

# Manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades\*

José Luis Rubiano Fernández, Marco Antonio Pérez Silva,  
Osvaldo Augusto Barrera Valero, Wilman Orozco, Franz Quesada,  
Miguel Ángel Díaz y Luis Antonio Gaviria



## Resumen

El presente artículo hace un estudio de lo que es un material plástico reciclado y sus aplicaciones. Se inicia con una revisión del concepto de material plástico, sus propiedades, aspectos y aplicaciones. Adicionalmente, se listan los materiales plásticos más empleados comercialmente y los que se están desarrollando con el fin de reducir el impacto en el medio ambiente. Posteriormente se hace una revisión de las metodologías existentes tanto a nivel mecánico como químico para el procesamiento de los materiales plásticos reciclados, con el fin de obtener objetos de material reciclado, combustibles u otro tipo de plásticos. Finalmente, se hace el planteamiento de una alternativa para el mejoramiento de su calidad.

**Palabras clave:** Reciclaje, Reciclaje de plásticos, Materiales plásticos.

## Abstract

This paper is a study of recycled plastic materials and its applications. It begins with a review of the concept of plastic, its properties and applications. In addition, we list the most commonly used plastic materials commercially available and those are being developed to reduce the impact on the environment. Also, a review of existing methodologies, mechanical and chemical, to process the recycled plastics to obtain parts, fuels or other plastics of this material is made. Finally, it is formulated an alternative for improving their quality.

**Key words:** Recycled plastics, plastic materials.

## 1.1 Los plásticos

Las resinas plásticas o polímeros son cadenas largas de pequeñas moléculas repetidas, llamadas meros, que debido a sus propiedades tienen una gran variedad de aplicaciones a nivel industrial, comercial y doméstico. Tienen la característica

---

Recibido: Noviembre 5 de 2010

Aceptado: 12 de mayo 2011

\* Docentes Facultad Ingeniería Mecánica Universidad Antonio Nariño.

de poder cambiar de forma y conservar ésta de modo permanente, a diferencia de los materiales elásticos. Hoy día, los plásticos se obtienen a partir del petróleo crudo, el gas natural (etileno, butadieno y propileno) y el carbón, mediante procesos químicos. El porcentaje utilizado de estos hidrocarburos para la fabricación de los plásticos es de aproximadamente el 4% de la producción mundial anual. [1]

## 1.2 Tipos de plásticos y sus aplicaciones

### 1.2.1 Plásticos comerciales

Debido a los grandes avances logrados en la química e ingeniería química, se han desarrollado una gran cantidad de productos plásticos, dentro de los cuales los más conocidos y empleados son:

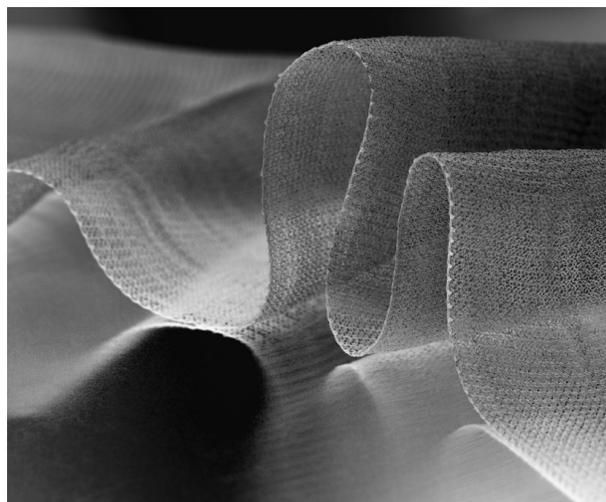
- PEBD: polietileno de baja densidad. Se encuentra en bolsas de supermercado; puede ser reciclado en nuevas bolsas de supermercado.
- PEAD: polietileno de alta densidad. Se encuentra en botellas de detergente o de aceite para motor; puede ser reciclado en macetas, cestos de basura, conos para señales viales, botellas de detergente.
- PVC: cloruro de polivinilo. Se usa en botellas de champú o de aceites para cocina; puede ser reciclado en tubos de drenaje e irrigación.
- PET: polietileno tereftalato: Se encuentra en envases de gaseosa; reciclado se usa para fibra poliéster, flejes, láminas para termoformado y madera plástica.
- PP: polipropileno. Se encuentra en recipientes para yogur, botellas de miel o tapas de botella; se puede reciclar en viguetas de plástico o cajas de baterías para autos.
- EPS: poliestireno expandido. Se encuentra en tazas desechables para bebidas calientes, materiales de empaquetado, bandejas de carne. Puede ser reciclado en viguetas de plástico y macetas. [2]
- PC: policarbonato. Empleado en pantallas protectoras de focos de iluminación de vehículos automotrices, pantallas de computadora, lentes de bajo peso para corrección visual.

Todos estos usos, y otros, generan una gran cantidad de residuos plásticos, que no se reprocesan, se reprocesan inapropiadamente o se disponen en muchas ocasiones de forma inadecuada, por desconocimiento de las propiedades mecánicas de los desechos, de las normas existentes o por la inexistencias de estas.

### 1.2.2 Otros tipos de plásticos

Actualmente, la tecnología química ha desarrollado algunos plásticos que se pueden degradar, cambiando su estructura química, debido a la acción de diferentes agentes naturales. Se pueden transformar en sustancias simples o en componentes menores que finalmente son asimilados por el medio ambiente. Algunos de estos son:

- *Plásticos biodegradables*: Plásticos que se degradan por la acción de agentes biológicos (bacterias o mohos) generando principalmente dióxido de carbono y agua. Algunos de estos plásticos son: a) *Polihidroxicalcanoatos* (PHA), que se degradan por la acción de una bacteria denominada *Azotobacter*, generando dióxido de carbono y agua en el proceso de degradación, y b) *policaprolactona* (PCL), que es un polímero biodegradable obtenido del petróleo (poliéster alifático).
- *Plásticos mezclados con sustancias de origen vegetal*: Como material de relleno, con el fin de





facilitar la desintegración de la mezcla orgánica (polietileno o polipropileno mas material vegetal), se emplean almidones, provenientes de la papa o del maíz, proteínas ó pectinas. Las moléculas vegetales son hidrófilas con lo que el agua y los microorganismos degradan la sustancia vegetal, acelerando la degradación del material completo. Por ejemplo; un material generado es un "polímero biodegradable a partir del almidón de yuca al procesar mezclas de almidón modificado con glicerina y agua como plastificantes, utilizando un molino abierto y una extrusora de monohusillo". [4]

- *Plástico polietenol* (alcohol polivinílico): Plástico soluble en agua. Se emplea en la agricultura, envases y embalajes.
- *Plásticos fotodegradables*: Plásticos que se degradan por la acción de la radiación solar.

Con el fin de poder usar comercialmente esta clase de plásticos, se han establecido una serie de normas como por ejemplo:

- ASTM D6400-99: Especificación estandar para los plásticos compostables.

- ASTM D5338-98: Método de ensayo estandar para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje. Es una norma de procedimiento para medir la degradación aeróbica.
- EN 13432: Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación.
- EN 14855: Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas" que es la norma que describe el procedimiento del análisis.

### 1.3 Que es el reciclado de plásticos

Proceso de recuperación de materiales plásticos ya usados, como por ejemplo en envases y bolsas, con el fin de minimizar su impacto en el ambiente y de reducir el consumo de energía requerido para la generación de nuevos productos de consumo, por medio de su procesado para obtener materia prima como la original, con el fin de elaborar otra vez productos plásticos.

El reciclado de los plásticos, actualmente está enmarcado en proyectos de desarrollo sostenible, en los cuales se busca: la conservación de nuestro medio ambiente, reducir o retardar el agotamiento de los recursos naturales, promover el uso de energías alternativas que poco impacten el medio ambiente y desarrollar conciencia, para que nuestra acción sobre la naturaleza genere un ambiente amable y amigable en nuestro entorno.

### 1.3.1 Aspectos a considerar para el reciclaje

Las empresas de reciclaje que reprocesan materiales plásticos deben tener en cuenta algunos aspectos que les permitan controlar lo mejor posible las diversas propiedades de los materiales reciclados, incluyendo las propiedades mecánicas. Dichos aspectos son:

*Transparencia y color:* Al reciclar plásticos con colorantes, es necesario agregarles negro de humo para uniformizar el color, o de lo contrario se obtendrán plásticos de tonos grises o pardos, de poco atractivo para el consumidor. Este aspecto hace que el plástico así reprocesado sea mas económico que el plástico reprocesado sin colorantes.

*Limpieza:* Entre menos contaminantes (grasas, pegantes, tierra) tenga el plástico a reprocesar; genera un mayor costo de adquisición por las mejores propiedades mecánicas de los productos elaborados a partir de estos plásticos.

*Presentación:* Entre mayor es el tamaño de la sección de plástico, menor es el precio de adquisición, debido a la necesidad de mano de obra para reducir su tamaño, con el fin de realizar el proceso de aglutinado.

*Clasificación:* Los materiales plásticos separados por colores o por características físicas (rígidos o flexibles), o por configuración (botellas o películas), logran mayor valor comercial, por el ahorro en tiempo para el procesado". [1]

### 1.3.2 Fuentes de los residuos plásticos

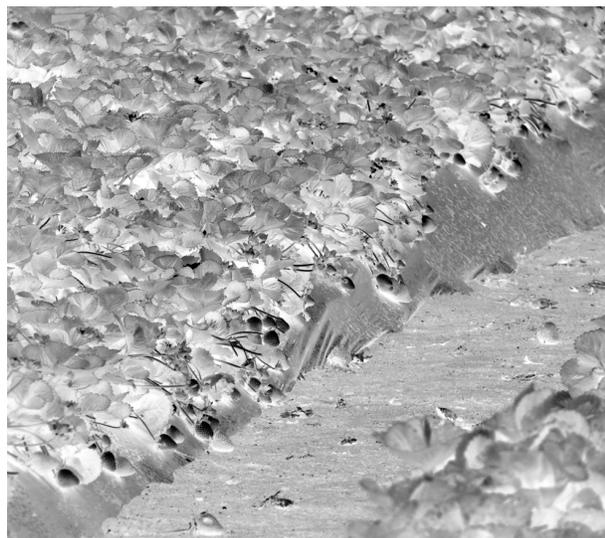
Existe una variedad de empresas que utilizan los plásticos dentro de sus procesos convirtiéndose en grandes generadores de residuos plásticos. Algunos de estos generadores son:

#### **Residencial, Industrial y comercial:**

- El primero, en general, no hace una separación entre materiales reciclables (envases) y materiales orgánicos, lo que genera una gran dificultad para el reciclaje de aquellos productos que lo puedan ser, debido a la contaminación con diversos tipos de fluidos, grasas, detergentes y otros productos orgánicos.
- En la industria y el comercio, se generan volúmenes importantes de materiales reciclables en buenas condiciones (embalajes); convirtiéndose estos sectores, especialmente el primero, en la principal fuente de materiales plásticos a reciclar. "así el consumo mundial de materiales plásticos ha pasado de los 10 millones de Tm en 1978 hasta los 60 millones de Tm en el año 2000; de los cuales el 50 % corresponde a USA y el resto se reparte por igual entre Europa y Japón." [5]

#### **Agricultura**

Se genera gran cantidad de desechos, especialmente polietileno de alta y de baja densidad y PVC, en zonas donde existen cultivos de flores, cultivos donde se protege el suelo con plástico para evitar la proliferación de malezas, como en el caso del cultivo de fresas y cultivos de plátano y banano donde se cubre con plástico la fruta para protegerla de los insectos.



### **Construcción:**

La industria de la construcción actualmente emplea grandes cantidades de plásticos en elementos como tapetes, ventanería, techos falsos y tuberías. Por el costo de las edificaciones en las cuales se emplean estos materiales, se aplican para prolongar sus periodos de vida útil. Sin embargo hoy día se están empleando plásticos en la forma de cercas plásticas, para proteger a los transeúntes que circulen cerca de las obras en construcción. Una vez terminada la obra, dichas cercas son desechadas.

### **Automovilismo:**

Uno de los materiales plásticos más utilizados en la industria automotriz es el polipropileno, y el poliuretano, generándose una gran cantidad de residuos durante el proceso de fabricación del automóvil. Al final de la vida útil del automóvil es difícil la recuperación de estos plásticos debido al alto costo que implica su extracción. Sin embargo se han hecho estudios en donde se hace una "preparación de poliuretanos con melaza de caña de azúcar y se reforzaron con la fibra del bagazo de la caña de azúcar para obtener un material compuesto." [6], que dadas sus características de obtención, pueden hacer posible su biodegradación.

### **Industria eléctrica y electrónica**

Genera grandes cantidades de plásticos no recuperables fácilmente por ser termoestables.

#### **1.3.3 Selección de plásticos para reciclado**

En Bogotá, el reciclado lo realizan fundamentalmente pequeñas empresas, que le compran el material plástico usado a personas de escasos recursos (recicladores), quienes seleccionan los diversos plásticos que son aceptados comercialmente para reciclar. Su forma de determinar y seleccionar los diversos tipos de plásticos, está en función de las características físicas y del grado de limpieza de estos, siendo los residuos plásticos mas apetecidos, los generados por la industria, debido al gran volumen producido puntualmente y a su alto grado de limpieza. A



continuación, se mencionan los pasos seguidos para la selección de los plásticos a reciclar:

- *Separación:* La separación en origen, es poco usada en nuestro medio a nivel comercial y doméstico, de forma, que se mezclan residuos plásticos con otros tipos de residuos sólidos, incluyendo residuos orgánicos, lo que genera una gran contaminación sobre dichos residuos plásticos, haciéndose muy difícil y costosa su recuperación.

A nivel industrial, en empresas no relacionadas con el procesado de plásticos, hay mayor conciencia, debido al retorno en dinero que pueda representar la venta de los materiales reciclables. Estos son almacenados a medida que se van generando los residuos plásticos, y cuando se obtiene un volumen o peso lo suficientemente alto, se procede a vender dichos materiales a los recicladores. Cuando la empresa elabora productos plásticos, ella misma se encarga de reciclar los desechos plásticos.

- *Planta de clasificación:* Una vez seleccionados los diversos tipos de plástico, los recolectores llevan estos a plantas de acopio, donde se hace una segunda selección de acuerdo al tipo y grado de limpieza. Posteriormente, estos plásticos son cortados manualmente en pequeños trozos, aglutinados en máquinas aglutinadoras, extruidos y finalmente picados

para formar gránulos, usados en la industria del reciclado para producir nuevos elementos de consumo, mas económicos que los elaborados con material virgen.

Para la selección de los plásticos a reciclar, también se emplea "la simbología de los plásticos", de aceptación universal [3]. (Ver Fig. 1).

**Figura 1.** Simbología del plástico



#### 1.3.4 Métodos de reciclado

Existen diversos procesos de reciclaje, siendo los principales: el reciclado mecánico y el reciclado químico.

##### *El reciclaje mecánico:*

Es un proceso que consiste en someter el material a reciclar, a diferentes fases de transformación de forma, hasta obtener un producto final que pueda ser empleado por las industrias de la transformación del plástico. En este proceso no hay rompimiento de las macromoléculas, sino la aplicación de calor para el cambio de forma del material plástico.

Las etapas básicas empleadas en el reciclaje mecánico son las siguientes:

1. Limpieza: Proceso consistente en tomar los materiales plásticos recuperados, revisarlos y eliminar bolsas con cintas plásticas o pegantes, tintas de impresión, grasas o ganchos que puedan alterar drásticamente la calidad del producto.
2. Clasificación: Se separan manualmente, en lotes, los diferentes tipos de plásticos antes de

transformarlos, almacenándolos y marcándolos para su posterior procesamiento.

3. Lavado: Los productos plásticos a reciclar se lavan en grandes tanques con agua fría y detergentes o en agua caliente, para eliminar impurezas como tierra, grasa, detergentes, o cualquier otra impureza que se pueda eliminar por este medio.
4. Trituración: Manual o mecánicamente se procede a picar en tamaños lo suficientemente pequeños para su fácil manipulación y para lograr mayores densidades del material a procesar.
5. Aglutinado: Se toma el material ya picado y por medio de una cuchilla giratoria se friccionan los pedazos de material plástico entre si para elevar su temperatura. Cuando se ha alcanzado una temperatura lo suficientemente alta, se introduce una pequeña cantidad de agua líquida a temperatura ambiente, la cual se mezcla rápidamente con el material plástico debido a la cuchilla giratoria, pero la alta temperatura hace que rápidamente se evapore el agua, lo que trae como consecuencia la formación de pequeños granos asimétricos fácilmente manipulables. Como esta presentación no es la adecuada para su manipulación industrial, se procede con la siguiente etapa.



6. Peletizado: Proceso consistente en la formación de granulado de material plástico. Para lograr esto, se utiliza una extrusora, la cual emplea como material de consumo, el previamente aglutinado. Aplicando presión y calor, se funde el material plástico en una cámara diseñada para tal fin dentro de la cual se encuentra un tornillo, el cual facilita la fundición y el transporte del plástico fundido hasta una boquilla donde se da forma cilíndrica al material que sale de la boquilla, se enfría en un tanque de refrigeración, se hala el material por medio de un halador rotatorio y se parte en trozos pequeños con una máquina picadora. De esta manera, los residuos de plástico se suelen vender en forma de granza, pero si esto no sucede, se deben convertir a granza para poder introducirlos en los equipos de reciclaje.
7. Conformado: consiste en someter a presión al material fundido para hacerlo pasar a través de una matriz. Las materias primas se introducen en forma sólida y en la máquina se funden, se homogenizan y conforman. Dentro de los diversos procesos, se pueden encontrar:
  - Extrusión
  - Termoformado
  - Soplado
  - Inyección
  - Compresión
  - Transferencia
  - Calandrado

### **Reciclaje químico**

Consiste en la aplicación de calor y catalizadores a los materiales plásticos, con el fin de alterar la longitud de las cadenas moleculares que los componen, de tal forma que se obtengan moléculas más cortas para producir otros tipos de plásticos o combustibles. Algunas de las técnicas son:

- Pirólisis
- Gasificación
- Hidrogenación
- Cracking
- Disolventes

### **1.3.5 Productos de materiales reciclados**

- *Madera plástica.* Se obtienen perfiles y láminas en diferentes tamaños, de material plástico reciclado para la obtención de estructuras de almacenaje de diferentes elementos o para estructuras de máquinas a las que no se les aplique grandes cargas.
- *Fibra textil.* El PET es uno de los principales plásticos para la obtención de fibras, las que se pueden usar para producir ropa, alfombras o cuerdas.
- *Manguera plástica.* Producto de alta aceptación en la agricultura por su bajo costo. Se obtiene principalmente del polietileno de baja densidad.
- *Productos para el aseo.* Las escobas, son un elemento que puede tener un alto contenido de polietileno reciclado de alta y baja densidad. El mango de la escoba se puede forrar con polietileno de baja densidad y el soporte de las cerdas se elabora en polietileno de baja o alta densidad. Otro producto, las bolsas para la basura.
- *Aplicaciones industriales:* Uno de los usos de los materiales reciclados, es el de la fabricación de estibas para transporte de materiales, en vez de la madera, debido a su resistencia a la abrasión y la humedad. Otra aplicación se da, en la fabricación de placas de material plástico, para cubrir terrenos fangosos, que pueden dificultar el tránsito de vehículos automotores.



#### 1.4 Desarrollo de mezclas

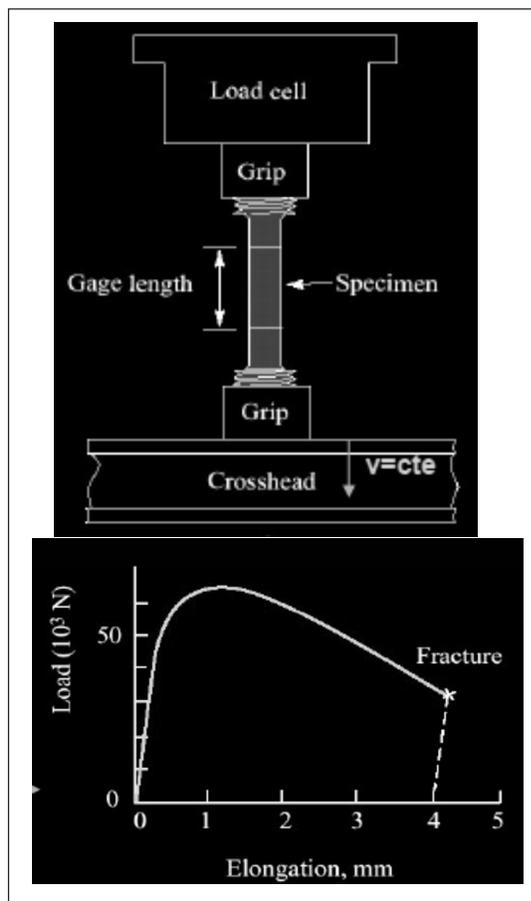
Si no hay un control en la selección de los materiales reciclados para la elaboración de los productos antes mencionados, la calidad final de los mismos puede ser muy deficiente, por lo que estos se pueden rechazar a pesar de su bajo costo. Esta baja calidad se puede atribuir a la adición de agua, grasas, detergentes, tintas de impresión, mezcla con otros polímeros como por ejemplo pegantes, o incluso el reproceso del material virgen así este no haya sido utilizado [8]. Como esta variedad de materiales en el producto reciclado tiene cada una sus propiedades mecánicas específicas; pero no se han adicionado de forma controlada, tiene como resultante, unas propiedades mecánicas finales que pueden ser muy diferentes entre un lote y otro. Esta situación hace que la comercialización de los productos reciclados de alta calidad se dificulte lo que tiene como consecuencia la reducción de su valor comercial.

Una alternativa a esta problemática, es el estudio de los materiales original y reciclado tanto en su condición pura como mezclada en diversas proporciones con material puro con el fin de obtener una gama de valores en las propiedades mecánicas para determinar el efecto que tienen en las propiedades, las mezclas en diferentes proporciones. Un estudio de estas características podría permitir el mejoramiento de las propiedades mecánicas, con la posibilidad de mantener un bajo costo, además de beneficiar al medio ambiente, por utilizar material que no pasa a contaminar aguas ni suelos.

La forma de determinar las propiedades mecánicas es por medio de ensayos experimentales [9]. Estas se pueden conocer realizando pruebas de tensión (Ver fig 2), impacto tipo charpy y dureza, con el fin de determinar la capacidad de las diversas mezclas a resistir el alargamiento bajo una carga aplicada, determinar la energía que absorbe el material antes de fallar por impacto y la resistencia a la penetración de un indentador de acero [10].

Estos ensayos se pueden repetir en diferentes ubicaciones geográficas, con el fin de determinar

Figura 2. Ensayo de tensión y resultado del ensayo



el impacto de origen de los materiales reciclados sobre las propiedades mecánicas. Adicionalmente con base en la recopilación de todos los datos obtenidos en los diferentes sitios de origen de los reciclados, es posible generar un modelo matemático que permita predecir el valor de las propiedades mecánicas según el origen de estos materiales, lográndose así un mejor control en la calidad de los productos que involucren materiales plásticos reciclados. Algunos investigadores han trabajado materiales como el PET, PP y anhídrido maleico (AM) para determinar compatibilidad de mezclas encontrándose mejor compatibilidad en el PP [11].

En otra investigación se ha trabajado con PP, PE, polyASA y PVC; para determinar si los reciclados tienen las mismas propiedades que los materiales vírgenes [12].

## Referencias bibliográficas

- [1] Como se deben reciclar los plásticos. <http://www.ecoticias.com> Página consultada el 25 de Mayo de 2010.
- [2] Gaggino Rosana, Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción, Revista INVI, agosto, 2006/Vol 23, número 063, Universidad de Chile, Santiago, Chile, pp 137 – 163.
- [3] Norma técnica Colombiana NTC 3205, capítulo 2.
- [4] Ruiz Avilés Gladys, Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca, Revista Ingeniería y ciencia, Septiembre, 2006/Vol 2, número 4, Universidad EAFIT, Medellín, pp 5 – 28.
- [5] Arandes José M, Bilbao Javier, López V Danilo, Reciclado de residuos plásticos, Revista Iberoamericana de Polímeros, Marzo, 2004/Vol 5 (1), pp 28 – 45.
- [6] Vega-Baudrit José, Delgado-Montero Karina, Sibaja B. María, Alvarado A. Patricia, Materiales Poliméricos Compuestos obtenidos a partir de los residuos generados por la agroindustria de la caña de azúcar. Una alternativa adicional. II
- [7] Arandes et al, Estrategias de craqueo catalítico, Revista Iberoamericana de Polímeros, Marzo, 2004/Vol 5(1), pp 38 – 45.
- [8] Strong A. Brent, *Plastics: Materials and Processing*, Third Edition, Ed Prentice Hall, 2006.
- [9] Smith F. William, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, 3era edición, Editorial Mc-Graw Hill.
- [10] Shackerlford F. James, *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*, Cuarta edición, Editorial Prentice Hall, 1998.
- [11] Gallego K, López B y Gartner C, Study of blends from recycled polymer for properties improvement, Revista Facultad de Ingeniería, Julio 2006, No. 37, PP 59 – 70.
- [12] Mohammadzadeh M, *Characterization of Recycled thermoplastics polymers*, Thesis, University of Boras, School of Engineering, 2009.