

Disminución de la temperatura de sellado en películas de polietileno modificadas con acrílicos, ahorro de energía

Ana Beatriz Morales Cepeda ^{1,*}, Claudia Esmeralda Ramos-Galvan ², Anjuli Hernández Martínez ¹

¹ Centro de Investigación en Petroquímica, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cd. Madero, Altamira, México

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cd. Madero, Altamira, México

* Autor de correspondencia: ana.mc@cdmadero.tecnm.mx

Desarrollo Sustentable (Optimización de procesos energéticos)

Recibido: 28 de septiembre de 2025

Aceptado: 15 de octubre de 2025

Publicado: 28 de enero de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.647>

Resumen: El ahorro de energía en los procesos industriales es fundamental para disminuir costos en los productos finales, así como hacer un proceso más sustentable. Se estudió la disminución de la temperatura de selle en películas de polietileno modificadas con monómeros acrílicos. Esta modificación en la superficie de la película por medio de una polimerización con luz ultravioleta fue evaluada por espectroscopia de infrarrojo, pruebas de sellado con diferentes temperaturas y fuerzas, así como la fuerza de tracción de las muestras. La presencia del poli(ácido acrílico) fue corroborada con la técnica de espectroscopia de infrarrojo, así como la temperatura de sellado disminuyó de 110°C a 83 °C, lo que coloca en un ahorro de energía calculado de 110 kVA/hora. La fuerza de tracción de la película está dentro del parámetro de un polímero comercial de 43 Kg_f.

Palabras clave: temperatura de sellado, polietileno, acrilatos, ahorro de energía

Decrease in sealing temperature in polyethylene films modified with acrylics, energy savings

Abstract: Energy savings in industrial processes are fundamental to reducing costs in final products and making the process more sustainable. The reduction in sealing temperature of polyethylene films modified with acrylic monomers was studied. This modification of the film surface by ultraviolet light polymerization was evaluated by infrared spectroscopy, sealing tests at different temperatures and forces, and tensile strength measurements of the samples. The presence of poly (acrylic acid) was confirmed by infrared spectroscopy, and the sealing temperature decreased from 110 °C to 83 °C, resulting in a calculated energy saving of 110 kVA/hour. The tensile strength of the film is within the range of a commercial polymer at 43 kg_f.

Keywords: sealing temperature, polyethylene, acrylates, energy savings

Introducción

La conservación de alimentos, así como la mejora continua en los tipos de envasado, ha sido muy importante a través del tiempo, ya que no solo involucra la calidad del empaque, sino también el ahorro de materias primas, energía y, sobre todo, una imagen atractiva para el consumidor. Un factor que influye en el desarrollo de la industria del embalaje es el uso final del material, teniendo como prioridades proteger el producto, identificarlo, que sea posible imprimir dibujos y textos para el etiquetado para obtener un empaque sencillo de abrir pero que al mismo tiempo el producto esté protegido dentro del empaque contra los efectos del ambiente.

Los envases flexibles de multicapa son la combinación de dos o más capas dentro de una red compuesta o de tubo. Sea cual sea la aplicación o el uso, los materiales poliméricos son seleccionados para que la estructura del empaque reúna ciertos requisitos de desempeño para cierta aplicación en particular. Dentro de las propiedades que deben cumplir estas capas está la temperatura de sellado; esta temperatura es a la cual se debe fundir o activar la capa de sellador, para permitir que los materiales se adhieran adecuadamente (Saechtling, 2006). De acuerdo con lo anterior, tenemos que el mejoramiento de las propiedades de adhesión del polietileno se realiza empleando diversos métodos como lo es extrusión, copolimerización en fase gaseosa y con luz ultravioleta. Esta investigación presenta resultados de la modificación de la superficie del polietileno con diferentes monómeros, mediante el uso de luz ultravioleta. Esta investigación pretende reducir el consumo de energía, y la contaminación por los procesos exhaustivos de polimerización de poliolefinas, en especial los polímeros de alto consumo como lo es el polietileno. El objetivo de esta

investigación es disminuir la temperatura de selle mediante la copolimerización de monómeros acrilatos en la superficie del polietileno.

Materiales y Métodos

El polietileno que se utilizó en las síntesis fue de Ziploc® Sandwich bags, que está compuesto de polietileno lineal de baja densidad combinado con polietileno de baja densidad. Los reactivos empleados como monómeros son de la marca Sigma Aldrich. Metacrilato de 3 – (trimetoxisilil) – propilo (TMSPM), Ácido acrílico anhidro (ac acr) y Trietoxivinil silano (TVS), en todos ellos se eliminó el inhibidor. Los iniciadores utilizados fueron de marca Sigma Aldrich; peróxido de benzoilo, y la benzofenona. Tolueno (ACS)/ JT Baker, Acetona (ACS)/ Analitika, se utilizaron como solventes. Para la reacción de modificación de la superficie se utilizó una lámpara ultravioleta del tipo Minera light lamp, modelo R – 52G (115 V) marca UVP para fotoquímica, de onda corta $\lambda = 254\text{nm}$.

Copolimerizaciones: Se realizaron en solución en relación 2:1 monómero: solvente con 2 % en peso del iniciador, se dejan agitando durante 5 minutos. Posteriormente se agrega la solución preparada a las películas de polietileno, de manera que el líquido cubra la superficie de las películas capa por capa. La copolimerización inicia cuando se enciende la lámpara UV durante 30 minutos. Las películas modificadas se lavan con agua destilada, finalmente se dejan secando a 30°C por 24 horas.

Espectroscopia de infrarrojo: Se usó un espectrofotómetro de infrarrojo por transformada de Fourier marca Perkin Elmer, modelo Spectrum One, con una escala de 4000 – 600 cm^{-1} , empleando 12 barridos y una celda de Reflectancia total atenuada (ATR) marca Pike. La muestra fue en película, del grosor entre 20 a 30 μm .

Temperatura de sellado: Para el sellado de películas se empleó una selladora de pedal marca Hillas Packing con un dinamómetro, con control de temperatura. El rango de temperatura usado para el sellado fue entre 60 a 130° C para controlar la temperatura de sellado mínima (Hernández Martínez A.,2012). La fuerza del sellado es de 25 – 20 kg_f . En la Figura 1 se muestra el diagrama de la metodología.

Fuerza de tracción: La fuerza de tracción se usó una máquina universal Shimadzu AG5-20 KNG, de acuerdo con la norma ASTM 6238

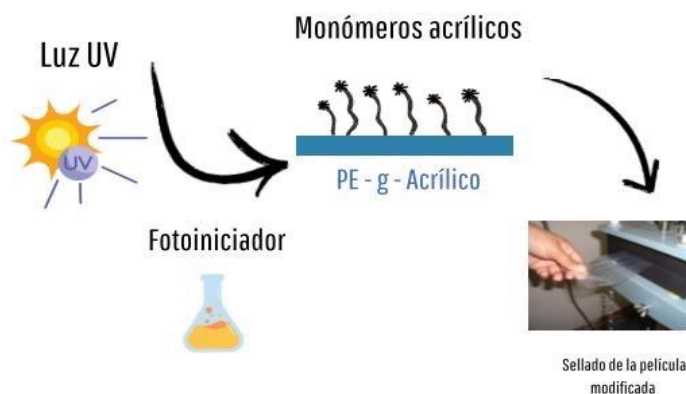


Figura 1. Diagrama de metodología

Resultados y Discusión

En la Figura 2 se presenta el espectro infrarrojo correspondiente al polietileno sin modificar, así como al material modificado con ácido acrílico, tolueno y peróxido de benzoilo. El espectro de polietileno sin modificar presenta bandas características de tensión del grupo CH_2 a 2850 – 2960 cm^{-1} , de flexión del CH_2 a 1465 cm^{-1} y un balanceo de CH_2 a 725 – 750 cm^{-1} debido a la cadena larga de más de 4 grupos CH_2 . Mientras el polietileno modificado con ácido acrílico línea azul, muestra además de las bandas anteriormente descritas para el polietileno puro, las bandas características del poli (ácido acrílico) en la superficie que son estiramientos $\text{C} = \text{O}$ a 1750 – 1800 cm^{-1} , también presenta las bandas de los grupos $-\text{OH}$ a δ 1200 – 1250 cm^{-1} y del grupo $-\text{CH}_2$ unido a un grupo $-\text{OH}$ a 1000 – 1075 cm^{-1} .

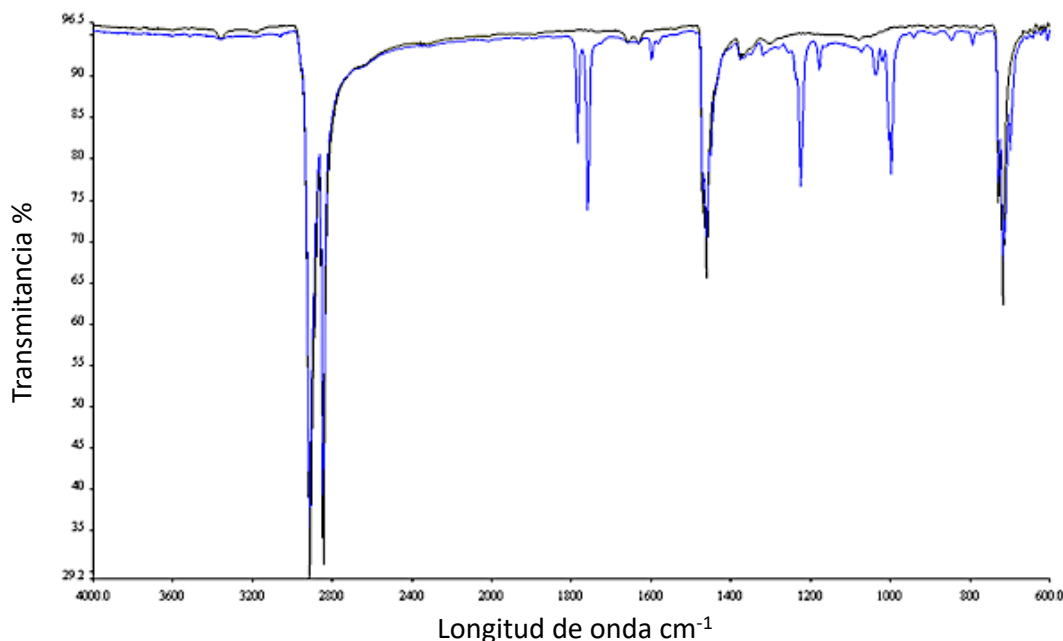
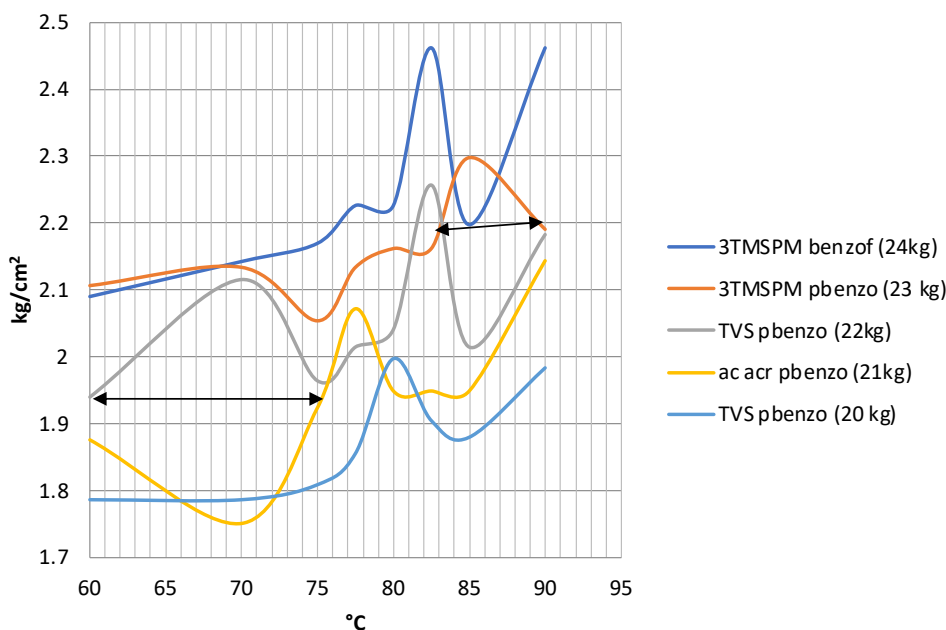


Figura 2. Espectroscopia de Infrarrojo del polietileno, línea color negro Polietileno sin modificar y línea azul polietileno modificado con acrilato

En las curvas de sellado hay máximos y mínimos (Figura 3). Una curva de sellado aceptable es la que presenta la menor cantidad posible de mínimos y un máximo, de preferencia que la curvatura sea amplia; esto proporciona un margen mayor para las variaciones de temperatura en los procesos de envasado. El análisis de sellado de las películas de polietileno se realizó hasta 90°C, a temperaturas más altas la película se adhería a la soldadura, a 100°C se retraía la soldadura y ya no era posible abrirla, igualmente a 110°C se fundía el material, adhiriéndose a las fauces de la selladora. Se aprecia que la película con siloxano con 23kg_f presenta una curva de sellado con una cresta desde 83 a 90°C, el polietileno comercial sin tratamiento tiene una temperatura de sellado de 110°C (Iwasaki, Toshiharu et col. 2016). Se calcula un ahorro de energía de 110 kVA/hora. En la figura 3b se muestra una fotografía de las películas y su aspecto final después de una prueba de sellado. Se aprecia el encogimiento de la soldadura conforme aumenta la temperatura.



(a)

Figura 3. a) Curvas de sellado con diferentes monómeros y fuerza de selle y b) fotografía del selle de las películas de polietileno



(b)

Figura 3 (Continuación). a) Curvas de sellado con diferentes monómeros y fuerza de selle y b) fotografía del selle de las películas de polietileno

Analizando la efectividad de los monómeros, se aprecia que los acrílicos (ácido acrílico y TMSPM) tienen mejores propiedades adhesivas en comparación con el TVS. Esto se debe a que los adhesivos acrílicos son formulados para tener viscosidad baja controlable, la cual hace posible una rápida y precisa distribución en las partes que serán unidas. Además, el curado rápido sin la necesidad de que se encuentre largos periodos de tiempo en hornos hace estos adhesivos particularmente útiles para ensamblar varios componentes en una línea de producción automática o semi – automática (Packham, 2005).

Las pruebas de tracción ASTM, el PE con siloxano tuvo una carga máxima de 43.46 ± 2.0 kgf, máximo desplazamiento 160.77 ± 1.5 mm, máximo esfuerzo 1.436 ± 2.4 kgf/mm², máxima deformación de 595.45 ± 5.2 % y 8.94 ± 8.4 kgf/mm² para 10, 20 kgf. Estos resultados son comparables con el polímero Tafmer® que es una mezcla de polipropileno-polietileno (carga máxima de 50.43 ± 1.5 kgf, máximo desplazamiento 180.17 ± 3.8 mm, máximo esfuerzo 1.528 ± 1.2 kgf/mm², máxima deformación de 600.59 ± 7.2 % y 8.34 ± 3.4 kgf/mm² para 10, 20 kgf.) (Meka, P. y col 1994).

Conclusiones

El uso de monómeros de ácido acrílico y siloxano en las películas de polietileno permitió mejorar sus propiedades de adhesión. La temperatura de sellado presentó un umbral de operación entre 83 y 90 °C, inferior al del polietileno comercial sin modificar, lo que representa un potencial ahorro en el consumo de energía eléctrica durante el proceso de sellado.

Asimismo, las pruebas de tracción confirmaron que las películas modificadas presentan propiedades mecánicas comparables o superiores a las comerciales. A pesar de que ambas muestran valores similares de alargamiento y módulo elástico, las películas sintetizadas ofrecen mejor desempeño general, lo que respalda la eficacia de la modificación superficial realizada.

Agradecimientos y financiamiento: Se agradece al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico de Ciudad Madero por el apoyo económico recibido, así como por el uso de las instalaciones del Centro de Investigación en Petroquímica.

Bibliografía

Hernández Martínez, A. (2012). *Copolímero de poliolefinas con baja temperatura de selle*. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero.

-
- Iwasaki, Toshiharu, Takarada, Wataru, & Kikutani, Takeshi. (2016). Influence of processing conditions on heat sealing behavior and resultant heat seal strength for peelable heat sealing of multilayered polyethylene films. *Journal of Polymer Engineering*, 36(9), 909–916. <https://doi.org/10.1515/poleng-2015-0383>
- Meka, P., & Stehling, F.C. (1994). Heat sealing of semicrystalline polymer films. I. Calculation and measurement of interfacial temperatures: The effect of process variables on seal properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 51, 89–103. <https://doi.org/10.1002/app.1994.070510111>
- Packham, D.E. (2005). *Handbook of Adhesion*. John Wiley & Sons. ISBN: 9780471808749 | Online ISBN: 9780470014226 | DOI: 10.1002/0470014229
- Saechtling, H. (2006). *Manuale delle materie plastiche*. Tecniche Nuove. ISBN: 884811671X, 9788848116718