

Mezcla de Materiales Poliméricos II.

Evaluación de las Propiedades Físicas, Mecánicas y de Proceso en Mezclas de Polietileno Virgen y Reciclado

Luis R. Chaparro*, Jairo E. Perilla*, Jairo Huertas**, Germán Castro**.

RESUMEN

En este documento se resumen los resultados en el desarrollo experimental de las etapas necesarias para recuperar polietileno de invernadero. Se estudia la forma en que se alteran las propiedades físicas y de procesabilidad del material virgen al someterlo a largos períodos de exposición al ambiente y la forma en que varían estas propiedades al preparar mezclas de polietileno virgen y reciclado. Los resultados sugieren utilizar como máximo 30 % de polietileno reciclado en las mezclas para evitar grandes variaciones en las propiedades del producto final.

INTRODUCCIÓN

La demanda de resinas plásticas en Colombia es del orden de las 550.000 toneladas por año de las cuales aproximadamente el 40 % corresponden a polietileno de baja densidad. Este material se utiliza principalmente en la industria de envases y empaques (60 %) y en aplicaciones para la agricultura (27%), como la película de invernadero. En esta última aplicación se presenta una gran dificultad para reutilizar el material debido a que las propiedades fisicoquímicas se alteran notablemente por las condiciones ambientales a las que se somete, períodos de 6 a 12 meses al aire libre con variaciones de temperatura que alcanzan los 20°C.

En este estudio se realizó una evaluación de las etapas de proceso necesarias para llevar el polietileno de baja densidad (PEBD) usado en invernaderos a unas condiciones que facilitarían su procesamiento. Posteriormente el material se peletizó y con él se prepararon mezclas de diferentes composiciones con PEBD virgen para estudiar la variación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material virgen, todo esto con el fin de establecer criterios técnicos para la preparación de mezclas de materiales que faciliten estandarizar los procesos de transformación.

I. METODOLOGÍA

El PEBD posconsumo se obtuvo de los Invernaderos de la Universidad Nacional de Colombia. Por el tamaño de la película y el alto grado de deterioro del polietileno fue necesario estandarizar las etapas preliminares de adecuación; éstas se resumen en cortado del material, lavado con soluciones de detergente y secado al aire libre. Posteriormente el material seco se sometió a aglutinación, extrusión y peletización para obtener un producto de dimensiones similares a la de los pellets de material virgen. Finalmente se prepararon, mediante extrusión, nueve mezclas de 2,5 kilogramos cada una, con las siguientes composiciones: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 y 100% de polietileno reciclado, a las cuales se les realizaron pruebas de calorimetría diferencial de barrido (DSC), densidad, índice de fluidez, reología, esfuerzo hasta la ruptura, elongación hasta ruptura y esfuerzo de flexión. Adicionalmente se realizaron pruebas de espectrofotometría infrarroja a muestras de película nueva y usada.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 26 kilogramos de PEBD posconsumo, referencia Infralene MX, con un tiempo promedio de uso de 9 meses. La película tenía un ancho de 5 metros y una longitud media de 10 metros. La película se cortó manualmente hasta un tamaño promedio de 15 centímetros; posteriormente se pasó por la aglutinadora para obtener trozos de polietileno de tamaño menor a 4 centímetros. A continuación se lavó el material con soluciones de detergente (0,2 gramos por litro) hasta no observar cambios en el contenido de sólidos suspendidos del agua de lavado y finalmente se enjuagó y secó el material al aire libre durante 24 horas.

El polietileno limpio se sometió a aglutinación en un equipo Camber AC30K9 y a extrusión y peletización en una unidad

* Ingeniero Químico, M.Sc., Universidad Nacional de Colombia, Profesor Asistente Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia

**Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia

Camber EPC-38 cuyas dimensiones se encuentran en la primera parte de este estudio [3]. Las mezclas de material reciclado (PER) con polietileno virgen (POLIFEN, POLICOLSA S.A.) se realizaron manualmente y se homogenizaron mediante extrusión en la unidad antes mencionada. Los análisis DSC se realizaron en un calorímetro TA Instrumets DCS 2910 Modulated con celda Du Pont 990. Los calores y temperaturas de fusión se obtuvieron con el software Universal Analysis V.11 de acuerdo con las normas ASTM D3417 y D3418. La densidad se obtuvo por método gravimétrico, el índice de fluidez siguiendo la norma ASTM D1238 en un plastómetro TINIUS-OLSEN AD 987. Las pruebas de reología se realizaron con un reómetro de cono y plato RHEOTEST II, con un radio de cono de 6mm a 167°C. Las pruebas de esfuerzo se realizaron según las normas ASTM D638 y ADTM D790 con probetas inyectadas. El análisis infrarrojo se realizó en un espectrofotómetro infrarrojo Beckman serie Acculab 1.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

El espectro del material reciclado mostró tres bandas principales adicionales a las de la película virgen, ubicadas en las zonas de 1.070 cm^{-1} , quizá correspondiente a alcoholes secundarios y/o acetatos; 1.700 cm^{-1} , coincidente con la del grupo carbonilo $\text{C}=\text{O}$ de aldehídos y cetonas, y $3.200\text{-}3.600\text{ cm}^{-1}$. Esto indica la degradación por efectos ambientales a los cuales ha estado sometida la película. La Mantia [2] reporta cómo la existencia de bandas de oxidación en polietileno reciclado de invernaderos, puede también ser causada por el uso de pequeñas cantidades de poli(etileno-co-acetato de vinilo) (EVA) durante el proceso de extrusión de la película, mas la comparación de los dos espectros indica que no es el caso encontrado en la presente investigación.

B. ANÁLISIS POR DSC

Al sobreponer los termogramas de las diferentes mezclas se observa un solo pico de fusión alrededor de los $118\text{ }^{\circ}\text{C}$ que indica la presencia de un solo tipo de polietileno o la presencia de formas cristalinas distintas con puntos de fusión muy cercanos. El calor de fusión presenta un comportamiento decreciente con el incremento del contenido de polietileno reciclado en la mezcla (Figura 1), lo que señala una disminución del contenido cristalino. La temperatura de fusión (Figura 2) y la cristalinidad (Figura 3) presentan un comportamiento similar debido a que son variables directamente proporcionales. Las diferencias en el comportamiento de los valores extremos de estas propiedades permiten inferir que los cristales de material virgen y reciclado tienen características distintas en cuanto a tamaño y forma. Las mezclas presentan puntos de fusión ligeramente mayores a las de sus componentes sugiriendo un grado de interacción que debe corroborarse.

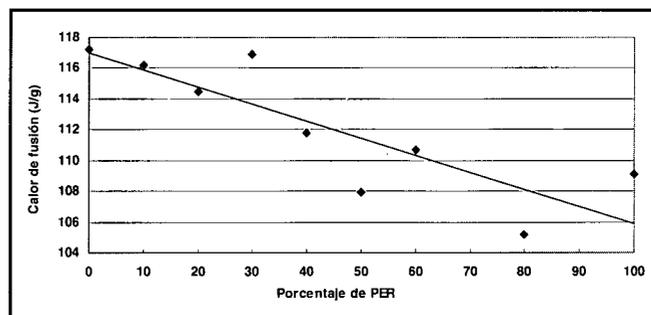


Figura 1. Efecto de la composición en el calor de fusión de las mezclas

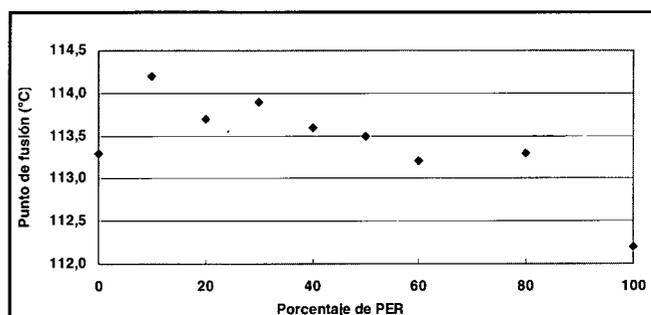


Figura 2. Efecto de la composición en el punto de fusión de las mezclas

C. DENSIDAD

La densidad decrece continuamente desde $0,92\text{ g/cm}^3$ para el polietileno virgen, hasta $0,89\text{ g/cm}^3$ para el reciclado (figura 4); este comportamiento se debe en parte al descenso en la cristalinidad de las mezclas pues las componentes amorfas son menos densas que las cristalinas. Para las mezclas con un contenido menor del 40 % de polietileno reciclado la disminución de la densidad es de $0,001\text{ g/cm}^3$ por cada 10 % de incremento de material reciclado, en tanto que para las fracciones comprendidas entre 40 y 100 % la disminución es de $0,005\text{ g/cm}^3$ por cada 10 % de incremento de material reciclado.

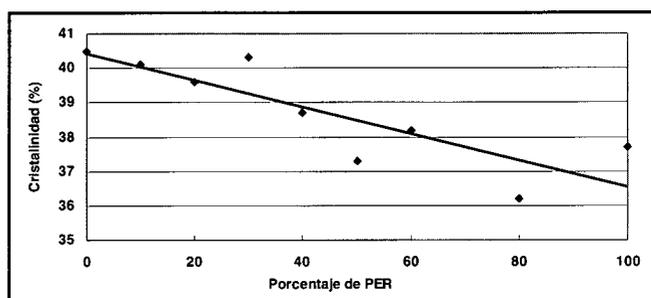


Figura 3. Efecto de la composición en la cristalinidad de las mezclas

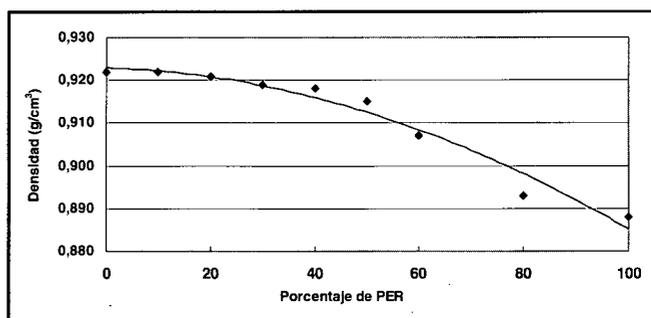


Figura 4. Efecto de la composición en la densidad de las mezclas

D. INDICE DE FLUIDEZ

El índice de fluidez (MI) (figura 5), y en consecuencia la fluidez de las mezclas, disminuye al aumentar el contenido de polietileno reciclado; los resultados muestran dos zonas: la primera de mezclas con contenido de polietileno reciclado menor al 30 %, donde el MI pasa de 100 a 50 gramos en diez minutos, evidenciando una alta susceptibilidad de estas mezclas al mejoramiento de su procesabilidad al agregar polietileno virgen; y una segunda zona entre el 30 y el 100% de polietileno reciclado, en la cual el MI pasa de 50 a 20 gramos en diez minutos y en donde la adición de material virgen no contribuye de manera apreciable a mejorar la procesabilidad de las mezclas.

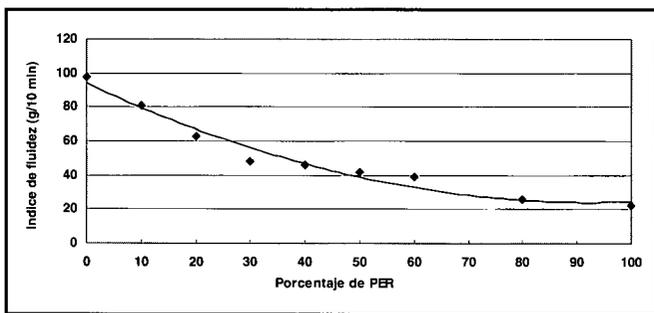


Figura 5. Efecto de la composición sobre el índice de fluidez de las mezclas

E. REOLOGÍA

Debido al carácter pseudoplástico de los materiales para todas las mezclas se verificó la disminución de la viscosidad con el aumento de la velocidad de deformación. Con el fin de apreciar la conducta de la viscosidad en función de la composición se seleccionó una velocidad estándar de corte ($78,5 \text{ s}^{-1}$) y se construyó la figura 6. Los resultados muestran que la viscosidad es mayor en las mezclas de mayor contenido de polietileno reciclado, posiblemente porque en ellas la complejidad estructural debida al entrecruzamiento es un impedimento para que se deslicen las capas adyacentes y se aumente la fluidez.

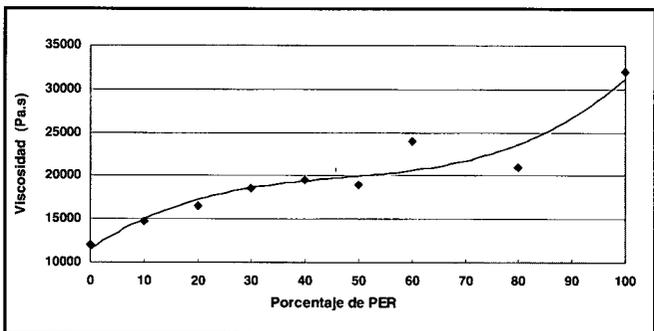


Figura 6. Efecto de la composición en la viscosidad de las mezclas a $78,5 \text{ 1/s}$

F. PRUEBAS DE ESFUERZO

El módulo de flexión presentó un aumento continuo desde 23.000 psi para el polietileno virgen hasta 28.200 psi para el polietileno 100 % reciclado (figura 7), esto indica que las mezclas con mayor contenido de reciclado son menos flexibles. Adicionalmente se observó que para composiciones menores al 60% de polietileno reciclado la adición de pequeñas cantidades de este material reduce notablemente la flexibilidad de las mezclas. La tensión hasta la ruptura (figura 8) presentó un comportamiento similar al del módulo de flexión sugiriendo la presencia de un mayor entrecruzamiento al aumentar el contenido de polietileno reciclado y la probable existencia de puentes de hidrógeno. La reducción de la elongación (figura 9) hasta la ruptura con el aumento del contenido de polietileno reciclado confirma la disminución de la elasticidad del polietileno virgen al adicionarle el material reciclado.

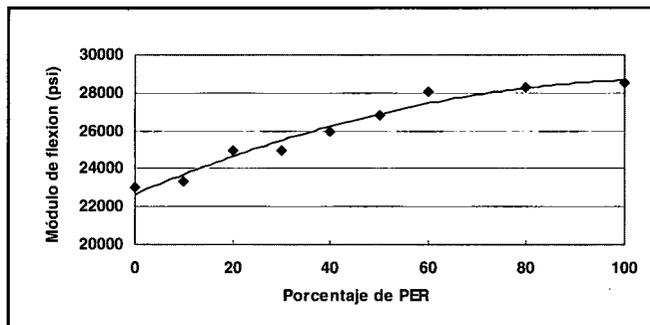


Figura 7. Efecto de la composición en el módulo de flexión de las mezclas

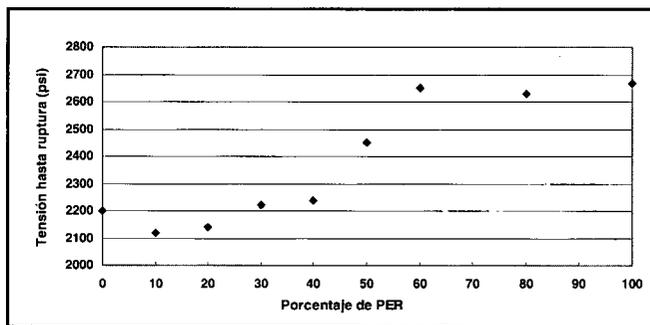


Figura 8. Efecto de la composición en la tensión a ruptura de las mezclas

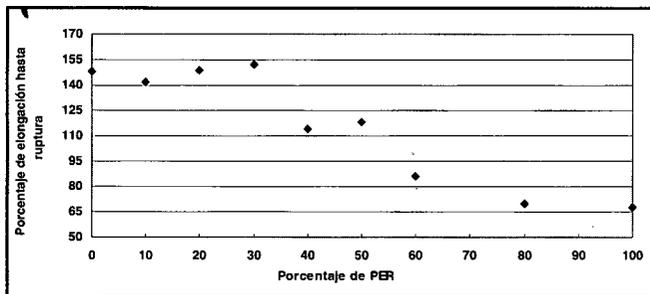


Figura 9. Efecto de la composición en la elongación hasta ruptura de las mezclas

CONCLUSIONES

La exposición de la película de polietileno al ambiente durante largos períodos degrada notablemente las propiedades del material virgen. El material posconsumo puede ser reutilizado mediante una serie de operaciones de reducción de tamaño, lavado, aglutinación y extrusión; sin embargo, para utilizar el material nuevamente, bien sea en el mismo o en otro tipo de aplicación, es conveniente que la proporción de polietileno reciclado no supere el 30 % para evitar grandes variaciones en las propiedades físicas, como la densidad, viscosidad, punto de fusión y cristalinidad. Si la aplicación del polietileno requiere un estándar alto en propiedades mecánicas, índice de fluidez, índice de flexión, elongación hasta ruptura y tensión hasta ruptura, no es conveniente que la proporción de reciclado sea mayor al 10 %.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la División de Investigación Sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia (proyecto 808059), por el soporte financiero a este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. HUERTAS M., CASTRO G. *Evaluación de las propiedades físicas, mecánicas y de proceso en mezclas de polietileno virgen y reciclado*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia. 1998.
2. LA MANTIA F., WENGUANG M. "Recycling of postconsumer polyethylene greenhouse films: monopolymer blends of recycled and virgin polyethylene". *Polym. Networks Blends* 5 (4) 173-179 (1995).
3. PERILLA, J., CHAPARRO L.R., ESCORCIA, C. LOPEZ, N. "Mezcla de materiales poliméricos I. Evaluación de las mezclas de poliestireno virgen y reciclado". *Ingeniería e Investigación* 44 Diciembre de 1999
4. RUEDA D, BALTA F. " Study of blends based on recycled polyethylene wastes". *Journal of Materials Science*. Part I 29 (1994) 1109-1114
5. _____. "Study of blends based on recycled polyethylene wastes". *Journal of Materials Science*. Part II 31 (1996) 3915-3920