

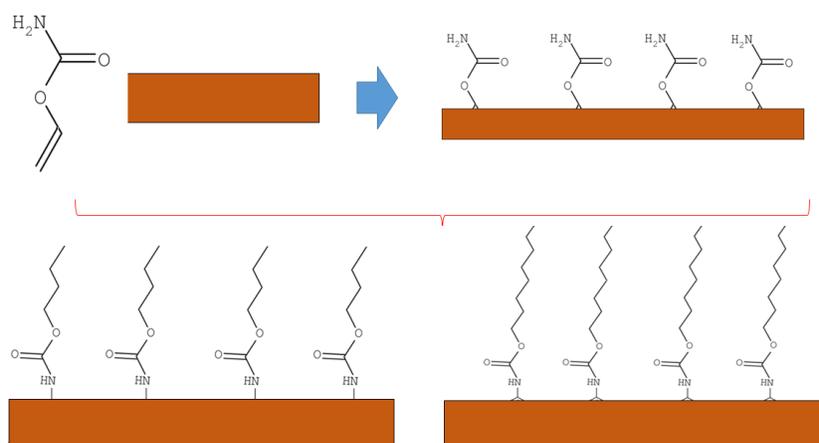
**Tulio A. Lerma<sup>1\*</sup>, Stefany Collazos<sup>2</sup>, Alexander Córdoba<sup>1</sup>**

<sup>1\*</sup> GI-CAT, Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali – Colombia

<sup>2</sup> Programa de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali - Colombia

Corresponding author: [tulio.lerma@correounivalle.edu.co](mailto:tulio.lerma@correounivalle.edu.co)

### Graphical abstract



## Effect of side chain length of carbamates on the surface properties of porous interpenetrating networks

### Abstract

The making of interpenetrating polymer networks by the sequential reaction method is widely used in the modification of materials. The aim of this study was to evaluate the effect of lateral chain length on the surface properties of porous interpenetrating networks. To do this, N-allylcarbamates with different side chain length, were synthesized from allyl isocyanate and different alcohols. Subsequently, by forming interpenetrating polymer networks, porous surfaces of polypropylene were modified. Finally, the surface properties of the material obtained were evaluated by FTIR/ATR, permeability analysis and contact angle measurements. Inserting the polymer chains are performed satisfactorily, showing the formation of chains within the pores of the material, reducing its permeability. Furthermore, hydrophobicity properties and surface energy of the modified polypropylene decreased and be depending on the chain length of the N-allylcarbamate used, suggesting the possibility to control their properties.

### Keywords

Polymer network  
Surface energy  
Carbamate  
Contact angle

## **Efecto de la longitud de la cadena lateral de carbamatos sobre las propiedades superficiales de redes interpenetrantes porosas**

---

### **Resumen**

La generación de redes poliméricas interpenetrantes mediante el método de reacciones secuenciales es ampliamente utilizada en la modificación de materiales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la longitud de cadena lateral sobre las propiedades superficiales de redes interpenetrantes porosas. Para ello, se sintetizaron N-alilcarbamatos de diferente longitud de cadena lateral, a partir de alil isocianato y diferentes alcoholes. Posteriormente, mediante la formación de redes poliméricas interpenetrantes, se modificaron superficies porosas de polipropileno. Finalmente, se evaluaron las propiedades superficiales del material obtenido mediante FT-IR/ATR, análisis de permeabilidad y medidas de ángulo de contacto. La inserción de las cadenas poliméricas se realizó de forma satisfactoria, evidenciando la formación de las cadenas al interior de los poros del material, manifestándose en una disminución de la permeabilidad. Además, las propiedades de hidrofobicidad y energías superficiales del polipropileno modificado disminuyeron y se encuentran en función de la longitud de la cadena del N-alilcarbamato empleado, sugiriendo lo anterior que es posible avanzar en la modificación controlada de sus propiedades.

---

### **Palabras claves**

Redes poliméricas  
Energía superficial  
Carbamatos  
Ángulo de contacto

**Recived:** 08-09-2016

**Accepted:** 02-10-2016

**Publishing date:** 15 - November - 2016

**Revision Code:** 20160908-MSPL [Pag. 30-41]

**Corresponding author:**

[tulio.lerma@correounivalle.edu.co](mailto:tulio.lerma@correounivalle.edu.co)



## Efecto de la longitud de la cadena lateral sobre las propiedades superficiales de redes interpenetrantes porosas

**Tulio A. Lerma<sup>1\*</sup>, Stefany Collazos<sup>2</sup>, Alexander Córdoba<sup>1</sup>**

<sup>1\*</sup> GI-CAT, Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali - Colombia

<sup>2</sup> Programa de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali - Colombia

Corresponding author: [tulio.lerma@correounivalle.edu.co](mailto:tulio.lerma@correounivalle.edu.co)

### Resumen

La generación de redes poliméricas interpenetrantes mediante el método de reacciones secuenciales es ampliamente utilizada en la modificación de materiales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la longitud de cadena lateral sobre las propiedades superficiales de redes interpenetrantes porosas. Para ello, se sintetizaron N-alilcarbamatos de diferente longitud de cadena lateral, a partir de alil isocianato y diferentes alcoholes. Posteriormente, mediante la formación de redes poliméricas interpenetrantes, se modificaron superficies porosas de polipropileno. Finalmente, se evaluaron las propiedades superficiales del material obtenido mediante FT-IR/ATR, análisis de permeabilidad y medidas de ángulo de contacto. La inserción de las cadenas poliméricas se realizó de forma satisfactoria, evidenciando la formación de las cadenas al interior de los poros del material, manifestándose en una disminución de la permeabilidad. Además, las propiedades de hidrofobicidad y energías superficiales del polipropileno modificado disminuyeron y se encuentran en función de la longitud de la cadena del N-alilcarbamato empleado, sugiriendo lo anterior que es posible avanzar en la modificación controlada de sus propiedades.

### Palabras Claves

Redes poliméricas  
Energía superficial  
Carbamatos  
Ángulo de contacto

### 1. Introducción

Las redes poliméricas interpenetrantes (RPIs) son estructuras poliméricas formadas por dos o más polímeros, entrelazados o interpenetrados total o parcialmente, sin poseer uniones de tipo covalente entre sí [1]. La formación de estas redes es ampliamente utilizada para la generación de nuevos materiales y el mejoramiento de sus propiedades, tales como resistencia térmica, mecánica, entre otras [2-3]. Ya que estas, al estar compuestas por polímeros de diferente naturaleza, estos materiales permiten la obtención de propiedades resultantes de

las características de cada uno de sus precursores; así, las RPIs surgen como una excelente alternativa para la construcción de materiales con propiedades “a la medida” [4].

Los métodos de síntesis de las RPIs se pueden clasificar generalmente en dos, el primer método denominado de síntesis simultánea, que consiste en la combinación de los precursores de cada uno de los polímeros constituyentes y la polimerización simultánea de estos, en donde los mecanismos de reacción de cada uno de los precursores deben ser diferente entre sí, con el fin de evitar la formación de un copolímero [5]. Por el contrario, el segundo

método, se basa en reacciones secuenciales y consiste en la generación de una red polimérica primaria a partir de uno de los monómeros de partida, para posteriormente, mediante un segundo monómero llevar a cabo la generación de la red interpenetrada [6]. Actualmente, este segundo método es ampliamente utilizado debido al control que se posee en la modificación de las propiedades de los materiales [7]. Así, se ha reportado, por ejemplo, la utilización de reacciones secuenciales como método de síntesis para la modificación de superficies porosas, como membranas de micro- y ultrafiltración [8-9].

Por otro lado, entre los principales objetivos de la síntesis química, específicamente la síntesis orgánica, se encuentra la búsqueda de procesos de síntesis sencillos, económicos, ambientalmente amigables y eficientes (altos rendimientos con el menor gasto de tiempo y energía) [10], es así que, por su reactividad a temperatura ambiente, con un gran número de grupos funcionales, los isocianatos son, desde el punto de vista de la síntesis orgánica, excelentes candidatos para ser usados como precursores químicos. La elevada reactividad de precursores con grupos isocianatos se explica por la deficiencia electrónica que presenta el carbono de este grupo, siendo susceptible al ataque nucleofílico por parte alcoholes, ácidos carboxílicos, aminas, tioles y agua [11]. Entre las aplicaciones actuales de los isocianatos se puede citar la producción de insecticidas, espumas, adhesivos, gomas, pinturas, etc. [12].

Por lo anterior, el alil-isocianato (AIC), surge como una alternativa, para la obtención de una gran variedad de N-alilcarbamatós, los cuales pueden ser empleados en la producción de nuevos polímeros y la modificación de superficies mediante la generación de RPIs. El AIC es un monómero de doble funcionalidad, en su estructura posee un grupo alilo y un grupo isocianato, lo que le permite tener reacciones de polimerización vía radicales libres por un extremo, mientras que por el otro es posible llevar a cabo las típicas del grupo isocianato [13].

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la longitud de cadena lateral sobre las propiedades superficiales de RPIs porosas. Para ello, se sintetizaron N-alilcarbamatós de diferente longitud de cadena lateral y mediante la formación de redes interpenetrantes, los N-alilcarbamatós se emplearon para la modificación de superficies porosas de polipropileno.

## 2. Sección experimental

### 2.1 Materiales y reactivos

Etanol absoluto (Merck), butanol (Merck), hexanol (Merck), octanol (Merck) y feniletanol (Merck) se emplearon en la modificación del AIC (Aldrich) para la formación de los distintos carbamatós.

N,N-metilenbisacrilamida (MBA, Merck), peróxido de benzoilo (Aldrich) y el AIC modificado se emplearon en la modificación de filtros de microfiltración de polipropileno (Millipore) mediante RPIs.

Etilenglicol (Merck) y 1,3-propanodiol (Aldrich) se usaron en las medidas de ángulo de contacto. 1,4-dioxano y agua bidestilada se usaron como solventes.

### 2.2 Síntesis N-alilcarbamatós

La síntesis de los N-alilcarbamatós se llevó a cabo mediante la reacción del AIC con diferentes alcoholes. Para ello 1,0 mL (11,0 mmol) de AIC se depositaron en un reactor tipo batch y posteriormente se adicionaron 0,7 mL (12,1 mmol) de etanol absoluto. La mezcla de reacción se dejó con agitación constante a 25 °C por 7 días. De forma análoga al procedimiento anterior, se modificó el AIC empleando diferentes alcoholes (butanol, hexanol, octanol y feniletano), conservando una relación molar AIC:alcohol de 1:1,1.

La modificación del AIC y la formación de los carbamatós correspondientes, se verificó mediante espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier – Reflectancia Total Atenuada (FT-IR/ATR, IR-Affinity-1).

### 2.3 Modificación de superficies porosas

La modificación de filtros de microfiltración de polipropileno se llevó a cabo mediante el método de RPIs. Para ello, 1,0 mL de etil N-alilcarbamato se disolvió en 5,0 mL de dioxano. Seguido, se adicionó peróxido de benzoilo y MBA (2 y 10 % molar con respecto al monómero, respectivamente). Posteriormente, la membrana de microfiltración se sumergió en la solución y el sistema se llevó a 80 °C por 4 h en atmósfera de nitrógeno para promover así la polimerización del etil N-alilcarbamato.

Finalmente, la membrana se retiró de la mezcla de reacción y se lavó con dioxano y agua.

El procedimiento anterior se repitió empleando los monómeros butil N-alilcarbamato, hexil N-alilcarbamato, octil N-alilcarbamato y fenetil N-alilcarbamato, previamente sintetizados.

La notación empleada para describir las superficies modificadas de acuerdo al carbamato empleado se muestra en la Tabla 1 (ver sección “Resultados y discusión”).

## 2.4 Experimentos de caracterización superficial

□ *Análisis de grupos funcionales superficiales:* Las superficies de las membranas de polipropileno, sin modificar y modificadas, se analizaron mediante FT-IR/ATR para la identificación de grupos funcionales superficiales (IR-Affinity-1).

□ *Análisis de permeabilidad:* La permeabilidad de las membranas, sin modificar y modificadas, se evaluó mediante la medición de la masa de agua permeada en función del tiempo a diferentes presiones (50, 100, 150, y 200 kPa). Detalles de este procedimiento han sido previamente publicados [14].

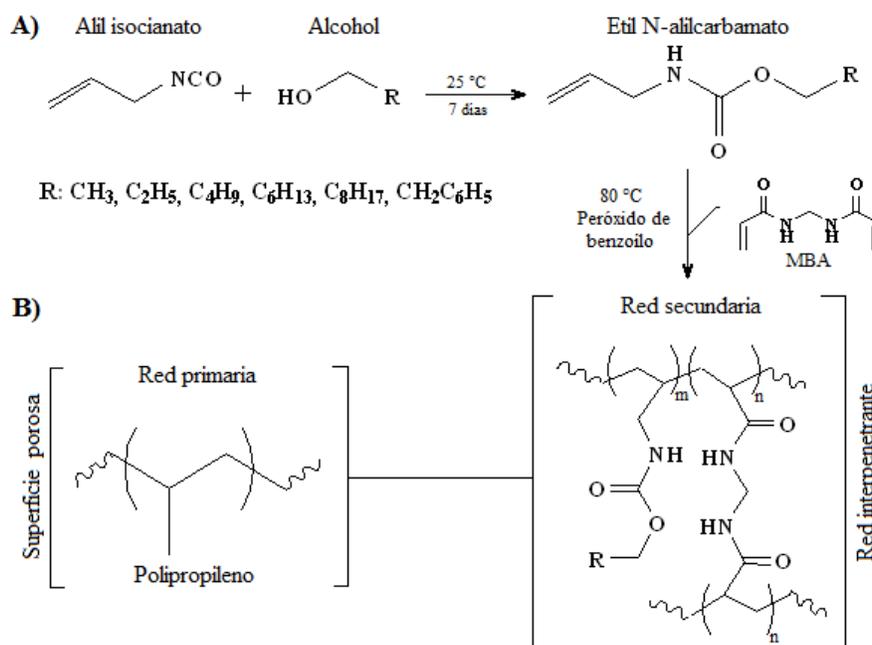
□ *Medidas de ángulo de contacto:* Los cambios en las energías superficiales se analizaron a partir de

medidas de ángulo de contacto, mediante el método por deposición de gota. Detalles de este procedimiento y su aplicación en la determinación de la energía superficial de sólidos han sido previamente publicados [9].

## 3. Resultados y discusión

La descripción de la reacción del AIC con los diferentes alcoholes para la formación de los respectivos carbamatos se muestra en la Figura 1 (A). La síntesis de los N-alilcarbamatos se llevó a cabo mediante el ataque nucleofílico por parte del grupo hidroxilo, de los diferentes alcoholes empleados, sobre el grupo isocianato del AIC, obteniéndose N-alilcarbamatos de diferente longitud de cadena con un grupo alilo fácilmente polimerizable vía radicales libres.

En la Figura 2 se muestran los espectros FT-IR/ATR del precursor AIC y de cada uno de los N-alilcarbamatos obtenidos. En el espectro del AI se identifica a  $2248\text{ cm}^{-1}$  la banda de vibración característica del grupo isocianato y dos bandas a  $987$  y  $921\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a la deformación fuera del plano del enlace C-H del grupo alilo. Por otro lado, en los espectros FT-IR/ATR de los N-alil carbamatos se evidenció la desaparición total de la

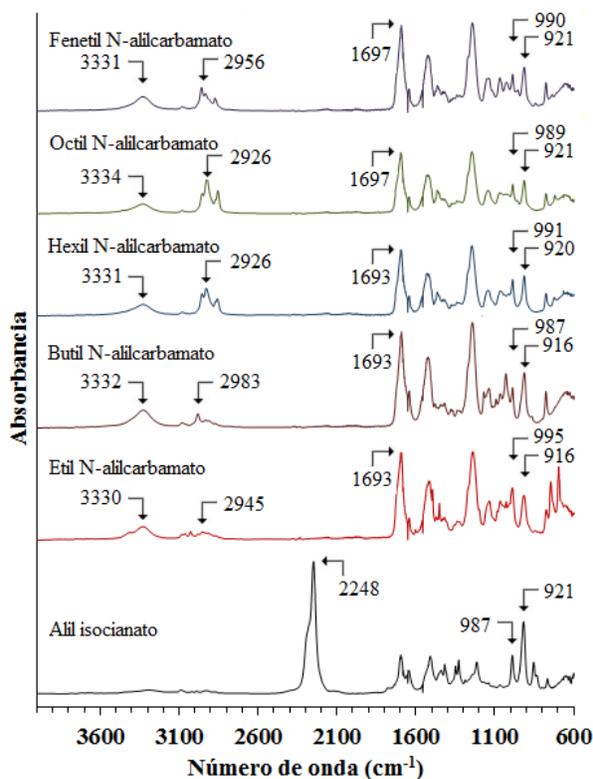


**Figura 1.** Secuencia de reacción para la generación de las redes interpenetrada: (A) Esquema síntesis carbamatos y (B) estructura superficie porosa y red interpenetrante.

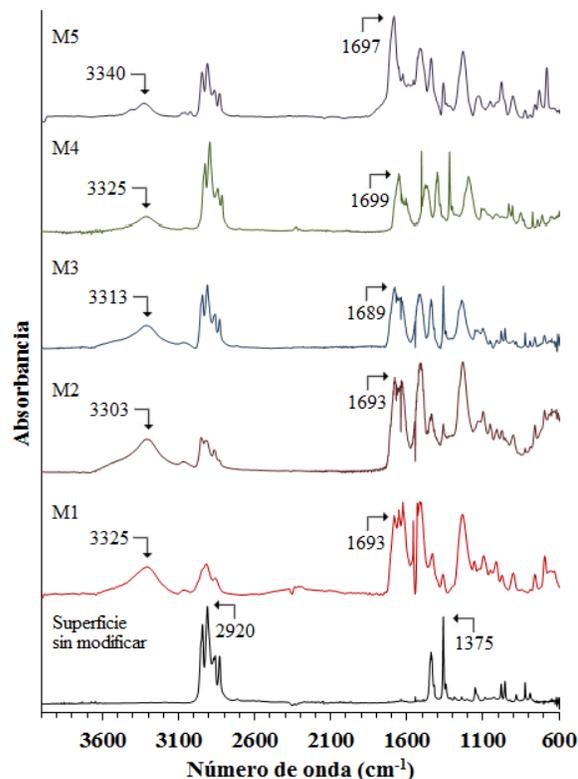
banda de vibración correspondiente al grupo isocianato en la región de 2200 a 2300  $\text{cm}^{-1}$  y la presencia de las dos bandas entre 900 y 1000  $\text{cm}^{-1}$  características del grupo alilo. Además, se identificó la aparición de dos bandas que indican la formación de los grupos carbamatos, la primera en la región de 3300 a 3350  $\text{cm}^{-1}$  y la segunda en la región de 1690 a 1700  $\text{cm}^{-1}$  correspondientes a la vibración de tensión de los enlaces N-H y C=O, respectivamente. Se identificó también, para cada uno de los N-alilcarbamatos, la banda de vibración de tensión del enlace C-H de las cadenas alifáticas en la región de 2950 a 3000  $\text{cm}^{-1}$ , las cuales presentan variación de la intensidad de absorción debido al cambio en la longitud de la cadena alifática de cada una de las moléculas sintetizadas. Por lo tanto, los resultados indican la adecuada reacción del AIC con cada uno de los alcoholes empleados y la presencia en cada uno de estos del grupo alilo, posibilitándolos a llevar a cabo reacciones de polimerización vía radicales libres.

La modificación de las superficies porosas de polipropileno se llevó a cabo mediante la formación

de RPIs. Así, los grupos alilo de los N-alil carbamatos sintetizados, reaccionan vía radicales, dando lugar a la formación de una red polimérica al interior del soporte poroso de polipropileno, el esquema de reacción se muestra en la Figura 1 (B). En la Figura 3 se muestran los resultados de los análisis por FT-IR/ATR de las superficies porosas modificadas. En el espectro de la superficie sin modificar se pueden observar dos bandas características de la matriz polimérica de polipropileno, la primera en 2920  $\text{cm}^{-1}$  y la segunda a 1375  $\text{cm}^{-1}$  correspondientes a la vibración de tensión y deformación simétrica, respectivamente, del enlace C-H. Para las superficies modificadas con los N-alilcarbamatos sintetizados, se observó la aparición de dos bandas, la primera en la región de  $\sim 3320 \text{ cm}^{-1}$  correspondiente a la banda de tensión del enlace N-H y la segunda banda en  $\sim 1700 \text{ cm}^{-1}$  y que es característica del grupo C=O, siendo ambas bandas características del grupo carbamato proveniente de los monómeros modificantes empleados. Sugiriendo estos resultados la satisfactoria modificación de las superficies de polipropileno por esta técnica.



**Figura 2.** Espectros FT-IR/ATR del AIC y carbamatos sintetizados.



**Figura 3.** Espectros FT-IR/ATR de las superficies porosas de polipropileno sin modificar y modificadas.

**Tabla 1.** Identificación, N-alilcarbamato empleado para la modificación, permeabilidad (L) y permeabilidad relativa ( $L_{rel}$ ) de cada una de las superficies porosas modificadas.

Muestra	N-alilcarbamato empleado	L ( $\times 10^{-10}$ ) ( $m^3 m^{-2} s^{-1} Pa^{-1}$ )	$L_{rel}$
Polipropileno	---	$81,4 \pm 13,2$	1,00
M1	Etil N-alilcarbamato	$33,3 \pm 15,8$	0,41
M2	Butil N-alilcarbamato	$65,9 \pm 5,6$	0,81
M3	Hexil N-alilcarbamato	$70,1 \pm 3,3$	0,86
M4	Octil N-alilcarbamato	$232,5 \pm 56,2$	2,86
M5	Fenetil N-alilcarbamato	$179,3 \pm 3,0$	2,20

**Tabla 2.** Ángulos de contacto medidos con tres solventes diferentes para cada una de las superficies obtenidas.

Muestra	Medida de ángulo de contacto ( $^{\circ}$ )		
	Agua	Etilenglicol	1,3-propanodiol
Polipropileno	$111,0 \pm 6,9$	$78,2 \pm 4,1$	$90,7 \pm 4,1$
M1	$78,7 \pm 0,9$	$58,7 \pm 0,9$	$65,4 \pm 1,3$
M2	$74,5 \pm 2,1$	$59,4 \pm 2,1$	$63,9 \pm 3,5$
M3	$80,7 \pm 4,3$	$68,7 \pm 1,9$	$72,7 \pm 1,0$
M4	$91,5 \pm 6,0$	$70,2 \pm 0,8$	$79,0 \pm 0,9$
M5	$86,4 \pm 4,3$	$60,3 \pm 0,9$	$76,3 \pm 0,8$

En la Tabla 1 se muestran los valores de permeabilidad y permeabilidad relativa de las superficies porosas sin modificar y modificadas. Todas las superficies mostraron variación en la permeabilidad respecto a su valor inicial.

Las superficies M1, M2 y M3 presentaron un descenso de la permeabilidad indicando que la formación de las RPIs, de los distintos N-alilcarbamatos empleados, se dio al interior de los poros y por consiguiente se modificó la porosidad superficial y el diámetro de poro de la superficie inicial de la membrana de polipropileno.

Por otro lado, las superficies modificadas M4 y M5 presentaron un incremento en sus valores de permeabilidad, sugiriendo que la formación de las cadenas poliméricas del agente modificante no se generó al interior de los poros de la superficie de polipropileno y por el contrario hubo un incremento de estos. Esto se puede explicar en primera instancia como resultado del tamaño de la cadena lateral del N-alilcarbamato empleado para la modificación, sin embargo, también pueden haber ocurrido efectos sobre la estructura de la membrana resultantes del calentamiento, por el uso de un iniciador de polimerización térmico, peróxido de benzoilo, en el proceso generación de las redes interpenetrantes.

Por otro lado, la variación en la hidrofobicidad de las superficies porosas modificadas se evaluó

mediante medidas de ángulo de contacto, en la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos.

La hidrofobicidad inicial de la superficie de polipropileno se evidenció por valores altos de ángulo de contacto cuando el agua se usó como líquido de prueba. Las superficies modificadas mostraron valores de ángulo de contacto inferiores con respecto al polipropileno sin modificar, es decir, por debajo de los  $\sim 92^{\circ}$  cuando se empleó agua, lo cual evidencia que las propiedades hidrófobas disminuyeron como consecuencia de la inserción de los grupos carbamatos. Estos, son grupos polares con capacidad de generar enlaces de hidrógeno con el agua [14].

Por otro lado, el efecto de la longitud de cadena del N-alilcarbamato, empleado para la modificación, sobre el ángulo de contacto medido, indica que al incrementar su longitud la hidrofobicidad de la superficie aumenta como consecuencia de la disminución de las interacciones intermoleculares de la superficie con las moléculas de agua. Lo que sugiere estos resultados es la posibilidad de controlar las propiedades hidrófobas de las superficies de polipropileno modificadas, esto puede ser de gran interés para diferentes aplicaciones como minimizar el ensuciamiento de la membrana por deposición de sustancias apolares, o impedir la absorción de sustancias dispersas.

**Tabla 3.** Trabajo de adhesión y energías superficiales calculadas para cada una de las superficies obtenidas.

Muestra	$W_{sa}$	$\gamma_s$	$\gamma_s^d$	$\gamma_s^{(-)}$	$\gamma_s^{(+)}$
	(mN/m)				
Polipropileno	227 ± 23	64 ± 30	78 ± 13	0,4 ± 0,2	249 ± 4
M1	95 ± 8	25 ± 12	35 ± 13	0,1 ± 0,1	17 ± 7
M2	331 ± 56	362 ± 166	510 ± 97	1,8 ± 0,4	145 ± 52
M3	105 ± 6	24 ± 13	25 ± 16	1,2 ± 0,6	27 ± 16
M4	118 ± 9	17 ± 7	11 ± 2	1,3 ± 0,6	74 ± 32
M5	241 ± 27	109 ± 39	77 ± 25	1,1 ± 0,5	286 ± 45

En la Tabla 3 se muestran el trabajo de adhesión (sólido-agua) y las energías superficiales para las distintas superficies obtenidas, estas fueron calculadas mediante la teoría ácido-base de van Oss-Chaudhury-Good [15-16].

En general, las superficies modificadas presentaron una disminución en el trabajo de adhesión ( $W_{sa}$ ) en comparación a la superficie de polipropileno, es decir, que requieren una menor cantidad de energía para la adhesión a la superficie de una gota de agua, esto se debe a la presencia de los grupos carbamatos que modifican e incrementan las interacciones entre la superficie y el agua. Por otro lado, las energías superficiales ( $\gamma_s$ ) del polipropileno modificado se caracterizan por una disminución en la contribución dispersiva ( $\gamma_s^d$ ) e incremento en las contribuciones polares,  $\gamma_s^{(-)}$  y  $\gamma_s^{(+)}$  que corresponden a las componentes básicas y ácidas, respectivamente. Lo anterior es congruente con lo previamente mencionado (aumento de la hidrofiliidad). Por consiguiente, la modificación del polipropileno con los diferentes N-alilcarbamatos genera una disminución en las contribuciones dispersivas e incrementa la hidrofiliidad de las superficies.

#### 4. Conclusiones

N-alilcarbamatos de diferente cadena lateral pueden ser obtenidos de forma sencilla y eficiente mediante el procedimiento aquí descrito, siendo posible su utilización en la formación de polímeros. La modificación de superficies porosas de polipropileno es posible mediante la polimerización in-situ vía radicales libres, empleando los N-alilcarbamatos de diferente longitud de cadena. La formación de las redes poliméricas interpenetrantes puede tener lugar al interior de los poros del material y, en consecuencia, generar una disminución de la permeabilidad por reducción del

tamaño del poro. Además, las propiedades de hidrofobicidad y energías superficiales del polipropileno modificado se encuentran en función de la longitud de la cadena del N-alilcarbamato empleado, sugiriendo la posibilidad de controlar estas propiedades.

#### Agradecimientos

Autores agradecen a la Universidad del Valle y al GI-CAT por los recursos suministrados. Autores agradecen al Program for Scientific Knowledge Diffusion of Mindtech s.a.s. (PSKD 2016-2020) por los fondos asociados a los costos de publicación.

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses de ningún tipo en relación a la publicación.

#### Referencias

- [1] E. Dragan. Design and applications of interpenetrating polymer network hydrogels. A review. *Chemical Engineering Journal*, 2014:243 (1), 572-590.
- [2] N. Gupta, A. K. Srivastava. Interpenetrating polymer networks: A review on synthesis and properties. *Polymer International*. 1994:35 (2), 109-118.
- [3] A.M. Peterson, et al. Investigation of interpenetrating polymer networks for self-healing applications. *Composites Science and Technology*. 2012:72(2), 330-336.
- [4] L. H. Sperling. Interpenetrating Polymer Networks: An Overview. *Interpenetrating Polymer Networks. Advance in Chemistry*. 1994:239, 3-38.
- [5] G. Somya, et al. Interpenetrating polymer network-based drug delivery systems: emerging applications and recent patents. *Egyptian Pharmaceutical Journal*. 2015:14(2), 75-86.
- [6] A. Hillerstrom, B. Kronberg. A two-step method for the synthesis of a hydrophilic PDMS interpenetrating polymer network. *Journal of Applied Polymer Science*. 2008:110(5), 3059-3067.

- [7] Q. Tang, J. Wu. Two-step synthesis of polyacrylamide/polyacrylate interpenetrating network hydrogels and its swelling/deswelling properties. *Journal of Materials Science*. 2008:43(17), 5884-5890.
- [8] W. Lu, D. Daqiang, D. Zhao, C. Schilling, O. Plietzsch, T. Muller, S. Brase, J. Guenther, J. Blumel, R. Krishna, Z. Li, H. Zhou. Porous Polymer Networks: Synthesis, Porosity, and Applications in Gas Storage/Separation. *Chemistry of Materials*. 2010:22(21), 5964-5972.
- [9] M. Palencia, M. Vera, E. Combatt. Polymer Networks Based in (4-Vinylbenzyl)-N-methyl-D-glucamine Supported on Microporous Polypropylene Layers with Retention Boron Capacity. *Journal Applied Polymer Science*. 2014:131(16), 40653-40663.
- [10] R. Carlson, J. Carlson. *Design and Optimization in Organic Synthesis: Second Revised and Enlarged Edition*. Elsevier editors. 2005, 596.
- [11] H. Matsushima, et al. Thiol-isocyanate-acrylate ternary networks by selective thiol-click chemistry. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. 2010:48(15) 3255-3264.
- [12] E. Delebecq, Et al. On the Versatility of Urethane/Urea Bonds: Reversibility, Blocked Isocyanate, and Non-isocyanate Polyurethane. *Chemical Reviews*. 2013:113(1), 80-118.
- [13] S.H. Yoon, et al. Preparations and properties of waterborne polyurethane/allyl isocyanated-modified graphene oxide nanocomposites. *Colloid and Polymer Science*. 2011:289(17), 1809-1814.
- [14] M. Palencia, M. Vera, B. Rivas. Modification of ultrafiltration membranes via interpenetrating polymer networks for removal of boron from aqueous solution. *Journal of Membrane Science*. 2014:466, 192-199.
- [15] J. Salazar, J. Pacheco, M.J. Jimenez. Determinación de la resistencia a la tracción de ligantes asfálticos (abs) y el trabajo de adhesión ( $w_{a,s}$ ) de los ligantes asfálticos, mediante determinaciones de ángulo de contacto. *Métodos y materiales*. 2014:4(1), 17-23.
- [16] P. Rieke, Application of Van Oss-Chaudhury-Good theory of wettability to interpretation of interfacial free energies of heterogeneous nucleation. *Journal of Crystal Growth*. 1997:182(3), 472-484.