

## **DESARROLLO DE UN PROCESO DE RECICLAJE PARA LA FRACCIÓN MIXTA DE RESIDUOS DE PLÁSTICO, PROVENIENTES DE PLANTAS DE SEPARACIÓN SELECTIVA**

**Ma<sup>a</sup> Angélica Cáceres<sup>1</sup>, Miguel Sánchez Soto<sup>1</sup>, Ma<sup>a</sup> Lluisa MasPOCH<sup>1</sup>, Mónica Sánchez Hernández<sup>2</sup>, Antonio Sánchez Rojo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centre Català del Plàstic.

Edifici Vapor Universitari C. Colom, 114. 08222 - Terrassa, Spain

Phone: +34 93 783 70 22

Pàgina web: <http://www.upc.edu/ccp>

<sup>2</sup> Acciona Infraestructuras. Avda. de Europa 18-21, 28108 Madrid, Spain

[maria.angelica.caceres@upc.edu](mailto:maria.angelica.caceres@upc.edu), [m.sanchez-soto@upc.edu](mailto:m.sanchez-soto@upc.edu), [maria.lluisa.maspoch@upc.edu](mailto:maria.lluisa.maspoch@upc.edu),  
[monica.sanchez.hernandez@acciona.es](mailto:monica.sanchez.hernandez@acciona.es), [antsrojo@acciona.es](mailto:antsrojo@acciona.es)

**Palabras clave:** Plásticos, reciclado, gestión de residuos. Separación selectiva.

### **RESUMEN**

El desarrollo industrial y el ritmo de vida actuales han llevado a la sociedad a adoptar un tipo de consumo masivo de productos de muy corta vida útil. Esto ha ocasionado que a lo largo de los últimos años la generación de residuos esté en constante crecimiento. Los materiales plásticos, por su versatilidad y gran número de aplicaciones además de por su baja densidad y bajo coste, han sido la familia de materiales más utilizado en sectores de gran consumo como el del envase y embalaje. Es por ello que los materiales plásticos representan un porcentaje muy importante dentro del volumen de residuos sólidos urbanos que se generan.

Dado el carácter no biodegradable de los polímeros, para conseguir su reutilización y reciclado es necesario aplicar procesos de separación o de tratamiento específicos. Así se han desarrollado sistemas para reaprovechar polímeros de interés comercial como el polietilentereftalato (PET) el polietileno (PE), o el policloruro de vinilo (PVC) entre otros. En la práctica, los procesos de clasificación que se llevan a cabo en las plantas de separación de residuos sólidos generan un alto porcentaje de rechazo. Este rechazo, que tienen como disposición final el vertedero, se compone básicamente de plásticos mixtos que por diferentes razones (estado físico, contaminación, tamaño etc.) no han entrado en los procesos de separación primarios.

Dada la necesidad de una gestión de residuos plásticos cada vez más eficiente surge el presente trabajo de investigación, que propone la definición de un proceso de reciclado viable para la fracción mixta de plásticos proveniente del rechazo producido en diferentes plantas de separación de residuos de España. El objetivo es revalorizar el material de desecho y proponer una solución a la problemática de acumulación de residuos no biodegradables, siempre considerando que el proceso sea ambientalmente sostenible.

Con ese fin, se ha realizado el estudio y caracterización del residuo mixto en diferentes etapas. La primera etapa ha consistido en determinar las diferentes clases de polímeros que componen el residuo mixto y la proporción en que se encuentran. Con esos datos se ha diseñado una estrategia de reciclado que conjuga tanto los aspectos ecológicos como los económicos. Seguidamente, se ha evaluado la viabilidad de aplicar diferentes métodos industriales de transformación (extrusión, compresión o inyección) al residuo mixto. La transformación del residuo por métodos convencionales ha sido factible, obteniéndose placas, laminados y piezas inyectadas. Finalmente la

investigación se ha orientado a ampliar el rango de posibles aplicaciones del residuo. Así se han propuesto mezclas con otro material reciclado con los que se consiguen variaciones en las propiedades del residuo.

## 1. INTRODUCCIÓN

El volumen de desechos sólidos se ha incrementado en los últimos años, en especial en las grandes ciudades. Así por ejemplo, en Cataluña la recogida selectiva de envases, que la clasificación donde se incluyen los plásticos en su mayoría, se ha incrementado un 9,5% respecto al año 2006, recogándose un total de 103.873,24 toneladas de envases en el 2007 <sup>[1]</sup>. Dado el crecimiento de residuos y la necesidad de una gestión responsable de los mismos, se han desarrollado diferentes alternativas de reutilización. Una de las más importantes es el reciclado mecánico ya que de los métodos de valorización es el que resulta ambientalmente más ventajoso, siendo la manera más eficiente de recuperar energía. No obstante, cuando el coste ambiental y económico de la selección y recuperación supera al del reciclaje la mejor alternativa para el residuo es la recuperación energética.

En las plantas de selección y tratamiento de residuos de envase y embalaje se separan fundamentalmente los envases metálicos férricos y no férricos, los tetra-bricks y las botellas de plástico (PET y PE). En el proceso se genera un alto porcentaje de rechazo, aproximadamente un 40% en peso del total de residuos tratados que va a parar a vertedero. Esta fracción está compuesta por diferentes tipos de plásticos, restos de papel, mezclas de papel y aluminio, espumas etc.

Las investigaciones desarrolladas hasta ahora en materia de reciclaje de plástico, utilizan métodos de separación específicos para determinados polímeros como PET, PE o PVC, o bien desarrollan alternativas de uso y compatibilización de ciertas combinaciones de éstos. Sin embargo, dichas propuestas abarcan sólo una fracción de los residuos. Por tal razón, en este trabajo se propone y se estudia una metodología que maneje la problemática de forma integral y permita otorgar una segunda vida útil a la mayor parte del residuo mixto, utilizando para ello un procedimiento sencillo y económico, haciendo del proceso de reciclado una oportunidad de negocio competitiva.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

El material residual de las plantas de separación (fracción mixta) fue suministrado por Ecoembes (España). Este material fue formado a partir de la mezcla de las fracciones mixtas extraídas de diferentes plantas de separación de toda España (figura 1). De esta manera se minimizó la variabilidad asociada a la localización de la planta. Puede asumirse que el material resultante de la mezcla es el más estándar que podría obtenerse de una planta genérica. Una vez obtenido el material se trituró en forma de escamas de dimensiones 10 x 10 mm.



**Figura 1:** Muestra de Residuo mixto empleado para la separación.

Complementariamente, se ha utilizado polietileno de alta densidad reciclado proveniente de reciclado de envases para evaluar posibles mezclas con el residuo mixto y su efecto en las propiedades mecánicas.

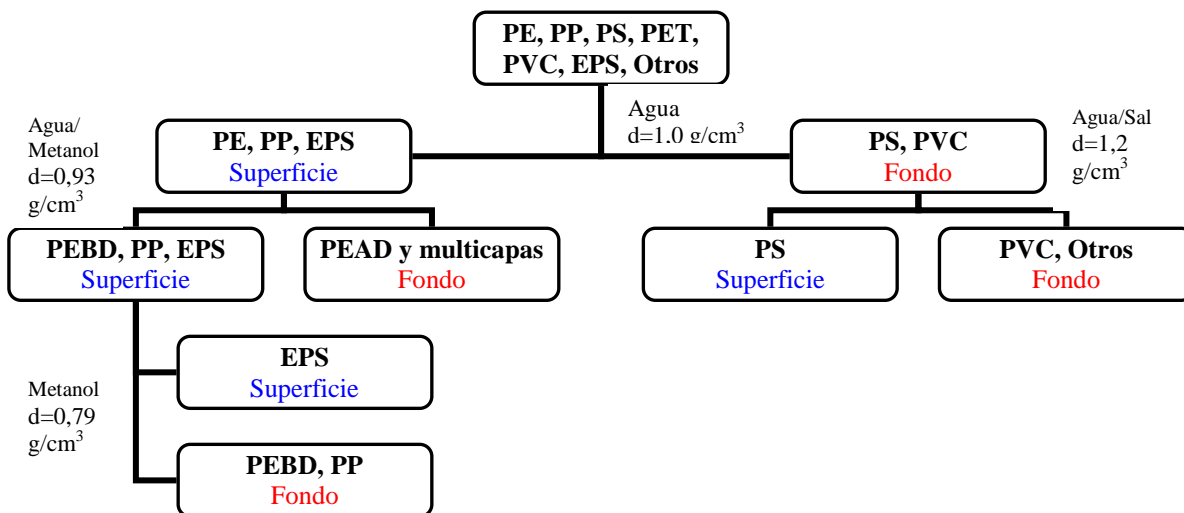
## 2.2 Separación fraccionada de los componentes del residuo mixto.

### 2.2.1 Separación por densidad

Para el tratamiento y procesamiento posterior del residuo mixto es necesario conocer su composición, ya que de ella puede inferirse el comportamiento en fundido y por tanto establecer las condiciones de procesado.

Existen diferentes técnicas basadas en el principio de la densidad de los materiales que han sido desarrolladas en los últimos años, tal como la de Super y colaboradores<sup>[3]</sup> donde han logrado alcanzar un porcentaje de pureza de los homopolímeros separados alrededor de 100%-77% en peso, pudiendo reutilizarlos en sus aplicaciones de origen. Sin embargo, requiere del uso de productos que aumentan los costos del proceso de separación. Por su parte la técnica de Fraunholz<sup>[4]</sup> se basa en las propiedades de tensión superficial necesarias para controlar fases líquido-vapor del medio, pero requiere un tratamiento termodinámico del medio de separación que no se justifica dada las características del material de trabajo.

Para la separación se ha utilizado la técnica simple de flotación-hundimiento, que siendo de fácil implantación, permite separar a escala de laboratorio los componentes mayoritarios presentes en el residuo mixto basados en la densidad de cada fracción. Además de su simplicidad el método permite una separación rápida de impropios que, eventualmente, puedan dañar los equipos de procesado. Para determinar los contenidos de cada familia de plásticos, se extrajeron de la fracción mixta diez muestras diferentes de 100 gr cada una. La variación de la densidad del medio de separación, se uso mezclando, agua, metanol y sal, tal como se esquematiza en la marcha de separación representada en la figura 2.



**Figura 2:** Marcha de flotación-hundimiento empleada en la separación de los diferentes componentes de la fracción de residuo mixto.

### 2.2.2 Separación por infrarrojo cercano (NIR)

De forma alternativa al proceso anterior, en una de las plantas de tratamiento de residuos de envases se aplicó la técnica de separación del infrarrojo cercano (NIR) para separar el PVC de la corriente de plástico mezclado. La separación de PVC es necesaria en nuestro caso dado que de otra forma los equipos de transformación se dañan por la generación de ácido clorhídrico (HCL).

El material así obtenido se comparó en cuanto a propiedades y procesado con el separado por la marcha de flotación llevada a cabo en laboratorio.

### **2.3 Identificación por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)**

La espectroscopia infrarroja se empleó para analizar las fracciones obtenidas tras separación por densidad. Se utilizó un espectrofotómetro Nicolet 6700 operando en el intervalo de longitudes de onda entre 4000 and 400  $\text{cm}^{-1}$  usando 64 scans/muestra a una resolución de 1  $\text{cm}^{-1}$ . Las muestras en análisis se pulverizaron y mezclaron con KBR previamente a su análisis. Los espectros resultantes se compararon con los estándares de la base de datos Hummel incluida en el aparato.

### **2.4 Procesado**

El procesamiento del residuo mixto ha sido uno de los principales objetivos a desarrollar. Transformar un material del que no se conocía su composición, comportamiento en fundido o propiedades ha significado un desafío en materia de ingeniería de la transformación de plásticos por lo cual se han realizado pruebas en las diferentes formas de procesamiento para determinar su viabilidad.

#### **2.4.1 Extrusión**

Conocida la composición del residuo mixto se planteó el proceso de extrusión como método de mezcla y homogenización del material, para luego someterlos a un proceso de transformación ya sea por moldeo por compresión o inyección. El procesamiento básico de mezcla y homogenización de los diferentes componentes del residuo mixto se realizaron en una extrusora monohusillo IQAP LAP 30/25 D y luego para mezclar el residuo con el PEAD se utilizó una extrusora mezcladora de doble husillo COLLIN tipo 25x24D. En ambos casos se probaron diferentes perfiles de temperatura para determinar la temperatura óptima de procesamiento que fundiera todos los materiales sin promover degradación teniéndose como temperatura máxima en boquilla de 155 °C la más adecuada.

Adicionalmente se han hecho pruebas en extrusión calandra con una temperatura máxima en rodillos de 180 °C con el fin de evaluar a posibilidad de elaboración de perfiles con el material reciclado.

#### **2.4.2 Compresión**

El moldeo por compresión fue planteado como un primer método de transformación y de procesamiento del residuo mixto dada la sencillez del mismo. Para ello, se utilizó una prensa de platos calientes IQAP LAP PL-15 con un molde cuadrado de 150 mm de lado y 2 mm de espesor para formar placas de material previamente extruído aplicando una presión de 6 bares en el moldeo y una temperatura de 210 °C a partir del cual se moldearon probetas para la posterior evaluación de propiedades mecánicas.

#### **2.4.3 Inyección**

Luego de verificar la viabilidad del proceso de extrusión y moldeo por compresión se planteó el método de inyección como otra alternativa de transformación de gran importancia industrial. Se ha inyectado el material mixto previamente extraído, en una inyectora Meteor 440/90 con una temperatura máxima en boquilla de 190 °C, con lo cual se pudieron obtener probetas adecuadas para la evaluación de propiedades mecánicas y térmicas.

## 2.5 Ensayos de tracci3n.

Los ensayos de tracci3n se llevaron a cabo a temperatura ambiente, en una máquina Universal Galdabini Sun 2500 equipada con una célula de carga de 1 kN. La velocidad del ensayo fue 10 mm/min de acuerdo con el procedimiento indicado por la norma <sup>[5]</sup>.

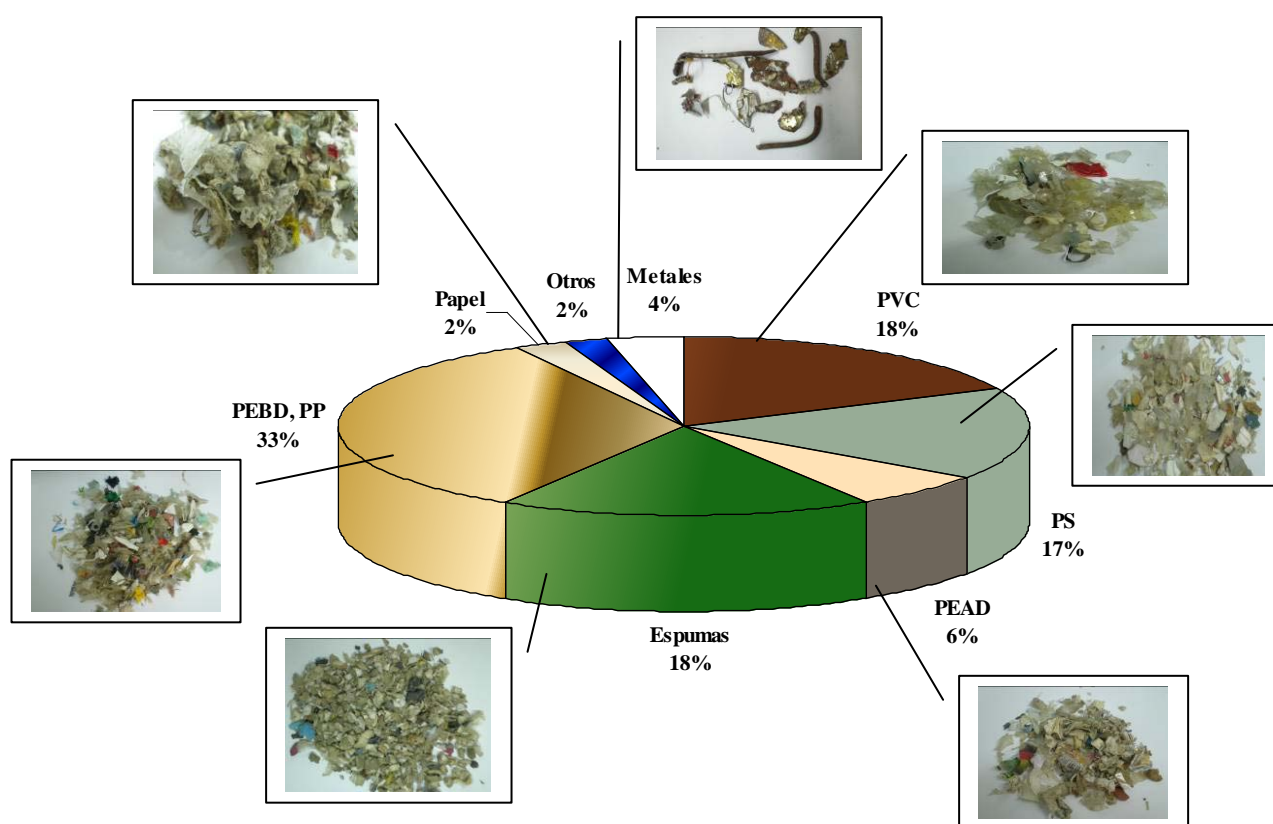
## 2.6 Microscopía electr3nica de barrido

El análisis morfol3gico del material transformado se realiz3 sobre las superficies fracturadas de las probetas de tracci3n que fueron analizadas usando un microscopio electr3nico de barrido JEOL 5610. Antes de ser observadas las muestras se recubrieron con una fina capa de oro de 10-15 nm para hacerlas conductoras.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Separaci3n selectiva por densidad.

Los resultados obtenidos después de aplicar la marcha de separaci3n por flotaci3n/hundimiento se presentan en la Figura 3. Puede verse como el residuo está formado en un porcentaje mayoritario de poliolefinas, fundamentalmente en forma de películas o films, básicamente polietileno de alta y baja densidad (PEAD y PEBD respectivamente) y polipropileno (PP) proveniente de embalajes y bolsas. La segunda familia en importancia es la constituida por materiales espumados, mayoritariamente espumas de poliestireno (EPS) y espumas poliolefínicas con un 18% en peso.



**Figura 3:** Composici3n porcentual en masa de los diferentes elementos presentes en el residuo mixto.

Por sus propiedades físicas y reológicas los polietilenos no son compatibles con PP y esta familia de poliolefinas no es compatible a su vez con el poliestireno (PS). El PS sumado a la significativa cantidad de EPS forma la segunda fracción de mayor importancia. Por lo tanto se puede intuir que en fundido existirá una separación de fases debido a incompatibilidad de los materiales, que a su vez resultará determinante en las propiedades . Este hecho abre la posibilidad del uso de agentes de compatibilización como un tema de desarrollo futuro y consecuente estudio para la mejora de las características mecánicas del reciclado mixto.

Por otra parte, la cantidad de PVC encontrada en la fracción mixta es lo suficientemente importante (18%) como para el establecimiento de métodos específicos para su reciclado debido a las condiciones especiales de procesamiento que requiere, a su incompatibilidad con polímeros de alta temperatura de fundido y al enorme riesgo de degradación durante el procesamiento. Por esta razón, la fracción de PVC se ha separado del resto del residuo en un medio de agua/sal con densidad de 1,2 g/cm<sup>3</sup> aproximadamente quedando el PVC depositado en el fondo mientras que el resto de residuo mixto flotaba en la superficie. Si bien se espera en un futuro que est  cantidad disminuya paulatinamente por la disminución en consumo que se ha experimentado en los últimos años, aún se considera una fracción importante dentro del volumen de residuos plásticos provenientes de separación selectiva.

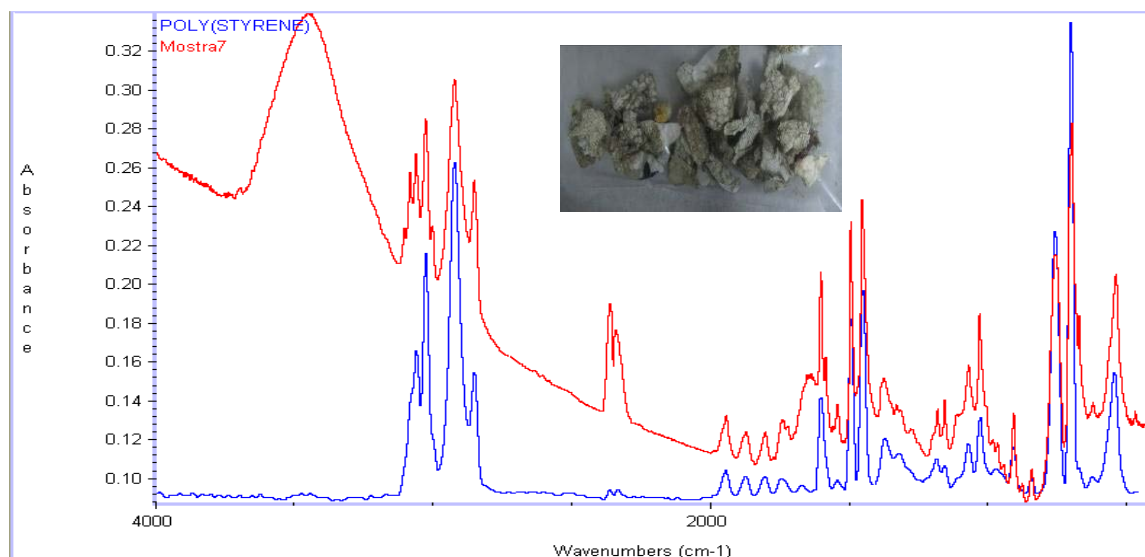
Finalmente cabe destacar la presencia de papel y otros materiales tales como recubrimientos de aluminio, películas multicapas, cartón, entre otros, que no se mezclan con el plástico durante el procesado y que dependiendo de la temperatura empleada, tienden a quemarse. Estos materiales actúan como elementos de fragilización en la respuesta mecánica del residuo mixto al intervienen como una fase dispersa y como concentradores de esfuerzo.

### **3.2 Separación por infrarrojo cercano**

Industrialmente el uso de agua como método de separación representa un coste económico y ambiental muy elevado, por lo que la técnica de separación-hundimiento no será factible aún considerando un reaprovechamiento del agua empleada en el proceso. Por esta razón, a nivel industrial se utilizan métodos de separación en seco tales como separación por infrarrojo cercano (NIR) que constituye un procedimiento más rentable y sencillo. La comparativa realizada en cuanto a propiedades reológicas y mecánicas, entre el material separado en laboratorio por el método de diferencia de densidades y el material separado mediante NIR ha arrojado resultados muy similares tanto en los aspectos mecánicos, de procesado o reológicos, lo que lleva a concluir que ambos materiales se comportan de igual manera y que por tanto la separación del PVC por el método de NIR puede ser implantado con éxito a nivel industrial.

### **3.3 Caracterización por FTIR**

Como método complementario a la separación por flotación, y para confirmar la familia de materiales de cada una de las fracciones obtenidas, cada una de las fracciones fue analizada por FTIR.. Los resultados presentados en la Figura 4 confirma que la identificación realizada por el método de separación por densidades ha resultado bastante acertada, con lo cual se añade otro argumento que ratifica la composición del residuo mixto. En las figuras 4 y 5 puede apreciarse la similitud entre las señales de las muestras problema y las recogidas en la base de datos, especialmente en el rango de longitudes de onda significativo situado entre 2000 y 400 cm<sup>-1</sup>. Cabe señalar que si bien existen algunas diferencias en las bandas a mayores longitudes de onda, estas son debidas a la existencia de humedad residual en la muestra problema. Dicha humedad ocasionará la banda amplia que se puede observar en la señal de la figura 4 a 3500 cm<sup>-1</sup>. Señal que no existe en el registro del PS correspondiente a la base de datos.



**Figura 4:** Resultado de FTIR para muestra identificada como PS por la técnica flotación.

### 3.4 Procesado

Durante el estudio y caracterización del residuo mixto, se consideró el índice de fluidez (MFI) como una propiedad determinante para definir los parámetros de procesamiento y anticipar el comportamiento en fundido de dicho material. El MFI obtenido para el residuo mixto ha sido de  $10,29 \pm 0,01$  g/10min con lo cual se tiene un material de elevada fluidez que a priori va a permitir procesarse transformación tanto por extrusión como por el método de inyección.

La temperatura de procesamiento, como en todo polímero es determinante. Los diferentes perfiles de temperatura utilizados durante el proceso de extrusión tienen un efecto directo sobre las propiedades finales, en especial cuando llega a degradarse el material. En la tabla 1 se incluye el efecto de la temperatura de extrusión sobre las propiedades a tracción. De acuerdo a estos resultados se utilizó un perfil con temperatura máxima en boquilla de 155  C para evitar procesos de degradación que ocurrirán mayores temperaturas (185 C). Como puede apreciarse el empleo de una mayor temperatura conduce a la obtención de menores propiedades

**Tabla 1:** Efecto del perfil de temperatura de extrusión sobre las propiedades tensiles de la muestra de reciclado mixto.

Perfil de Extrusión	E [MPa]	$\sigma_R$ [MPa]	$\epsilon_R$ [%]
120-145-155-165 �C	$627 \pm 30$	$8 \pm 1$	$1,7 \pm 0,2$
120-155-175-185 �C	$326 \pm 36$	$4 \pm 1$	$1,6 \pm 0,2$

Una vez determinada la temperatura adecuada de procesamiento del residuo mixto se han realizado pruebas de extrusión calandra (Figura 6), compresión e inyección (Figura 7) concluyendo de todos ellos que es factible procesar el residuo mixto por los métodos convencionales de transformación de plásticos sin inducir un proceso de degradación aparente ni de propiedades de acuerdo a evaluaciones realizadas antes y después del procesado. Con esto se abren diferentes opciones que permiten desarrollar alternativas de usos y aplicaciones del material reciclado tales como extrusión de perfiles o inyección de estructuras de relleno en la industria de la construcción, entre otras que se pueden diseñar en función de la resistencia mecánica del material.



**Figura 5:** Proceso de extrusión-calandra del residuo mixto



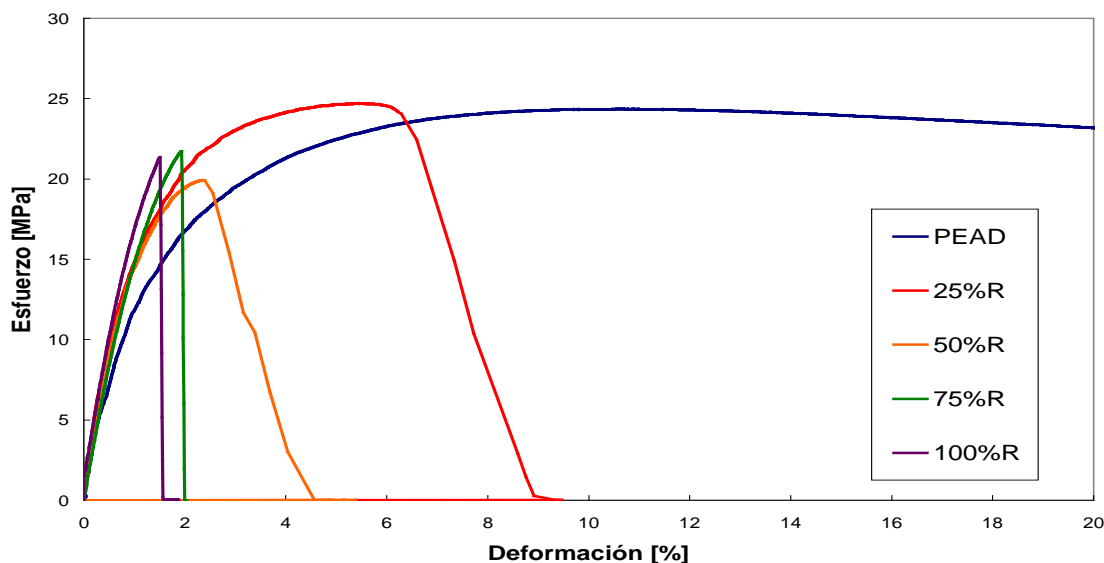
**Figura 6:** Probetas moldeadas por inyección

### 3.5 Propiedades mecánicas

Una de las características más importantes de los materiales en general, son aquellas relacionadas con su uso final. En este sentido, el estudio de las propiedades mecánicas es una de las más interesantes, pues restringe la aplicación específica de un material. Los plásticos reciclados, presentan propiedades mecánicas diferentes e inferiores a las de material virgen <sup>[6, 7,8]</sup>, dada la historia térmica, carga y degradación a la que han sido sometidos durante el primer procesamiento, y durante el tiempo de servicio. Por otra parte, en el caso de reciclados de origen mixto, la mezcla de resinas incompatibles y la presencia de partículas o agentes contaminantes de naturaleza no polimérica afectan de forma más crítica las propiedades del material resultante.

Los ensayos de tracción y flexión que se han hecho al residuo mixto revelan un comportamiento frágil, aun cuando es mezclado con matrices de elevada ductilidad tal como el polietileno de alta densidad (PEAD) el cual de acuerdo al aumento del contenido de residuo mixto en la mezcla, se hace cada vez menos dúctil tal como puede verse en la Figura 8.





**Figura 7:** Variación de la resistencia tensil para diferentes mezclas de residuo mixto con PEAD

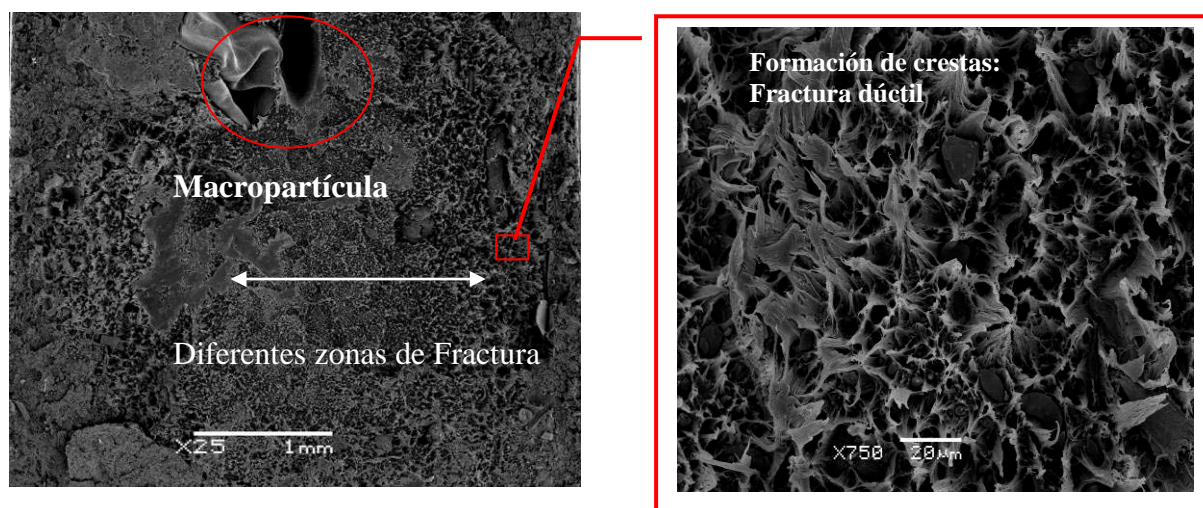
Por otra parte se observa que el método de transformación interviene en la resistencia del material. De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 2 puede verse que el proceso de inyección incrementa la resistencia tensil ( $\sigma_R$ ) y de flexión ( $\sigma_f$ ) respecto al moldeo por compresión. Esto es debido a la gran diferencia de presiones existentes entre uno y otro proceso. La elevada compactación (150 bares de presión) a la que es sometido el material en inyección permite que el material quede mejor compactado y mezclado en comparación con el proceso de compresión, en el que la presión aplicada est  entorno a 6 bares.

**Tabla 2:** Valores de resistencia mecánica para el residuo mixto en tracción y flexión

	$\sigma_R$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]
<b>Inyección</b>	22,42±0,48	40,24 ± 1,71
<b>Compresión</b>	8,54 ± 0,52	11,35 ± 1,45

### 3.6 Análisis por microscopía electrónica de barrido SEM

La fragilidad del material 100% mixto (figura 8) se asocia básicamente a la incompatibilidad de fases formada por los diferentes materiales que componen el residuo. De esta manera, el estudio morfológico y fractográfico realizado sobre las diferentes superficies de fractura de las probetas ensayadas en tracción mediante la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) corroboran la presencia de partículas infundidas y algunas de naturaleza no polimérica que actúan como concentradores de esfuerzo y promueven la fractura del material. Las imágenes obtenidas (figura 9) revelan diferentes zonas de fractura, coexistiendo zonas dúctiles y frágiles que se asocian a las dos fases mayoritarias del residuo mixto, como lo son las poliolefinas, caracterizadas por una fractura dúctil mientras que el PS es del tipo frágil.



**Figura 8:** Análisis por SEM de muestras de residuo mixto

#### 4. CONCLUSIONES

En términos generales se ha logrado la identificación de los componentes del residuo mixto proveniente del rechazo de las plantas de separación de plástico.

Las pruebas de procesamiento por extrusión, extrusión-calandra, compresión e inyección han demostrado que es un material que se puede transformar de forma sencilla por los métodos convencionales de procesado de plásticos.

La heterogeneidad de materiales promueve la formación de fases incompatibles que afectan las propiedades del material.

Los ensayos mecánicos realizados al residuo mixto lo caracterizan como un material frágil.

La caracterización que se ha hecho hasta los momentos puede ser punto de partida para investigaciones que busquen mejoras de las propiedades mecánicas del material haciendo uso de agentes compatibilizantes entre las dos fases mayoritarias que son poliolefinas y poliestireno.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

[1] Monogr fic. "La gestión de residuos de Cataluña". Enginyers Industrials de Cataluña. Disponible en:

[www.eic.cat](http://www.eic.cat). Consulta: [Mayo, 2009].

[2] Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de España, "Reciclado y valorización de residuos de envases". Disponible en:

[http://www.mma.es/secciones/calidad\\_contaminacion/indicadores\\_ambientales/procesp\\_seleccion/pdf/RESEnvases.pdf](http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/procesp_seleccion/pdf/RESEnvases.pdf). Consulta: [Marzo 03, 2008].

[3] Super, M., Enick, R. y Beckman, E., "Density-based separation of thermoplastics found in the post-consumer waste stream", *Conservation and Recycling*, **9** (1993).

[4] Fraunholz, N., "Separation of waste plastics by froth flotation—a review, parte I", *Minerals Engineering* **17** (2004).

[5] UNE-EN ISO 527 (1-5), "Determinación de las propiedades en tracción".

[6] Lokensgard y Richardson. "Industria del Plástico. Plástico Industrial". Editorial Paraninfo, Madrid, (2000).

[7] G mez, A., y Gil, M., "Los plásticos y los tratamientos de sus residuos", Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, (1997).

[8] Shenoy, A. y Saini, D. "Thermoplastic Melt Rheology and Processing", Marcel Dekker, Inc., New York (1996).