

# EFFECTO DE LA RELACION DE VISCOSIDAD EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS PS/PEAD PREPARADAS POR INYECCIÓN

O. Gloria Bello, E. Martínez, M.O. Vázquez, M. Arellano y R. González-Núñez\*

Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara (UDG),

Blvd.. M. García Barragán 1451, 44430 Guadalajara, Jalisco. México.

Tel. (0133)36503401 ext.20, Fax (0133)36197316 ext.14, E-Mail. [rubenglz@cencar.udg.mx](mailto:rubenglz@cencar.udg.mx)

## Resumen

En el presente trabajo se muestra un estudio del efecto de la morfologías en las propiedades mecánicas (propiedades de impacto y tensión ) de las mezclas de PS/PEAD, procesadas en moldeo por inyección. Para ello se utilizaron tres diferentes tipos de Poliestirenos (PS) y de Polietilenos (PEAD) y se realizaron variaciones en ambas fases. Las mezclas fueron preparadas a diferente concentración de la fase dispersa, además se agregó un compatibilizante. Lo anterior, generó diferentes morfologías en las mezclas estudiadas, lo que nos permitió tener un margen mayor en el estudio de la relación que existe entre la morfología y las propiedades finales de estas mezclas inmiscibles.

## Introducción

Mezclando dos polímeros pueden obtenerse materiales que posean las propiedades deseadas de cada uno de los polímeros (1). Frecuentemente, las mezclas inmiscibles muestran propiedades mecánicas pobres, comparadas con las propiedades de los materiales puros, debido a que presentan una morfología inestable (2). El tamaño y la forma de la fase dispersa dependen de los parámetros de procesamiento, de la reología, de las propiedades interfaciales y de la composición de la mezcla (3). Mackosco et.al.(4), mostraron que cuando la viscosidad de las partículas de la fase dispersa es grande, existe mayor resistencia al flujo causando que las partículas no se aproximen, lo que reduce la probabilidad de coalescencia. Elmendrop y Van der Vegt (5), han demostrado que las inter-coaliciones entre partículas tienen una gran posibilidad de resultar en coalescencia si la fase dispersa es pequeña y la interfase es altamente móvil. Recientemente, la concentración a la cual los efectos de la coalescencia ocurren durante el proceso de extrusión fueron reportados (6). La mayoría de las mezclas inmiscibles generan morfologías de dos fases, con baja adhesión entre las fases y propiedades mecánicas pobres (7). Sin embargo la compatibilización de esas mezclas provee mejores propiedades mecánicas (8). Un compatibilizante es un polímero que es adicionado a la mezcla polimérica inmiscible incrementando el grado de compatibilidad (9). Tres efectos pueden ser causados por un compatibilizante: [1] reducir la tensión interfacial, lo que generará una dispersión mas fina de una de las fases dentro de la otra (10); [2] inhibir el crecimiento de la fase dispersa durante el reprocesamiento (11); y [3] incrementar la adhesión entre las fases en el estado sólido facilitando la transferencia de esfuerzos de la matriz hacia la fase dispersa, por lo tanto mejora las propiedades mecánicas de las mezclas (12).

## Metodología

**Materiales.** Los materiales a utilizados en este trabajo fueron tres diferentes polietilenos de alta densidad (PEAD) 55010 (PE1), 65050 (PE2) y 60120 (PE3) fabricados por PEMEX y además tres diferentes Poliestirenos cristal (PS) HH103 (PS1), HF777 (PS2) y HF555 (PS3) elaborados por RESIRENE. Además se utilizó un compatibilizante Kraton G-1652 proveído por Shell Polymer USA.

**Análisis Reológico.** La caracterización reológica de los materiales puros se realizó utilizando dos equipos diferentes. Las viscosidades fueron medidas para bajos valores de corte utilizando un reómetro ARES (Rheometric Scientific Inc.) y para altas velocidades de cortes un reómetro capilar Rosand, model Rh-2200. Con un dado capilar de 1 mm de diámetro y una relación de L/D de 16. Las correcciones de Bagley and Rabinowitsch fueron aplicadas.

**Procesado.** Las mezclas fueron preparadas a concentraciones de 3, 5, 7 y 10 % (fracción volumen) de PS en PEAD. La mezcla compatibilizada fue preparada a una relación en peso de 5/10/95 para el Kraton/PS/PEAD respectivamente. Los materiales se procesaron en una máquina de Inyección de plásticos marca NISSEI modelo ES-1000. Esta tiene una capacidad de inyección de 127 cm<sup>3</sup> y una presión máxima de inyección de 176 Mpa. Además tiene una fuerza de cierre de molde de 80 toneladas. Las temperaturas a lo largo del barril de inyección fueron de 194/196/198/200 desde la alimentación hasta la nariz de inyección. Se utilizaron 4 velocidades de inyección (35, 10, 20 y 8 mm/s) para una distancia de carga de 35.0 mm además de 3 presiones de inyección (85, 80 y 75 Mpa). La alta presión en el cierre del molde fue de 56 toneladas. El tiempo de inyección fue de 2.5 s y el de enfriamiento de 12 s, realizando un ciclo completo de inyección en un tiempo de 20 s en promedio. La refrigeración del molde se llevó a cabo por un flujo de agua interno en los molde mantenida a 10° C, mediante un enfriador.

**Análisis Morfológico.** Para el estudio morfológico pequeñas muestras fueron fracturadas en dirección paralela al flujo con nitrógeno líquido. Las superficies de las fracturas se analizaron con un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 5400 LV). Una vez obtenidas las micrografías, el análisis se llevó a cabo digitalmente mediante el uso de un software especial llamado Image-Pro Express de Media Cybernetic., midiendo el radio mayor (L) y el menor (B) de las partículas dispersas.

**Pruebas Mecánicas.** Se realizaron dos tipos de pruebas mecánicas (impacto y tensión) tanto a los materiales puros como a las mezclas. Las pruebas de resistencia al Impacto, se llevaron a cabo en un Impactador Gardner. El tamaño de las muestras y las pruebas se hicieron según la norma D 5420-96 de la ASTM. Las pruebas de resistencia a la Tensión se realizaron en una maquina de pruebas universales UNITED. Las pruebas fueron llevadas a cabo según la norma D 638-96.

## Resultados

Las figuras 1 y 2, muestran las curvas de viscosidad para los materiales puros a 200°C. En la figura 1, se observa un comportamiento típico para los tres polietilenos ya que la viscosidad decrece conforme aumenta la velocidad de corte. Además la curva típica para cada polietileno disminuye entre sí, lo que nos permitirá tener un mejor estudio de estas mezclas ya que los valores de viscosidad en cualquier punto son diferentes. Las curvas van de mayor a menor viscosidad Newtoniana para el PE1, PE2 y PE3 respectivamente. La figura 2, muestra un comportamiento similar al presentado para los Poliestirenos solo que a menor magnitud de viscosidad Newtoniana y ahora disminuyendo para el PS1, PS2 y PS3 respectivamente.

Las propiedades de resistencia al impacto para las mezclas de PS/PE1 a diferentes concentraciones nos indican que éstas disminuye conforme la fase dispersa aumenta. Además al mantener constante la matriz (PE1), no se observa un cambio sustancial en las propiedades de las mezclas cuando se realizan variaciones en la fase dispersa. Este comportamiento nos hace pensar que la energía del impacto a la que es sometida la mezcla, es absorbida y distribuida de una manera uniforme por la matriz ya que esta es de alta viscosidad, lo que causa que no se vea influencia al variar la fase dispersa.

El análisis morfológico para una mezcla 10 % en vol. de PS1, realizando ahora variaciones a la fase matriz (PE1, PE2 y PE3), indica una influencia sobre la coalescencia de partículas al realizar variaciones en la matriz. Para una misma concentración el tamaño de partículas se ve altamente afectado, obteniendo cambios drásticos de volumen ( $0.30 \mu\text{m}^3 < 260 \mu\text{m}^3$ ). El tamaño de las partículas va en aumento conforme la matriz utilizada decrece en viscosidad, indicando cambios importantes en la relación de viscosidad de la mezcla.

Ahora se muestran las propiedades de resistencia al impacto para las diferentes mezclas a una misma concentración (10 % de fase dispersa) en la figura 3. De acuerdo los resultados morfológicos se obtienen mejores propiedades cuando el tamaño de la fase dispersa es pequeña además cuando la fase matriz es de alta viscosidad. Se observa claramente que las propiedades de impacto se ven

afectadas al realizar variaciones a la fase dispersa, cuando la matriz es de baja viscosidad, comportamiento que no se presenta cuando la matriz es altamente viscosa. El comportamiento observado en las mezclas donde la matriz es de alta viscosidad, se atribuye a que el movimiento de la fase dispersa dentro de la matriz es muy difícil durante el procesamiento, provocando poca coalescencia de partículas. Además, los esfuerzos causados por el proceso son fácilmente transmitidos a la fase dispersa y en cambio cuando la matriz presenta baja viscosidad, las partículas dispersas fluyen con mayor facilidad, causando coalescencia. Esto se ve reflejado en un aumento del tamaño de partículas, por lo tanto en una disminución de sus propiedades.

La Influencia de la adición de un compatibilizante en las propiedades de resistencia al impacto y a la tensión es presentada en las figuras 4 y 5. La figura 4 muestra que para una mezcla 5 % de compatibilizante, 10 % de PS en una matriz de PE3 las propiedades de resistencia al impacto son mejoradas. La mejora en estas propiedades se presenta para los tres diferentes Poliestirenos, siendo un comportamiento aproximadamente lineal. La mejora en las propiedades de impacto se debe a que los compatibilizantes aumentan la tensión interfacial entre las fases causando una morfología mas fina y dispersa. En la figura 5, se muestran las propiedades de resistencia a la tensión para las mismas mezclas que en la figura anterior. Aquí también se observa una clara influencia de la adición del compatibilizante, principalmente en la resistencia a la ruptura, siendo esta mayor cuando la viscosidad de la fase dispersa crece ya que se incrementa en gran medida. Sin embargo, el módulo elástico básicamente no se ve afectado.

## Conclusiones

Las propiedades finales del sistema estudiado, son altamente influenciadas por la morfología final de la fase dispersa. Para este sistema existe una fuerte relación entre la morfología y las propiedades finales de las mezclas ya que estas se ven afectadas cuando se varia la fase dispersa (diferente viscosidad), cuando la fase matriz es de diferente viscosidad, cuando se incrementa la cantidad de partículas dispersas o cuando el tamaño de estas es mayor e incluso cuando la tensión interfacial entre las partículas es menor debido a la presencia de un compatibilizante. Esto muestra que es de suma importancia el tener un control en la morfología final de las mezclas inmiscibles ya que pequeñas variaciones, pueden causar diferentes propiedades tanto de resistencia al impacto como a la tensión. El presente trabajo nos permite tener una mejor idea de cómo se afectan estas propiedades desde un punto de vista no solo macroscópico sino también a nivel microscópico.

**Reconocimiento.** Los autores agradecen a CONACYT por las becas otorgadas, así como el apoyo financiero mediante el convenio No. 42235-Y.

## Referencias

1. D.R. Paul y S. Newman, Eds. "Polymer Blends I", Academic Press, Ny (1978)
2. L.A. Utracki, Polymer Engineering and Science. 23, 1153 (1983).
3. U. Sundararaj y C. W. Macosko, Macromol. 28, 2647 (1995)
4. Su-Ping Lyu, Frank S. Bates and C.W. Macosko, AIChE Journal. 46, 229 (2000).
5. Elmendorf J.J. and Van der Vegt A.K, Polymer Engineering and Science. 26, 1332 (1986)
6. González-Núñez R., Arellano M., Moscoso F. J., González-Romero V. M., Favis B. D., Polymer. 42, 5485 (2001)
7. Kim, D.H.; et. Al. J Appl Polym Sci 78, 1017 (2000).
8. Park, S.H.; Park, K.Y.; Such, K. D. J Polym Sci, Part B: Polym Phys 36, 447 (1998)
9. Datta, S.; Lohse, D. J. Polymeric Compatibilizers: Uses and Benefits in Polymer Blends; Hanser Publishers: Munich, 1996.
10. Utracki, L.A. Commercial Polymer Blends; Chapman & Hall: London, 1998.

11. Bonner, J.G.; Hope, P.S. Polymer Blends and Alloys; Folkes, M.J.; Hope. P.S., Eds.; Blackie Academic & Professional: London, 1993; Capitulo 3.
12. Barlow, J. W.; Paul, D.R. Polym Eng Sci 24,525 (1984).

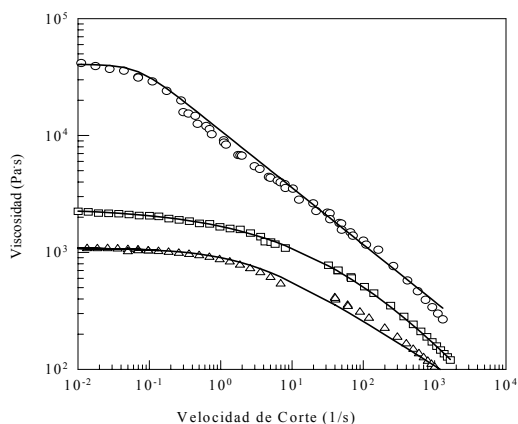


Figura 1. Curvas de viscosidad de los PE's puros a 200° C. ○ PE1, □ PE2, △ PE3

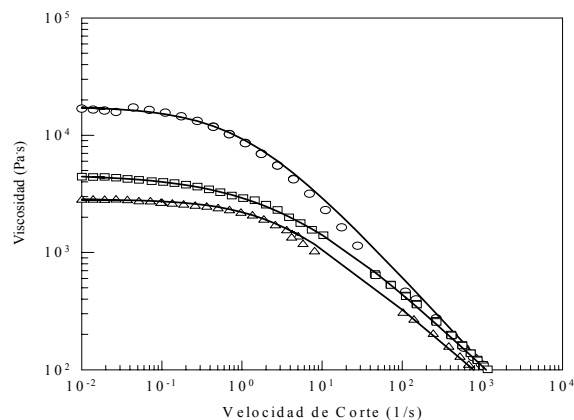


Figura 2. Curvas de viscosidad de los PS's puros a 200° C. ○ PS1, □ PS2, △ PS3

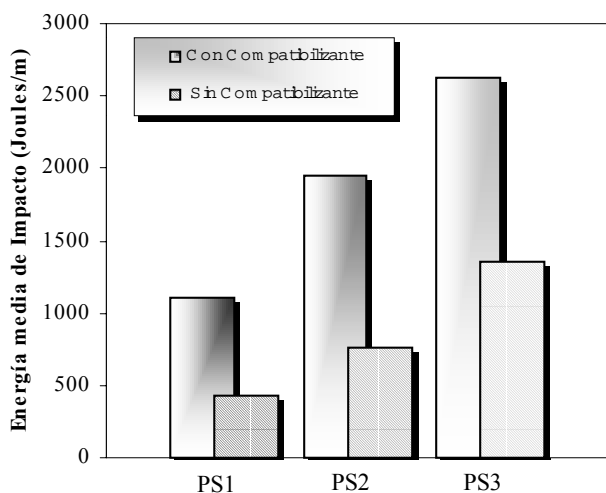


Figura 4. Influencia de la adición de un compatibilizante (5 %), en las propiedades mecánicas de Impacto para mezclas a 10 % de PS en PE3

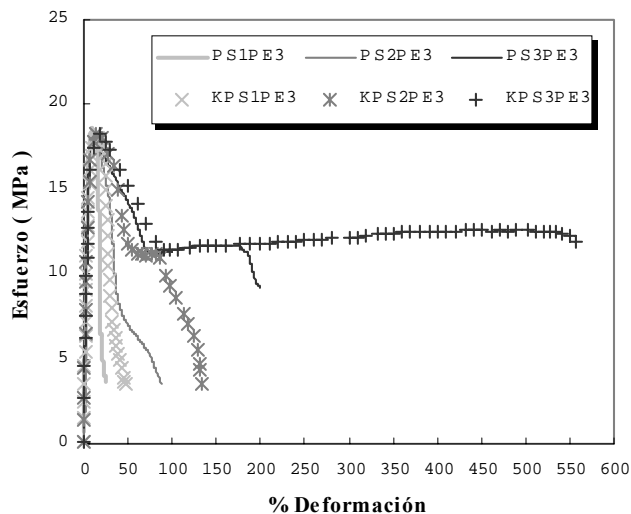


Figura 5. Influencia de la adición de un compatibilizante (5 %), en las propiedades mecánicas de Tensión para mezclas a 10 % de PS en PE3

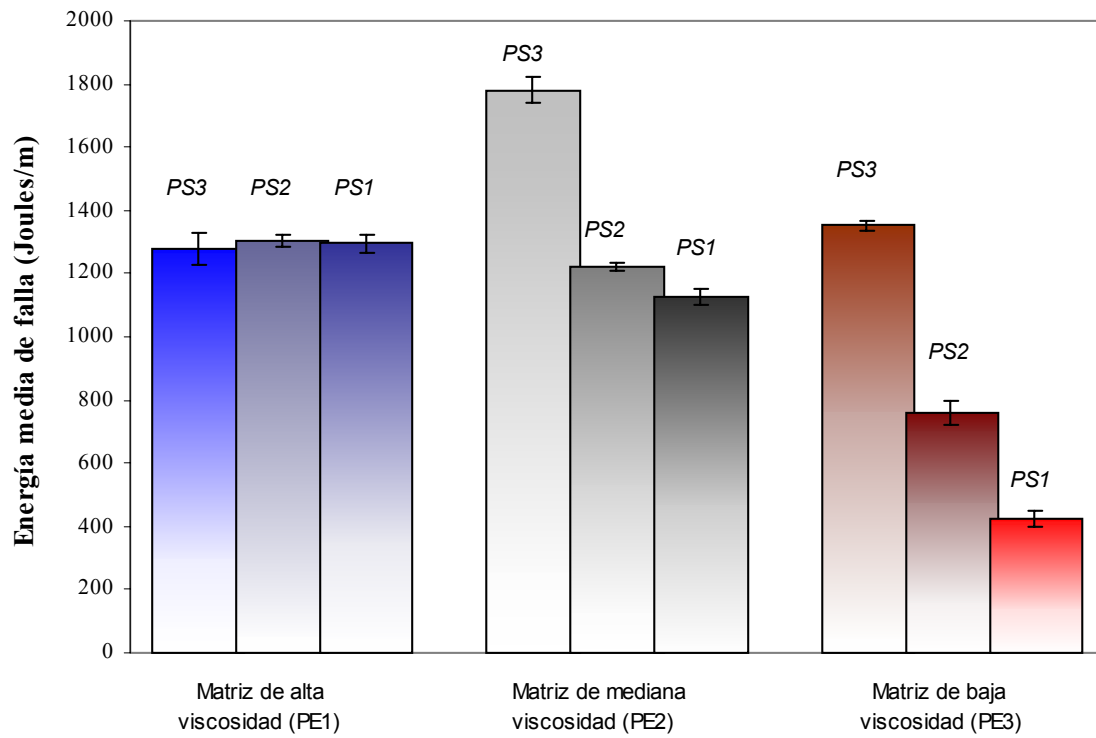


Figura 3. Energía media de impacto para mezclas 10 % de PS en PEAD.  
Datos obtenidos realizando variaciones a la fase dispersa y a la fase matriz