

SELECTOR DE MEZCLAS PARA EMPAQUE TERMOENCOGIBLE



1 Introducción.

La película termoencogible o retráctil se obtiene en el ámbito industrial mediante la inducción de un alto grado de orientación biaxial molecular en el polímero durante su procesamiento, mediante el soplado y el halado de la película cuando es extrudida. Su empleo, en el área de empaque, se dirige principalmente a la aplicación de envoltura principal de bienes de consumo, envoltura protectora de los efectos ambientales o empaque de cohesión de varios artículos o fundas, de las cuales el mejor ejemplo lo son las fundas empleadas para facilitar la movilización de paletas o estibas, como se muestra en la figura.

Una película que tenga buenas propiedades de termoencogimiento depende de la selección apropiada del material con que se fabrique y de las condiciones de producción. Se pueden obtener diferentes niveles de contracción, para un mismo material, en la dirección principal o de máquina (MD) y en la dirección transversal (TD), modificando la orientación de la película mediante el cambio de la relación de soplado (BUR), la altura de la línea de enfriamiento (ALE) y la relación de estiramiento (DDR).

Usualmente, el material que se utiliza para las películas para embalaje termoencogible es el polietileno de baja densidad (PEBD). Sin embargo, otros materiales, como el PEAD y el PELBD, son mezclados para mejorar propiedades específicas, tales como rigidez, resistencia al desgarre y a la penetración, etc.^{[5][8][9]}.

Para conseguir las propiedades finales deseadas hay muchas variables en juego: tipo de materiales, proporción en la mezcla y condiciones de procesamiento, por lo que hay que buscar un equilibrio que proporcione el balance apropiado entre propiedades finales del producto y procesabilidad.

El propósito de este boletín técnico es introducir al lector al selector de mezclas para película termoencogible que POLINTER ha desarrollado para sus clientes, con el fin de facilitarle la tarea de seleccionar cuál combinación de materiales es la mejor para la aplicación que desarrolla y ayudarlo a

elegir las condiciones de procesamiento que proporcionen las propiedades deseadas.

Los selectores de mezclas se desarrollaron en la forma de hojas de cálculo, donde el usuario sólo introduce los datos básicos (tipo y cantidad de resina), características de la boquilla y condiciones de procesamiento. Como resultado obtiene la



predicción, basada en estudios experimentales y análisis estadístico efectuados en los laboratorios de Investigación y Desarrollo de POLINTER, de las propiedades finales de la película^{[6][7][9]}. Esto sirve para reducir tiempos de pruebas y experimentos en planta (con el consecuente ahorro de tiempo y materiales) y para experimentar las posibilidades de mejora de los productos existentes.

Existen dos tipos de selectores disponibles actualmente para los clientes de POLINTER:

- Selectores de mezcla para empaque automático (espesores de hasta 80 micras).
- Selectores de mezcla para empaque termoencogible.

El presente boletín técnico cubre las características principales del último selector: *mezcla para empaque termoencogible*.

2 Bases teóricas (deducciones del Te y Ra).

Las propiedades finales de las películas tubulares se debe a la interacción de varios mecanismos que resultan del balance entre el estiramiento en la dirección de la máquina debido al esfuerzo de corte que sufren dentro de la boquilla, y la deformación biaxial debido a la interacción del halado de la película en la dirección de la máquina (MD) y del

SELECTOR DE MEZCLAS PARA EMPAQUE TERMOENCOGIBLE



soplado en la dirección transversal (TD); por otro lado, la película sufre una relajación de esfuerzos durante su soplado. La interacción entre la relajación, la deformación biaxial y el fenómeno de la cristalización, determina el grado de orientación molecular que presenta el polímero cuando es transformado en película.

Una buena película termoencogible se obtiene mediante el apropiado manejo de los parámetros de extrusión, a saber:

- Relación de Soplado (BUR)
- Altura de Línea de Enfriamiento (ALE)
- Velocidad de Extrusión (v_o)
- Temperatura de Fundido (T_m)
- Velocidad de Halado (v_f)

Los anteriores parámetros pueden analizarse con mayor facilidad si se conjugan en función del Tiempo de Enfriamiento (T_e) y de la Relación de Adelgazamiento (R_a)^{[1][2][4][6][8]}, definidos como sigue:

$$T_e = \left[\ln \left(\frac{v_f}{v_o} \right) \left(\frac{ALE}{v_f - v_o} \right) \right]$$

Esta relación se deduce de principios básicos de conservación de masa y de momento, suponiendo un perfil lineal de velocidades desde la salida de la película de la boquilla hasta la línea de enfriamiento. De acuerdo con esta relación, el tiempo de enfriamiento decae de modo exponencial al aumentar la velocidad de halado, por lo que es importante medirla, junto con la velocidad de extrusión, el cual es un parámetro que no es medido en la amplia mayoría de los equipos de soplado. Sin embargo, este último valor puede estimarse con la siguiente relación:

$$v_o = \frac{Q}{3600 \rho_f \pi (d - 2r_b)}$$

donde Q es el caudal en Kg/h, ρ_f es la densidad en fundido (el valor usual del polietileno es de 775 Kg/m³ y puede ser empleado independientemente del grado usado), d es la apertura de labios de la boquilla, expresada en m. y r_b es el radio externo de la boquilla, también expresada en m. Con estos factores, v_o queda expresada en m/seg. En los casos en que la medida de la velocidad de halado,

v_f , sea imprecisa, un estimado bastante razonable se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$v_f = \frac{3.33Q}{2e\pi r_b (BUR)}$$

Donde e es el espesor de la película expresado en μ m. Del mismo modo, se puede definir la Relación de Adelgazamiento (R_a) como:

$$R_a = \left(\frac{d}{e(BUR^2)} \right)$$

Es importante destacar que en (4) "d" y "e" deben estar en las mismas unidades. En principio, dos películas fabricadas con el mismo material o mezcla, empleando T_e y R_a iguales, deben poseer similares propiedades. Aunque esto no es totalmente cierto debido a que las suposiciones que llevan a estas deducciones están basadas en algunas simplificaciones (enfriamiento ideal, no consideración de propiedades elásticas), para efectos prácticos, se puede considerar como una muy buena aproximación. Estos valores son calculados automáticamente por el selector, pero pueden implantarse de modo sencillo en una hoja de cálculo por parte del lector interesado.

3 ¿Cómo diseñar una mezcla?

A la hora de diseñar una mezcla se suelen cumplir ciertos pasos, sea de manera formal o de forma intuitiva y casi inconsciente. Si se sigue una secuencia formal y se documenta, es posible lograr optimizaciones desde un principio, lo cual redundará en menores costos y/o mejor desempeño.

La siguiente lista propone una serie de etapas que deben considerarse a la hora de diseñar una mezcla^[8]:

- 1) Seleccione las resinas candidatas de acuerdo con las propiedades deseadas, incluyendo el costo de las mismas.
- 2) Tabule las ventajas y desventajas de cada resina. Esto permitirá identificar alternativas.
- 3) Use el selector para elegir combinaciones de resinas que muestren potencial para cumplir con los requisitos de la mezcla. En esta etapa,

SELECTOR DE MEZCLAS PARA EMPAQUE TERMOENCOGIBLE



no se preocupe demasiado de las condiciones de operación, emplee condiciones estándar.

- 4) Haga un primer estimado de costos. Si los números son atractivos, siga adelante; en caso contrario, seleccione otro conjunto de resinas (paso 3).
- 5) Analice la mezcla seleccionada desde la óptica del procesamiento y la aplicación final. Recuerde que hay aspectos, como la apariencia, que no pueden ser predichos con el selector.
 - ¿Es obvio que va a funcionar o es obvio lo contrario?
 - ¿Será procesable con los equipos disponibles?
 - ¿Conservará sus propiedades a lo largo de su vida útil?
- 6) Si la mezcla seleccionada es considerada como apropiada, use el selector para verificar las propiedades de la película y ajustar las condiciones de operación. Ajuste el espesor o concentraciones de los componentes de la mezcla para optimizar las propiedades.

4 Funcionamiento del selector.

Para construir los modelos matemáticos empleados en el selector se prepararon, extruyeron y midieron más de 78 mezclas. Se establecieron las siguientes limitaciones:

- Contenido máximo de PEAD: 10%.
- Contenido máximo de PELBD: 30%. Existe la posibilidad de seleccionar entre PELBD buteno y PELBD octeno, pero no ambos.
- Contenido mínimo de PEBD: 60%.
- Tipo de PEBD: Venelene® FB3003 y FB7000.
- Tipo de PELBD: Venelene® 11F1 (buteno) y Venelene® 11O1 (octeno).
- Tipo de PEAD: Venelene® 3200B.
- Espesor de la película entre 50 y 90 μm^* . El espesor se refiere a una sola cara de la película (no a la película colapsada en bobina).

En esta hoja se puede seleccionar los materiales a procesar y sus concentraciones, las condiciones de operación (relación de soplado, halado, espesores, etc.). La Figura 1 muestra el selector de materiales

* 1 μm es la milésima parte de 1 milímetro o 1×10^{-6} m. Equivale a la división más pequeña que se observa en la mayoría de los medidores convencionales de espesores para película tubular. En algunas industrias se emplea el término calibre, que equivale a 10 μm .

desarrollado como hoja de cálculo Microsoft Excel®, donde se incorporan los modelos estadísticos desarrollados para hacer los cálculos matemáticos que proporciona los resultados que se presentan en la misma hoja, para facilidad de manejo y visualización.

Para usar el selector, el usuario debe introducir los datos de las zonas sombreadas en gris:

- Porcentajes de la mezcla.
- Características de la boquilla: diámetro y apertura de labios.
- Condiciones de operación: caudal, ALE, espesor de la película, diámetro de la película, y perímetro (que es el doble del ancho de película colapsada).

La hoja automáticamente transforma estos valores en los equivalentes T_e y R_a , verificando que no se excedan los límites del selector (en cuyo caso emite las advertencias de rigor), hace uso de los modelos desarrollados y genera las propiedades asociadas con estas condiciones: mecánicas, ópticas y de termoencogimiento, incluyendo un estimado de costo.

De este modo, se tiene en una pantalla las propiedades completas de la película a evaluar, en vez de los engorrosos diagramas de termoencogimiento donde sólo se proveía información limitada del comportamiento.

Además, con la adición de la determinación de los costos de materia prima, se complementa el cálculo de las relaciones óptimas de precio-valor de la mezcla estudiada.

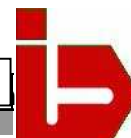
El programa advierte en el caso que la suma de los componentes de la mezcla no sea el 100%. Del mismo modo, se emite una advertencia si la mezcla seleccionada o los espesores elegidos escapan del diseño experimental que sirvió para generar los modelos, indicándole al usuario que, de proseguir, los resultados serán consecuencia de una extrapolación y no serán tan confiables como en el caso que estén contenidos dentro del diseño. Si las proporciones seleccionadas no estén demasiado alejadas de los límites del selector, sus resultados pueden ser usados con cierta confianza, al menos para estudiar posibles tendencias.

SELECTOR DE MEZCLAS PARA EMPAQUE TERMOENCOGIBLE



Selector de Materiales y Condiciones de Termoencogimiento

(Complete sólo los campos en gris, por favor)



Indesca

POLINTER		emplear	%	Total	Propiedades		
PEBD	FB3003		100		Mecánicas (MD)		
PEAD	3200B		0		Módulo Elástico	MPa	170
PELBD	11F1		0	100	Esfuerzo a la Ruptura	MPa	13
					Deformación de Ruptura	%	260
					Tenacidad	MPa	29
					Resistencia al Desgarre	gr	230
Condiciones de extrusión					Mecánicas (TD)		
Perímetro	cm		180		Módulo Elástico	MPa	180
Ancho pel. Colaps.	cm		90		Esfuerzo a la Ruptura	MPa	17
Caudal	Kg/hr		100		Deformación de Ruptura	%	290
Apert. Labios	mm		1.2		Tenacidad	MPa	38
ALE	cm		40		Resistencia al Desgarre	gr	630
Espesor	µm		80		Termoencogimiento		
Diám. Boq.	mm		120		Resistencia a la Penetración	gr	1430
BUR			4.77		Termoencogimiento MD	%	63
Caudal espec.	Kg/hr-cm		1.11		Termoencogimiento TD	%	36
Veloc. Salida	cm/s		8.12		Relación de termoencogimiento (MD/TD)	-	1.75
Veloc. Halado	cm/s		25.27		Ópticas		
Variables del proceso					Brillo		40
Rel. Adélg.			1.32		Transmisión Luminosa		75
Tiemp. Enf.	s		2.65		Nebulosidad (Turbidez)		23
Potencia específica							
Potencia esp.	A/(Kg/h)		0.50				

Figura 1. Selector de materiales para película termoencogible.

5 Ejemplo.

La película para empaque termoencogible más comúnmente fabricada emplea PEBD Venelene® FB3003. En la Figura 1 se muestra las condiciones de extrusión para dicha película y las propiedades principales de este producto, de acuerdo con la predicción del selector. Supóngase que el usuario final de esta película se halle satisfecho con la misma, pero le gustaría, como mejora, que fuese más rígida, más estirable, manteniendo las propiedades de termoencogimiento, resistencia al desgarre y el consumo de potencia en el extrusor y que sea de menor costo. Está dispuesto a sacrificar algo de propiedades ópticas, aunque no desea mucha opacidad. Igualmente considera que la resistencia a la penetración de la película es muy

buena. Este reto se presenta como muy difícil, si no imposible, de lograr con películas de polietileno. La primera opción a considerar es la adición de un segundo material.

De ellos, el Venelene® 11F1 se evalúa añadido en un 10%. Aún cuando se producen mejoras importantes en la resistencia al desgarre y la penetración, las propiedades de termoencogimiento TD disminuyen mucho (ver Tabla 1). Por ello se evalúa el uso de Venelene® 3200B, también en un 10%, en lugar de Venelene® 11F1. En este caso, se recuperan (aunque no totalmente) las propiedades de termoencogimiento, se mantienen o mejoran las propiedades mecánicas, pero cae la resistencia al desgarre, como es de esperarse.

SELECTOR DE MEZCLAS PARA EMPAQUE TERMOENCOGIBLE



Tabla 1. Resumen de propiedades predichas por el selector.

Propiedades		FB3003	FB3003/11F1	FB3003/3200B	Ap. lab.	ALE	esp.	esp.
Mecánicas (MD)		100%	90%/10%	90%/10%	1.8 cm.	48 cm.	70 µm	60 µm
Módulo Elástico	MPa	170	190	210	210	220	220	210
Esfuerzo a la Ruptura	MPa	13	17	14	19	20	20	21
Deformación de Ruptura	%	260	260	280	280	310	300	280
Tenacidad	MPa	29	33	36	44	51	49	47
Resistencia al Desgarre	gr	230	370	240	270	240	210	170
Mecánicas (TD)								
Módulo Elástico	MPa	180	220	250	250	260	260	260
Esfuerzo a la Ruptura	MPa	17	19	19	21	22	21	21
Deformación de Ruptura	%	290	320	470	450	500	440	390
Tenacidad	MPa	38	46	50	56	62	62	62
Resistencia al Desgarre	gr	630	840	440	660	580	510	430
Penetración								
Resistencia a la Penetración	gr	1430	1690	1510	1590	1540	1350	1160
Termoencogimiento								
Termoencogimiento MD	%	63	44	42	52	56	55	56
Termoencogimiento TD	%	36	3	39	25	39	30	21
Rel. de termoencog. (MD/TD)	-	1.75	14.67	1.08	2.08	1.44	1.83	2.67
Ópticas								
Brillo		40	33	33	32	32	31	30
Transmisión Luminosa		75	75	74	74	74	74	74
Nebulosidad (Turbidez)		23	24	26	25	24	25	25

Dado que la mezcla con PEAD es la que mejor se adapta a las condiciones exigidas, se continuó con esta mezcla, modificando las condiciones de operación, para tratar de acercarse a los requisitos del cliente. Al aumentar la apertura de labios, se observa que la resistencia al desgarre ha mejorado sustancialmente, quedando sólo por conseguir los objetivos de termoencogimiento. El aumentar el ALE a 48 cm mejora el desempeño en cuanto a termoencogimiento, colocándola en términos aceptables, aunque cae la resistencia al desgarre TD, pero manteniéndose dentro de los límites en los cuales pudiera conducirse una prueba industrial. Para atacar el requisito de bajo costo, se prueban reducciones de espesor a 70 y 60 µm. La película de 60 µm pudiera no ser capaz de soportar el desempeño, pero a 70 µm, la reducción de la resistencia al desgarre es relativamente pequeña y pudiera intentarse una prueba industrial. En todas las pruebas se mantuvo la variación del consumo de potencia en variaciones del 2% (no mostrado en la Tabla 1). La Tabla 1 muestra, de modo resumido, los efectos de los diversos cambios. La opción de usar una mezcla ternaria (80% de FB3003, 10% de

11F1 y 10% de 3200B) hace que las propiedades de termoencogimiento sean muy bajas (30% y 11% en MD y TD, respectivamente).

6 En resumen.

A través del ejemplo, se observa la potencialidad del selector: en unos pocos minutos, una persona puede analizar los efectos de los cambios de mezcla (tanto de resina como de composición de la misma), espesores de la película, ALE, caudal y hasta de cabezal, sobre las propiedades claves del producto final, no sólo aquellas que se buscan mejorar, sino los "efectos secundarios" que casi siempre surgen cuando se introducen estos cambios. Como todo simulador, los resultados que genere este selector deben tomarse como una muy buena primera aproximación, pero que debe ser verificada mediante pruebas industriales.

El objetivo de esta herramienta es minimizar la cantidad de material, el esfuerzo humano y el tiempo de máquina requerida para optimizar las mezclas para películas para embalaje termoencogible.

SELECTOR DE MEZCLAS PARA EMPAQUE TERMOENCOGIBLE



7 Referencias.

Para mayor información, se pueden consultar las siguientes referencias:

1. Butler, I. Et al. "Scale Up Factors Effecting Crystallization in Polyolefin Blown Film". Polym. Lamin. & Coat. Conference, San Francisco, EE.UU., TAPPI, 1994, pp. 289.
2. Butler, T., & Patel, R. "Blown Film Bubble Forming and Quenching Effects on Film Properties". J. Past. Film & Sheet., **1993**, *9*, p.169.
3. Laguna, O. et al. "Aspectos Prácticos Para la Extrusión de Filme Retráctil de PE". Revista de Plásticos Modernos, **1991**, pp. 421.
4. Shriodcar, P.P. y Firdaus, V. "Scale-Up of LLDPE Blown Film Extrusion". Polym. Laminations and Coating Conference. San Francisco, EE.UU., TAPPI, **1994**, pp. 405.
5. Torres A. Morales, I., & Figueroa J. "Optimización del Desempeño del PEBD LAGOTENE en Película Termoencogible, Mediante Mezclas con PEAD. Proyecto: PDL-P-05-01-01, Indesca, Venezuela, 1998.
6. Torres A., Colls, N., & Méndez, F. "Properties Predictor for HDPE/LDPE/LLDPE Blends for Shrink Film Applications". Annual Technical Conference Proceedings (ANTEC'05), Society of Plastic Engineering (SPE), Boston, Mayo 2005, pp.211-218.
7. Torres, A., Figueroa, J. "Desempeño de las Mezclas de PEBD/PELBD en Películas de Empaque Termoencogible". Proyecto: RSL-S-02-01-01, Indesca, Venezuela, 1998.
8. Torres, A., Guastaferró, F. "Curso de Mezclas de Polímeros". Indesca, Venezuela, 2006.
9. Torres A., Colls, N. "Desarrollo de Mezclas para Empaque Termoencogible". Proyecto PLT-P-0403-01-22, SS 03-085. Indesca, Venezuela, 2003.

Este boletín ha sido elaborado por la Gerencia de Mercadeo de Polinter con el apoyo de los especialistas de Investigación y Desarrollo, C.A. (INDESCA). El mismo está dirigido a todos los clientes usuarios de las resinas Venelene® y confiamos en que la información contenida en el mismo sea de su máximo provecho y utilidad.

En caso de que desee hacernos llegar cualquier comentario o sugerencia, le agradecemos nos escriba a la siguiente dirección electrónica: info@polinter.com.ve o a través de nuestro agente comercial: Corporación Americana de Resinas (CORAMER), con sucursales en Venezuela y Colombia (<http://www.coramer.com>)

La información descrita en este documento es, según nuestro mejor conocimiento, precisa y veraz. Sin embargo, debido a que los usos particulares y condiciones de transformación están enteramente fuera de nuestro control, el ajuste de los parámetros que permiten alcanzar el máximo desempeño de nuestros productos para una aplicación específica, es potestad y responsabilidad del usuario.

Para obtener información más detallada de los aspectos de seguridad relativos al manejo y disposición de nuestros productos, le invitamos a consultar las hojas de seguridad (MSDS) de los Polietilenos Venelene®.