

DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA ÓPTIMA PARA EL TERMOSELLADO DE BOLSAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

Autor: Julián Marchese ^(1,*), **Docente Tutor:** Mariana Bernard ⁽¹⁾

⁽¹⁾*Grupo GISEner - Departamento de Ingeniería Electromecánica, UTN Facultad Regional San Francisco, Avenida de la Universidad 501 (2400). Tel. +54 (03564) 421147/435402. San Francisco. Provincia de Córdoba. Argentina*

^(*)*julianmarchese95@gmail.com*

Resumen

La industria de los plásticos alcanza innumerables aplicaciones, pero adquiere particular importancia en el ámbito del envasado y la contención de productos de consumo. Esto involucra múltiples desarrollos de ingeniería para la optimización de los equipos y procesos utilizados. El proceso continuo de termosellado de polietileno implica variaciones en sus parámetros que dependen principalmente del equipo utilizado y de las características fisicoquímicas del material a sellar. Esto genera frecuentes desperdicios de recursos al momento de poner a punto el proceso, generando pérdidas económicas y deficiencias en el sellado durante el cambio de material en la línea de producción. En este aspecto se considera importante desarrollar una metodología de laboratorio para la determinación de la temperatura óptima de sellado de láminas tricapa de polietileno lineal de baja densidad (LDPE) de manera de establecer las mínimas condiciones que aseguren un sellado mecánicamente eficiente. Este procedimiento permite definir un rango de temperaturas ideales para las cuales se logre la unión, a la vez que se optimiza el consumo energético utilizando la menor temperatura posible sin comprometer la resistencia mecánica resultante. La metodología implementada permitió alcanzar un rango de temperaturas donde se maximizó la resistencia mecánica del sellado a la vez que permitió concentrar los valores de temperatura en torno a un valor determinado sin comprometer la calidad del cierre.

Introducción

El método de termosellado consiste básicamente en el aporte de calor y presión sobre un conjunto de láminas, en este caso de LDPE, con el fin de generar una unión entre las interfaces que se encuentran en contacto. Básicamente, a nivel industrial, es posible distinguir dos métodos bien diferenciados que utilizan una resistencia eléctrica como generador principal de calor. Uno ellos es el sellado continuo, el cual emplea una banda de arrastre normalmente confeccionada por un material compuesto de fibra de vidrio y politetrafluoroetileno (PTFE, comúnmente llamado teflón) y un bloque calefactor, mientras que el otro se basa en el empleo de mordazas calefaccionadas que realizan un movimiento de apertura y cierre para realizar la adhesión de las películas. Sin embargo, para lograr una correcta unión, la variable más importante no es la presión ejercida, sino la temperatura del material. Investigaciones realizadas por Terán (2015) y Meka, P. (1994) concluyen en que el valor de presión no influye significativamente sobre la calidad final del sellado, sino que es necesario un mínimo valor capaz de desplazar el aire que se encuentre entre las interfaces, agregando incluso, que un valor excesivo de presión puede ser perjudicial y que potencialmente derive en el debilitamiento mecánico o una laminación en la costura. En contraposición según el estudio realizado por Terán (2015) concluyen que el factor significativo en el sellado es la temperatura. El hecho de elevar la temperatura provoca el empleo de energía que se transforma en calor, derivando en pérdidas tanto económicas como energéticas, si la elección no es la adecuada. En otros trabajos de desarrollo de equipos como Antamba, J. (2018) y García Martínez, M. (2015) se puede observar que los valores de presiones no tienden a unificarse en un valor determinado, sino que se emplean rangos posibles muy amplios y valores suministrados por fabricantes respectivamente.

En relación con lo planteado por Terán (2015) y evaluando las diferentes opciones de dispositivos comerciales, cuyos rangos de temperaturas son extremadamente amplios, este estudio propone el análisis de las variables que pueden verse influenciadas por un exceso o deficiencia de calor en el

momento de termosellado, así como las propiedades mecánicas finales del cierre obtenido. A partir de esto se procurará determinar aquella temperatura óptima de sellado que involucre la mejor relación de propiedades y que contribuya a incrementar la eficiencia energética del proceso.

Método empleado

Con el fin de determinar la temperatura óptima de sellado se procedió a realizar una serie de pruebas denominadas como “ensayo de apertura” y “ensayo de debilitamiento”. En el primer caso se expuso la costura a una tracción de tal manera que el esfuerzo provoque la separación de las películas en la unión. El segundo se basó en someter a tracción las películas de modo de obtener información si existe un debilitamiento de la lámina en la cercanía de la costura, en una etapa posterior al sellado. La figura 1 muestra un esquema de tracción en ambos casos.

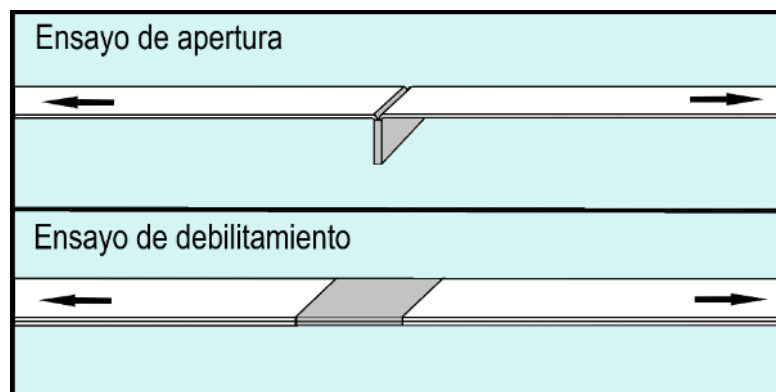


Fig. 1: Esquema de ensayos de tracción
Fuente: Elaboración propia

Para ambos ensayos se recurrió a la confección de probetas de 15 mm de ancho por 100 mm de largo, partiendo de una lámina de 0,25 mm de espesor. El ensayo de apertura se realizó mediante 5 repeticiones en series desde 60 °C a 110 °C para la temperatura de sellado, con intervalos de 5 °C, dando un total de 55 muestras. En cambio, para el ensayo de debilitamiento se realizaron series desde 60 °C hasta 105 °C manteniendo los intervalos de 5 °C, dando un total de 50 muestras. Para la confección de las mismas se cuenta con una termo selladora de mordaza, que consta de una resistencia calefactora en la placa inferior y una goma (resistente a altas temperaturas) en la placa superior. Para realizar el sellado se introdujeron las láminas de muestra de LDPE tricapa entre las mordazas, cerrando las mismas por presión y presionando el botón de encendido. Dado a que el equipo no posee un display de comunicación con el operario, ni un sensor de temperatura, se decidió monitorear el calentamiento de la unión a través de un multímetro digital Pronext®, el cual posee una termocupla capaz de medir temperaturas con una resolución de 1 °C y con un margen de error $\pm 1,0\%+4$. Por último, cabe mencionar que se realizó un ensayo de tracción convencional sobre muestras simples sin sellar, de tal modo que se obtiene la curva característica del material que compone a las láminas con el fin de utilizarse de referencia para el análisis posterior de los resultados. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante ANOVA con test DGC a posteriori mediante el software Infostat® (Di Rienzo et al, 2008) con un intervalo de confianza del 0,05, y mediante regresión lineal con Microsoft Excel (Versión 2010).

El equipo utilizado para realizar los ensayos mecánicos fue una máquina de ensayos universales, Shimadzu AGS- X (Tokyo, Japón) con una celda de carga de a 20 kN. La metodología de análisis fue realizada según la norma ASTM D790.

Resultados

Cómo se puede observar en la figura 2 para el ensayo de apertura, los resultados presentan una dispersión importante.

Ensayo de apertura

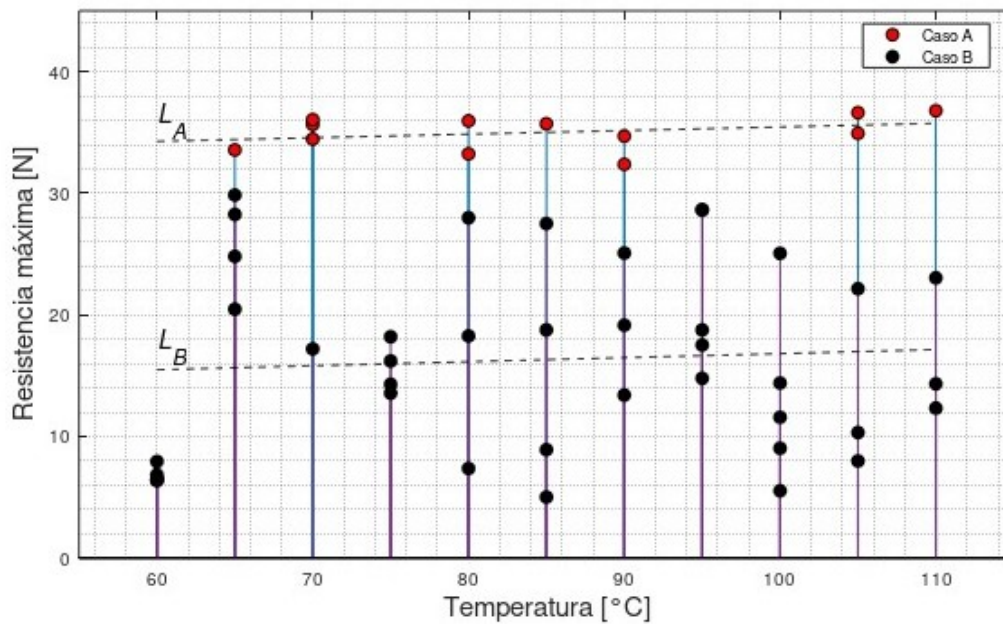


Fig. 2: Resultados del ensayo de apertura

En función de esto, es necesario analizar cada caso y observar las curvas obtenidas por el estudio. Durante el ensayo se observó que las uniones presentaban básicamente 2 comportamientos. El primero (Caso A) es que, dado al esfuerzo aplicado, se rompía la lámina mientras que la unión permanecía inalterada. En contraposición, en el segundo de ellos (Caso B) la deformación de la lámina era leve (e incluso visualmente nula), pero la unión no podía soportar la sollicitación mecánica. A su vez, en este último comportamiento se visualizó la presencia de burbujas de aire a medida que la costura se abría, las cuales parecieran sugerir que, o bien la presión ejercida por las mordazas pudo no haber sido suficiente o que la existencia de irregularidades en la superficie de la placa calefactora pudiese haber favorecido la creación de dichas burbujas. Tampoco se descartó la posibilidad de que este debilitamiento de la unión fuera provocado por características intrínsecas del material, por ejemplo, una degradación por el calentamiento. Debido a esto se plantea lo siguiente: puesto que existen 2 casos bien diferenciados, se comenzarán a analizar las curvas de su comportamiento derivando en dos clasificaciones.

Para el Caso A, la gráfica presenta una forma semejante a las curvas de referencia del material. Esto estaría indicando que la resistencia de la costura es, por lo menos, igual al del material original. Las etapas desarrolladas en el experimento son similares y consistentes con los resultados de la deformación de la lámina de LDPE sin estar sometida al proceso de sellado. Por otro lado, en las curvas B la resistencia mecánica es menor que la del material sin sellar, razón por la que se considera que este sellado no es el óptimo. Teniendo en cuenta esto, se dividen los casos, no con el fin de sesgar o de descartar las muestras si no de analizarlas con más detalle. Del total de muestras (55) solamente se han obtenido 12 casos de curvas que corresponden con la deformación de las muestras del material, lo cual representa un 21,81%. En cambio, los casos en donde la unión no ha sido óptima representan el 78,19% del total. En base a lo descrito anteriormente se procede a realizar un estudio estadístico mediante el uso del Software Infostat©. En primer lugar, se verifica que los datos obtenidos por el ensayo de tracción posean, o tiendan, a una distribución normal (homocedástica). Las tablas 1 y 2 muestran la distribución de datos obtenidas para cada caso.

Tabla 1: Resultados estadísticos para caso A

<i>Serie</i>	<i>Media</i>	<i>n</i>	<i>E.E.</i>
65 °C	33,56	1	1,99 A
70 °C	36,58	4	1,00 A
80 °C	34,59	2	1,41 A
85 °C	35,72	1	1,99 A
90 °C	33,54	2	1,41 A
105 °C	35,78	2	1,41 A
110 °C	35,94	2	1,41 A

Tabla 2: Resultados estadísticos para caso B

<i>Serie</i>	<i>Media</i>	<i>n</i>	<i>E.E.</i>
60 °C	6,82	5	2,40 A
65 °C	25,84	4	2,68 B
70 °C	17,20	1	5,37 B
75 °C	15,56	4	2,68 B
80 °C	23,12	2	3,79 B
85 °C	18,38	3	3,10 B
90 °C	19,21	3	3,10 B
95 °C	21,67	5	2,40 B
100 °C	11,67	3	3,10 B
105 °C	13,48	3	3,10 B
110 °C	16,57	3	3,10 B

Se seleccionan los datos obtenidos en el Caso A y Caso B por separado y se aplica un análisis de varianza no paramétricos (ANOVA) cuyos resultados informan que, dentro del conjunto A, no existe diferencia estadística entre las distintas series de temperatura. Por otra parte, en las muestras del conjunto B las series tampoco muestran diferencias estadísticas salvo por la serie de 60°C. Es decir, que las series desde 65°C hasta 110°C son estadísticamente iguales. Esto podría estar indicando que la serie de menor temperatura tiene un comportamiento físico distinto a los demás. Teniendo en cuenta la distribución normal de los valores, se procede a su vez con un análisis de regresión para poder establecer una potencial relación entre la resistencia mecánica y la temperatura.

En la figura 2 puede observarse, sin embargo, que las rectas L_A y L_B son prácticamente horizontales para ambos casos. Esto estaría indicando que sin importar cómo se logró el sellado, el aumento de temperatura no indica una mejora en la calidad de la unión de las interfaces de las películas. Por todo lo analizado anteriormente, es posible plantear que una vez lograda la unión no es posible establecer una relación resistencia-temperatura a la apertura, pero si la determinación de una zona límite inferior donde temperaturas por debajo de ese valor no producirían un sellado a través del método escogido. Es por ello que, dado a la evidencia recolectada por el ensayo, se podría deducir que la temperatura mínima donde puede existir evidencia de adhesión es 65°C. Sin embargo, es necesario adoptar un cierto margen de seguridad. Por lo tanto, y a fines prácticos, es prudente tomar como límite inferior una temperatura mayor a la obtenida experimentalmente, fijada a partir de este estudio en un valor de 70°C. Para el ensayo de debilitamiento, los valores obtenidos para cada serie presentan una uniformidad en su distribución. Sin importar cuál de las mismas se analice, es posible visualizar que los resultados tienden al mismo valor. Realizando nuevamente una regresión lineal, representada en la figura 3 por la línea L_D , es totalmente evidente que no existe relación entre la temperatura de sellado respecto de la resistencia de las películas. Además, los gráficos obtenidos de este experimento presentan una curva amesetada, pudiéndose distinguir las zonas correspondientes al ensayo de tracción del material sin sellar.

Ensayo de debilitamiento

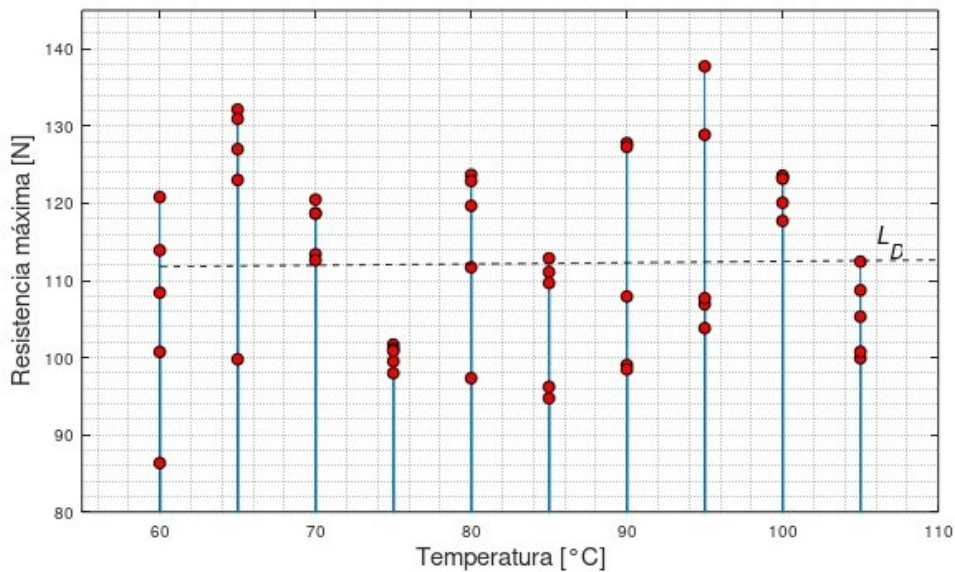


Fig. 3: Resultados del ensayo de debilitamiento

Cabe destacar que en la práctica no es conveniente elevar demasiado la temperatura con el fin asegurar la unión ya que se acercaría a la temperatura de fusión del material. Por otra parte, a medida que se eleva la temperatura, la película tiende a deformarse con mayor facilidad lo cual puede llegar a ser contraproducente al momento de la operación en la planta. Dicha temperatura de fusión se encuentra alrededor de los 110 °C, y dependiendo del material, puede ser incluso 106 °C. Es por ello que como límite superior se estipula la temperatura de 90 °C.

Basándose en los resultados obtenidos experimentalmente, es posible establecer una temperatura de sellado adecuada que, no solamente sea la menor posible en pos de reducir el consumo de energía, sino que se encuentre en un nivel lo suficientemente alto como para asegurar la unión eficiente. Es por ello que, determinados los límites, se considera que 80 °C resulta una temperatura adecuada para el sellado térmico de LDPE tricapa.

Conclusión

En este trabajo se presentó la metodología empleada para el estudio del proceso de termosellado en láminas de LDPE tricapa, a la vez que fue posible describir el comportamiento mecánico de la unión en función de la temperatura de sellado lograda en las interfases de la película. Este estudio permitió concluir que es posible obtener los mismos resultados en cuanto a la resistencia de la unión en un amplio rango de temperaturas, pero que es conveniente que durante el proceso de sellado, la costura se logre con temperaturas más bajas derivando en ahorros de energía. Este objetivo se alcanza en una temperatura de trabajo de 80 °C. A futuro se utilizarán estos resultados alcanzados en el modelado y diseño de una termo-selladora de banda continua.

Referencias

Antamba, J. (2018). Sistema de Sellado horizontal y vertical de funda para una máquina empacadora de Snacks. *Ibarra, Imbabura, Ecuador*.

ASTM International, ASTM D790 - Materials., Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating, West Conshohocken, PA, United States of América., 2017

Di Rienzo C. W., Casanoves J. A., ., Balzarini F, Gonzalez M. G., Tablada L. y Robledo M., (2018). "InfoStat versión 2018". Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.

García Martínez, M. (2015). Diseño del mecanismo de sellado de cajas en la instalación de empaquetamiento y envasado de una industria alimentaria.

Meka, P., & Stehling, F. C. (1994). Heat sealing of semicrystalline polymer films. I. Calculation and measurement of interfacial temperatures: Effect of process variables on seal properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 51(1), 89-103.

Terán, G., Alba, N., Estrada, F. J., & Molina, J. (2015). Diseño robusto de parámetros para el proceso de sellado de bolsas Tyvek® 1073b-PET en máquina de sellado continuo. *Cultura Científica y Tecnológica*, (54).