

ESTUDIO DE LA TERMOFORMABILIDAD Y RECICLADO PRIMARIO DE POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO: RELACION NUMERO DE CICLOS- PROPIEDADES-PARAMETROS DEL PROCESO

F. Soriano¹ C., G. Morales¹., R. Díaz de Leon¹. y F. Avalos².

1 Centro de investigación en Química Aplicada 2 Facultad de Ciencias Químicas (UAC)

INTRODUCCION

El termoformado es una técnica de procesamiento donde una lámina polimérica es suavizada mediante calor para finalmente ser deformada sobre un molde mediante aire a presión negativa o positiva. En su forma compleja el proceso involucra además del calentamiento y moldeo, un *preestirado* de la lámina antes del moldeo. Esta técnica presenta defectos típicos durante el moldeo, siendo estos una *distribución de espesores heterogénea, excesivo adelgazamiento en ciertas zonas de la pieza y la incidencia de redes* (Bordonaro, 1998). Dichos defectos son motivo de estudio considerando por un lado la influencia de *factores preestablecidos* en máquina como: Diseño de la pieza, diseño del molde, técnicas de calentamiento y formado, los cuales a su vez involucran parámetros como temperatura de la lámina, temperatura del molde y/o asistente de preestirado, entre otros. Y por otro, están los *factores modificables* como son la extrusión de lámina y propiedades de la materia prima (McConnell, 2002). Hoy en día la literatura reporta estudios para minimizar dichos defectos, sin embargo son pocos o ninguno los que involucran conjuntamente los factores de influencia anteriormente mencionados. Debido a lo anterior, se planteó el presente trabajo con el fin de establecer una relación entre el efecto del número de ciclos sobre las propiedades de un poliestireno de alto impacto (HIPS) y los parámetros del proceso de termoformado.

METODOLOGIA

Se empleó un HIPS de BASF (Avantra 2710) el cual fue coextruido y termoformado repetitivamente en una concentración de 70/30 de material virgen y reciclado, respectivamente. Las propiedades físico-químicas fueron determinadas a cada uno de los diferentes materiales resultantes del reciclado, tales como cambio en la morfología, peso molecular de la matriz de PS, contenido de gel, grado de injerto e índice de hinchamiento, a fin de relacionarlas con las propiedades mecánicas y reológicas (MFI). Posteriormente, se encontraron las condiciones óptimas del proceso (tiempo de calentamiento, t_c ; tiempos de molde y asistente, t_m y t_a ; y la temperatura del molde,

Tem) termoformando lámina con un solo ciclo de procesado, está mediante la aplicación de un diseño de experimentos (2^4) utilizando el análisis de varianza y de regresión múltiple, donde las variables de respuesta medidas en este caso fueron, el factor de variación de espesores de pared (FVEP) y el espesor normalizado (EN). Finalmente, se evaluó la influencia de los parámetros del proceso antes encontrados, sobre el material compuesto por 6 diferentes ciclos con el objeto de establecer la relación de estos con las propiedades físico-químicas, reológicas y mecánicas en función del número de ciclos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización de los materiales producto de 6 diferentes ciclos de procesado.

Analizando primeramente el contenido de gel (CG), el cual representa la fracción insoluble de un HIPS y al grado de injerto (GI) entendiéndose por este como el PS unido química o físicamente a la fase elastomérica. En las figuras 1a y 1b se muestra el comportamiento del CG y GI en función del número de ciclos, donde se puede observar una disminución de ambos valores con el incremento en el número de ciclos.

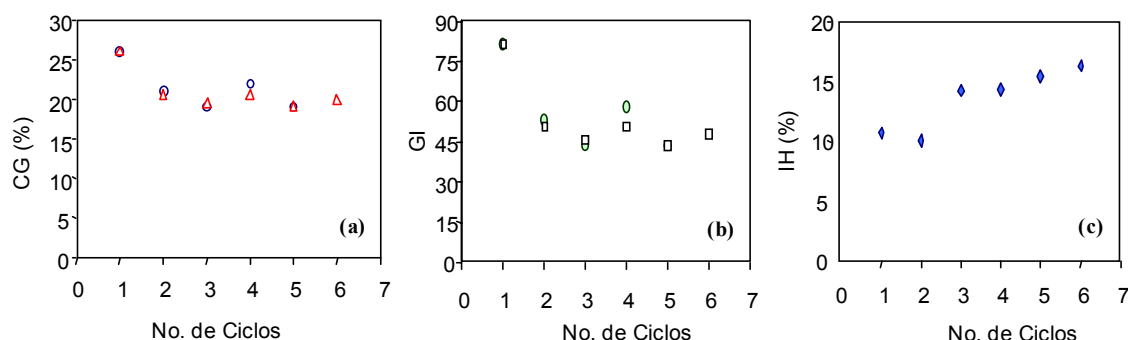


Figura 1. a) CG, b) GI y c) IH de los diferentes materiales; en función del número de ciclos.

Lo anterior se atribuye por un lado, a la degradación de la fase elastomérica provocado por reacciones de rompimiento del entrecruzamiento en esta, así como la fragmentación de partículas elastoméricas debido a la temperatura y esfuerzos de corte en el procesado, lo cual provoca que el PS ocluido sea expuesto a la matriz de PS formando parte de esta. Por otro lado, en la figura 1c se muestran los valores del índice de hinchamiento (IH), donde se observa un aumento de este con el incremento del número de ciclos, corroborando la existencia de reacciones de rompimiento de enlaces en la fase elastomérica en el proceso. En lo concerniente al peso molecular de la matriz de PS, éste oscila entre 200,000 y 190,000g/mol independientemente del número de ciclos. Observándose en general una disminución poco significativa.

Ahora bien, analizando la morfología de las partículas elastoméricas, en la figura 3 se muestran las micrografías correspondientes a 2, 3 y 4 ciclos de procesado en las cuales se observan, una fase continua de PS y partículas tipo salame completas y fragmentadas, corroborando así, los resultados obtenidos para el CG y el GI, donde se menciona que estos valores disminuyen fundamentalmente debido al efecto de la temperatura y los esfuerzos de corte presentes en el procesado.

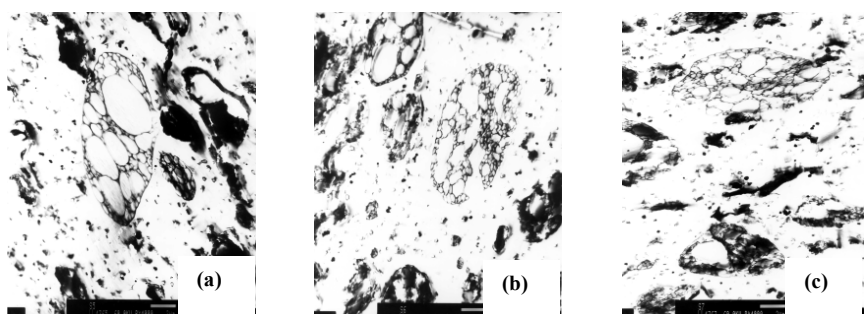


Figura 3. Micrografías correspondientes a: (a) R2, (b) R3 y (c) R4, a una magnificación de 4000x.

Respecto a las propiedades mecánicas y de flujo, en la tabla 1 se muestran los valores alcanzados para cada formulación. Específicamente, se pueden observar una disminución en las propiedades del HIPS correspondiente a un ciclo de procesado y el HIPS con 6 ciclos de procesado, esto debido al deterioro tanto de la fase elastomérica como a la fase de PS presentes en el HIPS, establecido en el análisis físico-químico.

TABLA 1. Índice de Fluidez, resistencia al impacto y tensión de los materiales resultantes de los diferentes ciclos de procesado.

No de Ciclos	MFI (g/10 min)	Impacto Izod (lb-ft/in)	Tensión (psi)
1	1.66	1.30	4109
2	3.59	1.67	3158
3	3.24	1.55	3358
4	3.61	1.83	3028
5	3.30	1.72	3555
6	3.21	1.02	3232

Efecto del número de ciclos sobre los parámetros del proceso de termoformado.

Mediante las ecuaciones de regresión respectivas se determinaron las mejores condiciones para termoformar láminas con un solo ciclo de procesado. Así mismo, se utilizaron las condiciones encontradas para termoformar láminas con 6 ciclos de

procesado. En las figuras 3a y 3b se muestran los resultados obtenidos para FVEP y EN respectivamente, donde se observa que las ecuaciones de regresión utilizadas y su comprobación disminuyen mas de un 50 % el FVEP y acercan a la unidad el EN con respecto a los valores obtenidos en producción normal, características deseadas en el proceso. Mientras que utilizando las mismas condiciones de termoformado para el material producto de 6 ciclos se observa un incremento del 20 % en el FVEP respecto al obtenido en producción. Mientras que para el caso del EN el valor alcanzado se acerca más a la unidad en comparación al obtenido en producción, sin embargo, es más lejano a la unidad respecto a los valores obtenidos mediante la ecuación de regresión y el comprobado mediante la ecuación de regresión.

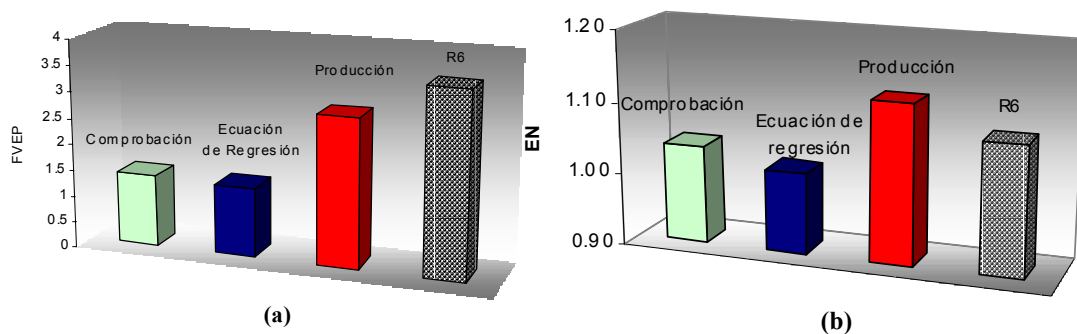


Figura 3. Gráficos de (a) FV y (b) EN; valores comparativos entre el material termoformado en producción en planta, calculo de la ecuación de regresión, comprobación de la ecuación (1 ciclo de procesado) y termoformado de lámina producto de 6 ciclos de procesado.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se concluye que la degradación del HIPS encontrada sobre su estructura físico-química, provoca una disminución en la viscosidad lo que aumenta el índice de fluidez del HIPS producto de 6 ciclos, disminuyendo la resistencia a la deformación en fundido de dicho material, bajo las condiciones de termoformado del HIPS con un solo ciclo.

Por otro lado, al utilizar el análisis de varianza sobre el FVEP y el EN de piezas termoformadas con un solo ciclo de procesado, se encontró que los parámetros t_c , t_a y T_{em} afectan significativamente el FVEP, mientras que los parámetros t_c , t_m y t_a afectan significativamente el EN.

REFERENCIAS

- Acuña P., Diaz de León R. y Morales G., Boletín de la SPM, **Vol. 1**, No. 5, p. 6-8 (2002).
 McConell W., Thermoforming Technology (seminar memories)(2003).
 Bordonaro M., Virkler T. L., Galante P. A., Pineo B. and Scott C. E., *ANTEC'98*, p. 696-700 (1998).
 Aroujalian A., Ngadi M. O. and Emond J-P., *Advances in Polymer Technology*, **Vol. 16**, No. 2 (1997).

Szabados T. and Pukanszky B., *International Polymer Science and Technology*, **Vol. 4**, No. 11 (1977).