

Mezcla de Materiales Poliméricos I.

Evaluación de las mezclas de poliestireno virgen y reciclado.

Jairo E. Perilla*, Luis R. Chaparro*, Carlos Escorcía**, Nelson Lopez**.

RESUMEN

Se evaluó la degradación de residuos de posconsumo de poliestireno de alto impacto, el comportamiento mecánico y las propiedades del estado fundido para mezclas de poliestireno virgen y reciclado. El poliestireno de alto impacto, utilizado para vasos desechables, presenta una disminución de los dobles enlaces del grupo butadieno, lo cual le da menor resistencia al impacto si se compara con un poliestireno virgen. Las mezclas de material virgen y reciclado presentan propiedades cuyos valores están en el intervalo de los de las resinas originales. El índice de fluidez del poliestireno reciclado y su resistencia al impacto fueron las propiedades que presentaron mayor diferencia respecto al material virgen.

INTRODUCCIÓN

Los materiales plásticos de posconsumo representan proximadamente el 25% de los desechos sólidos; esto genera la necesidad de plantear alternativas de manejo ambiental como reducción en la fuente, incineración, pirólisis, rellenos sanitarios y reciclaje [5]. Esta última constituye una de las opciones más atractivas para el manejo ambiental, ya que los materiales termoplásticos pueden, en teoría, ser reprocesados una gran cantidad de veces.

En general, los residuos plásticos se clasifican en dos subgrupos: de posindustria y de posconsumo. El residuo de posindustria se genera en los procesos de fabricación (piezas defectuosas, material formado en el período de estabilización de equipos, y sobrantes inherentes a los procesos como canales de inyección y rebabas). Estos residuos tienen la característica de poseer muy poco o ningún grado de contaminación, lo mismo que un deterioro nulo por efectos ambientales, siendo el único factor de degradación el generado por el proceso de transformación al que fue sometido. Los residuos de posconsumo comprenden los materiales plásticos que, después de cumplir la función para la cual fueron diseñados y fabricados, son desechados por el consumidor. A diferencia

del caso anterior, generalmente se encuentran mezclados con residuos de diferente naturaleza y presentan degradación tanto por agentes ambientales como la luz solar y la humedad, y degradación térmica por los procesos de transformación.

En cualquiera de los dos tipos de residuo, los efectos degradativos hacen que las propiedades físicoquímicas y mecánicas sean diferentes a las de la resina virgen y así limitan su uso. Otro caso es el de la manufactura de materiales destinados a los sectores médico y alimenticio, en donde el uso de materiales reciclados no garantiza las condiciones sanitarias que requieren este tipo de aplicaciones. Esto hace necesario plantear alternativas de uso de los materiales reciclados, sustentadas en criterios técnicos, que lleven al mejor aprovechamiento de estos materiales.

En el presente trabajo se muestran algunas características físicas, químicas y mecánicas de poliestireno virgen (VPS) y poliestireno reciclado de posconsumo (RPS), y se evalúa el comportamiento de mezclas de estos dos materiales en distintas proporciones.

I. ESTUDIO EXPERIMENTAL

Para el estudio experimental se utilizó poliestireno de alto impacto STYRON 484 (DOW Química de Colombia S.A.), y vasos desechables usados, como VPS y RPS respectivamente. El VPS fue usado directamente como es suministrado por el proveedor. El RPS, previamente lavado con detergente industrial, se separó de los vasos fabricados en polipropileno por flotabilidad en agua y por inspección manual; el residuo lavado se secó al ambiente por un período no inferior a 24 horas y se peletizó en una extrusora monousillo [2]

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

**Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia

Las mezclas de VPS y RPS se llevaron a cabo en una extrusora monohusillo (ver cuadro 1) utilizando un cabezal de peletizado para sacar el producto. Para todas las extrusiones se utilizó un perfil de temperatura de 194 °C en la zona inicial del barril, 204 °C en la zona final y 214 °C en el cabezal. La velocidad de giro del tornillo fue de 70 rpm. Para efectos de comparación de las diferentes mezclas, las muestras de VPS y RPS fueron sometidas también al proceso de extrusión con el fin de generar la misma historia térmica que poseían las mezclas. En la Figura 1, se dan los resultados de flujo volumétrico entregado por la extrusora para las diferentes composiciones estudiadas.

Cuadro 1. Dimensiones del tornillo de extrusión utilizado para la realización de mezclas.

Característica	Dimensión
Longitud del tornillo (cm)	69,2
Longitud zona de alimentación del tornillo (cm)	31,0
Longitud zona de dosificación del tornillo (cm)	24,0
Diámetro externo del tornillo (mm)	37,0
Altura del filete zona de alimentación (mm)	7,1
Altura del filete zona de dosificación (mm)	2,1
Ángulo de hélice	17,7°
Diámetro interno del barril (mm)	37,3
Zonas de calentamiento barril	2

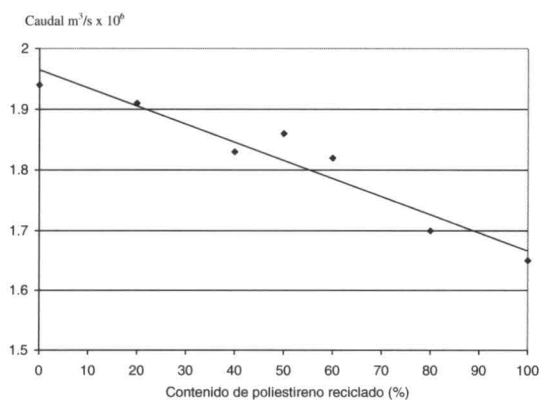
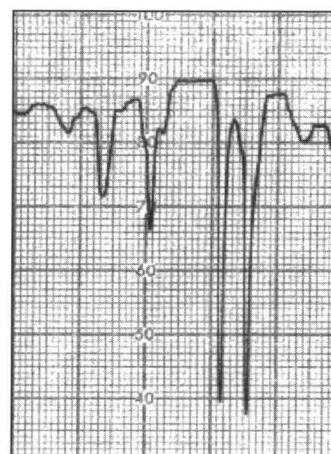


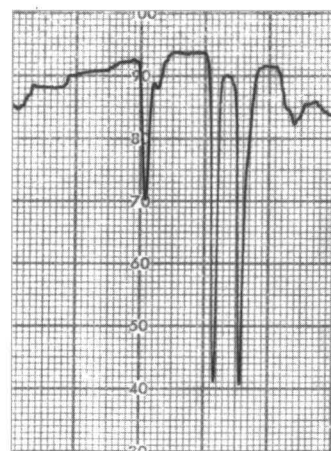
Figura 1. Variación del caudal entregado por la extrusora a la cantidad de PS reciclado

Los análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) se efectuaron en un equipo DSC 990 de DuPont Instruments, a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. El instrumento fue previamente calibrado en temperatura con un patrón de indio. El único evento detectado entre 40 °C y 220 °C fue la temperatura de transición vítrea, cuyos valores se relacionan en el cuadro 2.

Con el fin de detectar la presencia de grupos funcionales formados en los procesos degradativos se tomaron espectros infrarrojo para las muestras de VPS y RPS (Figuras 2a y 2b). Estos ensayos se realizaron en un espectrofotómetro Beckman Aculab 1, utilizando películas de polímero obtenidas por evaporación de soluciones de benceno sobre placas de teflón.



1700 1500 1300
(a)



1700 1500 1300
(b)

Número de Onda cm⁻¹

Figura 2. Espectro infrarrojo para películas de poliestireno. a) VPS, b) RPS. La zona correspondiente a 1650 cm⁻¹ y 1700 cm⁻¹, presenta la resonancia de grupos insaturados.

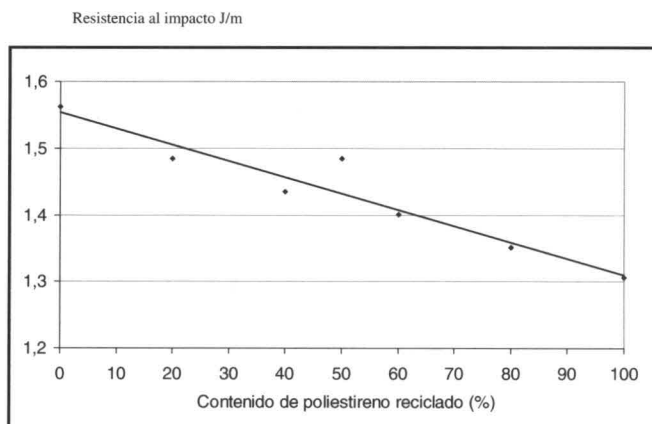


Figura 3. Efecto del porcentaje de poliestireno reciclado sobre la resistencia al impacto (impacto izod)

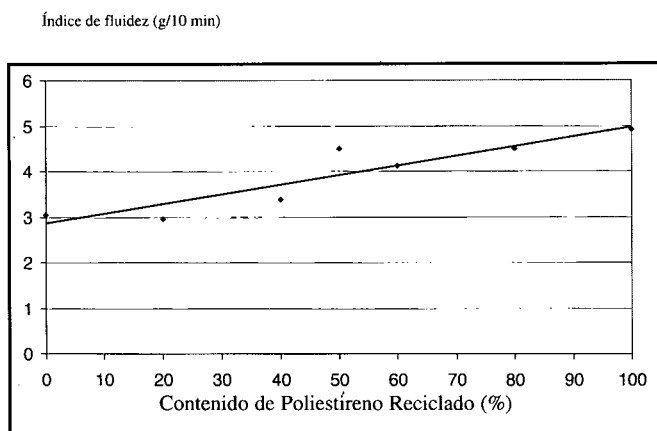


Figura 4. Índice de fluidez de las mezclas poliestireno virgen - poliestireno reciclado, respecto al porcentaje de resina reciclada

La resistencia al impacto (impacto *Izod*) de VPS, RPS y de sus mezclas se determinaron en un equipo TMI 43-1, y los resultados pueden verse en la figura 3. Las pruebas de tensión-deformación se realizaron en una máquina universal de ensayos Instron 101 a una velocidad de 0,2 plg/s (5 mm/s). Las probetas para los ensayos mecánicos se obtuvieron por moldeo, a compresión a 160 °C y con las dimensiones especificadas en las normas ASTM D638-87b, D259-90b. Los resultados de los ensayos mecánicos se reportan en el cuadro 2. Cada valor de impacto *Izod* es el promedio de cinco muestras, y los valores obtenidos en las tensiones son el promedio de tres muestras.

Como propiedades del estado fundido se determinaron los valores de índice de fluidez (*melt index*) a 200 °C de acuerdo con la norma ASTM 1238D, en un plastómetro Tinius Olsen AD 987. Los resultados se presentan en la figura 4.

Cuadro 2 Propiedades de las mezclas de VPS y RPS

PROPIEDAD	PORCENTAJE DE POLIESTIRENO RECICLADO						
	0	20	40	50	60	80	100
Módulo (MPa)	748	731	755	741	798	771	793
Elongación en fluencia (%)	3,479	3,432	3,549	3,549	3,203	3,358	3,472
Esfuerzo en fluencia (kPa)	20,2	19,8	19,7	18,0	20,2	19,8	19,7
Esfuerzo de rotura (kPa)	17,7	17,6	17,3	17,9	16,9	17,3	17,1
Temperatura de transición vítrea (°C)	100	100	97	96	96	99	97

II. DISCUSIÓN

A. ANÁLISIS DEL GRADO DE DEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO DE POSCONSUMO RPS.

De acuerdo con los datos presentados en el cuadro 2 y en la figuras 3 y 4, las diferencias más marcadas entre el VPS y el RPS están en los valores de *Melt Index* y de resistencia al impacto que se deben primordialmente a diferencias en la estructura y el peso molecular de las dos resinas. En los espectros IR de RPS y VPS (figuras 2a y 2b) se puede observar que los dos materiales corresponden al mismo polímero, y que no hay evidencia de grupos oxigenados en el RPS formados

por los agentes ambientales. La única diferencia que se encuentra entre los dos espectros es el pico situado en la zona de 1.655 cm⁻¹, que no aparece en el espectro de RPS. La resonancia en esta zona se atribuye a la presencia de los dobles enlaces provenientes de las moléculas de butadieno del poliestireno de alto impacto; estos dobles enlaces, por ser bastante reactivos, pueden verse afectados por las condiciones de procesamiento haciendo que la cadena polimérica pierda su flexibilidad. Por tanto, la menor resistencia al impacto del RPS se puede atribuir a una mayor rigidez de la cadena, ocasionada por la desaparición del doble enlace del butadieno y por un menor peso molecular, reflejado en un valor mayor del IF, que hace que la macromolécula no tenga suficientes posibilidades de conformación para estabilizarse después del impacto. Los otros valores de las propiedades mecánicas son similares y las diferencias se pueden explicar por los factores antes analizados de rigidez y peso molecular [6]. La menor temperatura de transición vítrea del polímero reciclado se puede explicar por una reducción del peso molecular.

B. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS.

Propiedades mecánicas: Las propiedades mecánicas como esfuerzo en el punto de fluencia y en el punto de fractura, y elongación en el punto de fractura, no difieren apreciablemente entre las dos resinas y los valores encontrados para las mezclas están bastante dispersos sin marcar una tendencia absolutamente definida, aunque se puede decir que la adición de material reciclado al VPS, hace que los valores de estas propiedades se reduzcan. El módulo de tensión, o de Young, aumenta a medida que la cantidad de RPS incrementa, lo cual indica que la porción de componente rígido va en incremento. Los valores de impacto *Izod* de las mezclas permanecen entre los valores de los componentes principales, siguiendo aproximadamente una regla de mezclado lineal (línea continua en la figura 3). Este tipo de comportamiento para las mezclas indica que no hay ningún efecto sinérgico en el mezclado de los dos materiales que permita obtener una mezcla con características superiores a los componentes de partida; por lo tanto, en el proceso de mezclado de VPS y RPS, no se tendrán efectos significativos por una posible formación de fases, o de estructuras intermedias de los dos materiales, como sí es el caso de otro tipo de mezclas de homopolímero [3,4].

C. PROPIEDADES DEL ESTADO FUNDIDO.

La propiedad más significativa que se determinó para el estado fundido es el IF. Para las diferentes mezclas los valores de IF se encuentran entre los obtenidos para VPS y RPS siguiendo una tendencia lineal para concentraciones de RPS superiores al 50%, tal como se puede ver en la figura 4. Este comportamiento puede entenderse como una reducción paulatina de la viscosidad, a medida que aumenta la proporción

de RPS, lo cual indica que se debe suministrar menor cantidad de energía durante el procesamiento. En la figura 1, se puede ver cómo a medida que aumenta la cantidad de material reciclado, el caudal entregado por la extrusora es menor, lo que puede también explicarse por una disminución en la viscosidad de la mezcla, de acuerdo con la expresión:

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 N H \sin \phi \cos \phi - \left(\frac{\pi D H^3 \sin^2 \phi P}{12 \eta l} \right) \quad (1)$$

en donde:

Q : Caudal m³/s

D : Diámetro del tornillo, m

N : Velocidad de giro del tornillo, rev/s

H : Altura de filete del tornillo, m

ϕ : Ángulo de inclinación del filete, rad

η : Viscosidad del polímero, Pa.s

Esta ecuación es la forma más simplificada para interpretar el comportamiento hidrodinámico de una bomba de tornillo y su deducción puede encontrarse en la bibliografía convencional de procesamiento de polímeros [1]. De acuerdo con la ecuación, una reducción de la viscosidad hará que el término relacionado con la caída de presión aumente, y, por tanto, el flujo neto disminuya.

El comportamiento lineal del IF respecto a la cantidad de RPS, supone que durante el proceso de mezclado no se forma ninguna estructura independiente que afecte la contribución de las propiedades que da cada uno de los componentes individuales. Si bien es posible que, a bajas concentraciones de RPS donde el comportamiento del IF no es lineal con la composición, exista algún tipo de interacción entre las dos resinas, el comportamiento viscoso se ve afectado en mayor grado por la proporción de material de alto peso molecular; así, en la zona donde prima el componente de alto peso molecular la viscosidad tiende a ser mayor que la que se esperaría por una regla de mezclado lineal.

CONCLUSIONES

El RPS utilizado difiere de la resina virgen VPS en su mayor rigidez y en tener un menor peso molecular. Estos dos factores son atribuidos a degradación térmica durante el procesamiento, y afectan en mayor proporción la resistencia al impacto (impacto *Izod*), el módulo de elasticidad y el índice de fluidez. Otras propiedades mecánicas como elongación, esfuerzo en el punto de fluencia y esfuerzo de ruptura no se ven afectadas apreciablemente.

La adición de RPS al VPS produce una tendencia hacia la disminución de las propiedades de elongación y esfuerzo de

fluencia y del esfuerzo de ruptura. La resistencia al impacto presenta, para todas las composiciones estudiadas, valores intermedios a los de VPS y RPS, siguiendo una regla de mezclado lineal, indicador de un buen grado de mezclado sin que se haya llegado a la formación de fases o estructuras intermedias que tengan un efecto sinérgico en las propiedades. El IF concuerda con la regla de mezclado lineal a altas concentraciones de RPS. A concentraciones menores de 50% RPS el comportamiento del estado fundido se ve más afectado por la resina de alto peso molecular, desviándose de la tendencia lineal.

La mezcla de VPS y RPS, le proporciona mayor facilidad de procesamiento al material, sin afectar en gran magnitud las propiedades mecánicas, excepto la resistencia al impacto, la cual disminuye proporcionalmente con la cantidad de RPS presente en la mezcla.

Posteriormente, se publicarán los resultados de la mezcla de polietileno virgen y reciclado, y los de la mezcla polietileno – poliestireno, que presentan nuevas alternativas de uso para los residuos plásticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte económico dado por la División de Investigación sede Bogotá DIB, de la Universidad Nacional de Colombia, con el proyecto código 808059.

BIBLIOGRAFIA

1. MORTON, Jones. "Procesamiento de plásticos". Limusa. 1993. México.
2. PERILLA, J. y CHAPARRO, L. "Estudio de las etapas del proceso de reciclaje de residuos plásticos de posconsumo y su relación con la calidad del material reciclado". *Memorias XIX Congreso Colombiano de Ingeniería Química. Asociación Colombiana de Ingeniería Química, Capítulo Antioquia*. Agosto 1997, Medellín.
3. RUEDA, D. *et al.* "Study of blends based on recycled polyethylene wastes. Part. I. Variation of mechanical properties with composition". *Journal of Materials Science*. Vol. 29, (1994); p. 1109-1114
4. _____ "Study of blends based on recycled polyethylene wastes. Part. II. Thermal behavior and degree of molecular mixing". *Journal of Materials Science*. Vol. 31, (1996); p. 3915-3920
5. STRONG, A. B. "Plastics. Materials and Processing". Prentice Hall, Englewood Cliffs, Estados Unidos. 1996
6. WILKES, G. "Characterization of molecular weight and molecular weight distribution". *Memorias Physical Aspects of Polymers. American Chemical Society*. 1978. Washington D.C.