

BOLETÍN TÉCNICO: CONSIDERACIONES SOBRE EL COF



1 Introducción

El coeficiente de fricción (COF) es un parámetro adimensional que indica la resistencia que pone la superficie de un material al deslizamiento de un objeto.

En los procesos de conversión (Impresión, Laminación, Corte) y empaçado (Formado, Llenado y Sellado [FFS]), las películas plásticas entran en contacto con numerosas superficies (rodillos, guías, cuellos formadores, etc.) sobre las cuales se generan fuerzas de roce que se oponen al desplazamiento de la misma.

A medida que la resistencia al deslizamiento es mayor (alto valor de COF), puede observarse la presencia de los siguientes defectos de procesamiento:

1. Generación de rayas y marcas superficiales que afectan la apariencia de la película y, especialmente, su brillo.
2. Deformación y adelgazamiento de la película; siendo más evidente este defecto en la pérdida de la superposición de colores en impresión (pérdida de registro).
3. Rotura de la película con la subsecuente interrupción de proceso productivo.

Para evitar estos defectos, se incorporan aditivos deslizantes entre los materiales empleados en la manufactura de películas destinadas a las aplicaciones de empaçado automático, lo que reduce el coeficiente de fricción.

En los polietilenos, la incorporación de agentes deslizantes permite reducir el valor del COF de 0.7–0.8 a 0.1.

Normalmente, el proceso de empaçado automático (FFS) requiere de valores del COF dinámico película-película en torno a 0.2.

Los aditivos deslizantes son sustancias parcialmente compatibles con el PE, lo que origina que - durante la recristalización del polímero - el deslizante migre o sea impulsado a la superficie libre de la película.

De forma general, los polietilenos para películas pueden clasificarse de acuerdo a su coeficiente de fricción en:

| Tipo | Contenido deslizante (ppm) | COF |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------|
| Sin deslizante | 0 | 0.7 a 0.8 |
| Bajo deslizamiento (Low Slip) | 500 | > 0.4 |
| Medio deslizamiento (Medium Slip) | 1000 | 0.2 a 0.4 |
| Alto deslizamiento (High Slip) | 1500 | 0.1 a 0.2 |

Nota: Espesor de la película: 25 micras.

2 Medición del COF

Típicamente, se reportan dos índices de fricción del material:

- Estático: indica el nivel de resistencia que pone el material para iniciar el movimiento de un objeto.
- Dinámico: indica el nivel de resistencia que pone al material para mantener el movimiento de un objeto a velocidad constante.

El coeficiente de fricción es obtenido con base en las directrices de las normas ASTM D1894 o British Standard BS824. En ambas normas se mide la resistencia que opone la película al desplazamiento de un patín de dimensión y peso normalizado.

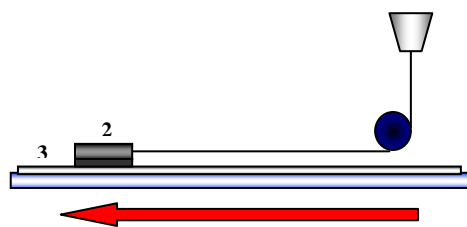


Figura 1: Esquema del dispositivo para determinación del coeficiente de fricción de películas plásticas (1: Celda de carga, 2: Patín recubierto de goma, 3 Película).

Ambas normas difieren en los siguientes factores:

| Parámetro | Unidades | ASTM D1894 | BS 824 |
|----------------|----------|------------|--------|
| Peso del patín | g | 200 | 700 |
| Velocidad | mm/min | 150 | 800 |
| Desplazamiento | mm | 150 | 500 |

BOLETÍN TÉCNICO: CONSIDERACIONES SOBRE EL COF



Como consecuencia de estas diferencias, ambos métodos de ensayo arrojan resultados distintos. Los valores del coeficiente de fricción medidos según la norma BS 824 son entre 7% y 120% superiores que los obtenidos con la norma ASTM D1894.

3 Aditivos deslizantes

Existe una amplia variedad de sustancias que pueden ser utilizadas como agentes promotores de deslizamiento en los polietilenos. Entre las mismas figuran:

- Amidas
- Siliconas.
- Ceras de PE.
- Teflón

Comercialmente, las amidas (especialmente las oleamidas y erucamidas) son las sustancias más ampliamente empleadas como aditivos deslizantes para las poliolefinas.

A continuación, se listan los principales tipos de amidas empleadas como deslizantes.

| Amida | Fórmula | Punto de fusión (°C) |
|-----------------------------|--|----------------------|
| Oleamida (OR) | $C_{17}H_{33}C(O)NH_2$ | 66 - 72 |
| Erucamida (ER) | $C_{21}H_{41}C(O)NH_2$ | 75 - 82 |
| Estearamida (SR) | $C_{17}H_{36}C(O)NH_2$ | 96 - 102 |
| Behenamida (BR) | $C_{21}H_{44}C(O)NH_2$ | 108 - 112 |
| Oleil palmitamida | $C_{18}H_{35}NH(O)C_{16}H_{31}$ | 60 - 66 |
| Estearil erucamida | $C_{18}H_{37}NH(O)CC_{21}H_{41}$ | 70 - 75 |
| Etilen bisestearamida (EBS) | $C_{17}H_{36}C(O)NH(CH_2)_2NH(O)CC_{21}H_{36}$ | 140 - 145 |
| Etilenbisoleamida (EBO) | $C_{17}H_{33}C(O)NH(CH_2)_2H(O)CC_{17}H_{33}$ | 115 - 120 |

La adición de 500 ppm de erucamida permite reducir el COF de una película de PEBD a valores próximos a 0.1, mientras que una dosis equivalente de Behenamida dará un COF de 0.8. Esta diferencia es atribuida a que la estructura lineal de la molécula de Behenamida le permite formar cristales de mayor resistencia superficial.

Algunas referencias reportan que la combinación de erucamidas y oleamidas permite disfrutar del efecto sinérgico de la mezcla; sin embargo, estudios realizados reportan que este tipo de mezcla tiene una menor velocidad de decaimiento del COF con respecto al tiempo y que, adicionalmente, en la medida que se incrementa la proporción de oleamida, aumenta la tendencia al bloqueo de la película.

4 Influencia de otros aditivos

La presencia de otros aditivos en la formulación del PE afecta el funcionamiento de los deslizantes.

4.1 Antibloqueo

De forma general, los aditivos antibloqueo modifican la regularidad de la superficie de la película. Esta alteración de las propiedades superficiales de la película ha mostrado contribuir a la reducción del COF.

Las sílicas sintéticas son materiales altamente porosos que tienen la capacidad de absorber las amidas, reduciendo su capacidad de promover el deslizamiento. Se ha encontrado que la adición de 3000 ppm de sílica sintética en PEBD puede eliminar completamente el defecto deslizante de 500 ppm de erucamida.

Algunos tipos de talcos empleados como agente antibloqueo, tiene efecto sinérgico cuando son combinados con las erucamidas.

4.2 Antiestáticos

Comúnmente, se emplea el Monoestearato de Glicerol (MEG) como agente antiestático para películas. Debido a que la acción del agente antiestático requiere, al igual que en el caso del deslizante, la migración del compuesto a la superficie de la película, la presencia combinada de ambos aditivos produce un fenómeno de competencia por alcanzar la superficie libre de la película. La consecuencia directa de este mecanismo de competencia es que, tanto el deslizante como el agente antiestático, ven disminuida su eficacia.

A manera de ejemplo, a continuación se muestran los valores del COF obtenidos en una película de

BOLETÍN TÉCNICO: CONSIDERACIONES SOBRE EL COF



PEBD con diferentes formulaciones de erucamida y de monoestearato de glicerol (MEG).

| Contenido de erucamida (ppm) | Contenido de MEG (ppm) | COF @ 10 horas |
|------------------------------|------------------------|----------------|
| 500 | 0 | 0.12 |
| 500 | 1000 | 0.38 |
| 500 | 2500 | 0.50 |
| 500 | 5000 | 0.70 |
| 0 | 5000 | 0.85 |

4.3 Estructura molecular

La densidad afecta especialmente las propiedades de deslizamiento de los polietilenos. En la medida que aumenta la densidad del polietileno, aumenta la fracción de material que se incorpora a estructuras cristalinas, las cuales disminuyen el coeficiente de fricción, tanto del material en su forma natural como aditivado con deslizante.

Otros parámetros moleculares que afectan en menor medida el COF son:

- Linealidad de la molécula: Para resinas de la misma densidad e índice de fluidez, el PELBD tiene mayor COF que el PEBD (0.85 vs 0.77).
- Sistema catalítico: Los polietilenos lineales obtenidos con catalizadores metalocénicos exhiben valores de COF superiores en comparación con productos obtenidos con catalizadores Ziegler Natta.

4.4 Combinación de materiales

Diferentes combinaciones de materiales (mezclas, laminaciones, coextrusiones, recubrimientos, etc.) inducen variados efectos sobre el desempeño de deslizamiento de la película.

En estructuras coextruídas, el aditivo deslizante tiene la opción adicional de migrar a la superficie de contacto entre los materiales que integran la película, para ser absorbidos por la capa adyacente. La figura 2 muestra la evolución del COF para dos estructuras coextruídas tricapa de PE, en las cuales se han incorporado 1000 y 2000 ppm en solo una de las caras externas de la estructura.

El incremento del COF en los ejemplos mostrados solo puede ser explicado por la migración del deslizante a las capas sin aditivo que componen esta estructura.

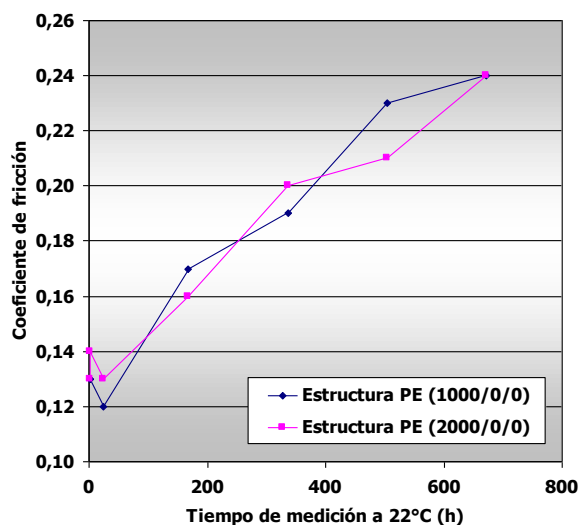


Figura 2: Variación del COF de estructuras coextruídas tricapa (Capa A aditivada con 1000 y 2000 ppm de erucamida).

Estudios han mostrado que en estructuras coextruídas con ionómeros como capas de sello, tiene lugar la migración del deslizante no sólo a la superficie libre de la película, sino además entre las capas a las cuales no se les ha agregado el aditivo.

A raíz de la afinidad de las amidas polares con polímeros polares como los ionómeros, las estructuras coextruídas con estos materiales exhiben los siguientes efectos:

- Migración preferente de la amida a la cara de contacto con la resina polar, cuando el aditivo es incorporado al material no polar (Ej. PE).
- Migración preferente de la amida a la superficie externa del material polar, cuando el aditivo fue incorporado al material que compone esta capa.

A raíz de la migración intercapas, algunos especialistas proponen que las películas coextruídas con ionómeros no deben ser laminadas antes de 5 días de extruidas, ni después de 20 días.

Se ha encontrado que la variación del COF con la temperatura de almacenamiento es superior en estructuras coextruídas con polímeros no polares (Ej. PE ó PP) que en aquellas que incorporan

BOLETÍN TÉCNICO: CONSIDERACIONES SOBRE EL COF



productos polares (Ej. Ionómeros, Poliésteres, Poliamidas, Copolímeros ácidos).

5 Condiciones de procesamiento

5.1 Extrusión

La variable de extrusión que muestra mayor efecto sobre el COF es la tensión de bobinado.

Trabajos realizados muestran que el COF (tanto estático como dinámico) tiene una relación de segundo orden con respecto a la tensión de bobinado, según puede observarse en la figura anexa.

El fenómeno de inhibición de la migración del deslizante generado por el aumento de la tensión se produce por efecto de la reducción de la energía libre de separación exotérmica originada por la alta presión entre las caras de la película. Es así como las moléculas del deslizante, en lugar de migrar hasta depositarse en las caras de la película, migran de una superficie a la otra, reduciendo la concentración efectiva de deslizante que se requiere para tener el COF deseado.

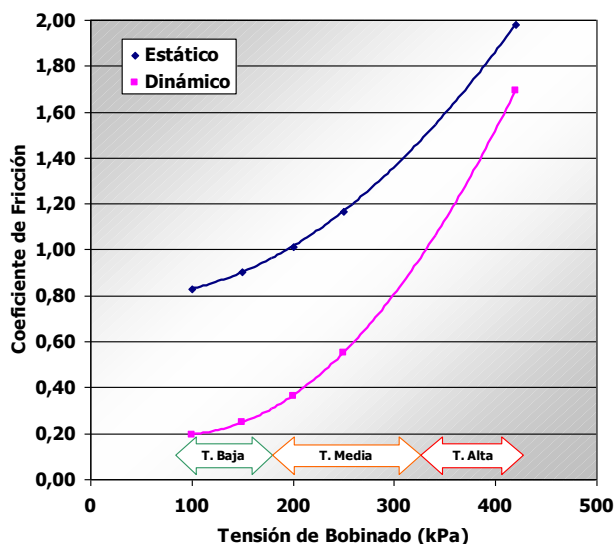


Figura 3: Variación del COF de una estructura coextruída tricapa de Polietilenos aditivada con 2500 ppm de erucamida y 5000 ppm de Sílice.

Con base en este mecanismo, también puede anticiparse que en aquellas líneas de extrusión,

coextrusión, laminación, cortadoras, etc., que cuenten con bobinadores de tensión central (Center Winders), se produzca una distribución heterogénea del deslizante, siendo el COF más alto en la medida que se avanza hacia el centro de la bobina.

Ante la evidencia de problemas de deslizamiento derivados de la tensión de bobinado se recomienda:

- Disminuir la tensión aplicada por el bobinador hasta un valor tal que impida la aparición de defectos en la bobina, como es el caso del efecto tipo telescopio.
- Reforzar la aditivación base de la resina con un concentrado de agente deslizante, agregando pequeñas dosis (200 a 250 ppm).

Finalmente, es conveniente recordar que la temperatura de extrusión tiene una influencia sumamente baja sobre el COF, por lo que no es recomendable la alteración de la misma.

5.2 Tratamiento Corona

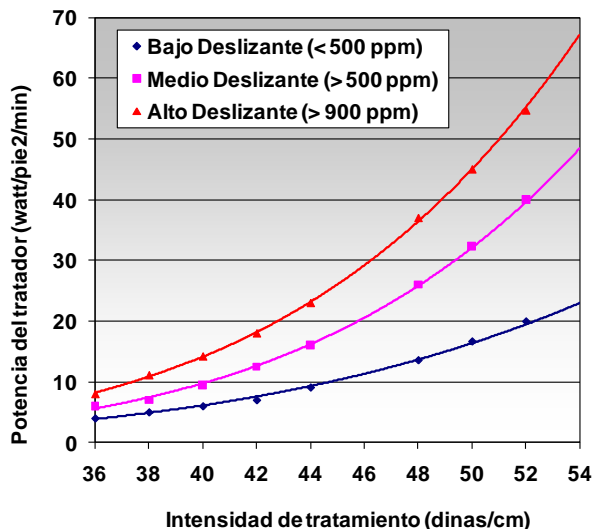
El tratamiento de la superficie de la película tiende a aumentar el COF, debido a:

- Generación de grupos polares que aumentan la atracción entre capas.
- Vaporización o combustión del aditivo deslizante que migra a la superficie.

Debido a estos efectos, la regla básica en el tratamiento superficial de películas (corona o llama) es que la unidad destinada para este fin se ubique lo más cercana posible al cabezal de extrusión. De esta manera, se toma ventaja del tiempo que requiere el aditivo para migrar a la superficie de la película.

La figura 4 muestra una guía que permite establecer el nivel de potencia que debe emplearse en la tratadora, a fin de compensar la pérdida de tratamiento originada por el deslizante.

BOLETÍN TÉCNICO: CONSIDERACIONES SOBRE EL COF



| | |
|----------------------|------------------------------------|
| PEBD o PELBD Soplado | Use datos graficados |
| PEAD | Potencia x 0.75 |
| Poliéster | Potencia x 0.75 |
| Nylon | Use curva de Bajo Deslizante |
| Papel o cartón | Potencia x 0.75 |
| PP Soplado | Use curva de Medio Deslizante |
| BOPP Copolímero | 25 w/m ² /min |
| BOPP Homopolímero | 55 w/m ² /min |
| BOPP Perlado | 25 w/m ² /min |
| PEBD o PELBD plana | Potencia x 1.50 |
| EVA | Use curva de Bajo Deslizante x 1.5 |
| Película metalizada | 20 w/m ² /min |
| Papel metalizado | 20 w/m ² /min |

Figura 4: Guía para el ajuste de la potencia de la tratadora Corona como del nivel de tratamiento requerido y el contenido de deslizante.

5.3 Laminación

El calor aplicado por los rodillos de laminación puede contribuir al incremento del valor del COF. A modo de ejemplo, se encontró que el COF de una laminación compuesta por dos películas coextruídas PEAD/EVA/Ionomero se eleva de 0.25 a 0.5 después del laminado a 65°C (150°F).

Los adhesivos para laminación tienen también la desventaja de "secuestrar" el deslizante que migra hacia la superficie de la película, aumentando el COF.

Laminaciones que han sido fabricadas a temperatura ambiente arrojan valores del COF de 0.25 a 0.30, mientras que aquellas en la que la

temperatura de los rodillos prensores es de 80°C (176°F), se produce un aumento del COF a 0.35 a 0.55. Por fortuna, este incremento se revierte una vez transcurridos pocos días del acondicionamiento.

6 Condiciones de almacenamiento

Algunos trabajos consideran la temperatura de almacenamiento como el factor de mayor influencia sobre el COF de películas.

El incremento de la temperatura de almacenamiento tiene la habilidad de aumentar la tasa de solubilidad del aditivo en el polímero, lo cual reduce la fracción del mismo que se aloja en la superficie de la película. A raíz de este mecanismo, se experimenta un incremento del COF.

Las figuras 5 y 6 muestran la evolución del COF de diferentes deslizantes como función de la temperatura de almacenamiento de la película.

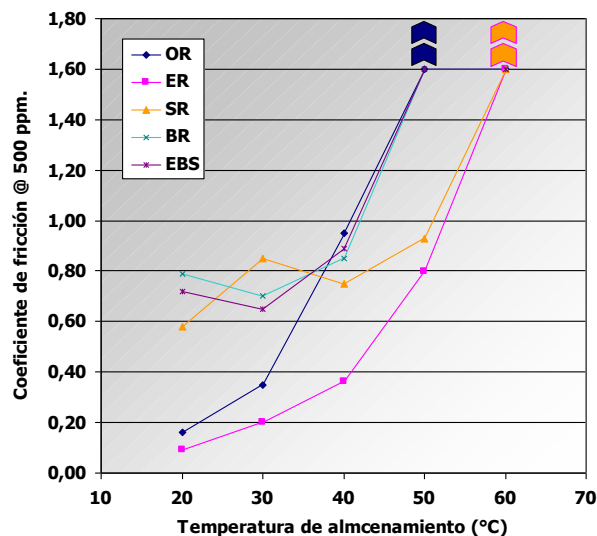


Figura 5: Variación del COF con respecto a la temperatura de almacenamiento para diferentes aditivos deslizantes dosificados en PEBD a 500 ppm.

Es particularmente interesante el caso de la erucamida, en el cual dosis de 1000 ppm atenúan el efecto de incremento de COF.

BOLETÍN TÉCNICO: CONSIDERACIONES SOBRE EL COF

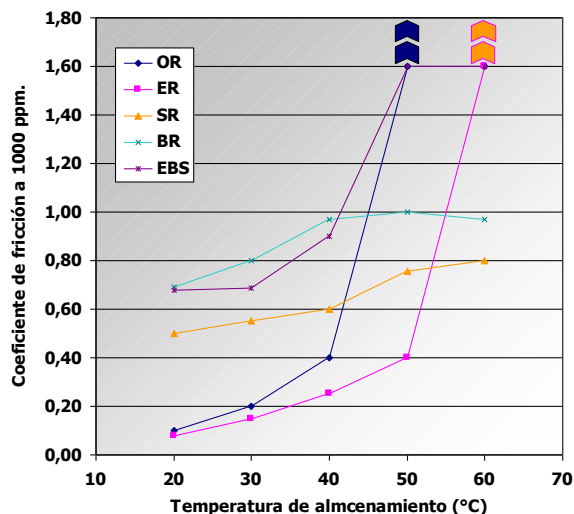


Figura 6: Variación del COF con respecto a la temperatura de almacenamiento para diferentes aditivos deslizantes dosificados en PEBD a 1.000 ppm.

A elevadas temperaturas (60°C), solo las estearamidas y las beheimidas son efectivas, debido a que su estructura saturada (sin dobles

enlaces C=C) les confiere un mayor punto de fusión.

En laminaciones comercializadas en mercados de exportación, se ha encontrado que el valor del COF cambia de 0.18 (medido luego de 10 días de laminado) a 0.40. El seguimiento realizado a esos despachos mostró que las camadas superiores de bobinas almacenadas en los contenedores alcanzan temperaturas de 63°C (145°F), la cual es responsable del incremento de la solubilidad del deslizante en el polímero y, con ello, del incremento del COF.

Debido a que el cambio de la temperatura de almacenamiento no tiene influencia sobre el contenido total de deslizante presente en el producto, el incremento del COF experimentado a elevadas temperaturas puede reducirse o revertirse con el almacenamiento de la película en condiciones menos severas. A modo de ejemplo, en el caso previamente descrito, se logró, con el almacenamiento de las bobinas a temperatura ambiente, reducir el COF de 0.4 a 0.25 en un lapso de diez días.

Este Boletín fue elaborado por la Gerencia de Mercadeo de Poliolefinas Internacionales, C.A. (POLINTER), con el apoyo de Investigación y Desarrollo, C.A. (INDESCA), en Caracas- Venezuela, en julio 2010 y revisado en enero 2017

Si desea hacer algún comentario o sugerencia, agradecemos escriba a la Gerencia de Mercadeo a la dirección electrónica: info@polinter.com.ve, la cual pueden acceder a través de nuestra página web www.polinter.com.ve o de nuestro agente comercial: Corporación Americana de Resinas, CORAMER, C.A. (<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 variables de los procesos 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 y confiamos en que la información contenida en el mismo sea de su máximo provecho y utilidad.

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 Polietileno Venelene®.