

## INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LA CRISTALIZACIÓN Y PROPIEDADES TENSILES DE MEZCLAS 80/20 DE PP/PA6 Y PP/PC

Vladimir A. De Amicis<sup>1</sup>, Marco A. Moncerrate<sup>1</sup>, Fouad Laoutid<sup>2</sup>, Leila Bonnaud<sup>2</sup>, Phillipe Dubois<sup>2</sup>, Johan J. Sánchez<sup>1\*</sup>, Alejandro J. Müller<sup>1\*</sup>

1: Grupo de Polímeros USB, Dpto. de Ciencia de los Materiales, Universidad Simón Bolívar, Caracas 1080-A, Venezuela

2: Center of Innovation and Research in Materials & Polymers (CIRMAP), Lab. of Polymeric and Composite Materials, University of Mons & Materia Nova Research Center, Bélgica

\* e-mail: jjsanchez@usb.ve, amuller@usb.ve

## RESUMEN

Se estudió el efecto de la adición de 5% de una nanosílice (NS) hidrofóbica sobre la cristalización y propiedades tensiles del PP y de mezclas ricas de éste (80%) con poliamida 6 (PA6) o con policarbonato (PC). Al evaluar la morfología de fases de las mezclas por microscopía electrónica se verificó el efecto “emulsificante” de la NS al reducir el tamaño de la fase dispersa (PA6 o PC). Se estudió la cinética de nucleación y de cristalización de la matriz de PP, destacando la acción nucleante de la PA6 sobre el PP. Finalmente, se evaluaron las propiedades tensiles, en donde el efecto de la NS en todas las mezclas fue reducir apreciablemente la deformabilidad en comparación con el PP puro, a pesar de haber promovido una disminución del tamaño de partícula, posiblemente por una pobre adhesión interfacial en las mezclas.

**Palabras Claves:** Polipropileno (PP), mezclas inmiscibles, nanocargas, propiedades tensiles, cristalización.

## ABSTRACT

The effect of adding 5% of a hydrophobic nanosilica (NS) on the crystallization and tensile properties of PP and PP rich blends (80%) with polyamide 6 (PA6) or polycarbonate (PC) were studied. Upon evaluating the phase morphology of the blends by electron microscopy an "emulsifier" effect of the NS was verified since the size of the dispersed phase (PA6 or PC) was substantially reduced. The kinetics of nucleation and crystallization of the PP matrix was studied, highlighting the nucleating activity of PA6 on the PP. Finally, the tensile properties were evaluated, where NS produced a significant reduction of the deformability of all the blends as compared with pure PP. In spite of promoting a particle size reduction, a poor interfacial adhesion of blend components may be impairing the deformation of the PP matrix.

**Keywords:** Polypropylene (PP), immiscible blends, nanofillers, tensile properties, crystallization.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los polímeros mezclados con nanocargas inorgánicas han cobrado mucho interés, ya que en algunos casos las mejoras conseguidas en las propiedades son mayores que la de los polímeros cargados convencionalmente, con sólo utilizar una fracción volumétrica igual o menor al 5% de nanocarga [1]. Así, el objetivo de este trabajo fue estudiar la cristalización y propiedades tensiles de una mezcla rica en PP (80%), con una fase dispersa semicristalina o amorfa, cuya dispersión pudiera ser regulada con la adición de nanosílice.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados fueron: un PP isotáctico, una poliamida 6 (PA6), un policarbonato (PC) reciclado y una nanosílice (NS) pirogénica tratada con hexametil-disiloxano para incrementar su hidrofobicidad. Las mezclas, con y sin NS, fueron obtenidas por mezclado en fundido y contenían un 80% en peso de PP y un 20% de fase dispersa (PA6 ó PC). En las mezclas con NS, ésta es un 5% en peso del total (ver ref. [2] para detalles sobre los materiales y preparación de las mezclas). A partir de las mezclas, se moldearon por compresión a 230°C, láminas con un espesor de 0,5 mm enfriados bruscamente. Bajo las mismas condiciones experimentales citadas en la ref. 2: se evaluó la morfología de fases de las mezclas por Microscopía Electrónica de Barrido y de Transmisión (SEM y TEM), la cinética de nucleación y de crecimiento esferulítico por Microscopía Óptica de Luz Polarizada (PLOM), y se estudió el comportamiento de cristalización y fusión “estándar” de los materiales por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). Finalmente, se realizaron ensayos de tracción a 10 mm/min y 23°C, usando probetas halterio ASTM D638-10 tipo V, troqueladas de las láminas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Del estudio morfológico por SEM se observó que la NS reduce fuertemente el tamaño de partícula de la fase dispersa con una distribución más homogénea de tamaño. Con apoyo de TEM, tal reducción es atribuida a la ubicación selectiva de la NS en la intercara entre la fase dispersa y la matriz de PP (Figura 1), actuando como un “emulsificante”, evitando la coalescencia del componente minoritario [2,3]. Los resultados obtenidos para la velocidad de crecimiento esferulítico indican que no existe mayor influencia de la fase dispersa (PA6 o PC) o de la NS sobre la cinética de cristalización del PP. Mientras que por DSC, no se observó mayor variación de la cristalinidad del PP en las polimezclas y se detectó una cristalización fraccionada de la PA6 cuando se adiciona NS (ver flecha en Figura 2) [2]. En cuanto a la densidad de núcleos realizado por PLOM, los resultados mostraron que existe un fuerte efecto nucleante de la PA6 sobre el PP (con y sin NS), aspecto que se observó en menor grado en los barridos de enfriamiento por DSC, mientras que para los demás materiales (PP/NS y mezclas PP/PC con y sin NS) no se observaron variaciones importantes.

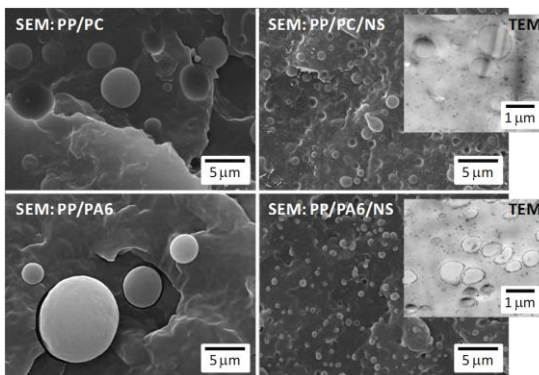


Figura 1. Morfología de fases de las mezclas

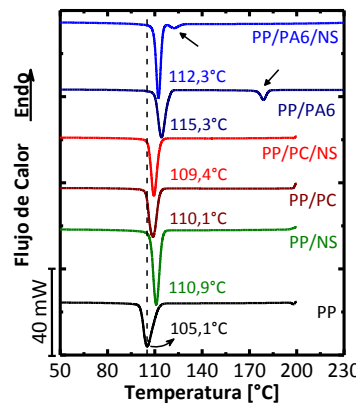


Figura 2. Barridos de Enfriamiento en DSC

Tabla 1. Propiedades tensiles de los materiales estudiados.

Material	$E$ [MPa]	$\epsilon_b$ [%]
PP	940 ± 60	680 ± 60
PP/NS	1120 ± 30	370 ± 70
PA6	840 ± 90	320 ± 70
PP/PA6	1050 ± 70	5 ± 2
PP/PA6/NS	1020 ± 80	3,7 ± 0,2
PC	1750 ± 50	53 ± 0,4
PP/PC	1190 ± 90	320 ± 60
PP/PC/NS	1290 ± 80	2,6 ± 0,2

De los ensayos de tracción (Tabla 1), se observó poca variación del módulo elástico ( $E$ ) cuando al PP se le adiciona NS, PA6 y PA6/NS, mientras que hay un leve aumento con PC. En cambio, destacan las diferencias en la deformación a la ruptura ( $\epsilon_b$ ) al comparar el PP puro con el resto de los materiales. La NS le causa al PP una pérdida de su deformabilidad, que ha sido explicada por un mecanismo de descohesión entre PP y NS [4]. Por otro lado en las mezclas, aunque la NS mejoró la dispersión, éstas se comportan aún más frágiles, lo que sugiere que la NS no promueve una buena transferencia de esfuerzos entre la matriz y la fase dispersa, posiblemente por una pobre adhesión interfacial y que el tamaño de la fase dispersa podría no ser el adecuado para controlar la propagación de grietas a partir de las cavitaciones en la interfase por la pobre adhesión.

### 4. CONCLUSIONES

La NS genera una importante reducción y homogeneidad del tamaño de la fase dispersa de las mezclas, efecto atribuido a la ubicación preferencial de la NS sobre la intercara de los polímeros, actuando como “emulsificante”. Sin embargo, las propiedades tensiles muestran que el PP pierde fuertemente su deformabilidad cuando se le adiciona NS así como al ser mezclado con PA6 o PC. En cuanto a la cristalización, el crecimiento esferulítico propio del PP no se vió mayormente afectado así como la cristalinidad, detectándose sólo un efecto nucleante al adicionar PA6.

### 5. REFERENCIAS

- [1]. Tjong SC. Mat. Sci. Eng. R 2006; 53(3-4): 73-197.
- [2]. Laoutid F, Estrada E, Michell RM, Bonnaud L, Müller AJ, Dubois P. Polymer 2013; 54(15): 3982-3993.
- [3]. Laoutid F, François D, Paint Y, Bonnaud L, Dubois P. Macromol. Mater. Eng. 2013; 298(3): 328-338.
- [4]. Zhou RJ, Burkhart T. J. Mater. Sci. 2011; 46(5): 1228-1238.