

INFLUENCIA DE LA FORMULACION SOBRE LA CONDUCTA MECÁNICA Y TÉRMICA DE UNA ALEACIÓN POLIAMIDA/POLIPROPILENO

A. Valea, I. Mondragón, P. F. Salas, M. L. González

Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente.
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao- EUITI.
Universidad del País Vasco. Plaza La Casilla, 3, 48002- Bilbao, España.
Email: iapvapea@ehu.es

RESUMEN

Las mezclas de polímeros inmiscibles basadas en poliolefinas, ofrecen oportunidades atractivas para el desarrollo de materiales con nuevas propiedades. Sin embargo, las mezclas simples frecuentemente tienen propiedades mecánicas pobres y morfologías inestables. Así, la compatibilización de estas mezclas es necesaria. Si se toma como ejemplo, el polipropileno (PP) y la poliamida-6 (PA6) estos tienen muchas características complementarias. Por mezclado de PP y PA6 se obtiene un producto con propiedades equilibradas, incluyendo una reducción en la absorción de agua, propiedades mecánicas y térmicas razonables, procesabilidad mejorada y un costo aceptable. El primer objetivo de este trabajo, ha sido obtener aleaciones combinando las excelentes propiedades de los dos homopolímeros. La compatibilización de PA6/PP:60/40 se ha realizado con anhídrido maleico (AM). Se han investigado las mezclas compatibilizadas de PA6/PP/AM mediante ensayos mecánicos, térmicos y morfológicos. Las propiedades de los sistemas ternarios de PA6/PP/AM dependen de la morfología específica de la mezcla, la cual está determinada muchas veces por las diferencias de la tensión superficial de los componentes. Finalmente, a esta mezcla de PA6/PP:60/40 se le incorporan microesferas de vidrio y se estudia su morfología, su comportamiento mecánico y térmico en función de este nuevo componente.

Palabras clave: PA6/PP, compatibilización, microesferas.

ABSTRACT

The immiscible polymer mixtures based on poliolefinas offer attractive opportunities for the development of materials with new properties. Nevertheless, the simple mixtures frequently have poor mechanical properties and unstable morphologies. Therefore, the compatibilization of these mixtures is necessary. For instance, polypropylene (PP) and polyamide-6 (PA6) have many complementary properties. By blending PP and PA6 we obtain a product with balanced properties including reduced absorption of water, reasonable mechanical and thermal properties, improved processability and an acceptable price. The primary objective of this work was to obtain alloys combining the excellent properties of the two homopolymers. The maleic anhydride (AM) was applied as compatibilizer for PA6/PP:60/40 blends. Compatibilization of PA6/PP/AM blends was investigated by mechanical, thermal and morphological methods. The properties of the ternary system PA6/PP/MA depend on the specific blend morphology which is determined mainly by the differences of the surface tension of the components. Finally, to this mixture of PA6/PP:60/40 get up microbeads of glass and its morphology, its mechanical and thermal behaviour based on this new component studies.

Key words: PA6/PP, compatibilization, microbeads.

1. INTRODUCCIÓN

La mezcla de polímeros es un método muy conocido para el diseño de materiales macromoleculares con propiedades definidas para aplicaciones específicas, y en la mayoría de los casos es más versátil y una alternativa económica en la síntesis de nuevos materiales poliméricos. Por este motivo, tiene un gran interés el desarrollo industrial de sistemas poliméricos de mezclado.

El mezclado de dos o más polímeros ofrece un camino interesante a la hora de modificar las propiedades de los termoplásticos. El principal puede ser, por ejemplo la mejora de las propiedades de termoplásticos comunes o reducir el coste de polímeros ingenieriles de altas prestaciones.

Se acepta que debido a la baja entropía de la mezcla el producto resultante de la mezcla de dos polímeros es un sistema inmiscible compuesto por dos fases, donde el componente con mayor concentración forma la matriz continua, y el segundo componente se encuentra disperso en forma heterogénea en pequeños dominios. Estos sistemas presentan alta tensión interfacial y una mala adhesión, dando como resultado unas bajas propiedades mecánicas[1,2]. Para mejorar las propiedades de este tipo de mezclas, una serie de compuestos denominados agentes compatibilizantes se añaden a las mezclas. Estos compuestos generan interacciones interfaciales entre los componentes, dando como resultado una reducción en la energía entre las distintas fases, un

aumento en la adhesión y mejora durante los procesos de mezclado[3].

En los últimos años se ha incrementado el interés en el desarrollo de las mezclas de polímeros basadas en polipropileno y poliamida[4-10]. El polipropileno (PP) es un polímero pseudo-dúctil que presenta buenas propiedades mecánicas, poca absorción de humedad y presenta un bajo costo, sin embargo muestra baja resistencia a agentes químicos y al calor. Los plásticos de poliamida (PA) son ampliamente empleados en la fabricación de piezas de automóviles, productos ingenieriles y fibras textiles debido a su alta resistencia, módulo mecánico y buena procesabilidad. Sin embargo la poliamida generalmente presenta gran afinidad por el agua y sus propiedades mecánicas se ven muy afectadas por la absorción de esta. Por ello la PA frecuentemente se mezcla con poliolefinas, tales como el PP, que a pesar de tener un bajo módulo, mejora las propiedades del material, debido a su baja absorción de agua y así mismo reduce el costo final.

Las mezclas de polímeros PP/PA son inmiscibles, lo que genera compuestos con muy bajas propiedades mecánicas y su uso está limitado en numerosas situaciones. Una mejora significativa de las propiedades de la mezcla se puede conseguir por la adición de agentes compatibilizantes, que generalmente son polímeros funcionalizados con anhídrido maleico (AM) ó ácido acrílico, tales como PP-AM, SEBS (estireno-etileno-butadieno-estireno)-AM y EPDM (copolímeros de etileno-propileno-dieno)-AM. Durante el proceso de fundido-mezclado los polímeros funcionalizados pueden quedar enganchados *in situ* con la PA en una reacción que involucra los grupos anhídrido succínico del anhídrido maleico con los grupos final amina de la PA, produciendo un aumento considerable en la unión entre las dos fases. Recientemente, el uso de copolímeros formados *in situ* como compatibilizantes en la mezcla de polímeros ha atraído la atención debido a su conveniencia y simplicidad. El copolímero POE (elastómero de polietileno y octano) ha sido empleado[11] y comparado con un elastómero convencional como es la poliolefina EPDM, el POE presenta un mezclado más rápido y mejor dispersión cuando se mezcla con PP[12].

El objetivo del presente trabajo es el estudio sistemático y consecutivo de las distintas etapas involucradas en el proceso para la compatibilización de mezclas de PA/PP, y el desarrollo de la tecnología necesaria para lograr materiales con propiedades superiores. Se ha estudiado el comportamiento de mezclas poliméricas de PA6 y PP (90/10-75/25-60/40-10/90), como sistemas binarios y cuando a éstas se les ha añadido un agente de acoplamiento. Luego el estudio se centró en seleccionar alguna de las aleaciones anteriores, de acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos y térmicos.

Por último, a la mezcla objeto de estudio (PA6(T)/PP: 60/40) se le ha incorporó un material inorgánico micro-métrico del tipo microesferas de vidrio (Fillite) todo esto con los inconvenientes de mezclado que conlleva;

cambio en la temperatura de mezclado, en la velocidad, en las condiciones de transformación, etc.[13]. El agregado de cargas de refuerzo al PP es reconocido como un medio para la mejora de las propiedades físicas del polímero y su performance a alta temperatura. Sin embargo, muchas veces la potencialidad de estos compuestos se ve limitada por una mala adhesión matriz-refuerzo, lo que da lugar al deterioro del comportamiento mecánico. Por lo tanto, es necesaria la compatibilización de estas mezclas.

Una vez se obtuvo la matriz deseada, se procedió a efectuar las probetas, ensayos, estudios de morfología (SEM), pruebas mecánicas y térmicas correspondientes, para establecer un sistema comparativo respecto a las aleaciones que no tenía el componente de refuerzo, como lo son las microesferas de vidrio.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1. Materias Primas

Para la composición de las matrices se ha empleado poliamida-6 (C206) de TECHNYL(la cual se llamará en lo sucesivo: PA6(T)), polipropileno (PP) Isplen T5 cuyo proveedor es REPSOL YPF y como compatibilizante para la elaboración de sistemas ternarios se ha empleado un funcionalizado de PP con anhídrido maleico (PP-g-AM), conocido como G-3003, (para efectos del trabajo se llamará AM) suministrado por EASTMAN CHEMICAL Co. en concentraciones de 0,5-1,0-1,5% en peso. Finalmente, las microesferas incorporadas como cargas de refuerzo dentro de la matriz tanto para sistema binario, como para el sistema cuando esta compatibilizado, son microesferas fillite huecas, sin tratamiento superficial para la compatibilización, y en una cantidad de 3 y 5% en peso.

2.2. Procesado

Debido a la gran capacidad de la PA6 de absorber agua fácilmente, es necesario efectuar un secado previo de la granza en una estufa de vacío a 70 °C durante 12 horas. Se han preparado mezclas en una extrusora Davies Standard Co. [14], de husillo sencillo de 18 mm, con tres zonas reguladas de temperatura aparte de la boquilla y con baño de enfriamiento. Para incorporar las microesferas en la matriz, se hizo necesario realizar dos operaciones de mezclado en la extrusora debido a que se presentaba una concentración de éstas en la primera parte del material extruido. El primer proceso de mezclado se llevó a cabo regulando la temperatura (250 ± 10 °C) y la velocidad (11 ó 19 rpm), de acuerdo con las diferentes composiciones de estos materiales. El producto obtenido de este mezclado se pelletiza y se obtiene una granza que es sometida nuevamente al proceso de mezclado-fundido a una temperatura de 270 ± 10 °C, y a la misma velocidad del mezclado anterior, para obtener una matriz homogénea. Una vez se ha conseguido esto, se vuelve a pelletizar el material para

luego moldear probetas; éstas probetas se someten a ensayos determinantes, que reflejaran el resultado de una buena o mala compatibilización de los materiales implicados en la mezcla. Las probetas se han fabricado a una presión de $(1070 \pm 70) \cdot 10^5$ Pa y $(277,5 \pm 7,5)$ °C, en una prensa de inyección automática Battenfeld Plus 250 que posee moldes diseñados de acuerdo a la geometría establecida por la norma UNE 53023-86. Se ha tomado en consideración la norma UNE 53003 – ISO 291 referente al acondicionamiento de probetas y atmósferas relativas a los ensayos. Al final de este proceso se determina cual es el porcentaje de compatibilizante adecuado para el que los valores de las propiedades mecánicas y térmicas resulten óptimas cuando se incorporan microesferas (fillite) en la matriz.

2.3. Morfología de las mezclas

La morfología ha sido estudiada por microscopía electrónica de barrido (SEM), con un equipo JEOL 5510. La superficie de las muestras de rotura, de probetas que han sido sometidas a ensayos de impacto o de resistencia a tracción, fueron metalizadas con Au/Pd para mejorar la conducción del haz de electrones en las matrices de PA6/PP/PP-g-AM/ y las que tienen incorporadas las microesferas (fillite).

2.4. Ensayos térmicos

La temperatura de flexión bajo carga o HDT (cf. UNE 53075) se ha determinado con un equipo Deflex Jaime Bot i Riera, con comparadores de precisión $\pm 0,01$ mm, y la velocidad de calentamiento del ensayo es de 50 °C/h.

La temperatura de fusión (T_m), entalpía de fusión (ΔH_m) y la cristalinidad (X_w) de las aleaciones, se determinaron mediante los termogramas de calorimetría diferencial de barrido (DSC) que se obtuvieron en un equipo Mettler Toledo DSC 822 empleado para ello.

2.5. Ensayos mecánicos

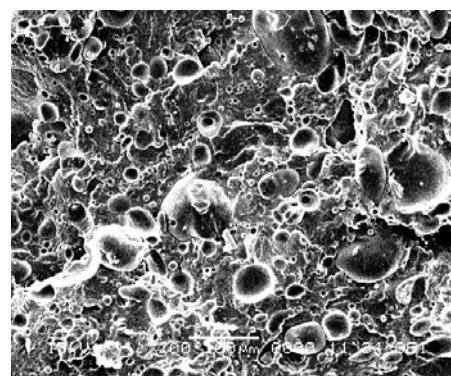
Las propiedades en tracción han sido llevadas a cabo en una máquina universal de ensayos Ibertest, modelo ELIB 50W de acuerdo con norma UNE 53023, a una velocidad de desplazamiento de la cruzeta de 5 mm/min y para medir el alargamiento se emplearon pinzas extensométricas de 25mm.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

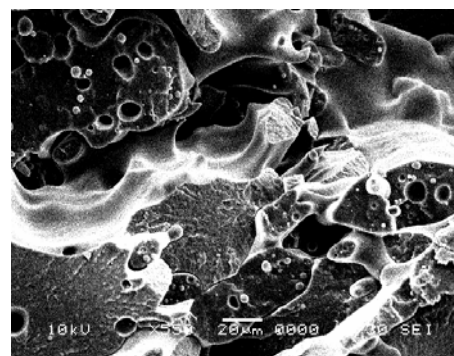
3.1. Morfología

El efecto del tipo de compatibilizante, puede verse comparando las morfologías de las mezclas. La Figura 1, muestra aleaciones sin y con presencia del agente de acoplamiento. La Figura 1a, es una micrografía de una mezcla no compatibilizada 60/40 de PA6(T)/PP. La inmiscibilidad de los dos componentes resulta visible,

observándose que la fase dispersa (PP) no se ha disgregado sobre la fase continua (PA) de la matriz. Las partículas de PP presentan un diámetro mayor ($50-40 \mu\text{m}$), debido a la escasa compatibilización. La presencia de agujeros entre las partículas esféricas de la fase dispersa de PP y la fase continua de PA6, es una prueba de la falta de adhesión entre los homopolímeros. La micrografía de la Figura 1b, muestra una disminución importante en el tamaño de partícula del PP ($5-10 \mu\text{m}$), reduciéndose también la tensión interfacial entre las fases debido a la incorporación del agente de acoplamiento AM (1,5% en peso) y como consecuencia se presenta una especie de estructura bi-continua. Este comportamiento esta de acuerdo con las mejoras indiscutibles de las propiedades mecánicas y térmicas, lo cual se puede atribuir a que el sistema binario se homogeniza y reduce el tamaño de sus partículas a medida que se agrega compatibilizante.



a)PA6/PP: 60/40

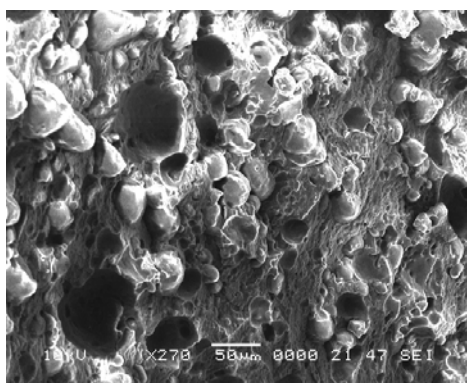


b)PA6/PP/PP-G-AM: 60/40/1,5

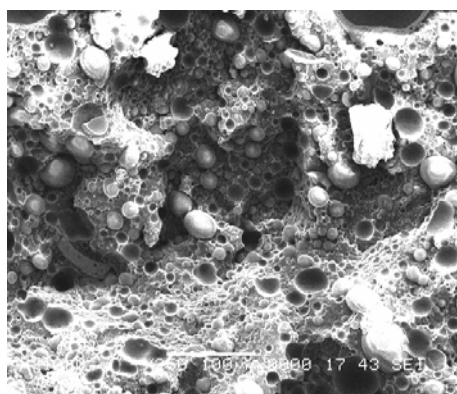
Figura 1. Micrografía electrónica de barrido (SEM) de una aleación PA6(T)/PP con y sin compatibilizante (G-3003).

Las Figuras 2a y 2b, son micrografías que muestran el comportamiento de la aleación PA6/PP:60/40 cuando están y no están compatibilizadas y además tienen incorporadas las microesferas. En estas Figuras se puede ver que el diámetro de partícula de polipropileno disperso disminuye al aumentar la concentración de compatibilizante en la aleación (de 0 a 1,5% en peso). Pero además en la Figura 2a se puede observar que aparte de la mezcla binaria de PA6(T)/PP:60/40, está presente un tercer componente que son las microesferas de vidrio (5% en peso). Hay muchas microesferas y se

ven los agujeros dejados por ellas después de que las probetas ensayadas en pruebas de impacto han roto. El hecho de que este tipo de microesferas (fillite), no tengan tratamiento superficial de acoplamiento, dificulta la compatibilización de estas con la matriz de PA6(T)/PP, en el proceso de mezclado-fundido; por esta razón las microesferas al producirse la rotura se separan de la matriz y dejan esos agujeros. La Figura 2b, muestra que el acoplamiento de las microesferas en esta matriz, mejora por la presencia del agente de compatibilización (G-3003), en un 1,5% en peso. Esto es muy favorable para las propiedades mecánicas de la mezcla. Cuanto más cubiertas estén las microesferas, mayor será el área interfacial y mas carga soportarán. Y cuando mayor es el área interfacial, la energía puede ser transferida con mayor eficiencia de una fase a la otra, lo cual se traduce en mejores propiedades mecánicas. También se pueden observar la presencia de agujeros (en menor cantidad) dejados por la microesferas, que se han desprendido después de la rotura, en sitios donde el compatibilizante no ha ejercido el efecto deseado.



a)PA6/PP/ G-3003/Fillite:60/40/0/5



b)PA6/PP/G-3003/Fillite:60/40/1,5/5

Figura 2. Micrografía electrónica de barrido (SEM) de una aleación PA6(T)/PP con y sin microesferas

3.3. Propiedades Térmicas

La adición del agente de compatibilización, disminuye la tensión interfacial entre las fases aumentando la adhesión entre fases y disminuyendo el tamaño de la fase dispersa. Esto produce una mejora en las propiedades mecánicas y térmicas en relación con las mezclas binarias. Después de mezclar y ensayar una serie de compo-

siciones de PA6/PP (90/10-75/25-60/40-10/90) es importante destacar que en la aleación 60/40 de PA6/PP con PA6 de TECHNLYL, es donde se presenta el mayor valor de *HDT* para la mezcla con adición del compatibilizante G-3003 en proporción del 1,5% cuyo valor es de 52,6 °C, registrando un aumento de 16,9% respecto a la misma composición sin compatibilizante que tiene un *HDT* de 45 °C, esto se puede ver claramente en la Tabla 1. Según las micrografías observadas, esto se puede atribuir a que el compatibilizante en esta concentración (1,5%) y para esta proporción de PA6(T)/PP:60/40 se adhiere mejor a las partículas de la fase dispersa (PP) de tal forma que se transmiten esfuerzos a lo largo de toda la matriz y la matriz es capaz de soportar mayor temperatura de reblandecimiento bajo carga. Para el caso de la aleación PA6(T)/PP/G-3003 en proporción 60/40/1,5 cuando esta tiene incorporada 3% de fillite y que tiene una *HDT* de 59,1 °C, el aumento es del 21,9% en *HDT* en comparación con la temperatura de deflexión térmica que no tiene compatibilizante (48,5 °C) y del 31,3% respecto a la aleación PA6(T)/PP:60/40 sin microesferas y sin compatibilizante (*HDT*=45 °C). Este es un resultado muy representativo, sobre todo cuando el sistema lleva incorporado microesferas de vidrio. Sin embargo esta temperatura se ve incrementada aún más cuando se incorpora al sistema 5% de fillite; por ejemplo el aumento de la temperatura *HDT* (61,8 °C) de la aleación PA6(T)/PP/G-3003:60/40/1,5 cuando esta tiene incorporada 5% de fillite es de 23,4% respecto al mismo sistema que no tiene compatibilizante (*HDT*=50,1 °C) y de 37,3% con la misma aleación sin compatibilizar y sin añadir las microesferas (*HDT*=45 °C).

Compatibilizante	T° HDT (°C)		
	0% Fillite	3% fillite	5% fillite
G-3003			
0	45,0	48,5	50,1
0,5	45,3	56,7	55,6
1,0	47,9	58,2	60,2
1,5	52,6	59,1	61,8

Tabla 1. Medida de la Temperatura de Deflexión Térmica (*HDT*) para aleaciones 60/40: PA6(T)/PP/ G-3003/Fillite

La incorporación de un segundo componente al polímero deberá inducir cambios en su estructura cristalina, y en la relación amorfo/cristalino de la fase polimérica, siendo el efecto más sobresaliente la inducción de nucleación estable en el sistema. Este puede ser el caso de las mezclas en las que un componente predomina sobre el otro. Las interacciones entre dos polímeros semicristalinos, y que uno de los componentes actúe de nucleante, tiene lugar en muchos sistemas siempre que uno de los componentes tenga una temperatura de fusión suficientemente más alta que la del otro componente; éste es el caso de las mezclas de polipropileno isotáctico, iPP, con PA6.

Si se comparan los diagramas obtenidos para el PP y la PA6(T) por separado, con el que se obtiene para una

mezcla de los dos componentes, resulta una curva que presenta dos picos (Figura 3), cada uno de los cuales corresponde a cada componente que forma la aleación, lo que demuestra la inmiscibilidad de los dos componentes. Si el termograma únicamente presentara un pico, significaría que la mezcla se encuentra totalmente compatibilizada. Al comparar las curvas obtenidas en la Figura 3, y los resultados de T_m para el PP de la Tabla 2 para la mezcla PA6/PP:60/40, con las del mismo sistema pero con 3 y 5% de microesferas (fillite), resultan temperaturas de fusión menores pero cercanas en los picos de las mezclas PA6/PP sin compatibilizar, y además con carga de microesferas. Sin embargo los valores de la entalpía y de la cristalinidad, se han visto reducidos comparando; por ejemplo, la entalpía de fusión y la cristalinidad del PP en la mezcla PA(6)/PP/G-3003/Fillite:60/40/0/3 que es de 24,59 J/g y de 12,94% respectivamente, con el valor de la entalpía y la cristalinidad del PP homopolímero que es de 72,88 J/g y de 38,25% respectivamente. Al mismo tiempo la aleación PA(6)/PP/G-3003/Fillite: 60/40/0/5 va incrementando sus valores de entalpía y cristalinidad y esto puede ser debido al cambio en la nucleación del PP. Este efecto se ve aun mas favorecido en los resultados para el PP de la Figura 4 y en la Tabla 2, cuando al sistema PA(6)/PP:60/40 se le incorpora 1% de compatibilizante G-3003. Esto indica que se presenta un ligero aumento de la miscibilidad entre ambos componentes debido a la presencia del agente de compatibilización que beneficia la nucleación del PP.

Si se observan los resultados de la temperatura de fusión, entalpía y cristalización de la PA6(T) en las Figura 3 y 4 y en la Tabla 3 el efecto del compatibilizante mejora la cinética de nucleación de cristales de la PA6; tanto así que los valores de T_m para el pico de la PA6(T) cuando esta se encuentra en aleación, se encuentran más cercanos a la PA6(T) homopolímero ($T_m = 221,26\text{ }^\circ\text{C}$), que en el caso del PP. Ahora, en el caso de la entalpía de fusión y de cristalinidad de la PA6(T) homopolímero, cuyos valores son 67,40 J/g y 32,25% respectivamente, se puede ver que los resultados más cercanos son los de las aleaciones sin compatibilizar con una entalpía de fusión igual a 40,19 J/g y una cristalinidad del 19,23% cuando la carga de microesferas es del 3% dentro de la aleación. Como se ha mencionado anteriormente, esto puede deberse a que el sistema binario facilita la incorporación de este porcentaje de microesferas, pero que si el porcentaje se aumenta, la incorporación resulta peor. Si por ejemplo se compara los valores de la entalpía y de la cristalinidad de las composiciones PA6/PP/G-3003:60/40/1 cuando estas tiene 3 y 5% de fillite, se puede ver que a medida que aumenta la concentración de microesferas los valores de entalpía y de cristalinidad aumentan. Esto puede ocurrir como consecuencia de la adición del compatibilizante G-3003 en 1%, lo cual ha beneficiado a la incorporación de las microesferas tal como se puede ver en las micrografías.

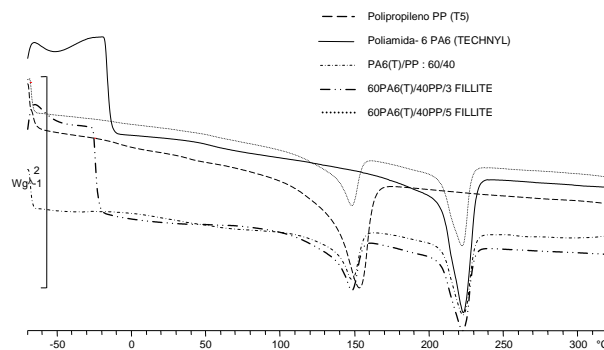


Figura 3. DSC de aleaciones PA6(T)/PP:60/40 sin G-3003, con 3% y 5% de microesferas (fillite)

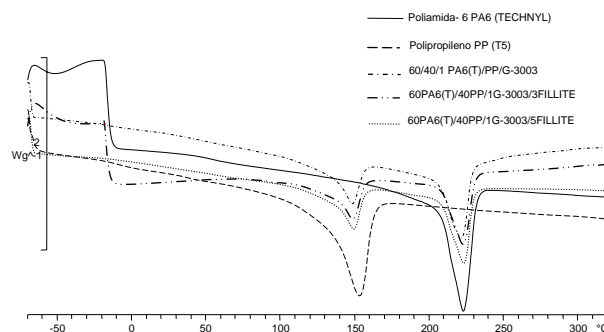


Figura 4. DSC para aleaciones PA6(T)/PP/G-3003:60/40/1, con 3% y 5% de microesferas (fillite)

Pico de PP			
PA/PP/G-3003/Fillite	T_m ($^\circ\text{C}$)	ΔH_m (J/g)	Xw (%)
60/40/0/0	147,43	23,55	12,39
60/40/1/0	146,66	21,80	11,47
60/40/0/3	147,25	24,59	12,94
60/40/1/3	148,32	24,06	12,66
60/40/0/5	147,36	24,76	13,03
60/40/1/5	148,61	25,23	13,28
PP	151,89	72,88	38,25

Tabla 2. Resultados DSC para el PP en las aleaciones

Pico de PA6(T)			
PA/PP/G-3003/Fillite	T_m ($^\circ\text{C}$)	ΔH_m (J/g)	Xw (%)
60/40/0/0	221,08	39,27	18,78
60/40/1/0	220,63	45,70	21,86
60/40/0/3	221,14	40,19	19,23
60/40/1/3	222,11	37,05	17,73
60/40/0/5	220,99	36,58	17,50
60/40/1/5	222,21	37,99	18,18
PA6(T)	221,26	67,40	32,25

Tabla 3. Resultados DSC para PA en las aleaciones

3.2. Propiedades Mecánicas

En la Figura 5 se puede analizar la variación del *módulo en tracción* tanto para la aleación PA6(T)/PP:60/40 sin compatibilizar, como compatibilizada y para la aleación cuando se le incorporan las microesferas. Para el caso de la aleación PA6(T)/PP:60/40 el incremento en el módulo de tracción es muy representativo, más cuando el sistema lleva incorporado compatibilizante

G-3003. El valor del módulo es de 3157,2 MPa en un sistema PA6(T)/PP/AM(G-3003):60/40/1,5, lo que representa un aumento del 203% respecto al sistema PA6(T)/PP sin compatibilizante con un módulo de 1041,3 MPa. El aumento es mayor cuando se compara el módulo de 4353,0 MPa para el sistema PA6(T)/PP/G-3003:60/40/1,5 con 3% de microesferas, con el del mismo sistema PA6(T)/PP:60/40 sin microesferas y sin compatibilizar (1041,3 MPa); para el cual el crecimiento del módulo resulta ser de 318,15%.

Como se puede ver en la Figura 5, los valores de módulo de tracción para las composiciones que llevan incorporado el 3% de microesferas (fillite) resulta ser muy cercano a los resultados con 5% de fillite en los valores donde se tiene 0 y 0,5% de compatibilizante. A partir de ahí los valores comienzan a alejarse, y esto podría deberse a que el acoplamiento de las cargas de microesferas en la mezcla, resulta ser más efectiva para el 3% que para cuando se incluye en el sistema el 5% de microesferas.

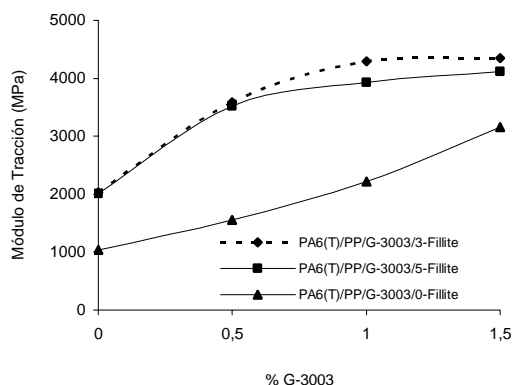


Figura 5. Medida del Módulo de Tracción para aleaciones PA6(T)/PP/G-3003:60/40/1, con y sin microesferas (fillite)

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los ensayos para el módulo de tracción, y HDT, se han visto mejorados cuando el sistema binario es compatibilizado y esto se puede explicar, porque al tener mezclas incompatibles de PA6(T)/PP se pueden compatibilizar usando un agente de acoplamiento que permita reducir la tensión interfacial entre las fases; el anhídrido maleico (AM) empleado en esta investigación ha proporcionado a los sistemas ternarios mejores propiedades que los sistemas binarios. Los copolímeros que se han formado durante la extrusión, reducen la tensión interfacial e incrementan la adhesión entre las fases, permitiendo una dispersión fina y una morfología más estable como se puede ver en las micrografías.

Los valores del módulo de tracción, aumentan con la concentración de compatibilizante. Pero además se observa que en las aleaciones con microesferas, también aumenta este valor, siendo mas significativo cuando tienen el 3% de fillite.

Existen favorables variaciones de las propiedades térmicas sobre todo para HDT, de todas las aleaciones PA6(T)/PP cuando son compatibilizadas con G-3003 y aún más cuando llevan incorporadas el 5% de microesferas. Los mejores resultados para entalpía de fusión y cristalinidad del PP en las mezclas, es cuando el sistema está compatibilizado y tiene 5% de fillite. Para el caso de la PA6(T) los resultados son un poco dispersos pero se ven mejorados cuando el sistema esta compatibilizado y sin microesferas y cuando se añaden las microesferas en 3% y 5% los resultados mejoran.

REFERENCIAS

- [1] Macknight, W.J., Lenz, R.W., Musto, P.V., Somani, R.J. *Polym. Eng. Sci.*, **25**, 1124 (1985)
- [2] Wu, S. *Polym. Eng. Sci.*, **27**, 335 (1987)
- [3] Heinkens, D., Barentsen, W. *Polymer*, **18**, 69 (1979)
- [4] Modic, M.J.; Pottick, L.A. *Polym. Eng. Sci.*, **33**, 819 (1993)
- [5] Rosch, J. *Polym. Eng. Sci.*, **35**, 1917 (1995)
- [6] Wong, S.C., Mai, Y.W. *Polymer* **41**, 5471 (2000)
- [7] Wong, S.C., Mai, Y.W. *Polymer* **40**, 1553 (1999)
- [8] Rosch, J., Mulhaupt, R. *Polymer Bull.* **32**, 697 (1994)
- [9] Tseng, F.P., Lin, J.J., Tseng, C.R., Chang, F.C. *Polymer* **42**, 713 (2001)
- [10] Wilkinson, A.N., Laugel, L., Clemens, M.L., Harding, V.M., Marin, M. *Polymer* **40**, 4971 (1999)
- [11] Yu, Z.Z.; Ou, Y.C.; Hu, G.H. *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**, 1711 (1998)
- [12] Zeng, N.; Bai, S.L.; Sell, C.G.; Hiver, J-M.; Mai, Y.W. *Polym. Int.* **76**, 1285 (2002)
- [13] Salas, P.F, Mondragón, I., González, M.L, Valea, A. *Compatibilización y Propiedades de Aleaciones de PP/PA6*. IX Congreso Nal de Propiedades Mecánicas de Sólidos. Huelva, (2004)
- [14] Larsen, K.; Kotlar, H.K.; Gustafson, C.F. *J Appl. Polym. Sci.*, [75] 355(2000).