INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE LDPE EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y DE TENSIÓN SUPERFICAL EN MEZCLAS LDPE/PIB

Erika Ivonne López Martínez, Karen Susana Arias Reyes, Iván Alziri Estrada Moreno, Alejandro Vega Ríos, Sergio Gabriel Flores Gallardo, Mónica Elvira Mendoza Duarte *

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
Ave. Miguel de Cervantes #120, Complejo Industrial Chihuahua.
***monica.mendoza@cimav.edu.mx**

ABSTRACT

Mezclas de Polietileno de Baja Densidad/Polisobutileno (LDPE/PIB) fueron preparadas en una cámara de mezclado interno variando la concentración de cada uno de los componentes en intervalos de composición de 10% en peso (10/90, 20/80,...90/10). El comportamiento viscoelástico (viscosidad en fundido y la "fluencia-recuperación" (creep-recovery)) además de la tensión superficial de las mezclas elaboradas se caracterizaron mediante Reometría Rotacional, Análisis Mecánico Dinámico y mediciones de ángulo de contacto respectivamente, para determinar el efecto que tiene la variación en peso de los componentes LDPE y PIB en las propiedades de la mezcla.

Keywords: PIB, Creep, mezclas poliméricas, ángulo de contacto

INTRODUCCIÓN

La producción de materiales plásticos ha sufrido un aumento continuo y espectacular en los últimos treinta años. Además del incremento cuantitativo en la demanda de lo que podríamos denominar termoplásticos tradicionales (polietileno, poliestireno, poli(cloruro de vinilo), polipropileno, etc.), las nuevas tecnologías en electrónica, telecomunicaciones, etc., y la creciente preocupación por el reciclado de los materiales ha disparado la búsqueda de polímeros con propiedades cada vez más específicas en condiciones de trabajo más extremas. Debido a esto ha surgido la idea del desarrollo de nuevos materiales poliméricos a partir de otros ya conocidos y comercializados [1].

El desarrollo de mezclas poliméricas posee gran relevancia en el mundo actual. Una mezcla es la combinación de dos o más sustancias. El mezclado es una operación que tiene por objeto aumentar la homogeneidad espacial [2], en el caso de los polímeros es una vía conveniente para el desarrollo de nuevos materiales que combinan las excelentes propiedades de más de un polímero existente. Esta estrategia es por lo general una ruta alternativa que otorga grandes beneficios en costo y optimización de tiempo en comparación a la síntesis de nuevos polímeros [3-9]. Una ventaja adicional de las mezclas de polímeros es que una amplia gama

ISSN: 2395-9711

Revista

Memorias Ingeniería y Desarrollo

Congreso Internacional de Investigación Científica Multidisciplinaria

MEMORIAS CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA, Año 1, No. 1, Enero – Diciembre 2015, es una publicación anual editada por el Instituto Tecnológico de Monterrey Campus Chihuahua, Calle H. Colegio Militar, 4700, Col. Nombre de Dios, Chihuahua, Chih. C.P. 31300, Tel (614) 439-5000 ext. 5524, www.congresoinvestigacion.com, investigacion.chi@itesm.mx. Editor Responsable: Elías Solís Rivera. Reserva de Derechos uso exclusivo No. 04-2014-082208051900-01, ISSN en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, calle Puebla 143, Col Roma, Delegación Cuauhtémoc. C.P. 06700. Responsable de la última Actualización de este número, Departamento de Investigación del Tecnológico de Monterrey Campus Chihuahua, Ing. Elías Solís Rivera, Calle H. Colegio Militar, 4700, Col. Nombre de Dios, Chihuahua, Chih. C.P. 31300, fecha de última modificación 5 de Marzo del 2015.

El Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey es un sistema universitario que tiene como misión formar personas íntegras, éticas, con visión humanística y competitivas internacionalmente en su campo profesional, que al mismo tiempo sean ciudadanos comprometidos con el desarrollo económico, político, social y cultural de su comunidad y con el uso sostenible de los recursos naturales. La misión incluye programas de investigación y desarrollo.

Consejo Editorial

Director del Tecnológico de Monterrey Campus Chihuahua
Dr. Rodolfo Julio Castelló Zetina

Director de la División Investigación y Desarrollo
Dr. Antonio Ríos Ramírez

Director de la Escuela de Negocios y Humanidades
Ing. Ivone Juárez Barco

Director de la Escuela de Ingeniería
Dr. Armando Román Flores

Director Editorial y del Área de Investigación
MCP. Elías Solís Rivera
Lic. Jessica Balderrama Anchondo
MA. María Cristina Torres Espinosa

Revista semestral publicada por:
Tecnológico de Monterrey Campus Chihuahua
Heróico Colegio Militar 4700 Col. Nombre de Dios C.P. 31300
Chihuahua, Chih., México
Teléfono: (614) 439-5000 Ext. 5525
http://www.chi.itesm.mx
investigacion.chi@itesm.mx

Índice

4938505	Aplicación informática LabView® para identificación y control de proceso en estación de temperatura	5
5179395	Viabilidad de la construcción de horno tipo reverbero didáctico para optimizar el proceso de fundición en una IES tecnológica	17
5179536	Diseño de un control automático para optimizar la ignición del proceso de quemado de gas metano en el relleno sanitario intermunicipal región centro- sur del Estado de Chihuahua.	29
5188663	DelphiCare 3.0	44
5189036	Diagnóstico económico y estadístico de la calidad. El caso de una planta de vestiduras en México	52
5230308	Nanotubos de carbono como una alternativa para la transfección de ovocitos maduros de bos taurus	60
5244669	SolidWorks como Herramienta para seguir la Huella del Carbono	69
5255517	Una mirada a la biolixiviación de minerales sulfurosos complejos	79
5258762	Compuestos ácido poliláctico / grafito expandido. Efecto de la velocidad de procesamiento en sus propiedades térmicas y mecánicas.	89
5259405	Effect of SBS copolymer chain architecture on miscibility and mechanical properties of Poly(2,6-dimethyl-1,4-phenylene ether) / High Impact Polystyrene/Styrene-Butadiene-Styrene Blends.	99
5260258	Classification and forecasting for Inventory Management of Spare Parts	106
5260841	Efectos citotóxicos en microorganismos patógenos expuestos a nanopartículas de plata	114
5261287	Estado del Arte en la Adquisición y Procesamiento de Señales Eléctricas obtenidas por Electromiografía	132

5261295	Antropología y sociología aeronáuticas, nuevas interdisciplinas para los desarrollos técnico-tecnológico y socio-cultural del transporte aéreo	141
5261424	Compuestos de PET reciclado/nanopartículas	151
5274686	Análisis de falla de carcaza de transmisión automotriz con fuga de aceite.	159
5282594	Influencia del contenido de LDPE en las propiedades reológicas y de tensión superfical en mezclas LDPE/PIB	168

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE LDPE EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y DE TENSIÓN SUPERFICAL EN MEZCLAS LDPE/PIB

Erika Ivonne López Martínez, Karen Susana Arias Reyes, Iván Alziri Estrada Moreno, Alejandro Vega Ríos, Sergio Gabriel Flores Gallardo, Mónica Elvira Mendoza Duarte *

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
Ave. Miguel de Cervantes #120, Complejo Industrial Chihuahua.
***monica.mendoza@cimav.edu.mx**

ABSTRACT

Mezclas de Polietileno de Baja Densidad/Polisobutileno (LDPE/PIB) fueron preparadas en una cámara de mezclado interno variando la concentración de cada uno de los componentes en intervalos de composición de 10% en peso (10/90, 20/80,...90/10). El comportamiento viscoelástico (viscosidad en fundido y la "fluencia-recuperación" (creep-recovery)) además de la tensión superficial de las mezclas elaboradas se caracterizaron mediante Reometría Rotacional, Análisis Mecánico Dinámico y mediciones de ángulo de contacto respectivamente, para determinar el efecto que tiene la variación en peso de los componentes LDPE y PIB en las propiedades de la mezcla.

Keywords: PIB, Creep, mezclas poliméricas, ángulo de contacto

INTRODUCCIÓN

La producción de materiales plásticos ha sufrido un aumento continuo y espectacular en los últimos treinta años. Además del incremento cuantitativo en la demanda de lo que podríamos denominar termoplásticos tradicionales (polietileno, poliestireno, poli(cloruro de vinilo), polipropileno, etc.), las nuevas tecnologías en electrónica, telecomunicaciones, etc., y la creciente preocupación por el reciclado de los materiales ha disparado la búsqueda de polímeros con propiedades cada vez más específicas en condiciones de trabajo más extremas. Debido a esto ha surgido la idea del desarrollo de nuevos materiales poliméricos a partir de otros ya conocidos y comercializados [1].

El desarrollo de mezclas poliméricas posee gran relevancia en el mundo actual. Una mezcla es la combinación de dos o más sustancias. El mezclado es una operación que tiene por objeto aumentar la homogeneidad espacial [2], en el caso de los polímeros es una vía conveniente para el desarrollo de nuevos materiales que combinan las excelentes propiedades de más de un polímero existente. Esta estrategia es por lo general una ruta alternativa que otorga grandes beneficios en costo y optimización de tiempo en comparación a la síntesis de nuevos polímeros [3-9]. Una ventaja adicional de las mezclas de polímeros es que una amplia gama

de propiedades de los materiales está al alcance simplemente cambiando la composición de mezcla, además abre la posibilidad de implementación del reciclado de plásticos de desecho que implica realizar mezclas de dos o más polímeros con la adición de aditivos o tratamientos alternos con el fin de formar materiales con propiedades razonables que puedan destinarse a aplicaciones típicas, o bien extender su uso a nuevas aplicaciones [1].
Las mezclas se pueden clasificar en función de su procedimiento depreparación y su miscibilidad. Las mezclas poliméricas comerciales son principalmente mecánicas y se realiza con dos o más polímeros en estado fundido. Por lo general se lleva a cabo en máquinas de procesamiento, tales como extrusoras de doble husillo o cámara de mezclado interno, que se consideran equipos industriales [10-13].
Dentro de los materiales más utilizados industrialmente para la obtención de mezclas se encuentran las poliolefinas que a menudo se combinan entre sí y con otros polímeros para lograr una composición óptima de propiedades [14]. Un ejemplo es el polietileno (PE) que se puede combinar con el polipropileno atáctico (PP), poliestireno (PS), copolímero estireno-butadieno-estireno (SBS) y poli(isobutileno) (PIB) entre otros.[13]
Las mezclas denominadas "poliolefinas- basadas en elastómeros termoplásticos", mejor conocidas como "TPO" resultan de la combinación de una poliolefina semi-cristalina con componentes elastoméricos amorfos y representan una importante familia de los materiales de ingeniería. Productos elaborados con las TPOs cubren un amplio rango de propiedades que esencialmente unen la brecha entre los elastomeros y los plásticos de ingeniería. La fase termoplástica (poliolefina) permite que el material funda y sea moldeado, mientras que la fase elastomérica contribuye dando tenacidad y elasticidad al material [15].
Diversos elastómeros tales como etileno - propileno (EPM), terpolímeros de etileno-propileno dieno (EPDM), caucho de butilo (BR), poliisobutileno (PIB), de estireno-butadieno (o copolímeros de bloque isopreno-estireno (SBS o SIS elastómeros) han sido utilizados a lo largo de los años para mejorar la resistencia al impacto y la resistencia al estrés de craqueo del medio ambiente a temperaturas normales y bajas del polietileno (PE) y polipropileno isotáctico (iPP)[16].
Es esencial conocer el comportamiento viscoelástico de las mezclas poliméricas, no solo para alcanzar las condiciones de procesamiento óptimas, sino también para obtener información valiosa del mecanismo de flujo y su efecto las propiedades mecánicas de las mismas [3].
Es por esto que el presente trabajo pretende estudiar el comportamiento viscoelástico de la mezcla de dos polímeros inmiscibles: LDPE y PIB y evaluar el efecto que tiene la variación en peso de sus componentes en las propiedades de la mezcla.

EXPERIMENTACIÓN

Preparación de mezclas

Las mezclas estudiadas contienen Polietileno de Baja Densidad (LDPE) y Poli(isobutileno) (PIB) y fueron elaboradas en fundido mediante una cámara de mezclado interno Brabender a una temperatura de 180°C, 25 rpm, alabes tipo Roller y tiempo de mezclado de 7 minutos. En la Tabla 1 se enlistan las mezclas elaboradas, indicándose los porcentajes en peso (%wt) de cada uno de los polímeros empleados. El material obtenido fue moldeado por compresión en una prensa Carver a 190°C, aplicando 1 tonelada fuerza. Se obtuvieron placas de 15 cm X 15 cm X 6mm. Todas las mediciones se llevaron a cabo de muestras tomadas de las placas moldeadas.

Tabla 1. Mezclas elaboradas de LDPE/PIB

Mezcla	% en peso de LDPE (wt% LDPE)	% en peso de PIB (wt% PIB)
1	0	100
2	10	90
3	20	80
4	30	70
5	40	60
6	50	50
7	60	40
8	70	30
9	80	20
10	90	10
11	100	0

Ángulo de contacto

Las mediciones de ángulo de contacto de las mezclas (LDPE/PIB) se realizaron en un equipo FTA200 (First Ten Angstroms, Portsmouth, Virginia 23704, USA). El líquido empleado para las mediciones fue agua destilada. Las mediciones se realizaron sobre películas de 5 x 5 x 0.2 cm a temperatura ambiente y se realizaron 5 repeticiones en cada muestra.

Viscosidad

La determinación de la viscosidad de las mezclas elaboradas se llevó a cabo mediante un barrido de velocidad de corte de 0.001 a100 s-1. El equipo utilizado fue un Reómetro Rotacional marca Anton Paar modelo Physica MCR501 TrueGapTM, empleando una geometría de platos paralelos y una temperatura de 210°C.

Análisis Dinámico Mecánico (Creep)

Se realizaron pruebas de cedencia en los compuestos en donde se aplica una carga constante a la muestra y la deformación del material es monitoreada durante un tiempo determinado. Estas pruebas se llevaron a cabo en un Analizador Mecánico Dinámico modelo RSA III de la marca TA, Intruments en la modalidad de compresión en platos paralelos. Las pruebas se realizaron a una temperatura de 60°C y se aplicó una fuerza constante de 300 g durante 30 minutos.

Resultados y Discusión

Tensión superficial

Cuando una gota de líquido es depositada en la superficie de un sólido, el angulo de contacto líquido/sólido alcanza una condición de equilibrio y decimos que la gota de líquido se encuentra en estado estático. Ya sea que moje o no la superficie esto dependerá de las magnitudes relativas de las fuerzas moleculares que existen dentro del líquido (cohesivas) y entre el líquido y el sólido (adhesivas) [17]. El ángulo formado por el líquido en el sólido se denomina ángulo de contacto (θ) tal y como se muestra en la Figura 1.

El ángulo de contacto es empleado para caracterizar la mojabilidad de un líquido en una superficie sólida. El intevalo posible de ángulo de contacto va de 0 a 180°. Cuando el ángulo de contacto es igual a 0°, i.e., una película de líquido se forma sobre la superficie del sólido, lo cual indica que ocurre un perfecto mojado. En el otro caso, cuando el ángulo de contacto es igual a 180° se forma una esfera de líquido perfecta sobre la superficie lo cual está relacionado con las energías superficiales de diferentes interfaces entre el líquido empleado y las superfice sólida. [17]

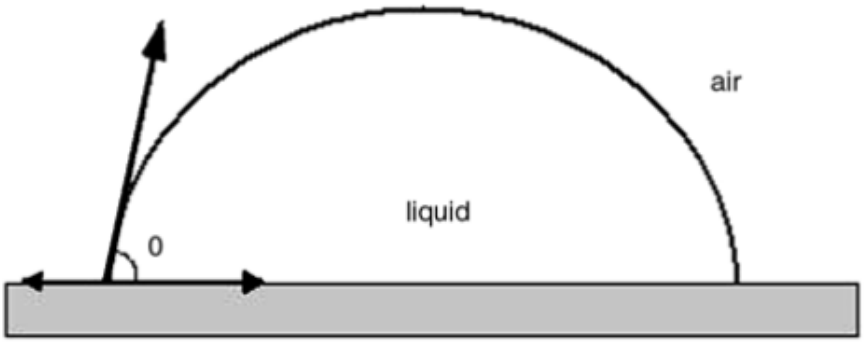

Figura 1 Ángulo de contacto líquido-sólido

La variación del ángulo de contacto contra la composición de las mezclas se muestra en la Figura 2. Se puede observar que al incrementar la cantidad de LDPE en las mezclas, el ángulo de contacto se ve disminuido, tendiendo a registrar un comportamiento similar al LDPE. En la Figura 3 y Figura 4 se muestran las fotografías de ángulo de contacto para las muestras 0/100 y 100/0.

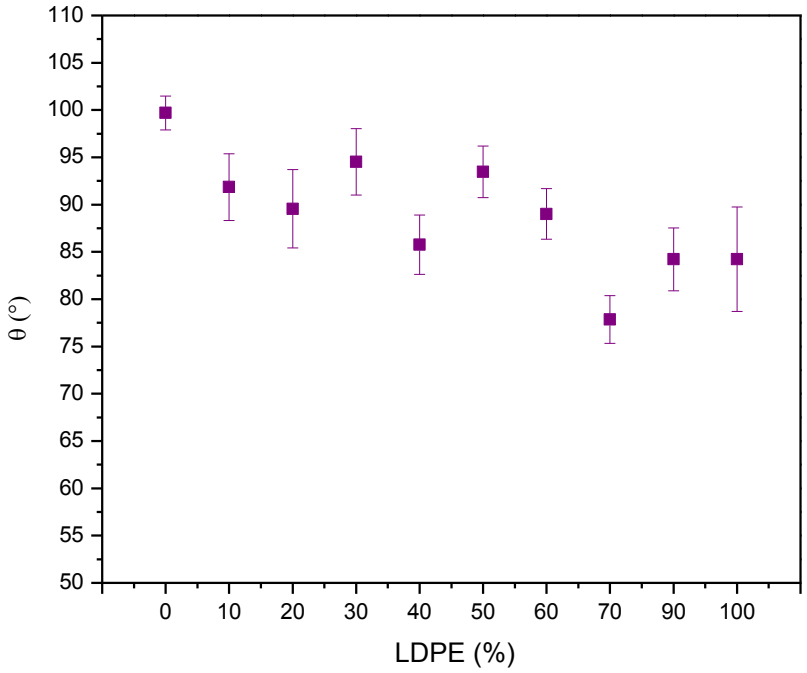

Figura 2 Ángulo de contacto contra concentración de LDPE en los compuestos LDPE/PIB

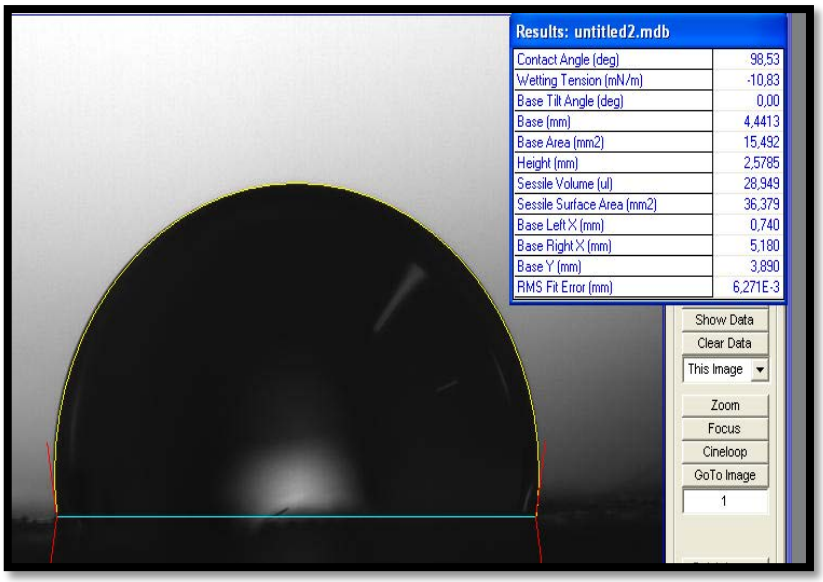

Figura 3 Ángulo de contacto de la muestra 0/100

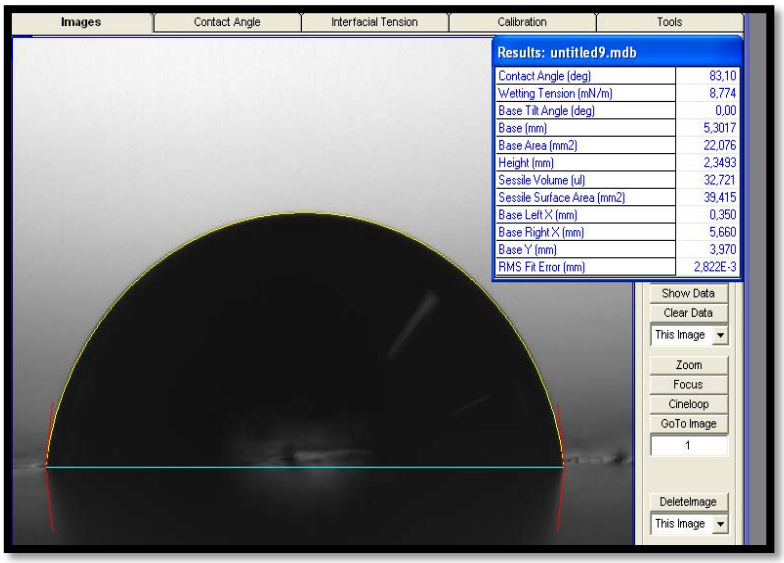

Figura 4 Ángulo de contacto de la muestra 0/100

Viscosidad

Las mezclas inmiscibles combinan características de los polímeros constituyentes de manera que dependen fuertemente de la microestructura que es formada durante el procesamiento. Es por esto que el conocimiento de la morfología de la mezcla y su comportamiento reológico es esencial [18].

En la Figura 5 se muestra la relación entre la viscosidad en fundido y la velocidad de corte para las mezclas de LDPE/PIB a 210°C. En general, como puede observarse las mezclas en el rango de 0 a 40% en peso del contenido de LDPE (0/100, 10/90, 20/80, 30/70 y 40/60) exhiben un plateau newtoniano (región donde la viscosidad permanece constante aun y cuando la velocidad de corte aumenta) para luego tener un comportamiento adelgazante ("shear thinning"). El plateau newtoniano se ve acortado al incrementar el contenido de PE. En las mezclas con concentración de LDPE del 50% al 90% en peso (50/50, 60/40, 70/30, 80/20 y 90/10) solamente se presenta el comportamiento adelgazante o pseudoplástico. Para el caso de la formulación 100/0 se presenta un comportamiento al flujo que se puede considerar como newtoniano ya que los valores de viscosidad disminuyen muy poco conforme aumenta la velocidad de corte. Además del cambio en el comportamiento al flujo conforme se incrementa en el sistema LDPE/PIB el contenido del LDPE, la viscosidad tiende a disminuir, indicando que la procesabilidad del PIB es extremadamente mejorada al mezclarse con el LDPE. Esto gracias a que el LDPE cuenta con una muy baja viscosidad con respecto al PIB. La diferencia de viscosidad que existe entre el LDPE y el PIB es de 3 órdenes de magnitud. En la Tabla 2 se enlistan los valores de la viscosidad en fundido a 0.001 s^{-1} y 10 s^{-1}.

Tabla 2. Viscosidad en fundido de las mezclas elaboradas de PE/PIB

Mezclas de LDPE/PIB (wt%/wt%)	**Viscosidad [Pa s] a 0.001 s^{-1}**	**Viscosidad [Pa s] a 10 s^{-1}**
0/100	259,000	6,180
10/90	241,000	1,870
20/80	150,000	1,040
30/70	58,600	927
40/60	21,100	795
50/50	10,400	353
60/40	6,570	255
70/30	5,800	249
80/20	4,380	148
90/10	1,910	142
100/0	200	126

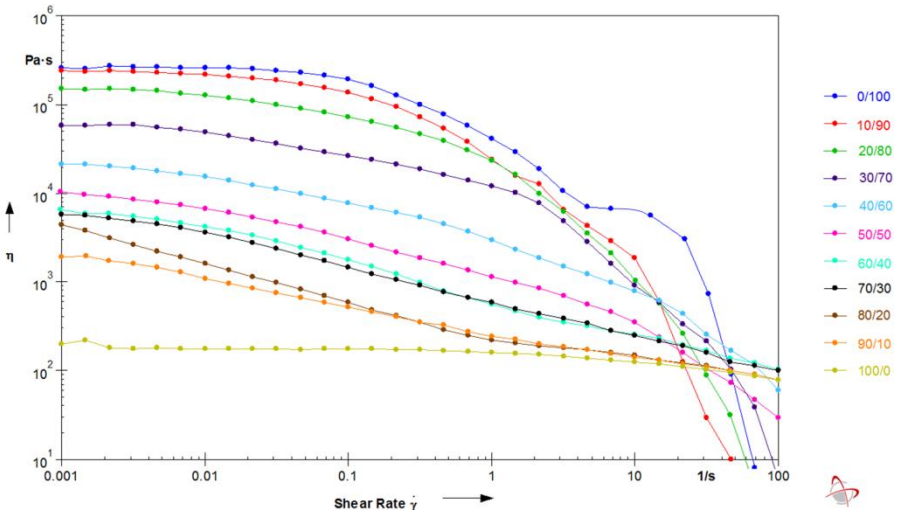

Figura 5. Curvas de viscosidad de las mezclas PE/PIB

Análisis Dinámico Mecánico

En la mayoría de los sistemas de mezclas como en este caso, las propiedades mecánicas dependerán de la respuesta de la combinación de una fase hulosa (PIB) y una rígida (LDPE). Los resultados de cedencia (creep) para mezclas LDPE/PIB se muestran en la Tabla 3. Se observa que el valor máximo y el valor mínimo los experimentan formulaciones compuestas por un solo material, es decir una sola fase, siendo estos valores de 40.78 %ε para la formulación 0/100 (100% PIB) y de 2.83% para la formulación 100/0 (100% LDPE). Esto nos indica que la naturaleza elastomérica del PIB permite que fluya con mayor facilidad aunado a que la prueba se realizó a una temperatura (60°C) mayor a su temperatura de transición vítrea (-70 °C), permitiendo que el material sea deformado en mayor proporción. Por otro lado, la muestra 100/0 al estar compuesta únicamente por LDPE, posee una mayor rigidez y por lo tanto ofrece una mayor resistencia a ser deformada. Con forme se incrementa la cantidad de LDPE en las mezclas, su deformación máxima disminuye gradualmente, sin embargo a partir de la formulación 30/70 se observa que la forma de las curvas de cedencia son muy similares a la curva reportada por el LDPE, 100/0, lo cual indica que el carácter rígido de este material supera a la capacidad de deformación del PIB por arriba de esta concentración.

.

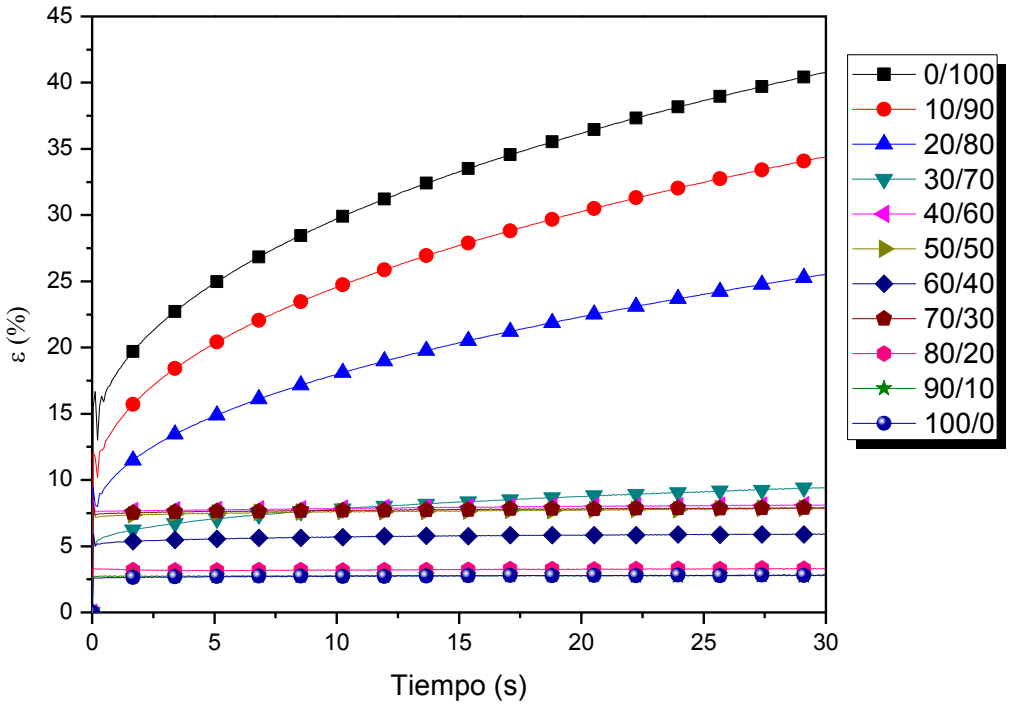

Figura 6 Curvas de cedencia de los compuestos LDPE/PIB

Tabla 3 Deformaciones máximas registradas en los compuestos LDPE/PIB

Muestra	$\varepsilon_{máx}$ **(%)**
0/100	40.78
10/90	34.38
20/80	25.52
30/70	9.39
40/60	8.13
50/50	7.86
60/40	5.89
70/30	7.87
80/20	3.28
90/10	2.81
100/0	2.83

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos por las técnicas de caracterización antes mostradas se encontró la procesabilidad del sistema LDPE/PIB es extremadamente mejorada al incrementarse el contenido de LDPE debido a la disminución en viscosidad experimentada. Con respecto a la capacidad de deformación de este sistema, el incrementar el contenido de LDPE contribuye a mejorar su fluidez y por lo tanto su procesabilidad, sin embargo la rigidez del mismo se verá incrementada.

Bibliografía

[1] Mascareñas, K. (2008).*Estudio del efecto compatibilizante del copolímero SAN en mezclas PVC/ABS*. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Avanzada. Unidad Altamira. Altamira, Tamaulipas

[2 Sánchez, S. y Rodríguez ,G. (2015). Mezclado y formulado de plásticos. Centro de Investigación en Química Aplicada

[3] Koning, C., Van Duin, M., Pagnoulle, C., Jerome, R.(1998). Strategies for compatibilization of polymer blends. *Prog. Poly. Sci.*, Vol. 23, pp. 707-757

[4] Utracki L.A.(2002).Polymer Blends Handbook. Kluwer Academic Publisher. Volume 1.

[5] Jelcic, Z., Holjevac-Grguric, T., Rek, V. (2005). Mechanical properties and fractal morphology of high-impact polystyrene/poly(styrene-b-butadiene-b-styrene) blends. *Polymer Degradation and Stability*, 90, pp. 295-302.
[6] Ibrahim, B. y Kadum, K. (2012). Morphology Studies ad Mechanical Properties for PS/SBS Blends. *International Journal of Engineering & Technology*, 12(3), 19-26.

[7]Favis, B. y Chalifoux, J. (1998). Influence of composition on the morphology of polypropylene/ polycarbonate blends. *Polymer*, 29, pp. 1761-1767.
[8] Weber, M. (2001). Polymer Blends: Materials with versatile properties. *Macromol.Symp*, 163, pp. 235-250.

[9]Huy, A., Adhikari, R., Lüpke, T., Michler, G., Knoll, K. (2004). Investigation of Morphology Formation in SBS Block Copolymer/Homopolymer Blends. *Polymer Engineering and Science*, 44(8), pp. 1534-1542
[10] Lee, J. Han, D. (2000). Evolution of polymer blend morphology during compounding inan twin-screw extruder. *Polymer*, 41, pp. 1799-1815

[11] Lee, J. y Han, D. (1999). Evolution of polymer blend morphology during compounding in an internal mixer. *Polymer*, 40, pp. 6277-6296

[12] Favis, B. y Therrien, D. (1991). Factors influencing structure formation and phase size in an immiscible polymer blend of polycarbonate and polypropylene prepared by twin-screw extrusion. *Polymer*, 32, pp. 1474-1481.
[13] Szabó P. y Epacher E. (2004). Miscibility, structure and properties of PP/PIB blends. *Materials Science and Engineering,* 383, pp. 307-315.
[14] Luengo, G. (1993*). Mezclas de polímeros. Estudio de su compatibilidad*, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento Química Física 1. Madrid
[15] Drobny, G. (2007). Handbook of Thermoplastic Elastomers. United States of America: William Andrew Publishing.
[16] Martuscelli, E., Silvestre, C., Abate, G. (1980). Morphology, crystallization and melting behaviour of films of isotactic polypropylene blended with ethylene-propylene copolymers and polyisobutylene. Istituto di Ricerche su Tecnologia dei Polimeri e Reologia de/CNR, 23, 229-237.
[17] Hameed, N., Thomas, S.P., Abraham, R. & Thomas S. (2007) Morphology and contact angle studies of poly(styrene-co-acrylonitrile) modified epoxy resin blends and glass fibre reinforced composites. Express Polymer Letters, 1(6), 345-355.
[18]Wang, J.(2004). *Elastic recovery of immiscible polymer blends*. School of Engineering. University of Pittsburgh.