

Síntesis y caracterización de redes poliméricas simultáneamente interpenetradas (SINs) formadas por poliestireno y poliuretano obtenido a partir de poliolsuspensiones de aceite de higuera y almidón de yuca

Synthesis and characterisation of simultaneous interpenetrating polymer networks (SIN) formed by polystyrene and polyurethane obtained from castor oil and cassava starch polyol-suspensions

Juan Manuel Cabrera Anaya,¹ Kelly Johanna Navas Gómez,² Jorge Enrique Pulido Flórez³ y Manuel Fernando Valero Valdivieso⁴

RESUMEN

Se llevó a cabo una modificación del aceite de higuera mediante transesterificación con pentaeritritol y posteriormente una incorporación de almidón de yuca al aceite modificado, obteniéndose las denominadas poliolsuspensiones. A partir de estos y de estireno, se sintetizaron SIN poliuretano/poliestireno (IPN obtenidos mediante vía simultánea), utilizando metilendifenil di-isocianato (MDI) para formar la red de poliuretano, divinilbenceno (DVB) como agente entrecruzante del poliestireno, dibutilamina como iniciador redox y peróxido de benzoilo como iniciador de la polimerización del estireno. Las variables consideradas en la síntesis de los SIN fueron: relación másica porcentual pentaeritritol/aceite empleada en la modificación (1,32%; 2,64% y 5,28%), con el fin de variar la funcionalidad hidroxílica del poliols; especie de almidón incorporado al poliols (brasileño, venezolano y comercial), con el objeto de variar el contenido de amilopectina en la poliolsuspensión; relación molar de los grupos funcionales diisocianato/hidroxilo NCO/OH (0.85 y 1) y relación másica poliuretano/poliestireno PU/PS (70/30 y 80/20). Se obtuvo una amplia gama de materiales, caracterizadas con pruebas de resistencia a la tensión, dureza, ataque químico y extracción Soxhlet; las propiedades físico-mecánicas de los materiales producidos a partir de los poliols (aceite de higuera modificado) se incrementaron con la incorporación del almidón a estos. Respecto al tiempo de curado, se observó en diferentes pruebas realizadas que 24 horas son insuficientes, dado que los SIN mostraron propiedades físico-mecánicas inferiores a los elastómeros de poliuretano homólogos, siendo por tanto necesario aumentar el tiempo de curado a 48 horas.

Palabras clave: aceite de higuera transesterificado, almidón de yuca, SIN poliuretano/ poliestireno.

ABSTRACT

Castor oil was modified by transesterification with pentaerythritol and cassava starch was subsequently incorporated into this oil (oil modified by incorporating starch is called a polyol-suspension). Polyurethane/polystyrene SINs (simultaneously produced IPNs) were synthesised from them and styrene. Reactants used in the synthesis were MDI (methylene diphenyl diisocyanate) as diisocyanate, DVB (divinylbenzene) as crosslinking agent for polystyrene, dibutylamine as redox primer and benzoyl peroxide as styrene polymerisation primer. The variables considered in SIN synthesis were percentage weight ratio used in the modification (1.32%; 2.64% and 5.28%) to increase polyol hydroxyl functionality, starch species incorporated into polyol (Brazilian, Venezuelan and commercial) to vary the amount of amylopectin within the polyol-suspension, diisocyanate/hydroxyl NCO/OH (0.85 and 1) functional groups' molar ratio and polyurethane/polystyrene PU/PS weight ratio (70/30 and 80/20). A wide range of materials was obtained and characterised by tensile strength, hardness, chemical attack and Soxhlet extraction. The physical-mechanical properties of the materials produced with polyols (transesterified castor oil) were improved when starch was incorporated into the polyol. Several tests indicated that 24 hours as curing time were not enough, because the SINs showed lower physical-mechanical properties than the homologous polyurethane elastomers did; thus, the curing time had to be increased to 48 hours.

Keywords: trans-esterified castor oil, cassava starch, polyurethane/ polystyrene SIN

Recibido: junio 14 de 2006

Aceptado: marzo 1 de 2007

¹ Ingeniero químico. Universidad Industrial de Santander, Colombia. juanm.cabrera@gmail.com

² Ingeniera química. Universidad Industrial de Santander, Colombia. kjnavas@gmail.com

³ Ingeniero químico. M.Sc. Profesor titular, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Codirector, Grupo de Investigación en Polímeros, Universidad Industrial de Santander, Colombia. jpulidof@intercable.net.co, jpulido@uis.edu.co

⁴ Ingeniero químico. Universidad Industrial de Santander, Colombia. mfernando4@yahoo.com

Introducción

Uno de los materiales poliméricos más estudiados en los últimos años son las redes interpenetradas de polímeros (IPN, *Interpenetrating Polymer Networks*), en la que dos estructuras reticulares de diferente naturaleza se entrecruzan sin llegar a unirse químicamente, generando un material cuyas propiedades suelen depender sinérgicamente de la proporción de componentes poliméricos, con una menor separación de fases que la simple mezcla física (Valero *et al.*, 2005). En esta clase de materiales se han desarrollado varias investigaciones, entre ellas la de Prashantha *et al.* (2001), quien realizó estudios básicos de redes de poliuretano obtenidas con aceite de higuera transesterificado con glicerina, formando secuencialmente un IPN con poli(2-hidroxietil metacrilato) en la segunda red. Athawale y Kolekar (1998), también ha preparado redes interpenetradas de poliuretano a partir de aceite transesterificado con glicerina, y de polimetilmetacrilato en segunda red, mediante proceso de síntesis también secuencial.

En investigaciones anteriores, el Grupo en Investigación en Polímeros de la Universidad Industrial de Santander realizó dos procedimientos independientes con el aceite de higuera: *i*) modificación mediante reacción de transesterificación con pentaeritritol (Valero *et al.*, 2005), *ii*) incorporación de almidón de yuca (Duarte *et al.*, 2005). Tanto la transesterificación como la incorporación de almidón generaron polioles de mayor índice de hidroxilo (Cabrera *et al.*, 2005), a partir de los cuales se sintetizaron IPN de poliuretano/poliestireno con mayor resistencia final a la tensión y módulo que los obtenidos a partir del aceite original. Vale aclarar que se ha optado por utilizar el aceite de higuera, al ser este uno de los pocos glicéridos naturales casi puros, en el que aproximadamente el 90% de su composición corresponde al triglicérido del ácido ricinoleico.

La novedad de este trabajo consiste en combinar los dos procedimientos anteriormente mencionados, con el objeto de hacer una modificación del aceite e incorporación del almidón, obteniéndose polioli-suspensiones. Estas se emplearán en la síntesis de IPN por vía simultánea, es decir, materiales tipo SIN (*Simultaneous Interpenetrating Network*); además, se estudiará el efecto que tiene la modificación-incorporación sobre las propiedades físico-mecánicas, térmicas y físico-químicas de los materiales obtenidos.

Este trabajo hace parte de la tesis de grado de los autores del presente artículo (Cabrera *et al.*, 2005), que está enmarcada en el proyecto de investigación del Grupo de Investigación en Polímeros adscrito a la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y fue patrocinado por el proyecto Colciencias-SENA-UIS, titulado: "Preparación y evaluación de nuevos materiales poliméricos tipo IPN a partir de aceite de higuera modificado, estireno y almidón de yuca".

Procedimiento experimental

Materiales

La caracterización del aceite de higuera empleado es la siguiente:

Índice de hidroxilo: 160 mg KOH/g

Gravedad específica: 0,958

Índice de acidez: 2,33 mg KOH/g

Viscosidad Brookfield a 26 °C: 572 cp

Contenido de ácido ricinoleico: 90,36%

En cuanto al almidón, la caracterización de las especies analíticas de almidón se reportan a continuación en la Tabla 1; este análisis fue suministrado por CIAT-Clayuca. La especie comercial de almidón no fue sujeta a análisis más allá de la densidad (0,70 g/mL), pues no se contó con los medios para medir el contenido de amilosa así como de la temperatura de gelatinización. Cabe mencionar, sin embargo, que el uso de esta especie fue estrictamente con el objeto de hacer la comparación con trabajos anteriores del Grupo de Polímeros, en los que se empleó el almidón comercial.

Tabla 1. Análisis del almidón empleado. Fuente: CIAT-Clayuca

Nombre regional	Brasileira (B)	Venezolana (V)
Genotipo CIAT	MCOL 2737	MCOL 2215
Humedad (%)	6,18	5,34
Densidad aparente (g/mL)	0,73	0,71
Contenido de amilosa (%)	11,9	19,3
Tg, Temperatura de gelatinización °C	65,12	70,75

Modificación del aceite de higuera e incorporación del almidón

La modificación a 210 ± 5 °C consistió en una reacción de transesterificación del aceite de higuera con pentaeritritol como agente modificador y óxido de plomo como catalizador, para obtener un polioli de mayor funcionalidad. Posteriormente, a cada uno de los polioles preparados en la etapa anterior se les incorporó 5% de almidón de yuca (este porcentaje relaciona la masa de almidón y el volumen total de polioli-suspensión). Se emplearon tres especies de almidón de yuca: venezolano V (19,3% de amilosa), brasileiro B (11,9% de amilosa) y comercial C, obteniéndose las polioli-suspensiones, es decir, polioles con almidón incorporado, a partir de los cuales se sintetizaron los SIN.

Caracterización de polioles y polioli-suspensiones

Índice de hidroxilo, según la norma ASTM D1957-86. Se midió también gravedad específica y viscosidad, no reportadas en este artículo, al no considerarlas indispensables para el mismo.

Síntesis de los SIN

- 1) Eliminación de humedad del polioli mediante rotoevaporación.

- 2) Mezcla del monómero estireno con peróxido de benzoílo (iniciador de la polimerización del estireno), dibutilamina (iniciador redox) y divinilbenceno (agente entrecruzante), llevada a cabo a temperatura ambiente (en laboratorio: 25 ± 1 °C) en un reactor de vidrio de 250 mL.
- 3) Adición del polioli-suspensión, MDI y dibutil estaño dilaureato (catalizador).
- 4) Vertimiento del prepolímero al molde para el endurecimiento del material.
- 5) Curado durante 24 horas a temperatura ambiente. En algunos casos el lapso de tiempo se prolongó a 48 y 60 horas.

Se tomaron como variables en la síntesis de los SIN las siguientes relaciones:

- 1) Relación másica porcentual de pentaeritritol/ aceite de híguerilla en los polioles (P) a partir de los cuales se sintetizaron los materiales. Se prepararon los polioles P0 (1,32%), P1 (2,64%) y P2 (5,28%).
- 2) Relación molar de los grupos funcionales NCO/OH (moles diisocianato/ moles grupo hidroxilo). Se utilizaron las relaciones 0,85 y 1.
- 3) Relación másica PU/PS (moles poliuretano/moles poliestireno). Se utilizaron las relaciones 70/30 y 80/20.

Caracterización de los SIN

- *Resistencia al ataque químico*, según norma ASTM D543-87. Los reactivos usados para tal fin fueron agua destilada (a temperatura ambiente y a 70 °C), tolueno, amoniaco comercial, ácido clorhídrico al 10%, gasolina y tetracloruro de carbono.
- *Dureza Shore A*, según la norma ASTM D785.
- *Resistencia a la tensión*, según la norma ASTM D638. La energía de ruptura se determinó calculando el área bajo la curva esfuerzo-deformación.
- *Análisis termogravimétrico TGA*, llevado a cabo en una balanza termogravimétrica TA Instruments 2050. La velocidad de prueba fue de 10 °C/min en un rango de temperatura de 25-700 °C, en una atmósfera de nitrógeno.
- *Extracción Soxhlet*, con probetas rectangulares de 4 x 2 cm, sometidas a extracción con tolueno por un periodo de 24 horas, y luego sometidas a una temperatura de 90 °C durante otras 24 horas en el horno.

Resultados y discusión

Polioles, suspensiones y polioli-suspensiones

Índice de hidroxilo. Tal como se indica en la Figura 1, se incrementó el índice de hidroxilo a medida que aumentó la cantidad de pentaeritritol, ya que de esta forma crece a su vez la funcionalidad hidroxílica del aceite.

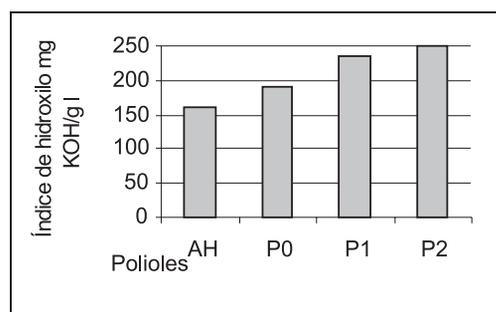


Figura 1. Índice de hidroxilo de polioles

Materiales SIN

Dureza

Los materiales no presentaron una diferencia significativa en su dureza al variar la especie de almidón utilizada. En la Figura 2 se observa un aumento considerable en la dureza del material al utilizar polioli con mayor cantidad de pentaeritritol, debido al incremento del número de grupos hidroxilo y a su vez, la densidad de entrecruzamiento. Al crecer la relación NCO/OH se observa también un acrecentamiento en la dureza del elastómero, debido a que al intensificarse dicha relación se amplía el número de enlaces uretano. Por otro parte, la cantidad de estireno (relación PU/PS) no afecta considerablemente la dureza de los materiales. Este resultado sugiere que el tiempo de curado empleado (24 horas) no es suficiente y es necesario llevarlo a 48 horas.

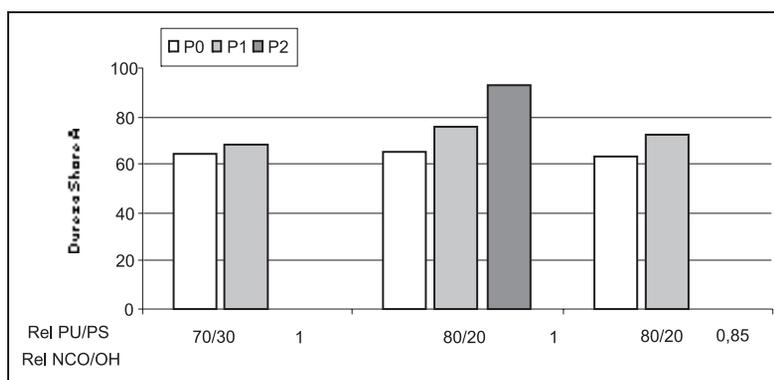


Figura 2. Dureza de SIN sintetizados con almidón brasilero B variando el polioli empleado, la relación molar NCO/OH y la másica PU/PS

La Figura 3 indica un aumento notable de la dureza de los SIN obtenidos con polioli P1 al incrementar el tiempo de curado de 24 a 48 horas (hasta 20% en el caso de la relación PU/PS=70/30 y NCO/OH=1). Se observa también que para las muestras con relación PU/PS=80/20, 48 horas de curado tampoco son suficientes; no obstante, el crecimiento en la dureza al pasar de 24 a 48 horas fue mayor que al pasar de 48 a 60 horas, lo que sugiere que 24h no es tiempo suficiente para el curado.

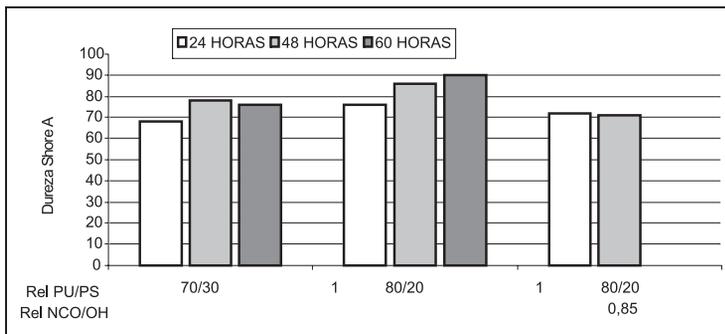


Figura 3. Dureza de SIN sintetizados con almidón comercial C y polioli P1, variando el tiempo de curado y las relaciones molar NCO/OH y másica PU/PS

Resistencia a la tensión

No se observa diferencia en tensión, elongación y módulo al variar la especie de almidón, independientemente de las relaciones NCO/OH y PU/PS utilizadas. Se observa en la Figura 4 que al aumentar la cantidad de pentaeritritol, el SIN adquiere un comportamiento plástico, incrementándose su módulo y resistencia a la tensión, y disminuyendo su elongación.

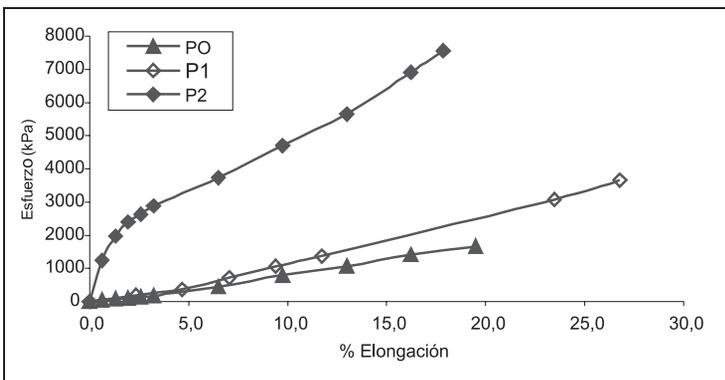


Figura 4. Curvas de tensión y deformación de SIN sintetizados con almidón venezolano V y relaciones molar NCO/OH=1 y másica PU/PS=80/20, variando el polioli empleado

A medida que aumenta la cantidad de pentaeritritol, el material pierde su carácter elástico y adquiere el comportamiento de un material plástico, debido al incremento de la densidad de entrecruzamiento del material. Este entrecruzamiento intensifica también la resistencia a la deformación, lo cual se advierte al observar el corte del cuello de la probeta después del rompimiento, presentándose una curvatura en lugar de un corte recto. La resistencia a deformarse es tal, que la energía que recibe el material es disipada durante el rompimiento, generando una mayor superficie de fractura. La Figura 5 muestra un aumento en la elongación y la resistencia a la tensión al incrementar la relación PU/PS, y un aumento en la resistencia a la tensión al incrementar la relación NCO/OH; los módulos permanecen prácticamente constantes.

En la Figura 6 se observa que un aumento en el tiempo de curado implica una mejora en las propiedades mecánicas (mayor tensión, porcentaje de elongación y módulo); esto demuestra que el tiempo de curado de 24 horas empleado es insuficiente y por ende, es necesario establecer otro mayor. Los SIN curados con 24 horas tuvieron propiedades físico-mecánicas inferiores a los poliuretanos homólogos sintetizados en trabajos anteriores (Cabrera et al., 2005), especialmente módulo y resistencia a la tensión, mientras los curados con 48 horas presentaron mayor resistencia a la tensión que los poliuretanos, aunque el módulo no varió considerablemente.

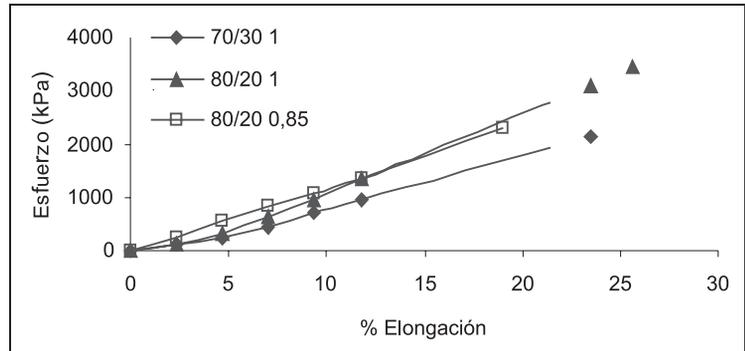


Figura 5. Curvas de tensión y deformación de SIN sintetizados con almidón venezolano V a partir de polioli P1, variando las relaciones molar NCO/OH y másica PU/PS

Extracción Soxhlet con tolueno

La extracción Soxhlet con tolueno se realiza para determinar el porcentaje de homopolímero poliestireno lineal presente en los SIN; este valor corresponde al porcentaje de variación másica, y el porcentaje restante representa el poliestireno ramificado, como se aprecia en la Figura 6. Los SIN sintetizados a partir de P0 y relación PU/PS=80/20, presentan un porcentaje de 3% y es independiente de la especie de almidón. Las muestras sintetizadas a partir de P1 denotan un aumento en el porcentaje de poliestireno lineal, este es aun mayor al incrementar la cantidad de estireno (relación PU/PS). Ello indica que 24 horas es un tiempo de curado insuficiente para la ramificación del estireno.

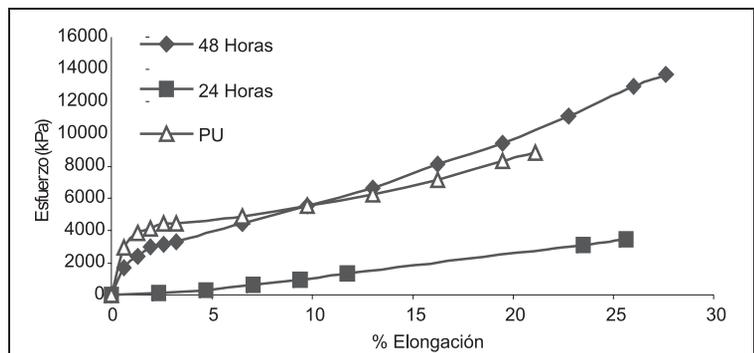


Figura 6. Curvas de tensión y deformación de SIN sintetizados con almidón venezolano V a partir de polioli P1 y relaciones molar NCO/OH=1 y másica PU/PS=80/20, variando tiempo empleado (24 y 48 h) y comparado con el elastómero de poliuretano homólogo (PU) (Cabrera et al., 2005)

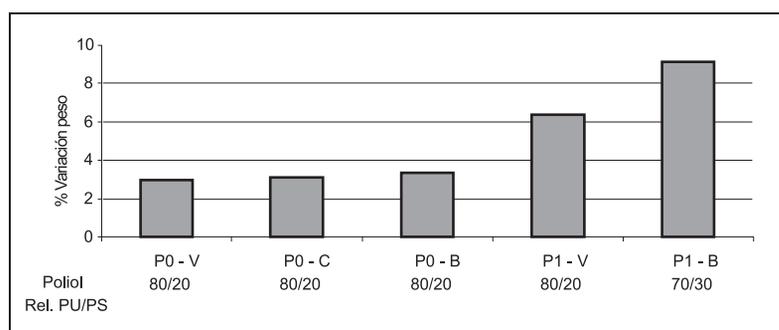


Figura 7. Extracción Soxhlet con tolueno. Variación másica de SIN con relación molar NCO/OH=1, variando relación másica PU/PS y poliol y especie de almidón empleados.

Resistencia al ataque químico

Se observa en la Figura 7 un incremento progresivo de hinchamiento en gasolina, tolueno y tetracloruro de carbono (CCl_4). El hinchamiento decrece al incrementarse el grado de modificación (aumento en la cantidad de pentaeritritol) y la relación NCO/OH.

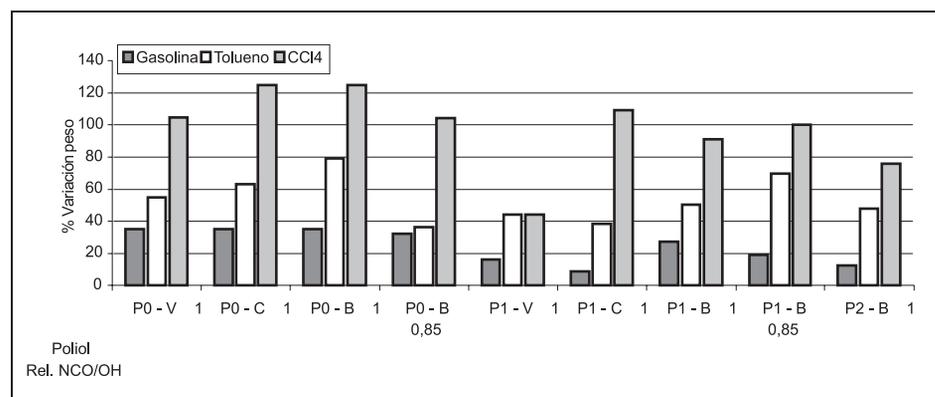


Figura 8. Hinchamiento en diferentes solventes de SIN con relación másica PU/PS=80/20, variando la relación molar NCO/OH, el poliol y la especie de almidón empleados

La especie de almidón no afectó considerablemente el grado de hinchamiento; por otra parte, no hubo ninguna variación en el peso de las muestras al someterlos al ataque con amoníaco comercial, ácido clorhídrico al 10% y agua (a temperatura ambiente y a 70 °C).

Análisis termogravimétrico

La curva de TGA de los SIN evidencia cuatro zonas de degradación. En la primera, de 160 °C a 310 °C, hay una pérdida en peso del material que corresponde a pérdida de humedad, hidrocarburos alifáticos lineales del aceite de higuera, almidón y oligómeros. La segunda zona, comprendida entre 318 °C y 388 °C, representa la degradación del poliestireno lineal o a los pseudo SIN. La tercera zona, comprendida entre 390 °C y 450 °C, indica la volatilización de las ramificaciones presentes en las moléculas que se encuentran formando los enlaces uretano (secciones de ácidos, ésteres o isocianato que están unidos a la red principal, pero que no alcanzaron a reaccionar), así como compuestos de peso molecular

promedio o almidón presente en los elastómeros. Finalmente, en la cuarta zona se da la completa descomposición de los SIN reticulados. La Tabla 2 relaciona los intervalos de temperaturas de degradación térmica para dos muestras.

Los valores obtenidos establecen que las muestras analizadas tienen un comportamiento similar durante la degradación. Se encontró que los intervalos de degradación son muy similares a los presentados en los materiales obtenidos por vías independientes en trabajos anteriores [1,4].

Tabla 2. Análisis de TGA de los SIN

Muestra	T_{inicial} (°C)	T_{final} (°C)
Poliol P1, almidón brasilero B, PU/PS=80/20, NCO/OH=1	282,08	490,77
Poliol P1, almidón venezolano V, PU/PS=80/20, NCO/OH=1	269,79	490,77

Comparación entre materiales obtenidos a partir de poliol-suspensiones, polioles y suspensiones

Se compararon los materiales obtenidos en este trabajo a partir de modificación-incorporación, es decir, poliol-suspensiones, con los obtenidos en trabajos previos del Grupo de Investigación en Polímeros a partir de polioles (Duarte *et al.*, 2005) (aceite modificado con pentaeritritol) y suspensiones (Valero *et al.*, 2005) (aceite con almidón

incorporado). La comparación se hizo con materiales a partir de poliol-suspensiones de almidón brasilero. La importancia de esta comparación radica en la posibilidad de observar los cambios que la modificación y la incorporación del almidón hacen en las propiedades de los materiales producidos.

Dureza

La Figura 8 muestra que la dureza de los SIN a partir de poliol-suspensiones (modificación-incorporación) es mayor que la de las obtenidas con polioles y suspensiones (modificación e incorporación respectivamente), acorde con los resultados del aumento del índice de hidroxilo de las poliol-suspensiones (Cabrera *et al.*, 2005).

Resistencia a la tensión

Según la Figura 9, el incremento en el módulo al incorporar 5% de almidón aumenta desde ocho veces para el poliol P0 (índice de hidroxilo 190) hasta más de veinte veces para el P2 (índice de hidroxilo 250), es decir, la diferencia en el módulo crece a medida que se intensifica la funcionalidad del poliol original. Por otra parte, la elongación se reduce

aproximadamente en un 90% independientemente del polioli. La resistencia a la tensión se ve disminuida al incorporar el almidón; no obstante, hay que tener en cuenta que el tiempo de curado de los SIN sintetizados a partir de polioli-suspensiones (24 horas) no fue suficiente según los resultados ya discutidos.

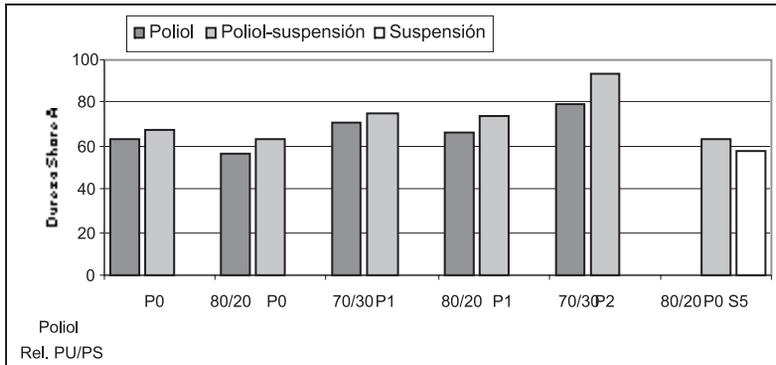


Figura 9. Comparación en dureza entre SIN obtenidos a partir de polioli, suspensiones y polioli-suspensiones, con relación molar NCO/OH = 1, variando la relación másica PU/PS

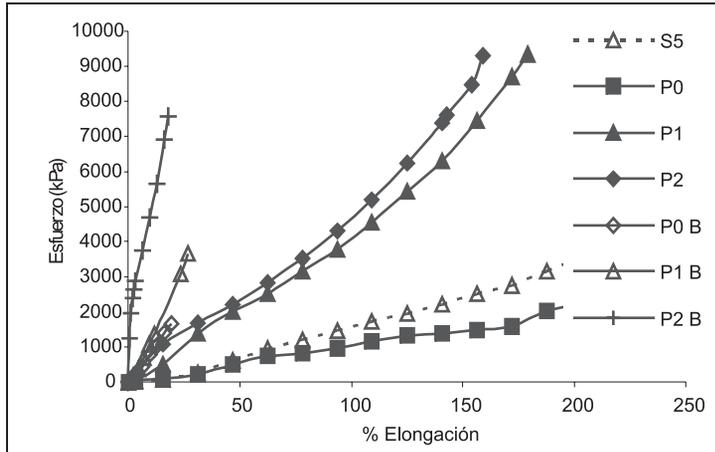


Figura 10. Comparación en resistencia a la tensión entre SIN obtenidos a partir de polioli, suspensiones y polioli-suspensiones, relaciones molar NCO/OH=1 y másica PU/PS=80/20. (Para el SIN a partir de polioli P0 se usó relación másica PU/PS= 70/30)

Resistencia al ataque químico

La Figura 10 revela que los SIN de polioli-suspensiones presentan menor hinchamiento en tetracloruro de carbono que los de polioli y suspensiones al aumentar el entrecruzamiento del material.

Extracción Soxhlet con tolueno

Según lo indica la Figura 11, los SIN obtenidos a partir de polioli-suspensiones presentan un mayor contenido de poliestireno lineal que los de polioli, esto es, se ramificó menos estireno, lo cual sugiere que si bien 24 horas podría ser suficiente tiempo de curado para los SIN de polioli, no lo es para los de polioli-suspensiones, pues se ramifica menos estireno.

Es evidente que la incorporación de almidón está mejorando las propiedades del material, lo cual también ocurre con los elastómeros de poliuretano sintetizados en investigaciones anteriores (Cabrera *et al.*, 2005). Existen dos posibles papeles del almidón dentro de la red poliuretano: como agente entrecruzante (Seung-Kyu y Broecker, 2003) o como relleno de refuerzo (Siddaramaiah y Kendaganna, 2003).

Ambos papeles van a aumentar las propiedades físico-mecánicas del material (le confiere rigidez) y su resistencia química; el problema radica en saber en qué medida el almidón asume uno u otro papel. El almidón está en forma de gránulos, pues este no se somete a tratamiento previo, así que ellos estarían presentes en la red de poliuretano, por tanto, no todos los grupos hidroxilo del almidón estarían reaccionando con el MDI para formar enlaces uretano, pues existiría parte del almidón dentro del gránulo y sin contacto con el diisocianato.

De tal manera, los gránulos de almidón formarían enlaces uretano con el MDI sólo en su superficie, pues esta sería el componente reactivo del almidón, mientras que su interior formaría un relleno de refuerzo dentro de la red. Lo anterior, sin embargo, requiere ser comprobado mediante pruebas en laboratorio, que se llevarán a cabo en etapas siguientes de este proyecto de investigación.

Conclusiones

Se obtuvo amplia gama de materiales tipo SIN a partir de aceite de higuera modificado con pentaeritritol y sujeto posteriormente a incorporación de almidón de yuca, con resistencia química y propiedades físico-mecánicas mayores que las de los obtenidos con polioli y suspensiones homólogos; esto debido a la presencia del almidón, bien como relleno o bien como agente de entrecruzamiento en la red, aunque no se comprobó cuál de estos dos papeles asume el almidón dentro del IPN. El tiempo de curado también fue mayor, pues aparentemente no fue suficiente para la ramificación del estireno dentro de la red polimérica. Por otro lado, la variación de la especie de almidón, esto es, del contenido de amilopectina en la red, no afectó considerablemente las propiedades de los materiales sintetizados. En investigaciones posteriores se espera avanzar en el estudio morfológico de las redes obtenidas y determinar así el rol que asume el almidón incorporado a la red, así como el tiempo necesario para la ramificación del estireno.

Agradecimientos

A Colciencias-SENA-Universidad Industrial de Santander, por la financiación del proyecto. A CIAT-Clayuca por el suministro del almidón. Al Grupo de Investigación en Polímeros de la Universidad Industrial de Santander.

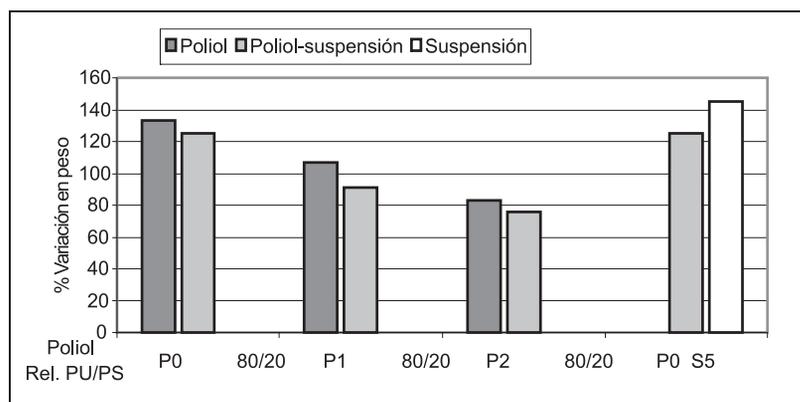


Figura 11. Comparación de hinchamiento en CCl_4 , entre SIN obtenidos a partir de polioli, suspensiones y polioli-suspensiones, con relación molar NCO/OH=1, variando la relación másica PU/PS

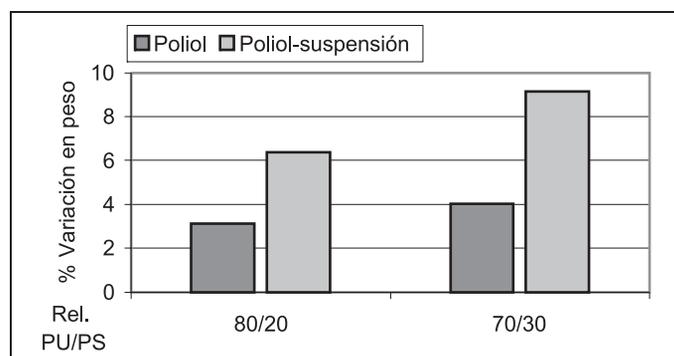


Figura 12. Extracción Soxhlet con tolueno. Comparación en variación másica entre SIN obtenidos a partir de polioli P1 y polioli-suspensiones a partir de estos, con relación molar NCO/OH=1, variando relación másica PU/PS

Bibliografía

Athawale, E. and Kolekar, S., Interpenetrating polymer networks based on polyol modified castor oil polyurethane and polymethylmethacrylate., *European Polymer Journal*, Vol. 34, No. 10, 1998, pp. 1447-1451.

Cabrera, J., Navas, K., Pulido, J. y Ramírez, A., Síntesis y caracterización de elastómeros de poliuretano y redes interpenetradas (IPN) a partir de polioli-suspensiones de aceite de higuera y almidón de yuca, y estireno., Tesis en Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2005.

Duarte, M., Socarrás, J., Pulido, J. y Ramírez, A., Síntesis y caracterización de elastómeros de poliuretano a partir de metileno difenil diisocianato (MDI) y aceite de higuera modificado con almidón de yuca., Tesis en Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2005.

Prashantha, K., Vasanth, K., Sherigara, B. and Prasanakumar, S., Interpenetrating polymer networks based on polyol modified castor oil polyurethane and poly (2-hydroxyethylmethacrylate): Synthesis, chemical, mechanical and thermal properties., *Bull. Mat. Sci.*, Vol. 24, No. 5, 2001, pp. 535-538.

Seung-Kyu Ha, and Broecker, H., The crosslinking of polyurethane incorporated with starch granules and the rheological properties: influences of starch content and reaction conditions., *Macromolecular Materials & Engineering*, Vol. 288, No. 7, 2003, pp. 569-577.

Siddaramaiah, J. and Kendaganna, B., Structure property relationship of the starch-filled chain-extended polyurethane., *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.90, No. 11, 2003, pp. 2945-2954.

Valero, M., Martínez, M., Ramírez, H., Valdivieso, M., Duarte, D., Ramírez, A. y Pulido, J., Preparación y comportamiento de polímeros de redes simultáneamente interpenetradas (IPN), formadas por poliuretano de aceite de higuera modificado y poliestireno., *Memorias del Congreso Colombiano de Ingeniería Química*, Manizales, Colombia, 2005.