consumo, Caracterización de materiales, Calorimetría, Espectrometría de absorción, Reciclaje mecánico, Propiedades, Ficha técnica.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos se han convertido en un gran problema global que va creciendo exponencialmente afectando el medio ambiente. Es importante generar alternativas para disminuir la cantidad de material que va dirigida a los rellenos sanitarios, reutilizando el mayor número de materiales. Los plásticos ocupan un gran porcentaje de estos desperdicios que pueden reutilizarse como materia prima secundaria para generar otros productos.

En la realización de este proyecto se abarcan conocimientos adquiridos durante la carrera ya que se mezcla la investigación, con la ingeniería para lograr una dinámica conceptual que ayude a maximizar las competencias profesionales. Es por esto que el presente trabajo muestra este proceso con el fin de elaborar una ficha técnica del Polipropileno reciclado, generado a partir de tapas negras de diversos artículos de limpieza y alimentos. Las tapas de envases negras utilizadas fueron suministradas por la empresa *Plásticos y Soluciones*; la cual se encarga de realizar procesos de reciclaje mecánico y transformación de materiales termoplásticos.

Para construir la ficha técnica es necesario realizar una serie de pasos y de ensayos bajo las normas internacionales ASTM que llevan a determinar las propiedades físicas, químicas, mecánicas y reológicas del Polipropileno.

Inicialmente se realiza un proceso de reciclaje mecánico, se prepara el material para que cuente con las características necesarias para realizar las pruebas. Se ejecutan ensayos como; reducción del tamaño de partícula, densidad aparente, factor de empaquetamiento, tamizaje, índice de fluidez, Análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC), Análisis infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), porcentajes de mezclas entre Polipropileno virgen y reciclado, inyección y por

último ensayo de tensión. Todo esto para reunir la mayor información posible, y así, conocer las propiedades del material para un adecuado procesamiento; sirviendo como fuente de información para los pequeños y medianos empresarios transformadores de la industria del plástico y de esta manera lograr crear un impacto positivo en el medio ambiente, además de generar más empleo y que sirva para el desarrollo de nuevas ideas y productos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar el Polipropileno reciclado a partir de tapas negras de envases, en mezclas con Polipropileno virgen para poderlo reincorporar a procesos productivos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar e implementar el proceso de reciclaje mecánico a las tapas de envases negros de Polipropileno post consumo.
- Definir las propiedades físicas, químicas, reológicas y mecánicas a evaluar en el material reciclado.
- Determinar porcentajes de mezclas entre Polipropileno virgen y reciclado para conocer como varían entre los porcentajes las propiedades mecánicas.
- Elaborar las pruebas físicas, químicas, reológicas y mecánicas de laboratorio siguiendo las normas técnicas internacionales.
- Realizar ficha técnica del Polipropileno reciclado.

### 3 ESTADO DEL ARTE

Es importante para la conservación del medio ambiente desarrollar procesos que permitan la reutilización de residuos y más cuando se habla de materiales plásticos, actualmente no se cuenta con muchas investigaciones al respecto por la dificultad que estos materiales presentan a la hora de ser procesados y perpetuar sus propiedades (Schwarz, 2002).

Los plásticos tienen varias vías para su reutilización desde la incineración, con una posible recuperación energética, hasta su transformación de productos más nobles como el reciclaje químico o reciclaje mecánico, en este proyecto se trabajará con el reciclaje mecánico porque es la forma más fácil de darle usos a estos residuos plásticos (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002).

El Polipropileno es un polímero termoplástico de la familia de las Poliolefinas, que cuenta con ciertas ventajas en comparación con otros plásticos, tiene alta resistencia a la tensión y a la compresión, excelentes propiedades dieléctricas, es resistente a los ácidos y álcalis y tiene un bajo coeficiente de absorción de humedad (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002), ventajas que la industria considera significantes a la hora de utilizar este polímero. Actualmente el Polipropileno tiene diversos usos en distintas áreas, los más típicos son, tanques y depósitos para químicos, vasos, platos para alimentos (no es tóxico), tapas de todo tipo, componentes para bombas, prótesis etc., (Handbook of Plastics Recycling). Pero desafortunadamente cuando se les da el uso el material queda como residuo, (debido a el desconocimiento sobre la manera procesarlo y que características posee) aun sirviendo de materia prima para otros productos y lo más importante, conservando sus propiedades en proporciones significativas y pudiéndose reutilizar hasta seis veces más.

Sin embargo en Colombia se han adelantado proyectos que además de reutilizar plásticos como polipropileno a su vez realizan una labor social. Este es el caso de INGEPOL OUTDOOR, una empresa que nació con la filosofía de darle una aplicación y utilización a los residuos plásticos y aportar a la conservación del medio ambiente, tres años de investigación un grupo de ingenieros civiles se tomaron la tarea de estudiar las propiedades de los materiales reciclados, logrando desarrollar elementos que antes se utilizaban como madera, concreto y acero no solo teniendo las mismas características y propiedades mecánicas sino mejoradas, alcanzando beneficios y ventajas respecto a los materiales tradicionales (Ingepol Outdoor, 2012). Dentro de todos los productos que diseña y fabrica en plástico, es de gran importancia y es muy atractivo, el proyecto de Ecovivienda: un sistema de construcción de paneles compuestos de Polipropileno, unidos mecánicamente y anclados al piso por unos pernos expansibles, estas casas de aproximadamente 37 metros cuadrados extensible a 72 metros cuadrados, se pueden armar en una semana con una cuadrilla de tres trabajadores, también se pueden desmontar y montar en otro lugar. El Polipropileno resulta un material muy atractivo para construcción porque tiene la capacidad de resistir muchos años a la intemperie, es inmune a plagas, bacterias, hongos entre otros, no es combustible y se adapta a cualquier tipo de clima, es aislante térmico y eléctrico (Ingepol Outdoor, 2012).

Proyectos como el de INGEPOL OUTDOOR, realizan investigaciones sobre la manera de cómo procesar un Polipropileno reciclado, pero esos resultados los guardan celosamente por ser una industria privada.

A nivel mundial también se ha venido trabajando con el Polipropileno; se patentó un trabajo de investigación con Polipropileno reciclado por el Profesor Edward Kosior en Londres, esta invención se refiere al reciclaje de Polipropileno post consumo solo con materiales que han sido utilizados en contacto o envasado de alimentos, para usarse como materia prima secundaria en la producción de material que servirá nuevamente como empaque en productos alimenticios. Este

estudio permitió analizar las propiedades físicas, químicas y reológicas del Polipropileno reciclado, se realizaron una serie de ensayos donde se tomaron muestras de Polipropileno transparente y de color, porque se preveía que habría una demanda más significativa para Polipropilenos transparentes que de color, se utilizó el reciclaje mecánico y adicionalmente se sometió a procesos minuciosos de lavado, para que este material pudiera estar en contacto con los productos alimenticios. Se concluyó que para que el Polipropileno reciclado sirva de empaque a diferentes tipos de alimentos se necesitarán diferentes temperaturas para su procesamiento y efectivamente el Polipropileno transparente es el más apetecido en la industria alimenticia porque permite ver en qué condiciones se encuentra el alimento. Proyectos como este no entregan una ficha técnica establecida, si no que nombra las condiciones de procesamiento para trabajar con Polipropileno destinado a la producción de empaques alimenticios (Kosior, 2012).

Adicionalmente existe un artículo realizado por Myrtha Karina, Onggo y Anung Syampurwadi para el *Journal of biological sciences* en el 2007, se refiere al estudio de mezclas con fibras de madera natural (Jacinto de agua, Kenaf, Plátano, fruto de palma aceitera) y polipropileno reciclado post industrial y post consumo para modificar la interfaz de fibra-matriz y de ese modo mejorar la adhesión de toda la matriz. Este método se realizó mediante extrusión y procesos de compresión basada en la proporción 50:50%, con esto se evaluaron las propiedades mecánicas y físicas. Se concluyó al realizar pruebas mecánicas que la mezcla entre el polímero y adición de 50% de fibra natural disminuye la tracción, debido a la mala dispersión de las fibras de la matriz, pero aumenta el módulo de elasticidad, al ensayar con los diferentes tipos de fibra se observó que con el plátano y el kenaf mejoraba un poco más la resistencia a la tracción. El polipropileno en síntesis era el que aportaba las mejores propiedades físicas y mecánicas a la mezcla realizada (Myrtha Karina, Holia Onggo y Anung Syampurwadi, 2007. Propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales rellenos compuestos de polipropileno y su reciclaje *Journal of Biological Sciences*,

7, 393-396).

Una investigación realizada en el 2012, con el objetivo de estudiar el potencial de los residuos de polipropileno y fibra de papel para la elaboración de nano compuestos de maderas plásticas. Se utilizaron mezclas entre fibras de residuos de papel periódico con un 30% de peso, adicionalmente se utilizó nanoarcilla (material usado en las nanotecnologías con énfasis en los átomos o moléculas) con dos porcentajes al 2,5 y 5% y Polipropileno reciclado, con estos materiales se realizaron ensayos para medir las propiedades mecánicas, térmicas y de tracción de los materiales compuestos mezclados y se llegó a la conclusión de que las temperaturas de degradación cambiaron a valores más altos después de la adición de nanoarcilla, el Polipropileno reciclado le daba mayor resistencia a la tracción creando un complemento fuerte y decisivo a la hora de utilizarlos como materias primas alternativas para la fabricación de maderas plásticas de bajo costo (Mohammad Amin Danesh, 2011).

Muchos proyectos a nivel nacional o internacional son dedicados a conocer y mejorar las propiedades del Polipropileno reciclado realizando mezclas para generar materiales sustitutos de los convencionales, realizan algunos estudios para identificar algunas propiedades de interés, pero nunca entregan una ficha técnica basada en toda una caracterización del Polipropileno reciclado para poder trabajar en el desarrollo de cualquier producto en la industria.

Desde hace aproximadamente diecisiete años hasta este momento se viene realizando una campaña que se llama “tapas de vida”, es un proyecto generado por la fundación SANAR que busca recolectar tapas de cualquier envase, para luego venderlas a las empresas recicladoras de plástico, específicamente Polipropileno para obtener dinero y ayudar a niños de escasos recursos con cáncer, actualmente tienen 350 menores en la fundación, y se logra recoger cada día mínimo 500 kilos de tapas y en meses como diciembre hasta 20 toneladas diarias. Es importante recalcar la gran demanda que tiene el Polipropileno y como

el reciclaje de este polímero puede generar impactos sociales para ayudar a otros (El Tiempo, 2013 ).

Es de gran importancia e interés desarrollar una ficha técnica del Polipropileno post consumo para que sea la base y punto de partida de muchas pequeñas y medianas empresas que están procesando este polímero de forma empírica, para que reutilicen de la forma más apropiada los residuos de Polipropileno, para generar productos de valor agregado, que tengan características similares a los materiales convencionales o en procesos productivos de innovación.

## 4 RECICLAJE MECANICO

El reciclaje en general ha sido una práctica muy útil para reducir los residuos sólidos, sobretodo en plásticos, desde los años setenta muchos países empezaron a incinerar los desperdicios plásticos y hasta el día de hoy se han venido produciendo varias técnicas para disminuir dichos materiales post consumo (Handbook of Plastics Recycling).

El reciclaje mecánico es un proceso físico que consiste en la transformación de materiales post consumo en materias primas secundarias propiedades físicas y químicas similares a las del material virgen, permitiendo su posterior utilización. El reciclaje mecánico es aplicable a los diferentes plásticos denominados termoplásticos, estos son: Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Cloruro de polivinilo (PVC), Polietileno de alta densidad (PEAD), Polietileno de baja densidad (PEBD), (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002).

Esta técnica se concentra en las características físico químicas de los plásticos, es por eso que estos polímeros se pueden fundir varias veces, perdiendo en cierto grado propiedades en cada proceso debido a la degradación que pueda sufrir durante el proceso (de acuerdo al tipo de termoplástico), esta disminución de las propiedades hace que los plásticos reciclados deban emplearse en la fabricación de productos diferentes a los del primer uso o en productos que requieran menos exigencias en el uso diario hasta que quedan obsoletos, todo esto con el objetivo de volver a introducir estos materiales en los procesos de fabricación como sustitutos de los polímeros vírgenes. Los termoplásticos poseen entre ellos diferentes temperaturas de fusión que van desde los 80 °C y los 240 °C por lo tanto cada tipo de polímero debe ser tratado aparte para asegurar que se obtendrá una materia prima secundaria que cumpla con las exigencias de calidad del mercado (Tim Osswald, 2010).

Para empezar con el proceso de reciclaje mecánico es necesario seguir una serie de pasos que llevaran a una correcta reutilización de estos desperdicios plásticos.

#### **4.1 SEPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

Es necesario separar los residuos plásticos post consumo que provienen de los desperdicios urbanos y sobretodo tener cuidado con plásticos que hayan estado en contacto con sustancias toxicas peligrosas que puedan tener riesgos de contaminación microbiológica, estos deben ser tratados de acuerdo a la normalización vigente ambiental. Continuando con el proceso de selección de la materia prima es recomendable separar los residuos plásticos por colores, tipos y otros porque es probable encontrar materiales que acompañan a los plásticos, por ejemplo; etiquetas, metales, papel, estos deben ser retirados en su totalidad en lo posible antes de continuar con el reciclaje mecánico (Handbook of Plastics Recycling).

#### **4.2 TRITURACIÓN**

También llamado reducción de tamaño de partícula, este método se basa principalmente en moler el material en pedazos muy pequeños, para esto se usan maquinas llamadas molinos o trituradoras para plástico, sus características varían dependiendo del pastico que se desee triturar, pero usualmente se utilizan molinos de alta velocidad de impacto con el fin de obtener un material de grano fino. En esas máquinas se pueden procesar prácticamente todo tipo de materiales plásticos rígidos arrojando como resultados escamas de 1 a 2 centímetros (Handbook of Plastics Recycling).

### 4.3 LAVADO

El lavado es muy importante porque las escamas resultantes se encuentran contaminadas de solventes, pegamentos, comida, polvo, piedras, hojas etc, es indispensable tener un material limpio, para esto se utiliza lavadoras especiales, donde después de introducido, el material flota (dependiendo de su densidad, si es menor a  $1,0 \text{ g/cm}^3$ ) y los contaminantes se quedan en el fondo (se precipitan). También sirven los detergentes, pero por cuestiones ambientales no es muy recomendado debido a la cantidad de agua que se desperdicia en el proceso. (Handbook of Plastics Recycling).

El método más usado de lavado en la industria de Antioquia, se utiliza agua con soda caustica donde es necesario usar bajas concentraciones de este compuesto y poca agua (Empresa Plásticos y Soluciones).

### 4.4 SECADO

Después del ciclo de lavado sigue el secado, para continuar con el reciclaje mecánico, es necesario secar las hojuelas al aire libre y después pasar el material a la maquina secadora centrifuga o al horno donde la temperatura no sea tan alta, para quitarles la humedad y posteriormente evitar problemas en el proceso de inyección o extrusión. Hasta ahí podría concluir el reciclaje mecánico, luego el material se embala en pacas listo para su comercialización. Si se quiere dar más valor al producto, se continúa con un peletizado (Handbook of Plastics Recycling).

## 5 EL POLIPROPILENO (PP)

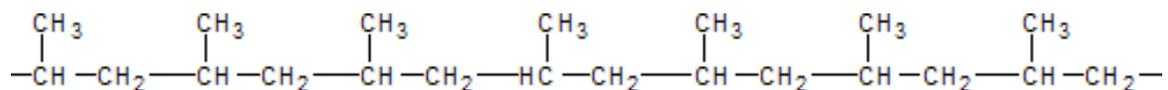
### 5.1 PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO

El polipropileno fue incluido en la industria en 1957 por la firma Hoescht AG y a partir de ese momento su producción ha tenido un gran crecimiento por sus múltiples usos que lo han convertido en uno de los polímeros más usados en el medio por sus buenas propiedades (Tim Osswald, 2010).

Este polímero se obtiene por polimerización. Es un polímero termoplástico semi cristalino de la familia de las poliolefinas. Estructuralmente es un polímero vinílico (su cadena principal está formada exclusivamente por átomos de carbono), tiene en uno de los carbonos de la unidad monómera un grupo metilo ( $\text{CH}_3$ ), es un polímero lineal cuya base es una cadena de hidrocarburos saturados. La característica principal es que por cada dos átomos de carbono, se encuentra ramificado un grupo de metilo (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002). A partir de esto se obtienen tres formas isómeras de polipropileno, que dependiendo de la distribución de los metilos en el espacio pueden resultar productos con diversas propiedades:

#### 5.1.1 Isotáctica

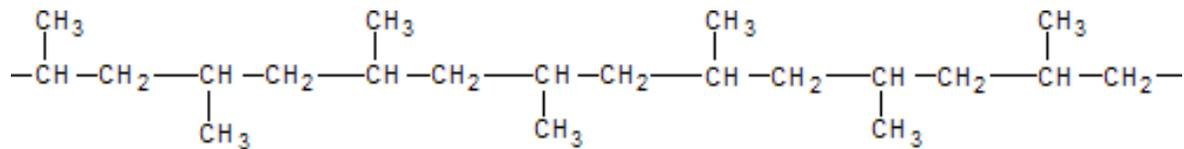
##### Ilustración 1 Cadena Isotáctica



Fuente: (Schwarz, 2002)

### 5.1.2 Sindiotáctica

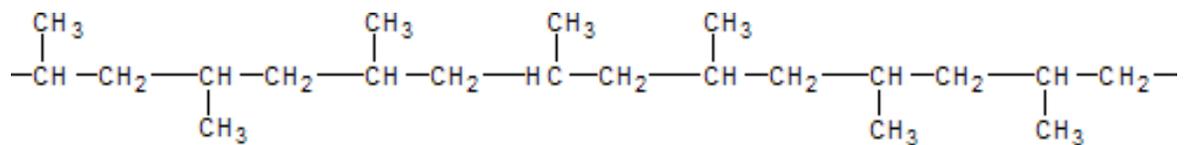
#### Ilustración 2 Cadena Sindiotáctica



Fuente: (Schwarz, 2002)

### 5.1.3 Atáctica

#### Ilustración 3 Cadena Atáctica



Fuente: (Schwarz, 2002)

Cada una de estas cadenas (Ilustración 1, Ilustración 2 e Ilustración 3) se puede distinguir por la posición de los grupos de metilo ( $\text{CH}_3$ ) en la cadena de hidrocarburos.

Actualmente el proceso de fabricación más utilizado en la industria para la elaboración de polipropileno es el isotático, es bastante apetecido por sus propiedades excepcionales y debido a esto ha despertado el gran interés en el área comercial al igual que la forma sindiotáctica, ya que en estado sólido la forma de sus cadenas adquiere una ubicación espacial ordenada, regular y semicristalina, temperatura de fusión alta, gran resistencia a la tracción, rigidez y dureza. Al

contrario de la forma Atáctica que no tiene ningún tipo de cristalinidad y sus propiedades no son tan buenas (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002).

## **5.2 CLASIFICACION DEL POLIPROPILENO**

El Polipropileno presenta según la norma DIN 16774.A las siguientes clasificaciones descritas a continuación:

### **5.2.1 Homopolímero de polipropileno (PP-H).**

Polipropileno obtenido por la polimerización solo de propileno puro (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002).

### **5.2.2 Copolimerizados en bloque de propileno (PP-B).**

Presenta una participación de olefinas alifáticas de 50% en la masa, un ejemplo de esto es con solo etileno (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002).

### **5.2.3 Copolimerizados de polipropileno de distribución Random (PP-R).**

De hasta 50% de masa, de una o más olefinas alifáticas (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002).

#### 5.2.4 Otro (PP-Q).

Mezcla de polímeros de hasta 50% de todos los anteriores (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002).

### 5.3 PROPIEDADES POLIPROPILENO

En la Tabla 1, se consolidan todas las propiedades del polipropileno virgen; las cuales se describen a continuación (Wasiak, 1999).

#### 5.4 PROPIEDADES FISICAS

Este polímero posee baja densidad entre 0.90 y 0.93 gr/cm<sup>2</sup>, esto permite la elaboración de productos ligeros, además posee gran capacidad para recuperarse elásticamente. Tiene alta resistencia al impacto, su rigidez es alta y es fácil de reciclar porque solo pierde en cierto grado sus propiedades (Wasiak, 1999).

#### 5.5 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas más importantes que destacan al Polipropileno se resumen en que posee gran dureza y estabilidad dimensional, alta resistencia superficial y buena resistencia química a la humedad y al calor (Wasiak, 1999).

## 5.6 PROPIEDADES QUIMICAS

El Polipropileno presenta gran resistencia química, absorbe poca agua por esto es un material q presenta poca humedad, es de naturaleza polar por eso tiene alta resistencia a agentes químicos, su punto de ebullición es a 160 °C y de fusión más de 160 °C (Wasiak, 1999).

**Tabla 1 Propiedades del Polipropileno Virgen**

<b>Polipropileno</b>			
<b>Propiedades reológicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de ensayo</b>
Índice de fluidez volumétrico, MVR	60	cm <sup>3</sup> /10min	ISO 1133
Temperatura	230	°C	ISO 1133
Carga	2.16	Kg	ISO 1133
<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de ensayo</b>
Módulo de elasticidad	1746	MPa	ISO 527-1/-2
Resistencia a la tracción	38	MPa	ISO 527-1/-2
Alargamiento a rotura	7	%	ISO 527-1/-2
Resistencia al impacto Charpy, +23°C	34	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Res. impacto Charpy c/entalla, +23°C	3	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
<b>Propiedades térmicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de ensayo</b>
Estabilidad al calor, 1.80 MPa	73	°C	ISO 75-1/-2
Temp. reblandecimiento Vicat, 50°C/h 50N	97	°C	ISO 306
<b>Otras propiedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de ensayo</b>
Densidad	0,93	gr/cm <sup>2</sup>	ISO 1183

**Fuente:** *(Campus plastics, 2014)*

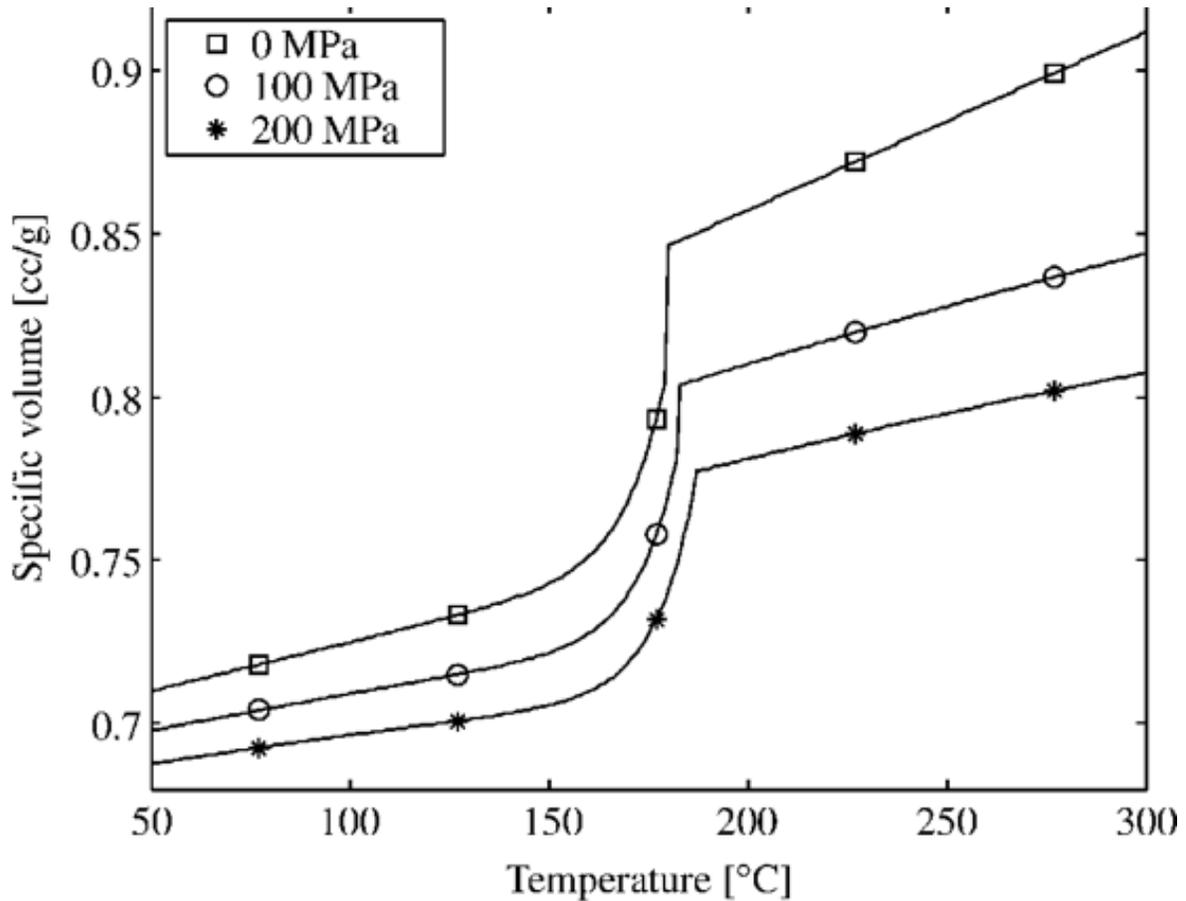
## 6 DIAGRAMAS DEL POLIPROPILENO VIRGEN

### 6.1 DIAGRAMA PVT POLIPROPILENO

En el Diagrama 1 se observa como varía el volumen específico del Polipropileno en función de la temperatura para presiones diferentes. Para mayor interpretación de la gráfica se concluye que el Polipropileno al fundirse el volumen específico disminuirá gradualmente al enfriarse. A su vez al alcanzar su temperatura de cristalización el volumen específico disminuye (aumenta la densidad). Al terminar el proceso de cristalización, el volumen específico sigue disminuyendo hasta que se enfría el material (Tim Osswald, 2010).

Esta curva es de gran importancia porque provee de información adicional a las personas interesadas en las características del material, y se pueden obtener parámetros para procesar el material a diferentes temperaturas y presiones, dependiendo de las condiciones de operación de cada máquina (Tim Osswald, 2010).

Diagrama 1 PVT Polipropileno

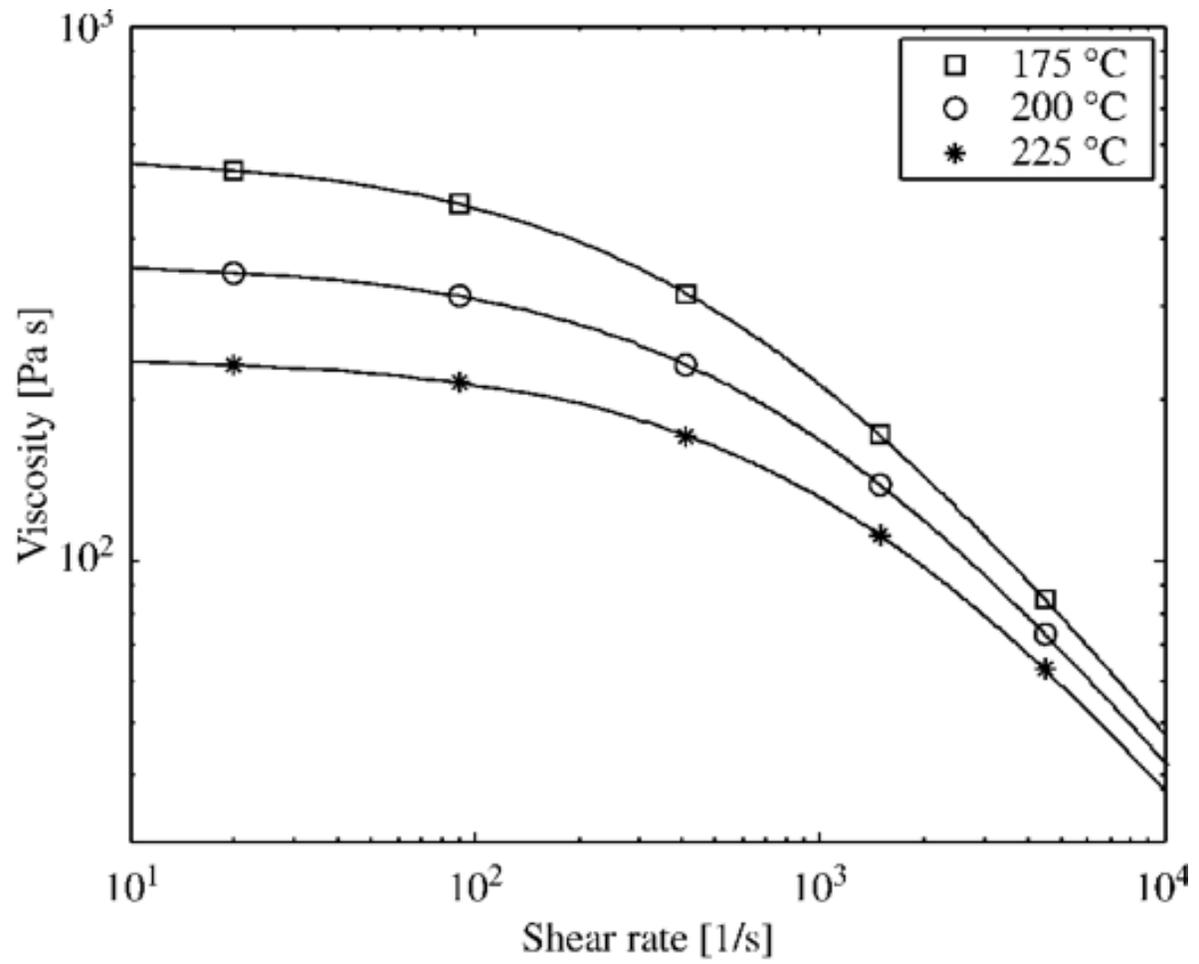


Fuente: (Tim Osswald, 2010)

## 6.2 DIAGRAMA VISCOSIDAD VS RATA DE CIZALLADURA

El Diagrama 2, establece que la viscosidad del Polipropileno se puede expresar como la facilidad con la que fluye el material en estado visco elástico cuando actúa sobre él una fuerza externa o fricción llamado cizalladura. En la gráfica se observa para el Polipropileno diferentes temperaturas, a una menor temperatura la velocidad es inversamente proporcional a la viscosidad (Tim Osswald, 2010).

Diagrama 2 Viscosidad Vs Rata de cillazadura



Fuente: (Tim Osswald, 2010)

## **7 EXPERIMENTACIÓN**

En este capítulo se plasma toda la fase de experimentación, los ensayos para caracterizar un material son elaborados bajo las normas internacionales ASTM para generar e interpretar los resultados y así obtener la ficha técnica del polipropileno reciclado generado a partir de las tapas.

### **7.1 RECICLAJE MECANICO**

Para proceder con el reciclaje mecánico del Polipropileno post consumo proveniente de tapas negras de envases de diversos productos, es necesario realizar una serie de pasos para transformar el material post consumo en material secundario para la debida experimentación (Handbook of Plastics Recycling).

Es preciso seguir una serie de pasos para poder posteriormente realizar una ficha técnica de este polímero reciclado.

### **7.2 SEPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

Al recoger, alrededor de 8 Kilogramos de Polipropileno, todo tipo de tapas negras de recipientes alimenticios y de belleza como en la ilustración 4.

Es necesario realizar una exhaustiva selección de material principalmente por colores, en este caso solo se aceptan tapas negras, muchas de estas contienen resortes de metal, u otro tipo de plástico en menor porcentaje, estos se deben

retirar para resultados más precisos, dejando en su mayoría el Polipropileno (Handbook of Plastics Recycling).

#### **Ilustración 4 Tapas negras recicladas de Polipropileno**



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

### **7.3 TRITURACIÓN**

Procedimiento que se realiza en los laboratorios de la universidad en un molino de cuchilla fino de marca BALL & JEWELL. Se deben introducir de forma lenta los 8 kilos de tapas de Polipropileno en el interior, para picar el material y reducir el tamaño de partícula. Este procedimiento da como resultado escamas del material (Ilustración 5), que hacen más fácil su manipulación para todos los ensayos siguientes (Handbook of Plastics Recycling).

## Ilustración 5 Tapas picadas



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

### 7.4 LAVADO

Es importante lavar el material después de picado porque se puede encontrar muy contaminado. Las escamas resultantes de Polipropileno presentan mucha suciedad, algunas tapas contienen comida, aceites y residuos de productos de belleza como; champú, gel y gominas (Handbook of Plastics Recycling).

La manera menos nociva para el ambiente y mas empleada por el sector industrial consiste en lavar el material con soda caustica al 2% por cada litro de agua. Se utilizan 9 litros de agua en un recipiente, dejándolo reposar durante dos horas (Ilustración 6). Este procedimiento se hace con el objetivo de eliminar posibles restos de etiquetas e impurezas causadas por desperdicio adherido a las escamas (Plásticos y soluciones, empresa industrial antioqueña).

Pasadas dos horas el material debe colarse y lavarse con agua pura para quitar el exceso de soda caustica.

## Ilustración 6 Lavado Polipropileno reciclado



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

### 7.5 SECADO

Luego de lavar el material, se realiza un secado lento que consiste en extender las escamas encima de bolsas o costales al aire libre y después de una semana se recoge. Al realizar el secado al aire, el material sigue presentando humedad en la superficie, por esto es conveniente acelerar el proceso de secado, en un horno (Ilustración 8) Nabertherm a 80 °C (temperatura baja, que no funda el material) para que se terminen de evaporar las partículas de agua sin afectar el plástico (Ilustración 7) (Handbook of Plastics Recycling).

Hasta acá concluye todo el proceso del reciclaje mecánico y se procede a realizar las pruebas de caracterización físico, químico, mecánicas y reológicas.

### **Ilustración 7 Secado Polipropileno reciclado**



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

### **Ilustración 8 Horno marca Nabertherm para secar el Polipropileno reciclado**



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

## 7.6 REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

La reducción de tamaño de partícula es un proceso que se realiza para plásticos que van a ser reciclados, para conocer la densidad inicial, final y su porcentaje de pérdida en peso. Consiste en triturar el material en un molino en trozos más pequeños, las características de los molinos utilizados para reducir el tamaño en polímeros varían dependiendo del plástico que se desee utilizar (Handbook of Plastics Recycling). El material mientras más fino después de la trituración mejor es, para que eso suceda se utilizan molinos de alta velocidad de impacto, estos molinos dejan el material en hojuelas que pueden medir aproximadamente de 1 a 2 centímetros (Schwarz, 2002).

Procedimiento:

El ensayo es realizado para reducir el tamaño de partícula del Polipropileno reciclado proveniente de tapas negras de envases de diferentes tamaños y espesores. La referencia del molino es molino BALL & JEWELL, con potencia de 5 hp (Ilustración 9).

### Ilustración 9 Molino Ball & Jewell



Fuente: *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

### Ilustración 10 Volumen Polipropileno en escamas



**Fuente: (Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)**

Primero se toman alrededor de 8032 gramos en tapas de Polipropileno, se introducen a un recipiente y se pesan y posteriormente se calcula el volumen inicial, después de molido el material se debe volver a pesar y calcular el volumen final (Ilustración 10). Todo esto con el objetivo de conocer la densidad aparente inicial y final (tabla2) determinar la pérdida de material al reducir su tamaño.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 2 Datos del proceso de reducción de tamaño de partícula**

<b>Material</b>	<b>Peso del material inicial (antes del picado) (g)</b>	<b>Peso del material final (después del picado) (g)</b>	<b>Volumen inicial aprox (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen final aprox, después del picado, lavado y secado al aire (cm<sup>3</sup>)</b>
PP	8032,72	7789,91	83543	18000

**Fuente: (Elaboración propia, Handbook of Plastics Recycling )**

## **7.7 TAMIZAJE**

El ensayo de tamizaje se realiza después de efectuar el picado del material. El objetivo de esta prueba es reconocer el tamaño de la mayoría de las escamas después de picar el Polipropileno y tener información útil para futuras operaciones físicas como: mezclado, dosificación, aglomeración, también facilitar, permitir las reacciones químicas y a su vez facilitar el almacenamiento y transporte del

material (ASTM E-11 Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves, 2011).

Procedimiento:

El procedimiento se realiza bajo la norma ASTM E-11 (Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves, 2011), en una maquina mezcladora para tamizaje Humboldt MFG. CO. Se toma al azar cualquier peso, en este caso 380 gamos de tapas de Polipropileno triturado, se debe escoger varios tamices cada uno con tamaño diferente de malla (Ilustración 11). El tiempo total de la mezcla es de 10 minutos continuos (Tabla 3).

### Ilustración 11 Tamizaje



**Fuente:** *(Foto tomada en el laboratorio de reología de la universidad EAFIT, por Nataly Galvis Gutiérrez)*

Datos obtenidos:

**Tabla 3 Datos, prueba de tamizaje**

Tipo de tamiz (Nº)	Diámetro (mm)	Peso tamiz sin material (g)	Peso tamiz con material (g)
4	3,75	410,82	674,53
8	2,06	454,13	788,73
10	1,65	443,32	464,32
16	1,46	483,83	479,44
30	0,61	652,41	413,74
100	0,15	379,72	380,51
Colector	0	252,31	0

**Fuente: (Elaboración propia, ASTM E-11)**

## **7.8 MEDICIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO**

### **7.8.1 Densidad aparente.**

La densidad aparente se define como la cantidad de material que puede ocupar un material tomando en cuenta el volumen real de acuerdo a su forma.

Es el cociente de la masa de un determinado sólido por unidad de volumen, este material puede ser en escamas, polvo, espumado o granulado (Schwarz, 2002).

### 7.8.2 Factor de empaquetamiento.

Es la proporción que existe entre el volumen de una cantidad de material antes y después de ser moldeado. El factor es también igual a la proporción de la densidad después de moldeado o formado de la densidad aparente en el material (Schwarz, 2002).

#### Procedimiento:

El ensayo de densidad aparente y factor de compactación se realiza bajo la norma internacional ASTM D1985-96, en la norma se especifican tres métodos diferentes nombrados A, B, C para distintas presentaciones de polímeros (ASTM D 1895-96 Standard Test Methods for Apparent Density, Bulk Factor, and Pourability of Plastic Materials, 1996).

El método A se usa para los plásticos en polvo o gránulos finos, el B para el material en gránulos gruesos y el C para presentaciones en escamas gruesas y fibras cortadas, se utiliza para este ensayo el cilindro medidor (Ilustración 12)(Tabla 5).

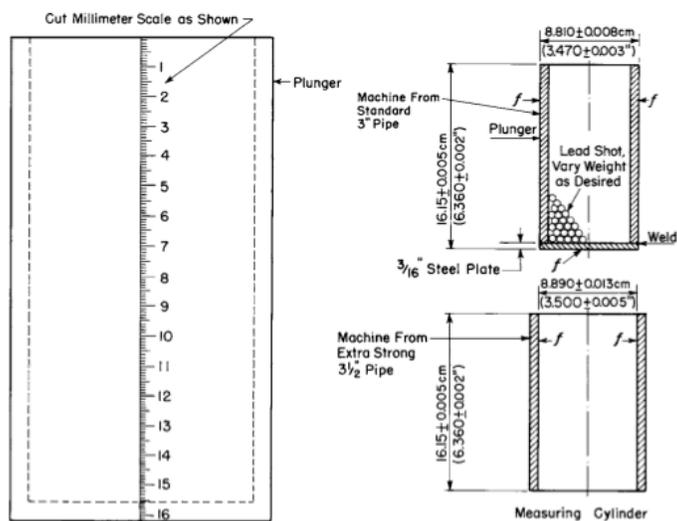
### **Ilustración 12 Cilindro medidor, método C**



**Fuente: (Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)**

Al reducir el tamaño de partícula de las tapas de Polipropileno se obtiene como resultado escamas, característica de los polímeros reciclados. Para las escamas según la norma el método empleado es el C, que consiste en utilizar un cilindro medidor (Ilustración 13), se pesan 60 gramos del material y se dejan caer lentamente dentro del cilindro medidor asegurándose de que queden bien distribuidas las escamas, se mide la altura en la que queda el material, se toma el tiempo con un cronometro y dejando caer el pistón sobre el material se cuenta un minuto, se registra la altura con la que termina el material después de retirar nuevamente el pistón y el procedimiento se repite 2 veces más (Tabla 4).

### Ilustración 13 Cilindro medidor, Método C



Fuente: (ASTM D1985-96)

Datos obtenidos:

Tabla 4 Datos obtenidos, Polipropileno, peso y altura

Muestra	Peso(g)	Altura (cm)
1	60	2,95
2	60	2,93
3	60	2,92

Fuente: (Elaboración propia, ASTM D 1895-96)

**Tabla 5 Datos obtenidos, densidad aparente y factor de compactación**

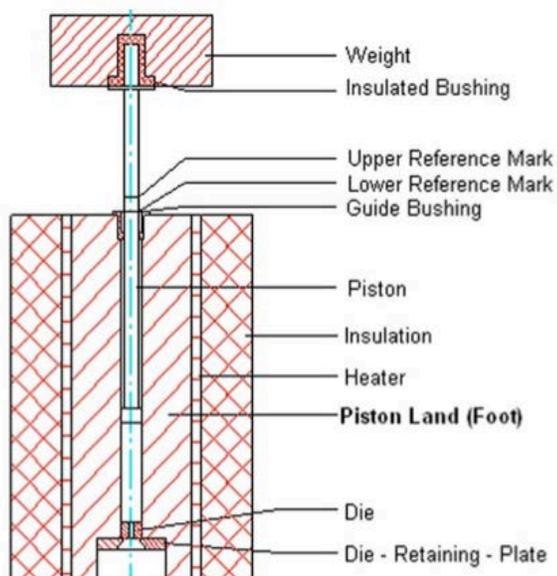
Material	Altura del material plástico dentro del cilindro (cm)	Área de la sección transversal del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Peso del material en el cilindro (g)	Radio del cilindro (cm)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente reportada o en fichas (g/cm <sup>3</sup> )
PP Reciclado	2,93	62,07	60	4,44	0,94	0.48

**Fuente: (Elaboración propia, ASTM D 1895-96)**

## 7.9 MEDICIÓN DEL INDICE DE FLUIDEZ (MFI)

El índice de fluidez es un método que se rige bajo la norma ASTM D 1238-2004c para la determinación de las propiedades de fluidez de los termoplásticos. Este ensayo se determina al pasar plástico por un plastómetro de extrusión (Ilustración 14), equipo de medición del índice de fluidez marca Göttfert, modelo MP – E, que se compone de un cilindro vertical que contiene una boquilla con una longitud específica y diámetro en su parte inferior, se ejecuta presionando con un pistón durante 10 minutos, con fuerza y temperatura determinadas. Este ensayo indica la masa en gramos del fundido del polímero (ASTM D 1238-2004c standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer, 2004).

## Ilustración 14 Plastómetro



Fuente: (ASTM D 1238-2004c)

Para realizar este ensayo internacional, existen cuatro procedimientos A, B, C y D que se utilizan de acuerdo a las necesidades y al tipo de material.

### Ensayo A

Esta prueba se realiza para conocer la tasa de flujo de fusión (MFR) de un termoplástico. Es la medición de un polímero que se extruye por un dado a una determinada temperatura y en un determinado momento, se utilizan para materiales que tienen índice de fluidez entre 0,15 y 50 g/10 min.

### Ensayo B

Este procedimiento se basa en la determinación del volumen del material extruido del dado en un periodo de tiempo. Es una medición de velocidad de flujo de

tiempo automatizado, se utiliza para determinar la velocidad de flujo de fundido (MFR) representado en g/10min y el volumen de masa fundida (MVR) de los materiales termoplásticos, representado en cm<sup>3</sup>/10min. Se usa para materiales con una velocidad de flujo de fundido entre 0,50 a 1500 g/10min.

### Ensayo C

Es una medición de tiempo automatizado que se usa para determinar la velocidad de flujo de fundido (MFR) de las polioléfinas. Se usa como una alternativa al procedimiento B en materiales que tienen una velocidad de flujo de fundidos mayores que 75 g/10min. El dado utilizado para este ensayo tiene el dado modificado a comparación del dado estándar de los dos ensayos anteriores, es llamado “dado medio” porque tiene la mitad de la altura y la mitad de diámetro interno, preservando la misma relación de longitud de diámetro. Este procedimiento se realiza de manera similar al procedimiento B.

### Ensayo D

Es una prueba de peso conocida como relación de velocidad de flujo (FRR). Está diseñado para realizar dos o tres ensayos de cargas diferentes, aumentando o disminuyendo la carga del material determinadas por MFR, el FRR se obtiene al dividir el MFR de la carga más alta del material por la carga más baja.

En las tablas dadas en la norma para realizar los procedimientos descritos, se especifican las diferentes temperaturas y cargas para realizar los ensayos, los materiales son termoplásticos vírgenes. Para esta prueba se utilizan las escamas generadas en el proceso de picado del polipropileno reciclado, es necesario utilizar la norma como si el material fuera virgen.

El procedimiento que se usa para este material es el método B, porque el Polipropileno virgen presenta una velocidad de flujo de fundido entre 0,50 a 1500 g/10min y se necesita determinar el volumen de masa fundida y velocidad de masa fundida.

Procedimiento:

Para la ejecución de la prueba se debe seguir la norma que indica que se debe pesar 60 gramos del material (Ilustración 15), luego se pasa por el plastómetro (Ilustración 16) de extrusión que contiene un cilindro de acero con un dado en la parte final y un pistón en su interior. Según el polímero con el que se trabaje se escoge la temperatura y la carga con la norma. Para Polipropileno debe ser de 230 ° C con una carga de 2,16 Kg, al salir el material por el dado, cada 10 min se debe hacer tres cortes con una espátula y posteriormente pesarlos teniendo en cuenta que el primer material saliente se descarta. Es necesario repetir el procedimiento 9 veces.

#### **Ilustración 15 Material Polipropileno reciclado**



**Fuente:** *(Foto tomada en el ICIPC Universidad EAFIT, por Nataly Galvis Gutiérrez)*

## Ilustración 16 Plastómetro



**Fuente:** *(Foto tomada en el ICIPC Universidad EAFIT, por Nataly Galvis Gutiérrez)*

Se realiza la prueba y se esperan los análisis del instituto del plástico.

### 7.10 ANÁLISIS INFRARROJO (FTIR)

La espectrometría de absorción en el infrarrojo es una prueba que se realiza para conocer la composición de materiales e investigar la estructura de una muestra (Principios de Analisis Instrumental. Madrid).

Para realizar el ensayo se usan espectrómetros de transformada de Fourier (ilustración 17), estos equipos utilizan un infrarrojo que contiene un espectro electromagnético, este se divide en tres regiones; infrarrojo cercano, infrarrojo medio y lejano. El proceso de reconocimiento de una muestra se basa en el

hecho de que las moléculas tienen movimientos de rotación y vibración moleculares, a su vez estas poseen niveles de energía. Las frecuencias vibracionales son determinados por la superficie de energía molecular; es decir, el infrarrojo incide sobre la superficie del material, este toma los niveles de absorción de la superficie de la muestra y procede a identificar el material (Principios de Analisis Instrumental. Madrid).

Este ensayo se rige bajo la norma internacional ASTM E1655 – 05 Standard Practices for Infrared Multivariate Quantitative Analysis, 2012.

### **Ilustración 17 Espectrómetro transformada de Fourier**



**Fuente:** *(Foto tomada de internet)*

### **7.11 ANÁLISIS DE CALORIMETRIA DE BARRIDO (DSC)**

Calorimetría de barrido diferencial es una técnica termo analítica, que consiste en medir la diferencia de calor entre una muestra y una referencia en función de la temperatura de la muestra. Este método es altamente aprobado y reconocido

siendo uno de los más usados de los ensayos térmicos (Principios de Analisis Instrumental. Madrid).

Este método se realiza en un calentador, llamado calorímetro diferencial de barrido (DSC) 2910 TA Instruments (Ilustración 18), posee dos hornos independientes donde uno es para la muestra y otro para la referencia, estos hornos permiten elevadas temperaturas de calentamiento, enfriamiento y equilibrado. En los hornos se encuentran los soportes de la muestra y de la referencia, tienen incorporados termómetros de resistencia de platino con el objetivo de controlar la temperatura de los materiales. Al elevar la temperatura de la muestra y de la referencia se activan unos sensores de resistencia que alimentan un amplificador diferencial por medio de un circuito comparador que determina si estas dos temperaturas se mantienen iguales o si alguna es mayor o menor para conocer si se trata del mismo material (Principios de Analisis Instrumental. Madrid), (ASTM E1252).

### **Ilustración 18 Calorímetro diferencial de barrido (DSC)**



**Fuente:** *(Foto tomada de internet)*

Con esta prueba se puede conocer el punto de fusión del material, diferentes fases cristalinas, densidad del polímero, determinación de grado de purezas,

tiempos de inducción en oxidaciones isotérmicas en polímeros (Principios de Análisis Instrumental. Madrid).

El ensayo se realiza bajo la norma internacional (ASTM D 3418-2003 Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry, 2003) con temperatura para el Polipropileno virgen comparado en este caso con Polipropileno reciclado.

Las muestras de polipropileno reciclado se entregaron al laboratorio para la ejecución de la prueba y así conocer su resultado.

## 7.12 MEZCLAS

Para la elaboración de mezclas es necesario definir el peso del material para producir un número de probetas manualmente requeridas de acuerdo a la norma internacional ASTM D 638-02a para prueba de tensión, así como el tipo de mezclas para comparar las propiedades entre un Polipropileno virgen (Ilustración 19) y un Polipropileno reciclado con el propósito de conocer las propiedades mecánicas y su variación de acuerdo a los porcentajes de mezclas del material post consumo.

El material que se requiere es un Polipropileno reciclado proveniente de tapas negras de envases, se deben realizar diferentes porcentajes de mezclas entre este polímero post consumo y Polipropileno virgen (Ilustración 20, Ilustración 21) para conocer como varía la resistencia en cada porcentaje hasta finalmente llegar al Polipropileno reciclado al ser sometido a esfuerzos de tensión. Se usan diferentes tipos de porcentaje de mezclas entre los tipos de Polipropileno (Tabla 6), las mezclas son:

**Tabla 6 Porcentajes de mezclas**

Mezclas		
Mezcla	Material	Porcentaje(%)
A	Polipropileno virgen (VPP)	100
B	Polipropileno reciclado (RPP)	100
C	VPP-RPP	50-50
D	VPP-RPP	70-30
E	VPP-RPP	30-70

**Fuente: (Diseño de Mezclas, Elaboración propia)**

**Ilustración 19 Polipropileno 100% virgen**



**Fuente: (Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)**

**Ilustración 20 Polipropileno 70% reciclado, 30% virgen**



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

**Ilustración 21 Polipropileno 70% virgen, 30% reciclado**



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

### 7.13 CONFORMACIÓN DE PROBETAS, INYECCIÓN

Este proceso consiste en inyectar las escamas de polipropileno reciclado previamente fundido en la unidad de inyección, pasando por el tornillo y haciendo presión para que fluya a través de un orificio pequeño llamado boquilla, de ahí pasa a la unidad de cierre hacia un molde donde el material se enfría y posteriormente se solidifica, adopta su forma y finalmente sale el producto deseado. En este caso probetas de inyección diseñadas para pruebas de tensión (Orozco, 1987).

Esta prueba usa la norma internacional ASTM D3641 - 14 Standard Practice for Injection Molding Test Specimens of Thermoplastic Molding and Extrusion Materials.

Para realizar esta prueba se usa la inyectora del Taller de plásticos de la universidad EAFIT (Tabla 7) (Ilustración 22).

Las características más relevantes son:

**Tabla 7 Características relevantes de la inyectora Maqui-Chen**

<b>Unidad de inyección:</b>	
Capacidad de inyección	63 cm <sup>3</sup>
Diámetro del tornillo	25 mm
Presión	203 MPa
<b>Unidad de cierre del molde</b>	
Fuerza de cierre de molde	550 KN

**Fuente:** *(Elaboración propia basada en ficha técnica de internet Maqui-Chen S.A, 2008).*

Para la elaboración de las probetas los materiales que se usan son las mezclas de Polipropileno reciclado y virgen (Tabla 6), es necesario inyectar por mezclas específicas, de acuerdo a los porcentajes establecidos a una temperatura de 220°C para el Polipropileno.

Se utiliza un peso de 1000 g de material para cada mezcla, por la capacidad de la maquina inyectora, y el número de probetas a inyectar. Se procede a inyectar las primeras mezclas de Polipropileno 100% virgen (Ilustración 23), las primeras probetas son desechadas para que la maquina quede libre de impurezas y pueda dar como resultado probetas útiles para el ensayo de tensión. Después se introducen las segundas mezclas, 70% de Polipropileno virgen y 30% de Polipropileno reciclado hasta inyectar el número de probetas requeridas, así se va repitiendo el procedimiento con todas las mezclas hasta llegar a 100% de Polipropileno reciclado (Ilustración 24). El número total de probetas inyectadas para cada mezcla es de 10 pares de probetas; cada par de probeta inyectada incluye el canal de alimentación y dos probetas, esto por efectos del molde (Orozco, 1987).

Es necesario registrar el peso del par de probeta completo y luego retirar la parte sobrante alimentadora de la probeta, se debe tener en cuenta que las probetas salen del molde con la norma ISO.

### **Ilustración 22 Inyección de probetas**



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

**Ilustración 23** Probetas inyectadas Polipropileno 100% virgen



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

**Ilustración 24** Probetas Polipropileno 100% reciclado



**Fuente:** *(Foto tomada en el Taller de Plásticos del Centro de laboratorios de la Universidad EAFIT por Nataly Galvis Gutiérrez)*

## 7.14 PRUEBAS DE TENSIÓN

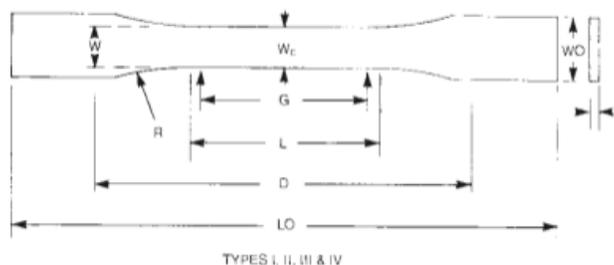
Es un ensayo que se basa en la norma internacional ISO 527 (Plastics Tensile Testing y ASTM D 638 – 02a Tensile Properties of Plastics) para pruebas de tensión, que sirve para determinar la resistencia mecánica de los polímeros sometiéndolos a tensión en la maquina universal (Ilustración 26).

Las probetas a usar se pueden clasificar según la norma en tipo 1 por sus dimensiones multipropósito ISO que fueron inyectadas específicamente para la máquina de tensión. Mínimo se necesitan 5 probetas para realizar el ensayo con cada grupo de porcentaje. La norma indica que para materiales plásticos rígidos y semirrígidos tipo 1 hay tres velocidades de ensayo (ISO 527 Plastics Tensile Testing y ASTM D 638 – 02a Tensile Properties of Plastics).

Las medidas principales de la probeta fueron las siguientes:

W:	12 mm
WO:	20mm
LO:	167mm

### Ilustración 25 Dimensiones probetas



Fuente: (ASTM D 638 – 02a Tensile Properties of Plastics)

Se realizan tres pruebas piloto de tensión con las velocidades de 5mm/min, 50mm/min, 500mm/min sugeridas en la norma técnica para el PP (Tabla 8), a partir de estos tiempos se define la velocidad con la que se sigue efectuando todos los demás ensayos para el resto de mezclas.

### **Ilustración 26 Maquina universal prueba de tensión**



**Fuente: (Foto tomada de internet)**

Datos obtenidos en el ensayo de tensión:

**Tabla 8 Datos tres velocidades diferentes de tensión**

<b>Probeta ensayo</b>	<b>Velocidad (mm/min)</b>	<b>Fmax (KN)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Lo (mm)</b>	<b>Lf (mm)</b>
A1	5	1,102	9,7	8,67	167	200
A2	50	1,233	9,33	8,66	167	575
A3	500	1,44	8,75	2,03	167	172

**Fuente: (ISO 527 Plastics Tensile Testing)**

## 8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 8.1 REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULA

En el proceso de reducción de tamaño de partícula de acuerdo a los datos obtenidos en el ensayo, se observa una disminución del 3% en el peso del material (Tabla 9) y un 78,4% de pérdida de volumen.

Al comienzo del proyecto, el Polipropileno estaba conformado en productos (tapas de diferentes tamaños); donde ocupaban mucho volumen y pesaban poco (gran problema de todos los plásticos), luego de picar el material, disminuye considerablemente la relación entre el volumen y el peso, dando como resultado una reducción en la densidad (Tabla 10yTabla 11).

Es importante resaltar, que la pérdida de peso del 3%, se considera normal para el proceso de picado y lavado del material.

**Tabla 9 Porcentaje de pérdida de peso y reducción de volumen**

<b>Perdida peso (g)</b>	<b>Porcentaje de pérdida de peso (%)</b>
242,8	3
<b>Perdida de volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentaje de reducción de volumen (%)</b>
65543	78,45

**Fuente: (Elaboración propia, Handbook of Plastics Recycling )**

**Tabla 10 Resultados finales densidad aparente**

Material	Peso del material inicial (antes del picado) (g)	Peso del material final (después del picado) (g)	Peso del material final (después de lavado y secado) (g)	Volumen inicial aprox (cm <sup>3</sup> )	Volumen final aprox, después del picado, lavado y secado al aire (cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente del producto inicial del picado (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente del material después del picado, lavado y secado al aire (g/cm <sup>3</sup> )
PP	8032,72	7789,95	7241,64	83543	18000	0,97	0,96

Fuente: *(Elaboración propia, Handbook of Plastics Recycling )*

**Tabla 11 Resultados finales, volumen y densidad promedio**

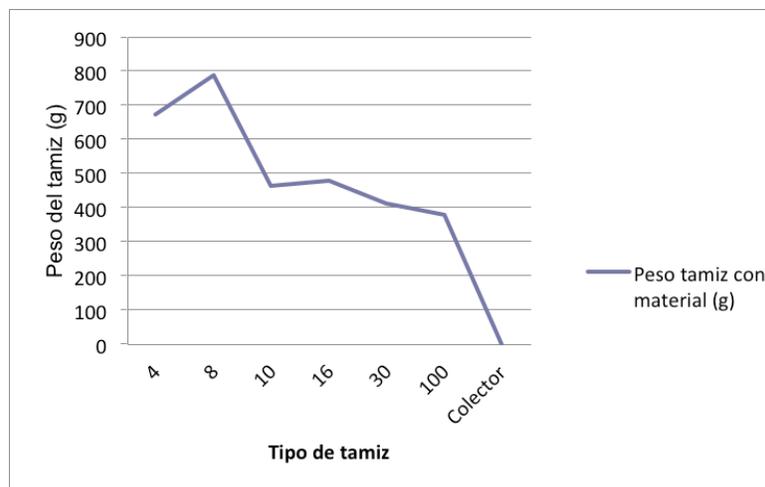
	Peso de material picado (g)	Volumen ( cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Volumen Promedio ( cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Tiempo total estimado para picado material (min)
1	800,2	2000	0,90	2000	0,96	7, 48
2	790,5	2000	0,99			
3	825,9	2000	0,91			
4	840,1	2000	0,92			
5	829,5	2000	0,91			
6	825	2000	0,91			
7	812,8	2000	0,90			
8	805,8	2000	0,90			
9	711,8	2000	0,95			

Fuente: *(Elaboración propia, Handbook of Plastics Recycling)*

## 8.2 TAMIZAJE

En la gráfica de distribución del peso del tamiz vs tipo de tamiz puede verse una tendencia clara en el tamaño de partícula, la mayor fracción del producto se concentró en el tamiz número 8 y en el tamiz número 10 un 80% de material (Tabla 12), mostrando que la mayoría de las escamas del material tiene un tamaño promedio entre 1,65 y 2,06 cm (Gráfica 1) (ASTM E-11 Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves, 2011).

**Gráfica 1** Peso del tamiz con material vs tipo de tamiz



**Fuente:** (Elaboración propia, ASTM E-11)

**Tabla 12 Tipos de tamiz y pesos**

Tipo de tamiz (Nº)	Diámetro malla (cm)	Peso tamiz sin material (g)	Peso tamiz con material (g)	Diferencia (g)
4	3,75	410,82	674,52	263,71
8	2,06	454,12	788,71	334,63
10	1,65	443,31	464,31	21
16	1,46	483,85	479,42	-4,41
30	0,6	652,43	413,71	-238,72
100	0,15	379,72	380,52	0,81
Colector	0	252,31	0	-252,31

**Fuente: (Elaboración propia, ASTM E-11)**

### **8.3 MEDICION DE LA DENSIDAD APARENTE Y FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO**

La densidad aparente del Polipropileno post consumo antes y después de ser compactado se registra con valores diferentes (Tabla 14); la primera fue de 0,3295 g/cm<sup>3</sup> y la segunda después de ser compactado fue 0,3380 g/cm<sup>3</sup>, esto es causado por el espacio de volumen ocupado entre partículas, el material compactado su densidad final siempre será mayor (ASTM D 1895-96 Standard Test Methods for Apparent Density, Bulk Factor, and Pourability of Plastic Materials, 1996).

También se hace una comparación entre las densidades aparentes respecto al Polipropileno virgen reportado en fichas y el reciclado, este último fue picado y compactado, haciendo la diferencia respecto al virgen, el espacio entre partículas

es realmente la causa de los resultados. El Polipropileno reciclado tiene un factor de compactación de 0,975 (Tabla 4, Tabla 14).

**Tabla 13 Densidad aparente**

Muestra	Peso(g)	Altura (cm)
1	60	2,95
2	60	2,93
3	60	2,92
Promedio	60	2,93
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )		0,32

Fuente: *(Elaboración propia, ASTM D 1895-96)*

**Tabla 14 Datos obtenidos factor de empaquetamiento**

Material	Densidad aparente del material antes de ser compactado (g/cm <sup>3</sup> )	Altura del material plástico dentro del cilindro, después de ser compactado (cm)	Área de la sección transversal del cilindro, después de ser compactado (cm <sup>2</sup> )	Densidad aparente del material después de ser compactado (g/cm <sup>3</sup> )	Volumen del material dentro del cilindro Después de ser compactado(cm <sup>3</sup> )	FC
						Factor de compactación
PP Reciclado	0,33	2,86	62,07	0,33	177,52	0,97

Fuente: *(Elaboración propia, ASTM D 1895-96)*

#### 8.4 MEDICION DEL INDICE DE FLUIDEZ (MFI)

El ensayo del índice de fluidez es realizado por el instituto del plástico en la universidad EAFIT (Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17).

Los resultados son el promedio de los 9 ensayos necesarios para el Polipropileno (Tabla 18), muestran un material con una velocidad de flujo de fundido de 10,12 g/10min y con un volumen de masa fundida de 13,50 cm<sup>3</sup>/10min (ASTM D 1238-2004c standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer, 2004).

**Tabla 15 Datos, ensayo número 1 (MFI)**

Resultado	Peso (g/20s)	MFR(g/10min)	MVR(cm <sup>3</sup> /10min)	Densidad a 230°C (g/cm <sup>3</sup> )
Dato 1	0,31	9,31	13,26	0,70
Dato 2	0,38	11,37	14,75	0,77
Dato 3	0,32	9,77	13,53	0,72
Promedio	0,33	10,15	13,85	0,72
Desviación	3,6E-02	1,1E+00	7,9E-01	3,55E-02

Esfuerzo Cortante (Pa)                      19396,8 Pa  
Rata de cizalladura (1/s)                      12,83 1/s  
Viscosidad (Pa.s)                              1853,21 Pa.s

**Fuente: (ICIPC, ASTM D 1238-2004c)**

**Tabla 16 Datos, ensayo número 2 (MFI)**

Resultado	Peso (g/20s)	MFR(g/10min)	MVR(cm <sup>3</sup> /10min)	Densidad a 230°C (g/ cm <sup>3</sup> )
Dato 1	0,34	10,12	13,53	0,74
Dato 2	0,39	11,58	15,08	0,77
Dato 3	0,36	10,73	13,89	0,77
Promedio	0,36	10,81	14,17	0,77
Desviación	2,4E-02	7,3E-01	8,1E-01	1,29E-02

Esfuerzo Cortante (Pa)                      19396,8 Pa

Rata de cizalladura (1/s)                      14,26 1/s

Viscosidad (Pa.s)                              1899,23 Pa.s

**Fuente: (ICIPC, ASTM D 1238-2004c)**

**Tabla 17 Datos, ensayo número 3 (MFI)**

Resultado	Peso (g/20s)	MFR(g/10min)	MVR(cm <sup>3</sup> /10min)	Densidad a 230°C (g/ cm <sup>3</sup> )
Dato 1	0,35	10,45	13,53	0,77
Dato 2	0,39	11,88	15,08	0,78
Dato 3	0,32	9,85	13,89	0,70
Promedio	0,35	10,73	14,17	0,70
Desviación	3,5E-02	1,0E+00	8,1E-01	4,17E-02

Esfuerzo Cortante (Pa)                      19396,8 Pa

Rata de cizalladura (1/s)                      12,26 1/s

Viscosidad (Pa.s)                              1995,23 Pa.s

**Fuente: (ICIPC, ASTM D 1238-2004c)**

**Tabla 18 Datos, ensayo promedio (MFI)**

Resultado	Peso (g/20s)	MFR(g/10min)	MVR(cm <sup>3</sup> /10min)	Densidad a 230°C (g/ cm <sup>3</sup> )
Dato 1	0,36	10,812	14,38	0,75
Dato 2	0,32	9,681	13,03	0,74
Dato 3	0,32	9,867	13,09	0,75
Promedio	0,34	10,12	13,50	0,75
Desviación	2,0E-02	6,1E-01	7,6E-01	5,77E-03

Esfuerzo Cortante (Pa)                      19396,8 Pa  
 Rata de cizalladura (1/s)                      13,07 1/s  
 Viscosidad (Pa.s)                              1993,23 Pa.s

**Fuente: (ICIPC, ASTM D 1238-2004c)**

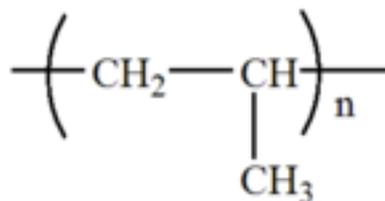
## 8.5 ANÁLISIS INFRARROJO

Los resultados del análisis infrarrojo arrojan un diagrama con los niveles de absorción a escala lineal de número de onda en unidades de cm<sup>-1</sup>. Se hace un comparativo entre el Polipropileno virgen y el Polipropileno reciclado para saber si las tapas eran de polipropileno, efectivamente las dos espectros presentaron gran similitud debido a las absorciones de los enlaces de carbono nitrógeno son semejantes a las de los enlaces carbono-carbono, lo que llevo a concluir que si se trataba del mismo material (Principios de Analisis Instrumental. Madrid).

Algunas alteraciones o diferencias en el diagrama se pueden deber a varias razones; como la presencia de otros materiales como eva, tintas o etiquetas que quedan pegadas en las escamas de Polipropileno (Diagrama 3).

Los picos muestran los valores de las absorciones de la muestra y es evidente que las adsorciones coinciden con los grupos funcionales propios del Polipropileno como se observa en la Ilustración 27 (ASTM E1655 – 05 Standard Practices for Infrared Multivariate Quantitative Analysis, 2012)

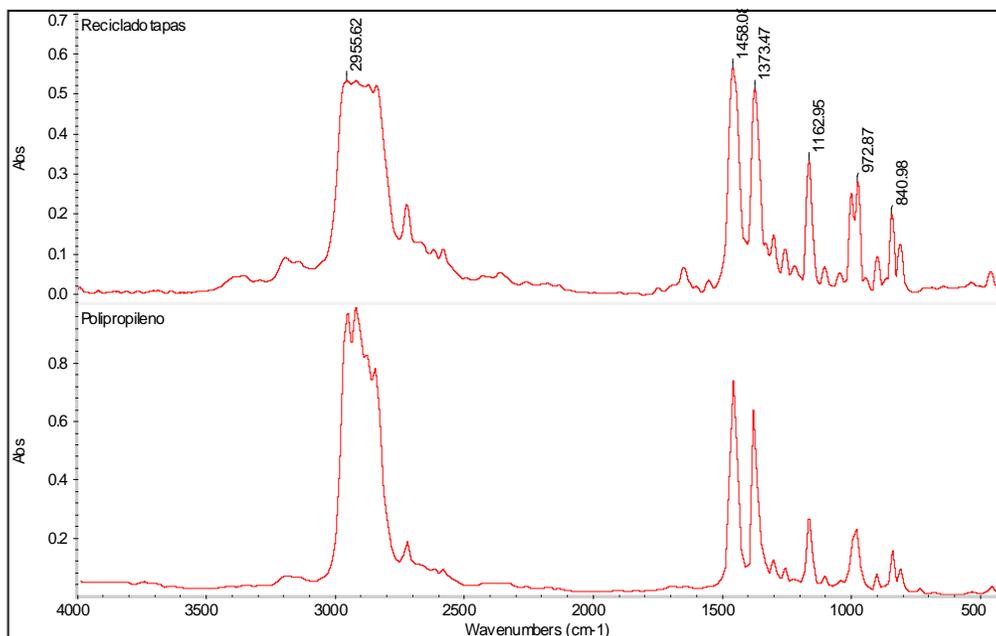
### Ilustración 27 Monómero Polipropileno



Polipropileno Virgen

Fuente: (Tim Osswald, 2010)

### Diagrama 3 Análisis infrarrojo para Polipropileno virgen y reciclado



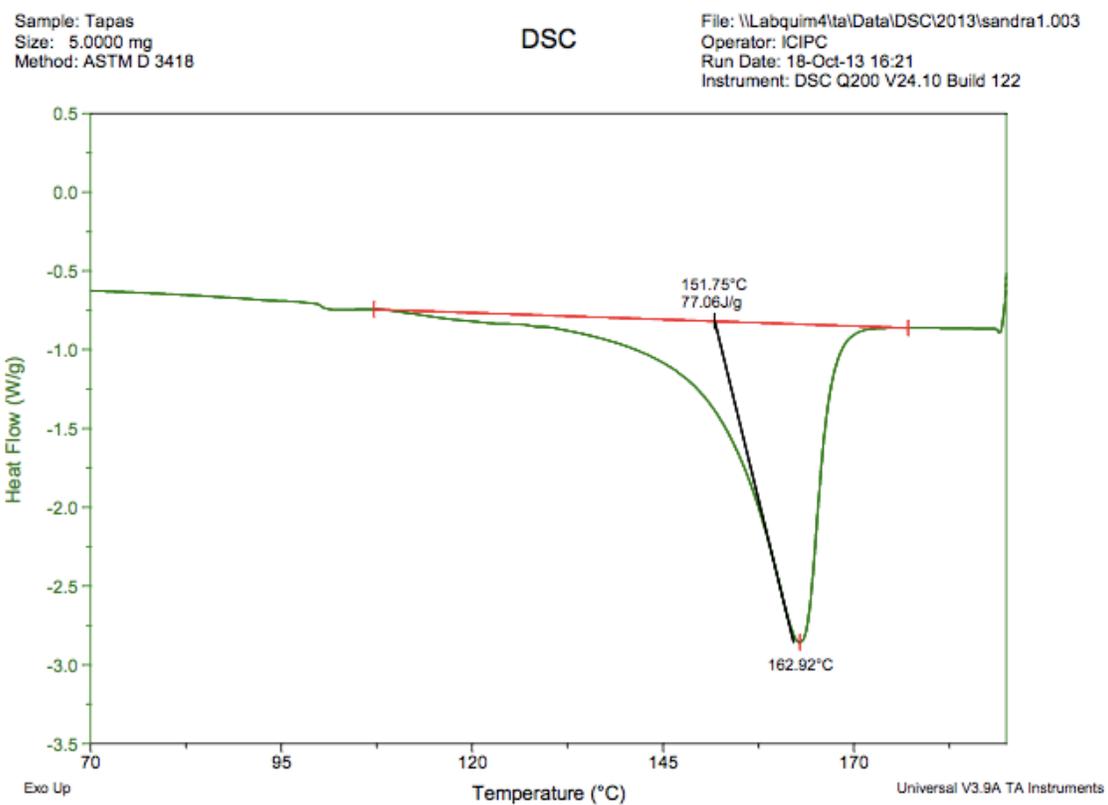
Fuente: (ICIPC, ASTM E1655 – 05)

## 8.6 ANÁLISIS DE CALORIMETRIA DE BARRIDO (DCS)

En los siguientes diagramas se muestran curvas de calorimetría de barrido para muestras de Polipropileno reciclado. Los picos surgen de la formación de micro cristales y de la fusión, en cuanto al primer calentamiento los micro cristales se generan a una temperatura de 162,92 °C (Diagrama 4), cuando la temperatura de enfriamiento alcanza 127,48 °C también surgen los micro cristales (Diagrama 5).

El ensayo concluye cuando se vuelve a elevar la temperatura y la máxima temperatura alcanza 163,61 °C similar al primer calentamiento (Diagrama 6). La gráfica muestra temperaturas parecidas al Polipropileno virgen en la formación de micro cristales. También es evidente en los tres casos una transición vítrea, en la gráfica DSC no se muestra picos de oxidación porque el ensayo se realiza en una atmosfera de nitrógeno (ASTM D 3418-2003 Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry, 2003) (Principios de Analisis Instrumental. Madrid).

## Diagrama 4 Tapas negras de Polipropileno, Termograma DSC primer calentamiento



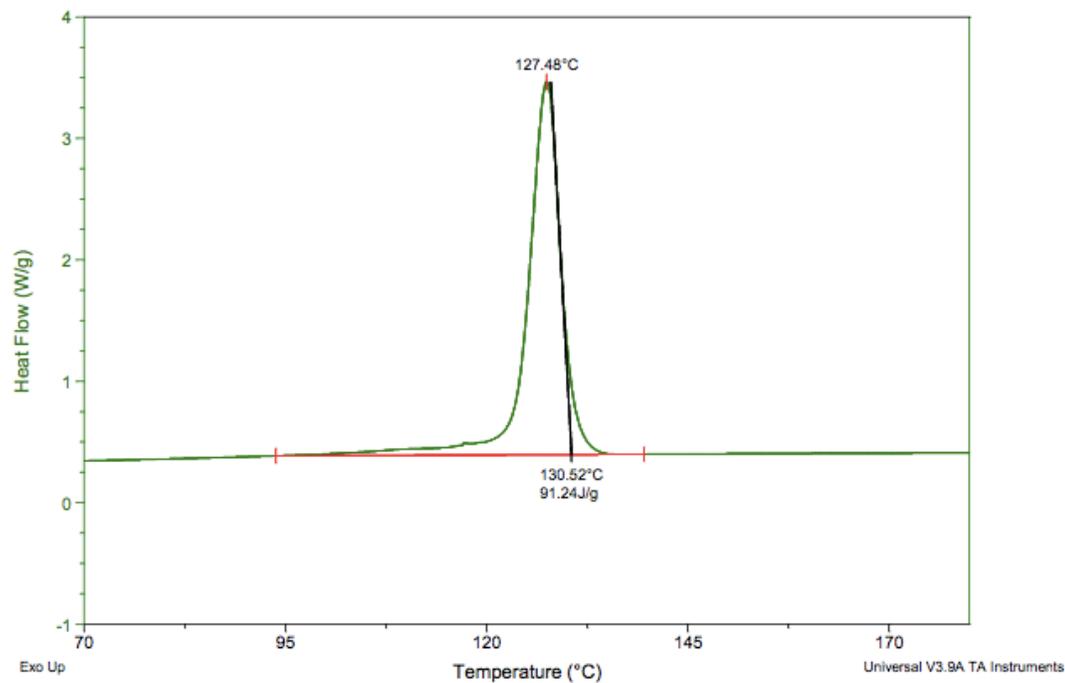
Fuente: (ICIPC, ASTM D 3418-2003)

## Diagrama 5 Tapas negras de Polipropileno, Termograma DSC enfriamiento

Sample: Tapas  
Size: 5.0000 mg  
Method: ASTM D 3418

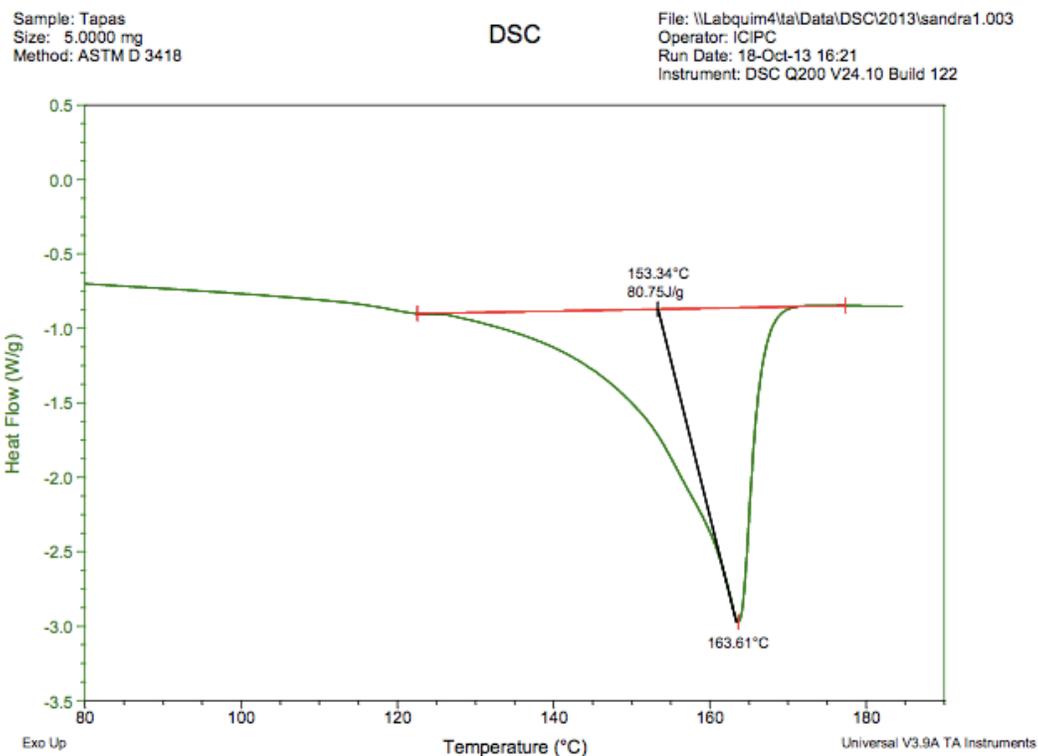
DSC

File: \\Labquim4\ta\Data\DSC\2013\sandra1.003  
Operator: ICIPC  
Run Date: 18-Oct-13 16:21  
Instrument: DSC Q200 V24.10 Build 122



Fuente: (ICIPC, ASTM D 3418-2003)

## Diagrama 6 Tapas negras de Polipropileno, Termograma DSC segundo calentamiento



Fuente: (ICIPC, ASTM D 3418-2003)

## 8.7 CONFORMACIÓN DE PROBETAS, INYECCIÓN

En la siguiente tabla, se observan varias mezclas de probetas inyectadas, cada uno designado con las letras A, B, C, D y E cada grupo contiene porcentajes con Polipropileno virgen y Polipropileno reciclado (Orozco, 1987). Además en la tabla se muestran los pesos de los pares de probetas completas (dos probetas más canal alimentador), el peso de cada probeta individual y finalmente el desperdicio (Tabla 19) (ASTM D3641 - 14 Standard Practice for Injection Molding Test Specimens of Thermoplastic Molding and Extrusion Materials).

Resultado tablas finales:

**Tabla 19 Pesos de las probetas**

Probeta	Peso probeta completa (gr)	Peso individual (gr)	Peso canales de alimentación (gr)
A1	25,9	8,4	9,1
A2		8,4	
A3	25,9	8,4	9,1
A4		8,4	
A5	26,1	8,3	9,4
A6		8,4	
B1	26,3	8,7	8,8
B2		8,8	
B3	26,2	8,8	8,7
B4		8,7	
B5	26,7	8,7	9,3
B6		8,7	

C1	27,1	8,7	9,7
C2		8,7	
C3	26,6	8,7	9,2
C4		8,7	
C5	26,4	8,7	9,0
C6		8,7	
D1	26,5	8,8	8,9
D2		8,8	
D3	26,5	8,7	9,0
D4		8,8	
D5	26,59	8,7	9,2
D6		8,7	
E1	26,5	8,8	8,9
E2		8,8	
E3	27,3	8,8	9,7
E4		8,8	
E5	26,9	8,8	9,3
E6		8,8	

**Fuente: (Diseño de Mezclas, Elaboración propia)**

## 8.8 PRUEBAS DE TENSIÓN

Las pruebas de tensión realizadas para las mezclas entre Polipropileno virgen y reciclado, sirven para establecer que tipo probetas cumplen con las mejores propiedades de resistencia a la tensión y conocer finalmente los valores de las propiedades mecánicas para el Polipropileno reciclado (ISO 527 Plastics Tensile Testing, ASTM D 638 – 02a Tensile Properties of Plastics). Los datos de la Tabla 21, muestran el tiempo de fractura de las probetas de mezclas de Polipropileno virgen con Polipropileno post consumo, también la fuerza empleada para dicho ensayo, la longitud inicial y final de las probetas. Es evidente en los resultados que el tipo de probeta de Polipropileno 100% virgen presenta un poco de más elasticidad (2000MPa) y su tiempo de rotura es más demorado a comparación de los otros tipos de mezclas, pero aún se puede decir que el Polipropileno post consumo presenta propiedades aceptables en comparación con el Polipropileno virgen (Tabla 20).

El módulo de elasticidad del Polipropileno virgen es de 1746 MPa mientras el del Polipropileno reciclado es de 1474 MPa, 14% menos que el Polipropileno virgen. El porcentaje de alargamiento a la fractura en el virgen es de un 25% y en el reciclado es de 8%, esto demuestra que el Polipropileno virgen si tiene mayor elasticidad (Tabla 21). Según la tabla 21 a medida que se incluye algún porcentaje de Polipropileno reciclado al virgen las propiedades disminuyen notoriamente.

Para analizar los resultados finales de las propiedades mecánicas y conocer el módulo de elasticidad, porcentaje de alargamiento y resistencia a la tracción fue necesario seguir la norma técnica internacional, que explica cómo realizar dichos cálculos (ISO 527 Plastics Tensile Testing, ASTM D 638 – 02a Tensile Properties of Plastics).

Resultados tabla final, ensayo de tensión:

**Tabla 20 Propiedades mecánicas**

Propiedades mecánicas probetas	Probeta 100% Polipropileno virgen	Probeta 70-30% Polipropileno virgen- Polipropileno reciclado	Probeta 70-30% Polipropileno reciclado- Polipropileno virgen	Probeta 50-50% Polipropileno virgen- Polipropileno reciclado	Probeta 100% Polipropileno reciclado
Módulo de elasticidad (Mpa)	1746	1674	1576	1516	1474
Resistencia a la tracción (Mpa)	38	37,485	37,955	34,385	33,175
Alargamiento a rotura (%)	25	15	10	11	9

Fuente: *(Elaboración propia, ASTM D 638 – 02a)*

**Tabla 21 Tabla final de cálculos de prueba de tensión**

Probeta	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Tiempo (min)	Fuerza max (KN)	esplazamiento (mn)	Lo (mm)	Lf (mm)	ΔL (mm)	Area (mm²)	σ (N/mm²)
A1	10,51	4,06	5,620	1,288	9,167	50	54,98	0,0906	2268	0,56790123
A2	10,43	4,04	2,546	1,453	8,625	50	57,30	0,1274	2268	0,64065256
A3	10,44	4,03	3,890	1,447	9	50	57,30	0,1274	2268	0,63800705
A4	10,59	4,04	3,546	1,457	9	50	55,330	0,0963	2268	0,64241623
A5	10,58	4,03	2,858	1,408	9	50	59,73	0,1629	2268	0,62081129
B1	10,15	3,97	3,132	1,205	9	50	53,78	0,0703	2268	0,53130511
B2	10,18	4,01	3,484	1,227	9	50	53,24	0,0609	2268	0,54100529
B3	10,32	4,03	3,204	1,221	9	50	53,40	0,0637	2268	0,53835979
B4	10,12	3,98	2,546	1,231	9	50	53,14	0,0591	2268	0,54276896
B5	10,21	4,00	4,202	1,213	9	50	55,62	0,1010	2268	0,53483245
C1	10,32	4,03	2,030	1,426	8,25	50	51,58	0,0306	2268	0,6287478
C2	10,21	3,99	1,530	1,417	8,25	50	51,58	0,0306	2268	0,62477954
C3	10,22	4,01	1,954	1,412	8,25	50	51,17	0,0229	2268	0,62257496
C4	10,31	4,01	2,016	2,016	8,25	50	51,94	0,0374	2268	0,88888889
C5	10,29	4,01	1,532	1,320	8,25	50	51,49	0,0289	2268	0,58201058
D1	10,27	4,00	2,454	1,497	8,24	50	52,3	0,0440	2268	0,66005291
D2	10,35	4,02	2,532	1,506	8,25	50	54,69	0,0858	2268	0,66402116
D3	10,23	4,00	2,672	1,501	8,25	50	52,78	0,0527	2268	0,66181658
D4	10,37	4,01	2,468	1,484	8,25	50	52,55	0,0485	2268	0,65432099
D5	10,23	4,03	2,032	1,489	8,25	50	51,96	0,0377	2268	0,65652557
E1	10,20	3,98	3,652	1,346	8,25	50	56,14	0,1094	2268	0,59347443
E2	10,29	4,01	4,062	1,324	8,25	50	57,26	0,1268	2268	0,58377425
E3	10,18	3,98	2,406	1,286	8,25	50	53,28	0,0616	2268	0,5670194
E4	10,30	4,01	3,032	1,343	8,25	50	53,59	0,0670	2268	0,59215168
E5	10,18	3,99	3,018	1,336	8,25	50	52,72	0,0516	2268	0,58906526

**Fuente: (Elaboración propia, basado en la norma internacional ASTM D 638 – 02a)**

## 9 FICHA TECNICA

**Tabla 22 Ficha técnica Polipropileno Reciclado (Tapas de envases)**

<b>Propiedades físicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de ensayo</b>
Densidad	0,96	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D1895-96
Densidad aparente	0,33	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D1895-96
Factor de empaquetamiento	0,97	N.A	ASTM D1895-96
<b>Propiedades reológicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de ensayo</b>
Índice de fluidez volumétrico, MVR	13,5	cm <sup>3</sup> /10min	ASTM D 1238-2004c
Temperatura	230	°C	ASTM D 1238-2004c
Carga	2,16	kg	ASTM D 1238-2004c
<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de ensayo</b>
Módulo de elasticidad	1474	MPa	ASTM D 638-02a
Resistencia a la tracción	30,485	Mpa	ASTM D 638-02a
Alargamiento a rotura	8	%	ASTM D 638-02a
<b>Propiedades térmicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método de ensayo</b>
Temperatura de fusión	220	°C	ASTM D4101 - 14
Moldeo por inyección, temperatura de la masa	220	°C	ASTM D4101 - 14
Moldeo por inyección, temperatura del molde	80	°C	ASTM D4101 - 14
Estabilidad al calor, 1.80 MPa	70	°C	ASTM D4101 - 14
<b>Propiedades Químicas</b>	<b>Descripción</b>		
Absorción de agua	Baja		
Absorción de humedad	Superficial		
Alcoholes	Buena		
Grasas y Aceites	Aceptable		

**Fuente: (Elaboración propia, Campus plastics, 2014)**

## 10 CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos a través de los ensayos realizados bajo las normas técnicas internacionales ASTM, se creó la ficha técnica del Polipropileno reciclado, proveniente de tapas.

Las propiedades físicas del Polipropileno reciclado, son generadas a partir de ensayos como reducción de tamaño de partícula, densidad aparente y factor de empaquetamiento. Los valores de densidad para el Polipropileno reciclado varían en un 1,03% con relación al Polipropileno virgen, el valor de la densidad del Polipropileno virgen está alrededor de  $0,97 \text{ g/cm}^3$  y en el reciclado  $0,96 \text{ g/cm}^3$  aproximadamente, la densidad aparente para el Polipropileno reciclado es de  $0,48 \text{ g/cm}^3$  y para el polipropileno reciclado de acuerdo a los cálculos, fue de  $0,33 \text{ g/cm}^3$ .

La densidad de Polipropileno es inversamente proporcional a la temperatura, es decir, disminuye con el incremento de temperatura, pasando de una densidad de  $0,96 \text{ g/cm}^3$  a temperatura ambiente, a  $0,75 \text{ g/cm}^3$  a  $230^\circ\text{C}$ .

La prueba del índice de fluidez MFI se realiza con el propósito de conocer las propiedades reológicas de los materiales, este ensayo determinó que tan fluido es el Polipropileno reciclado, el valor final fue de  $13,5 \text{ cm}^3/10\text{min}$ , en comparación con el Polipropileno virgen a  $60 \text{ cm}^3/10\text{min}$ ; el resultado indica que el grado de fluidez es menor para el Polipropileno reciclado.

La temperatura ideal para trabajar con el Polipropileno reciclado, es de  $230^\circ\text{C}$  la misma que el Polipropileno virgen; teniendo en cuenta que la temperatura de fusión es de  $162,92^\circ\text{C}$  y lo sugerido por la literatura es procesar este polímero en un rango entre  $50^\circ\text{C}$  y  $60^\circ\text{C}$  por encima de la temperatura de fusión.

El ensayo de tensión establece las propiedades mecánicas necesarias para conocer la resistencia de un material a esfuerzos de tensión. Los resultados mostraron un material con un módulo de elasticidad de 1474 MPa, alargamiento a la rotura de 9% y una resistencia a la tracción de 33,175 MPa, valores un poco diferentes al Polipropileno virgen.

Al realizar las pruebas de tensión para diferentes porcentajes de mezclas entre Polipropileno virgen y reciclado se observó que a medida que se iba incorporando Polipropileno reciclado las propiedades mecánicas disminuían. Esto quiere decir que el Polipropileno reciclado posee propiedades mecánicas inferiores a las del polipropileno virgen, siendo un material atractivo para implementarlo en el desarrollo de productos que no requieran de estas propiedades.

El Polipropileno reciclado presenta muy buenas propiedades químicas evaluadas a partir de todo el proceso de reciclaje mecánico, como absorción de agua; bajo, absorción a humedad; superficial, alcoholes; buena, grasas y aceites; aceptable, propiedades muy similares al Polipropileno virgen.

## 11 BIBLIOGRAFIA

*Ponencias presentadas en el 1. foro latinoamericano del Polipropileno. (1993).*  
Medellin.

Arquitectos, S. A. (2001). *Analisis de la Problematica Nacional realizada por distinguidos lideres Colombianos.* Medellin.

ASTM D 1895-96 Standard Test Methods for Apparent Density, Bulk Factor, and Pourability of Plastic Materials. (1996).

ASTM D 3418-2003 Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry. (2003).

ASTM D 1238-2004c standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer. (2004).

ASTM E-11 Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves. (2011).

ASTM D 638 – 02a Tensile Properties of Plastics. (s.f.). Estados Unidos.

ASTM D3641 - 14 Standard Practice for Injection Molding Test Specimens of Thermoplastic Molding and Extrusion Materials. (2012).

ASTM E1655 – 05 Standard Practices for Infrared Multivariate Quantitative Analysis. (2012).

*Maqui-Chen S.A.* (2008). Recuperado el 3 de 12 de 2013, de <http://www.maqui-chen.com>.

- Campus plastics*. (2014). Recuperado el 18 de 11 de 2013, de <http://www.campusplastics.com/>.
- DANE Direccion de Sintesis y Cuentas Nacionales DSCN. (Octubre de 2012). *Direccion de Sintesis y Cuentas Nacionales DSCN*. Obtenido de [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co).
- Douglas A. Skoog, F. J. (2001). *Principios de Analisis Instrumental*. Madrid: Concepción Fernandez Madrid.
- Ebeling, F.-W., Huberth, H., Schirber, H., & Schlor, N. (2002). *Ciencia de los plasticos*. Grupo editorial Costa Nogal.
- El Tiempo. ( 07 de Marzo de 2013 ). *Tiempo.com*. Recuperado el 15 de octubre de 2013, de [http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW\\_NOTA\\_INTERIOR-12658990.html](http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-12658990.html).
- Ingepol Outdoor. (2012). *Ingepol outdoor S.A.S*. Obtenido de [www.ingepoloutdoor.com](http://www.ingepoloutdoor.com).
- Ingepol, editor. (09 de noviembre de 2010). *Ingepol, ingenieria de polimeros S.A.* Obtenido de [www.ingepol.com](http://www.ingepol.com).
- Kosior, E. (7 de Septiembre de 2012). *Recycling of polypropylene*. Recuperado el 14 de octubre de 2013, de Google: <https://www.google.com/patents/WO2012117250A1?cl=en&dq=polypropylene+recycle&hl=es&sa=X&ei=7lhDUt7RKluK9gT6klCoBw&ved=0CFQQ6AEwAw#backward-citations>.
- Mantia, F. L. (2002). *Handbook of Plastics Recycling*. United Kingdom: Rapra Technology limited.
- Melús, M. A. (1975). *Aprovechamiento de Residuos Plasticos Urbanos en la Costruccion de Firmes*. Marid: Vita.

Mohammad Amin Danesh, H. Z. ( 3 de October de 2011). *Bio Resources*. Recuperado el 15 de octubre de 2013, de [http://translate.googleusercontent.com/translate\\_c?anno=2&depth=1&hl=es&rurl=translate.google.com&sl=en&tl=es&u=http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/download/BioRes\\_07\\_1\\_0936\\_Danesh\\_ZHNS\\_Morph\\_Thermal\\_PP\\_Nanocomposites/1425&usg=ALkJrhjgE16TqC8](http://translate.googleusercontent.com/translate_c?anno=2&depth=1&hl=es&rurl=translate.google.com&sl=en&tl=es&u=http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/download/BioRes_07_1_0936_Danesh_ZHNS_Morph_Thermal_PP_Nanocomposites/1425&usg=ALkJrhjgE16TqC8).

Orozco. (1987). *Procesos de inyección*. Medellín.

Schwarz, O. (2002). *Ciencia de los plasticos*. Alemania: Costa Nogal.

Tim Osswald, G. M. (2010). *Ciencia de Polímeros para Ingenieros*. Alemania: Guadales Limitada.

Wasiak. (1999). *Effects of cooling rate on crystallinity of Polypropylene and Polyethylene terephthalate crystallized in nonisot*. Estados Unidos: Warszawa.

## 12 ANEXOS



## INFORME DE ENSAYOS MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE FLUIDEZ

### 1. LUGAR DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:

Laboratorio del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho. **ICIPC**.

### 2. DIRECCIÓN DEL LABORATORIO:

Carrera 49 Nr.5 Sur – 190. Medellín, Colombia.  
[www.icipc.org](http://www.icipc.org)

### 3. NOMBRE DEL CLIENTE:

UNIVERSIDAD EAFIT  
Ing. Sandra Gonzalez

### 4. DIRECCIÓN DEL CLIENTE:

Carrera 49 No. 7 Sur – 50  
Tel. 261 95 00  
Medellín

### 5. IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE ENSAYO:

Muestra identificada como:

- Polipropileno Reciclado Nataly Galvis

Fecha de Recepción de la muestra: 30 de septiembre de 2013

### 6. DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS ORDENADOS POR EL CLIENTE:

Determinar el Índice de Fluidéz en termoplasticos

### 7. MÉTODOS DE ENSAYO:

Método estándar para la determinación del índice de fluidéz, MFI, basado en la norma ASTM D1238-2004c (\*)



(\*) Ensayo Acreditado por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) de acuerdo con la resolución No 35716 del 7 de noviembre de 2002 - Resolución 5965 del 26 de marzo de 2004 – Resolución 5953 del 1 de febrero de 2010 conforme a los criterios establecidos en los documentos Decreto 2269 de 1993 y Resolución 8728 de 2001 (Norma NTC - ISO/IEC 17025:2005)

#### 8. CONDICIONES DE ENSAYO:

Temperatura de ensayo (°C):	230
Carga aplicada (kg):	2,16
Tiempo de fundido (min):	4
Longitud de medida (mm)	6,35

#### 9. EQUIPO DE ENSAYO:

Equipo de medición del índice de fluidez marca Göttfert, modelo MP – E.  
Balanza analítica de la firma Mettler AE 200 con una precisión de  $\pm 0,0001$  g.  
Incertidumbre  $\pm 0,00013$ g.  
Cronómetro de la marca CASIO HS-10W, Exactitud  $\pm 1$  s cada 2 días.

#### 10. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

Característica	MFR (g/10 min)	MVR (cm <sup>3</sup> /10 min)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Medición 1	10,81	14,38	0,75
Medición 2	9,68	13,03	0,74
Medición 3	9,86	13,09	0,75
Promedio	<b>10,12</b>	<b>13,50</b>	<b>0,75</b>
Desviación estándar	<b>0,60</b>	<b>0,77</b>	<b>0,01</b>

**Nota 1:** La densidad que se reporta sólo es válida para la temperatura de ensayo, la cual se reporta en el numeral 8

**Nota 2:** Los valores reportados son los promedios de tres corridos de la muestra.

**11. FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:** 30 de septiembre de 2013

**12. FECHA DE EXPEDICIÓN DEL INFORME:** 04 de octubre de 2013



**13. ENSAYOS REALIZADOS POR:**

-Original firmado-

Jaime Humberto Olarte Borja.  
Laboratorista de Ensayos.

**14. RESPONSABLE:**

-Original firmado-

Ing. Diego Alejandro Salazar H.  
Jefe de laboratorio

**Observaciones:**

- 1- Los resultados que aparecen en el presente informe se refieren únicamente a la muestra evaluada.
- 2- Este informe no debe reproducirse sin la aprobación del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho -ICIPC-.
- 3- Este informe de ensayo no implica la aprobación del producto ni por la red de laboratorios ni por la SIC.
- 4- Cualquier reclamación que se presente en los resultados del presente informe deberá ser hecha en el lapso de 30 días contados a partir de la fecha de facturación. Las muestras serán almacenadas en el ICIPC por un período de 1 año; las muestras de tubería se almacenarán por un período de 2 meses.
- 5- Las inquietudes o dudas referentes a estos resultados se pueden hacer únicamente a través del responsable del presente informe (Jefe de Laboratorios).
- 6- El ICIPC no se hace responsable por el uso posterior, ni por las interpretaciones que se realicen del presente informe.

*Estimado cliente, a su disposición tiene nuestra línea telefónica [\(574\) 311 64 78](tel:5743116478) y el e-mail: [vozdelcliente@icipc.org](mailto:vozdelcliente@icipc.org) como medio para sugerencias o reclamos.*



---

**INFORME DE ENSAYO**

**ANÁLISIS DE CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)**

**1. LUGAR DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:**

Laboratorios del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho. ICIPC.

**2. DIRECCIÓN DEL LABORATORIO:**

Carrera 49 No. 5 Sur - 190. Medellín, Colombia.  
www.icipc.org

**3. NOMBRE DEL CLIENTE:**

UNIVERSIDAD EAFIT  
Ing. Sandra Gonzales

**4. DIRECCIÓN DEL CLIENTE:**

Carrera 49 No. 7 Sur – 50  
Tel.261 95 00  
Medellín

**5. IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE ENSAYO:**

Muestras identificada como:

- Tapas
- Jeringa
- Moto
- Impresora
- Ecosolvente

Fecha de recepción de la muestra: Octubre 10 de 2013

**6. DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO ORDENADO POR EL CLIENTE:**

Determinación de transiciones de primer y segundo orden por DSC

**7. MÉTODO DE ENSAYO:**

Análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC): Método para la determinación de transiciones de primer y segundo orden basado en la norma ASTM D 3418 – 2003 (\*)

(\*) Ensayos acreditados por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) de acuerdo con la resolución No. 35716 del 7 de Noviembre de 2002 bajo. Resolución 5965 del 26 de marzo de 2004 – Resolución 5953 del 1 de febrero de 2010 conforme a los criterios establecidos en los documentos Decreto 2269 de 1993 y Resolución 8728 de 2001 (Norma NTC - ISO/IEC 17025:2005)

**8. CONDICIONES DE ENSAYO:**

En la *Tabla N° 1* se especifican las condiciones experimentales del ensayo

*Tabla N° 1.* Especificaciones del análisis por DSC (para determinación de temperaturas de fusión y cristalización)

Condiciones de Operación	Ensayo
Temperatura inicial (°C)	25
Velocidad de calentamiento y de enfriamiento (°C/min)	10
Temperatura final (°C)	200
Atmósfera utilizada:	Nitrógeno al 99,995 % de Pureza
Caudal total de nitrógeno (ml/min):	50
Cápsulas utilizadas:	Aluminio Estándar

*Tabla N° 2.* Especificaciones del análisis por DSC (para determinación de temperaturas de transición vítrea)

Condiciones de Operación	Ensayo
Temperatura inicial (°C)	25
Velocidad de calentamiento (°C/min)	20
Temperatura final (°C)	150
Atmósfera utilizada:	Nitrógeno al 99,995 % de Pureza
Caudal total de nitrógeno (ml/min):	50
Cápsulas utilizadas:	Aluminio Estándar

**9. EQUIPO DE ENSAYO:**

Calorímetro diferencial de barrido con calentamiento modulado MDSC Q200, TA Instruments.

Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC) 2910, TA Instruments.

**10. RESULTADO DEL ENSAYO:**

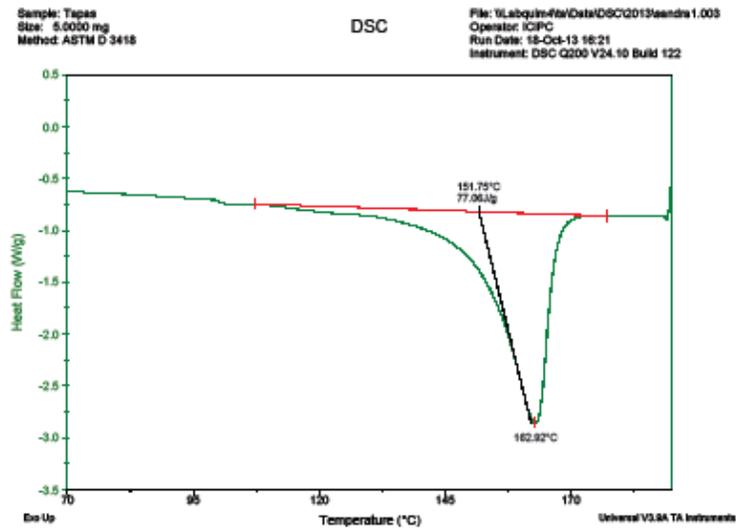
- Muestra Tapas

El termograma del primer calentamiento de la muestra, *Figura N°1*, presenta una transición amplia con temperatura máxima de fusión a 162,92°C. En la *Figura N°3* se muestra el segundo calentamiento, donde presenta una transición amplia con temperatura máxima de fusión a 163,61°C; estas transiciones se le atribuyen al Polipropileno (PP). En la *Tabla N°3* se especifican los resultados del ensayo.

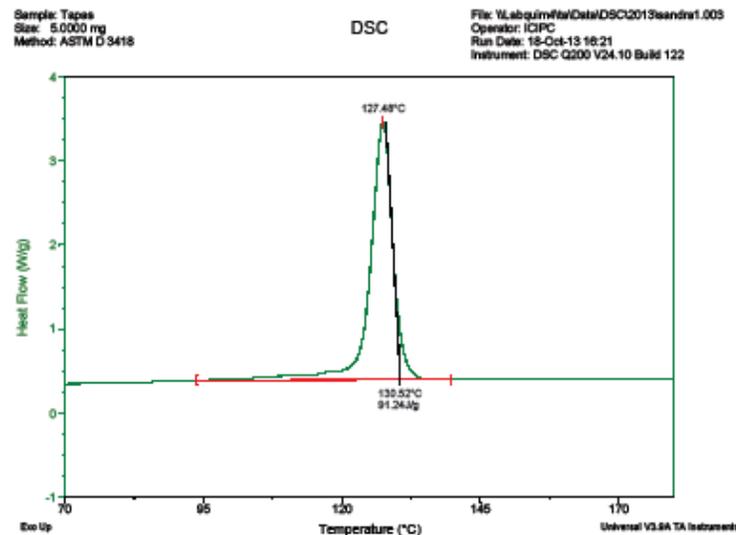
*Tabla N°3.* Resultados obtenidos del análisis por DSC

Tapas	T <sub>Fusión</sub> (°C)	ΔH <sub>Fusión</sub> (J/g)
1 <sup>er</sup> Calentamiento	162,92	77,06
2 <sup>do</sup> Calentamiento	163,61	80,75

**Figura N°1**  
**Tapas, Termograma DSC. Primer calentamiento**

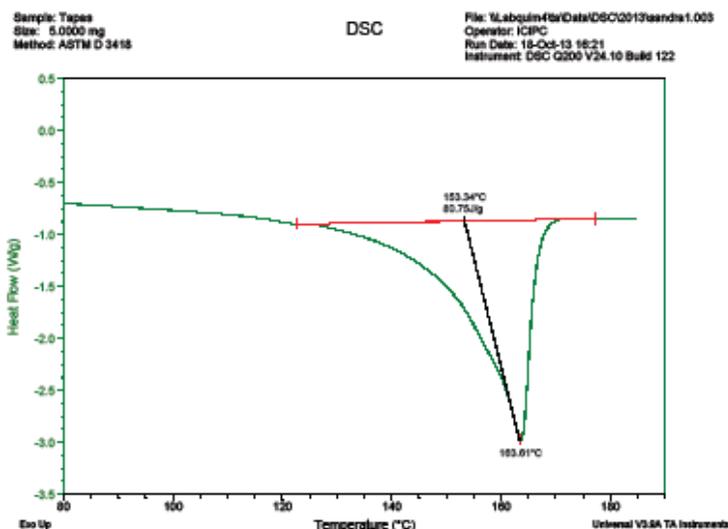


**Figura N°2**  
**Tapas, Termograma DSC. Enfriamiento**



Cra. 49 No. 5 Sur - 190 Tel. (4) 311 6478 Fax (4) 311 6381  
 E-mail [icipc@icipc.org](mailto:icipc@icipc.org) [www.icipc.org](http://www.icipc.org)  
 Medellin, Colombia

**Figura N°3**  
**Tapas, Termograma DSC. Segundo calentamiento**



• **Muestra Jeringa**

El termograma del primer calentamiento de la muestra, *Figura N°4*, presenta una transición amplia con temperatura máxima de fusión a 146,46°C, En la *Figura N°6* se muestra el segundo calentamiento, donde presentan dos transiciones con temperaturas de fusión a 136,71 y 148,94°C; estas transiciones se le atribuyen al Polietileno de alta densidad (PEAD) y Polipropileno (PP) respectivamente. En la *Tabla N°4* se especifican los resultados del ensayo.

*Tabla N°4.* Resultados obtenidos del análisis por DSC

Jeringa	T <sub>Fusión</sub> (°C)	ΔH <sub>Fusión</sub> (J/g)
1 <sup>er</sup> Calentamiento	146,46	75,40
2 <sup>do</sup> Calentamiento	136,71 148,94	77,95



---

**INFORME DE ENSAYO  
ANÁLISIS INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)**

- 1. LUGAR DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:**  
Laboratorios del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho.  
ICIPC.
- 2. DIRECCIÓN DEL LABORATORIO:**  
  
Carrera 49 No. 5 Sur - 190. Medellín, Colombia.  
www.icipc.org
- 3. NOMBRE DEL CLIENTE:**  
  
UNIVERSIDAD EAFIT  
Ing. Santiago Paris
- 4. DIRECCIÓN DEL CLIENTE:**  
  
Carrera 49 No. 7 Sur - 50  
Tel: 261 95 00  
Medellín
- 5. IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE ENSAYO:**  
  
Muestra identificada como:
  - Reciclado tapas  
Fecha de recepción de la muestra: octubre 21 de 2013
- 6. DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO ORDENADO POR EL CLIENTE:**  
  
Identificación cualitativa por la técnica instrumental Espectrofotometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)
- 7. MÉTODO DE ENSAYO:**  
  
Método para obtener el espectro infrarrojo basado en la norma estándar ASTM E1252 – 2013.

**8. CONDICIONES DE ENSAYO:**

En la **Tabla N°1** se presentan las condiciones experimentales para el análisis de la muestra.

**Tabla N°1.** Especificaciones del análisis por FTIR

Condiciones de Operación	
Fuente:	Infrarrojo
Frecuencia del Laser:	15798.2 cm <sup>-1</sup>
Detector:	DTGS KBr
Resolución :	4 cm <sup>-1</sup>
Ganancia de fondo:	4
Número de puntos para la transformada de Fourier:	8192
Rango de número de onda:	400 cm <sup>-1</sup> - 3500 cm <sup>-1</sup>
Forma final de la ordenada:	Absorbancia
Número de barridos:	26
Medido por:	Transmisión

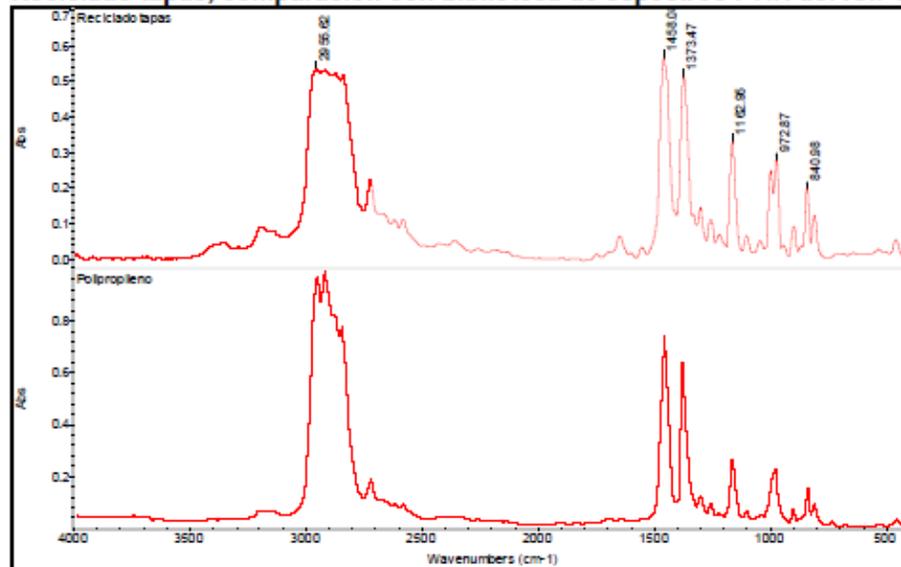
**9. EQUIPOS DE ENSAYO:**

Espectrofotómetro Infrarrojo, Nicolet 6700 Thermo Scientific. (Transmisión)

**10. RESULTADO DEL ENSAYO:**

- Reciclado tapas**  
 El espectro infrarrojo, FTIR, presenta absorbancias a números de onda 2926cm<sup>-1</sup>, 2850cm<sup>-1</sup>, 1466cm<sup>-1</sup> y 724cm<sup>-1</sup>, entre otras. Al realizar la comparación con la biblioteca de espectros del ICIPC, **Figura N°3**, se encuentra buena correlación con el **polipropileno**.

**Figura N°1**  
**Reciclado tapas, comparación con biblioteca de espectros FTIR del ICIPC**



11. FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO: abril 10 al 25 de 2014

12. FECHA DE EXPEDICIÓN DEL INFORME: mayo 14 de 2014

13. ENSAYO REALIZADO POR:

-Original Firmado-

\_\_\_\_\_  
Qco. Silvio Alberto Ospina S.  
Laboratorista Químico

14. RESPONSABLE:

-Original Firmado-

\_\_\_\_\_  
Ing. Diego Alejandro Salazar H.  
Jefe de laboratorios



**OBSERVACIONES:**

1. Los resultados que aparecen en el presente informe se refieren únicamente a las muestras evaluadas.
2. Este informe no debe reproducirse sin la aprobación completa del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho -ICIPC-.
3. Este informe de ensayo no implica la aprobación del producto ni por la red de laboratorios ni por la SIC.
4. Cualquier reclamación que se presente en los resultados del presente informe deberá ser hecha en el lapso de 30 días contados a partir de la fecha de facturación, Las muestras serán almacenadas en el ICIPC por un periodo de 1 año; las muestras de tubería se almacenarán por un periodo de 2 meses.
5. Las inquietudes o dudas referentes a estos resultados se pueden hacer únicamente a través del responsable del presente informe (Jefe de Laboratorios).
6. El ICIPC no se hace responsable por el uso posterior, ni por las interpretaciones que se hagan del presente informe.

*Estimado cliente a su disposición tiene nuestra línea telefónica (574) 311 64 78 y el e-mail: [vozdelcliente@icipc.org](mailto:vozdelcliente@icipc.org) como medio para sugerencias o reclamos.*