

## **Desarrollo de materiales compuestos derivados de materiales reciclados Policarbonato (PC) / Polipropileno (PP)**

**Alberto Núñez Moreno**

*Centro de investigación de materiales avanzados*  
a291725@gmail.com

**Erika I. López-Martínez**

*Centro de investigación de materiales avanzados*  
erika.lopez@cimav.edu.mx

**Sergio G. Flores- Gallardo**

*Centro de investigación de materiales avanzados*  
sergio.flores@cimav.edu.mx

**Tématica general:** Materiales

---

### **Resumen**

En la presente investigación se elaboraron compósitos a partir de materiales reciclados, los cuales fueron el policarbonato y el polipropileno. A dichos compuestos se les agregó un agente compatibilizante de tipo polimérico base acrílica. Las mezclas PP+PC y PP+PC+Agente compatibilizante fueron realizadas con una cámara de mezclado interno Brabender. Los compósitos fueron analizados mediante las técnicas de caracterización comúnmente empleadas para los polímeros convencionales, las cuales fueron: reometría rotacional, así como las técnicas de calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico. El proceso experimental arrojó la viscosidad de las mezclas poliméricas PP+PC+Agente compatibilizante fue mayor respecto a la mezcla sin agente compatibilizante por lo cual se deduce que la acción compatibilizante del agente empleado fue efectiva.

**PALABRAS CLAVES:** policarbonato, polipropileno, agente compatibilizante, mezclas poliméricas, mezclas recicladas.

### **Abstract**

In the present investigation composites were elaborated from recycled materials, which were polycarbonate and polypropylene. To mentioned compounds were added a compatibilizing agent of acrylic base polymer type. The PP + PC and PP + PC + compatibilizing agent mixtures were made with an internal Brabender mixing chamber. The composites were analyzed using the characterization techniques commonly used for conventional polymers, which were: rotational rheometry, as well as differential scanning calorimetry techniques and thermo gravimetric analysis. The experimental process yielded the viscosity of the polymer blends PP + PC + Compatibilizing agent was greater than the mixture without compatibilizing agent by which it follows that the compatibilizing action of the agent used was effective.

**KEY WORDS:** polycarbonate, polypropylene, compatibilizing agent, polymer blends, recycled mixtures

## 1. Introducción

La ciencia de los materiales permite la fabricación de materiales con propiedades físicas y químicas (dureza, rigidez, elasticidad, durabilidad, propiedades ópticas, estabilidad térmica, química, etc.) específicas para un uso determinado.

Las mezclas de polímeros permiten la obtención rápida y económica de nuevos materiales con mejores características que los materiales individuales. (Gallego, Lucy, & Gartner, 2006)

El policarbonato es uno de los materiales más resistentes al impacto, es considerado una resina termoplástica, con una estructura amorfa constituida por una sucesión de radicales carbonato y fenol. Su regularidad y los grupos laterales polares ofrecen un alto valor de la temperatura de transición vítrea  $T_g$  ( $145^\circ\text{C}$ ), esto le hace poseer elevados valores de las propiedades térmicas, y estabilidad dimensional muy buena (López-carrasquero, 2014). Algunos de los puntos fuertes también a considerar es su resistencia al ataque químico y la transparencia que este presenta. Su resistencia mecánica y dureza elevada lo convierte en uno de los materiales más usados en la industria. Al estar mezclado con fibra de vidrio o de carbono aumenta la resistencia mecánica y la rigidez, pero disminuye la tenacidad. (Akiyama, Ishikawa, Kawahara, & Akiba, 2001)

El polipropileno es uno de los termoplásticos de mayor demanda; es común el mezclarlo con otros polímeros con el fin de mejorar sus propiedades finales, especialmente la resistencia al impacto a bajas temperaturas. Para lograr un material mezclado que posea buenas características, usualmente se insertan grupos funcionales sobre el PP en forma de copolímero de injerto, que permiten mayor interacción con otros polímeros y disminución de la tensión superficial entre las fases de los componentes de una mezcla. (Gallego et al., 2006) (López-carrasquero, 2014).

El PP reúne una serie de propiedades que es difícil encontrar en otro material como su alta estabilidad térmica ( $100^\circ\text{C}$ ) en el aire y su resistencia al agua hirviendo a temperatura de hasta ( $140^\circ\text{C}$ ) sin temor a la deformación. Este material tiene una alta resistencia a la tensión y a la compresión, excelentes propiedades dieléctricas, resistencia a la mayoría de los ácidos y álcalis, así como un bajo coeficiente de absorción de humedad. Este material cumple una doble tarea, como plástico y como fibra. Es el tercer termoplástico más vendido y uno de los más baratos ya que se puede sintetizar a partir de materiales petroquímico de bajo costo (López-carrasquero, 2014) (Coleman, n.d.).

Debido a las excelentes características con las que cuentan ambos polímeros (PP y PC) y a que las mezclas basadas en policarbonato poseen un alto valor en el mercado y una alta tasa de crecimiento, se han realizado mezclas combinando ambos polímeros. Desafortunadamente, las investigaciones de las mezclas entre policarbonato y polipropileno han reportado que no se obtuvieron los resultados esperados ya que estos materiales al ser inmiscibles presentan heterogeneidad en las mezclas realizadas y por lo tanto, bajas propiedades mecánicas con respecto a los polímeros por separado. Varios agentes compatibilizantes como el ácido metacrílico, poli (ácido estireno-co-metacrílico), anhídrido maleico han sido empleados con el fin de mejorar la adhesión entre fases del PC y PP, sin embargo los resultados tampoco han sido positivos. (Li, Tian, Zhang, & Zhang, 2002) (Luis, Olivares, & B, 2008) (Akiyama et al., 2001) (Gallego et al., 2006). Cabe mencionar que la investigación sobre mezclas de policarbonato y polipropileno en las cuales ambos materiales son reciclados no se han reportado con anterioridad.

Es por ello que el objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades físico-químicas y reológicas obtenidas al mezclar PP y PC reciclados con diferentes concentraciones de un agente compatibilizante de tipo polimérico base acrílica sintetizado previamente en CIMAV.

## 2. Experimentación

### 2.1 Materiales

El policarbonato y polipropileno utilizados en esta investigación son materiales proporcionados por una maquila con fin oftalmológico. Dichos materiales son los residuos obtenidos de sus procesos, los cuales son desechados por la empresa. El agente compatibilizante utilizado es un copolímero al azar (terpolímero) que fue sintetizado, en el Centro de Investigación de Materiales Avanzados, vía polimerización en emulsión y contiene los monómeros de acrilato de butilo, metacrilato de metilo, ácido metacrílico.

### 2.2 Preparación de mezclas

Las mezclas se prepararon usando un mezclador interno Brabender Plasticorder a una velocidad del rotor de 100 rpm, 210° C y alabes tipo roller. Como primer paso el PC y PP se introdujeron al mismo tiempo (juntos) en la cámara y se mezclaron durante 9 minutos, después se agregó el agente compatibilizante y permitiéndose su incorporación en la mezcla durante 7 minutos más, dando un tiempo de mezclado total de 16 minutos. Al momento que se detuvo el mezclado y los compuestos se recuperaron de la cámara de mezclado Brabender se procedió a su pulverización en partículas pequeñas mediante un molino de cuchillas marca Fristch (el diámetro de las partículas estaban dentro de los 2-4 mm)

Además, se prepararon mezclas binarias de PC/PP en las mismas condiciones mencionadas anteriormente con el fin de evaluar el efecto del agente compatibilizante sobre las mezclas de PP+PC. El resumen de la composición de las mezclas (p/p/phr) se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Composición de las mezclas (p%/p%/phr%) y el nombre designado para cada mezcla.**

Muestra	PC (p%)	PP (p%)	Agente (Terpolímero) (phr%)
PC/PP	60	40	0
PC/PP/TER	60	40	2.5
PC/PP/TER	60	40	5
PC/PP/TER	60	40	7.5
PC/PP/TER	60	40	10

### 2.3 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Para determinar el efecto del agente compatibilizante en las transiciones térmicas de los compósitos poliméricos se empleó la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC, por sus siglas en inglés). El

equipo de DSC empleado fue el modelo 2920 de la marca TA instruments. Las muestras de 10 – 15 mg, se calentaron a una velocidad de 10 °C/min, en atmosfera estática, dentro de un intervalo de temperatura 0 a 200 °C.

Las temperaturas de transición vítrea (Tg) se tomaron como el valor medio entre las temperaturas de inicio y de punto final.

## 2.4 Análisis Termo gravimétrico (TGA)

La estabilidad térmica de los materiales compuestos fue evaluada mediante Análisis Termogravimétrico. El análisis se llevó a cabo en el equipo TGA STD Q600 de la marca TA Instruments. Se pesó una muestra de 12 a 22 mg y se calentó a una velocidad de 10°C/min en el intervalo de temperatura ambiente a 800°C, bajo una atmosfera de aire.

## 2.5 Reometría rotacional

Para evaluar la viscosidad de las materias primas y compósitos obtenidos se utilizó un reómetro rotacional modelo Physica MCR501 True Gap marca Anton Paar usando una geometría de platos paralelos, con un diámetro de platos de 25 mm, 1 mm de distancia entre platos (gap) y una temperatura de 220°C.

## 3. Resultados y discusiones

### 3.1 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La Tabla 2 muestra las temperaturas de transición de las materias primas y de las mezclas de PP+PC+10phr terpolímero una vez borrado el historial térmico. La transición vítrea (Tg) del PC fue de 146.59°C, similar a lo reportado en la literatura (López-carrasquero, 2014) y el terpolímero presentó una Tg de 57.04°C. La Tg del PP no fue posible detectarla por esta técnica debido a limitaciones en el rango de enfriamiento del equipo utilizado. En la Tabla 2 se muestran los resultados de temperatura de fusión y entalpía de fusión para la muestra. El cálculo de la cristalinidad se realiza mediante la Ecuación 1, relación entre la energía de fusión de los compuestos ( $\Delta H$ ), la energía de fusión del PP 100% cristalino ( $\Delta H_{100}$ ), donde toma el valor de 207 J/g y  $W_f$  es la fracción en peso del PP en los materiales compuestos (Young y col. 2007).

$$X_c = \frac{\Delta H}{\Delta H_{100}} \times \frac{1}{W_f} \times 100\% \quad ec. 1$$

**Tabla 2. Transición vítrea de los materiales cristalinos**

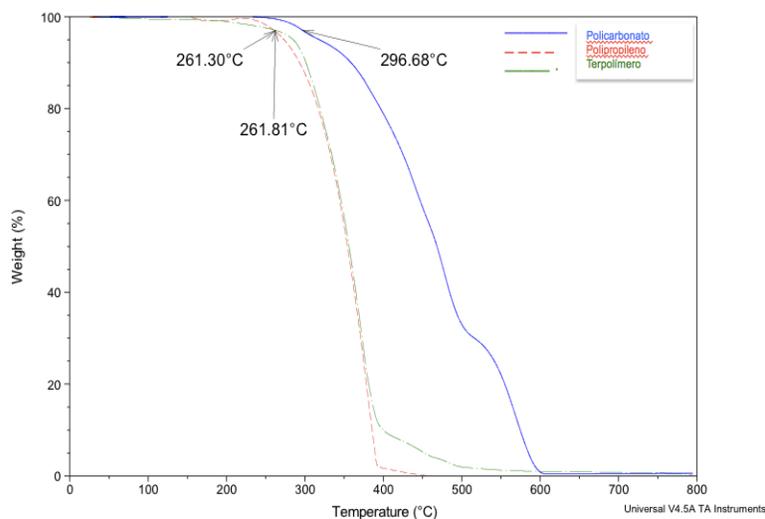
Material	Tg (°C)	Tm (°C)	Hf(J7g)	%Xc
PC	146.59	-	-	-
PP	-	155.74	98.25	47.46
Terpolímero	57.04	-	-	-

60-40 PC-PP	-	154.58	35.52	42.89
60-40 PC-PP 10 phr Terpolímero	-	153.39	29.76	39.54

De acuerdo con los resultados obtenidos no se presentó un cambio en las transiciones térmicas de la mezcla 60/40 PC/PP/Terpolímero con respecto a la mezcla sin terpolímero, por lo que mediante esta técnica no se pudo corroborar si existe un efecto compatibilizante del terpolímero sobre la mezcla de PP y PC ya que usualmente, un cambio en las temperaturas de transición de un sistema de polímeros heterogéneo con respecto a la de los polímeros puros es normalmente tomado como un grado de miscibilidad. (Huy T.A. Adhikari R. Lü pke TH. Michler G.H, 2004)

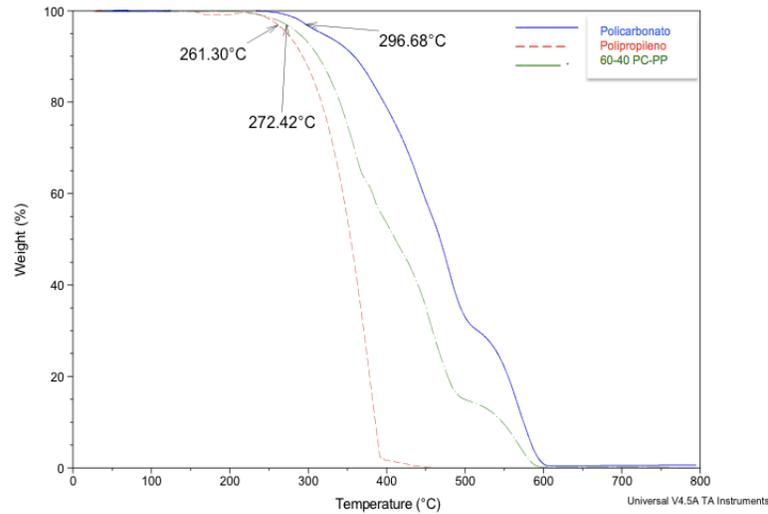
### 3.2 Análisis Termogravimétrico (TGA)

El estudio de la degradación térmica de los materiales es un aspecto fundamental ya que informa la máxima temperatura de proceso que se puede emplear. En la Figura 1, se muestra la descomposición térmica de las materias primas utilizadas. en donde se observa el inicio de la descomposición para el PC a 296.68°C, y el PP a 261.30°C y el Terpolímero a 261.81°C. El inicio de la descomposición se tomó a un porcentaje de pérdida de peso del 5%.

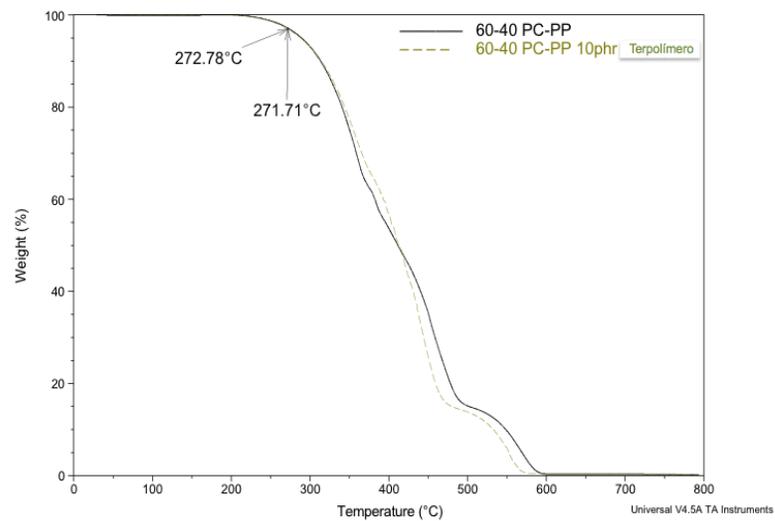


**Figura 1. Análisis termogravimétrico de agente compatibilizante, Policarbonato y Polipropileno.**

En la Figura 2, se observan los inicios de descomposición del a) PC, PP y la mezcla 60-40 PC/PP, y la b) comparación de la mezcla 60-40 PC//PP con la mezcla que contiene 10 phr del agente compatibilizante terpolímero.



a)



b)

**Figura 2. Análisis termogravimétrico de a) mezcla 60-40 PC/PP y b) mezcla de 60-40 PC/PP y la mezcla con el agente compatibilizante.**

En la tabla 3, se muestran las temperaturas de inicio de degradación. Como puede observarse la mezcla de 60-40 PC/PP presenta una estabilidad térmica intermedia a la de las materias primas PP y PC. Al agregar 10 phr de agente de acoplamiento a la mezcla 60-40 PC/PP, la temperatura de

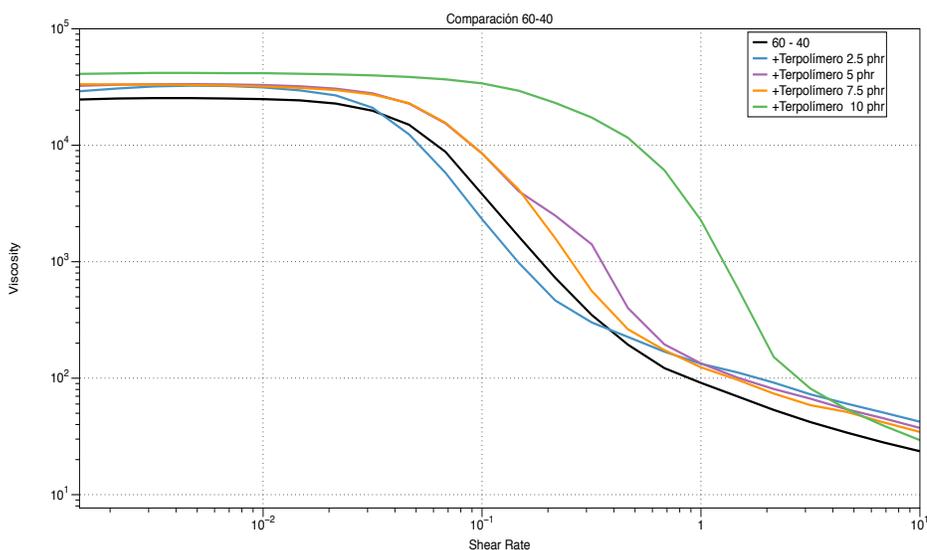
degradación permanece prácticamente igual. Por lo cual se deduce que térmicamente el agente compatibilizante no está teniendo efecto sobre la mezcla polimérica.

**Tabla 3. Información obtenida de los termo gramas de las muestras: PC, PP, 60-40 PC/PP y 60-40 PC/PP/10 phr Terpolímero.**

Nombre	Ti (°C)
PC	296.68
PP	261.30
Terpolímero	261.81
60-40 PC/PP	272.78
60-40 PC/PP/ 10 phr Terpolímero	271.71

### 3.3 Reometría rotacional

En la Figura 3 se presentan las curvas de viscosidad de las mezclas de 60/40PC/PP y 60/40 PC/PP/Terpolímero. Se puede observar un aumento en la viscosidad de las mezclas con agente compatibilizante (a todas las concentraciones empleadas) con respecto a la mezcla 60/40 PC/PP (sin terpolímero). Por lo que se deduce que el agente compatibilizante puede estar actuando como un extensor de cadena debido ya que se logra superar la viscosidad y por ende, el peso molecular, de la mezcla de referencia 60/40 PC/PP. Esto sugiere que la compatibilidad entre nuestros dos polímeros se logró al adicionar el terpolímero.



**Figura 3. Curvas de viscosidad de las mezclas 60/40 PC/PP/Terpolímero.**

#### 4. Conclusiones

Aun y cuando las propiedades térmicas de las mezclas 60/40 PP/PC/Terpolímero no se vieron favorecidas con la inclusión del terpolímero, las viscosidades de las mismas presentaron un aumento con respecto a la mezcla sin agente compatibilizante. Esto sugiere que la compatibilidad entre nuestros dos polímeros se logró al adicionar el terpolímero ya que el agente compatibilizante puede estar actuando como un extensor de cadena debido ya que se logra superar la viscosidad y por ende, el peso molecular, de la mezcla de referencia 60/40 PC/PP.

#### Reconocimientos

Los autores desean agradecer al M.C. Daniel Lardizábal por el soporte técnico en el análisis de DSC y TGA.

#### Referencias

- Akiyama, S., Ishikawa, K., Kawahara, S., & Akiba, I. (2001). Interactions in blends of bisphenol-A polycarbonate and poly ( styrene- co -methacrylic acid ), 42, 6657–6660.
- Callejas, F. R. (n.d.). Tablas de Espectroscopía Infrarroja.
- Coleman, M. M. (n.d.). FUNDAMENTALS OF POLYMER AN INTRODUCTORY TEXT SECOND EDITION FUNDAMENTALS OF POLYMER SCIENCE AN INTRODUCTORY TEXT.
- Company, B. C., & Additives, P. (2005). Compatibilizers find the, (February 2004), 22–25.
- Gallego, K., Lucy, B., & Gartner, C. (2006). Estudio de mezclas de polímeros reciclados para el mejoramiento de sus propiedades Study of blends from recycled polymer for properties improvement, 59–70.
- Li, C., Tian, G., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2002). Crystallization behavior of polypropylene / polycarbonate blends, 21, 919–926.
- López-carrasquero, F. (2014). Fundamentos de polímeros, (May). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2573.0000>
- Luis, J., Olivares, R., & B, S. V. R. (2008). Modificación de polipropileno injertado con anhídrido maleico utilizando una amina alifática en estado fundido. Ingenierías, XI(40), 47–53.
- Gallego, K., Lucy, B., & Gartner, C. (2006). Estudio de mezclas de polímeros reciclados para el mejoramiento de sus propiedades Study of blends from recycled polymer for properties improvement, 59–70.
- Akiyama, S., Ishikawa, K., Kawahara, S., & Akiba, I. (2001). Interactions in blends of bisphenol-A polycarbonate and poly ( styrene- co -methacrylic acid ), 42, 6657–6660.
- Huy T.A.; Adhikari R.; Lü pke TH.; Michler G.H.; Knoll K. Investigation of Morphology Formation in SBS Block Copolymer/Homopolymer Blends; Polymer Engineering and Science, (2004), 44(8), 1534-1542.