

PELÍCULAS DE POLIETILENO DE ALTA RIGIDEZ ORIENTADAS

BIAXIALMENTE

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUD RELACIONADA

5

Esta solicitud reivindica el beneficio y la prioridad a la solicitud de los EE. UU. con núm. de serie 63/278.749 presentada el 12 de noviembre de 2021 y titulada “HIGH STIFFNESS BIAXIALLY ORIENTED POLYETHYLENE FILMS”
10 (Películas de polietileno de alta rigidez orientadas biaxialmente), cuyo contenido completo se incorpora como referencia en la presente descripción.

CAMPO TÉCNICO

15

Las modalidades de la presente descripción se relacionan generalmente con las películas de polietileno orientadas biaxialmente (BOPE, por sus siglas en inglés), y más particularmente se relacionan con las películas de
20 BOPE que tienen alta rigidez.

ANTECEDENTES

Existe un deseo en el mercado de usar películas
25 de BOPE en envases para alimento flexibles laminados para facilitar el reciclaje del envase. Aunque algunas

películas de BOPE disponibles comercialmente ofrecen excelentes propiedades ópticas así como dureza, su falta de rigidez y resistencia al calor limita el uso de tales películas de BOPE a una gama de aplicaciones relativamente limitada. El desafío de aumentar la rigidez en el envase flexible de BOPE laminado es el nivel de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) que puede incorporarse en la estructura de película, lo que permite la densidad/rigidez general de la película mientras mantiene aún una ventana de procesamiento robusta.

En consecuencia, permanece la necesidad de películas multicapa de BOPE que son reciclables, tengan una rigidez adecuada, y una buena procesabilidad.

15

SUMARIO

Las modalidades de las películas de BOPE que incorporan el HDPE descrito en la presente descripción satisfacen estas necesidades al proporcionar películas de BOPE que tienen una rigidez y una ventana de procesabilidad mejoradas.

En un primer aspecto, la presente invención se relaciona con una película que comprende al menos una capa, la al menos una capa comprende: un polietileno multimodal de alta densidad que comprende: un índice de fusión (I_2) que es de 0,8 g/10 min a 5,0 g/10 min; una

densidad que es de 0,950 g/cc a 0,965 g/cc; una polidispersidad (M_w/M_n) que es de 10 a 20; y un peso molecular (M_z) que es de 500.000 g/mol a 1.000.000 g/mol, en donde la película es una película de polietileno orientada biaxialmente.

En un segundo aspecto, la presente invención se relaciona con la película del primer aspecto, en donde el polietileno multimodal de alta densidad comprende un índice de fusión (I_2) de 1,0 g/10 min a 3,0 g/10 min.

Un tercer aspecto incluye la película de uno cualquiera del primer o segundo aspectos, en donde el polietileno multimodal de alta densidad comprende una densidad que es de 0,955 g/cc a 0,960 g/cc.

Un cuarto aspecto incluye una película de uno cualquiera del primer al tercer aspectos, en donde el polietileno multimodal de alta densidad comprende una polidispersidad (M_w/M_n) que es de 10 a 15.

Un quinto aspecto incluye una película de uno cualquiera del primer al cuarto aspectos, en donde el polietileno multimodal de alta densidad comprende un peso molecular M_z que es de 550.000 g/mol a 900.000 g/mol.

Un sexto aspecto incluye una película de uno cualquiera del primer al quinto aspectos, en donde el polietileno multimodal de alta densidad comprende una relación de índice de fusión (I_{10}/I_2) que es de 5,0 a 15,0.

Un séptimo aspecto incluye una película de uno cualquiera del primer al sexto aspectos, en donde el polietileno multimodal de alta densidad comprende un peso molecular M_w que es de 110.000 g/mol a 135.000 g/mol.

5 Un octavo aspecto incluye una película de uno cualquiera del primer al séptimo aspectos, en donde el polietileno multimodal de alta densidad comprende un peso molecular M_n que es de 9000 g/mol a 10.000 g/mol.

Un noveno aspecto incluye una película multicapa
10 que comprende: una capa central que comprende un polietileno multimodal de alta densidad que comprende: un índice de fusión (I_2) que es de 0,8 g/10 min a 5,0 g/10 min; una densidad que es de 0,950 g/cc a 0,965 g/cc; una polidispersidad (M_w/M_n) que es de 10 a 20; y un peso
15 molecular (M_z) que es de 500.000 g/mol a 1.000.000 g/mol; una primera capa ubicada en un primer lado de la capa central; y una segunda capa ubicada en un segundo lado de la capa central.

Un décimo aspecto incluye la película multicapa
20 del noveno aspecto, en donde al menos una de la primera capa y la segunda capa comprende el polietileno multimodal de alta densidad que comprende: un índice de fusión (I_2) que es de 0,8 g/10 min a 5,0 g/10 min; una densidad que es de 0,950 g/cc a 0,965 g/cc; una
25 polidispersidad (M_w/M_n) que es de 10 a 20; y un peso molecular (M_z) que es de 500.000 g/mol a 1.000.000 g/mol.

Un decimoprimer aspecto incluye la película multicapa de uno cualquiera del noveno o décimo aspectos, en donde la primera capa y la segunda capa están hechas del mismo material.

5 Un decimosegundo aspecto incluye la película multicapa de uno cualquiera del noveno al decimoprimer aspectos, en donde un primer lado de la primera capa está ubicado en el primer lado de la capa central y un primer lado de la segunda capa está ubicado en el segundo lado de la capa central, una tercera capa está ubicada en un
10 segundo lado de la primera capa, y una cuarta capa está ubicada en un segundo lado de la segunda capa.

Un decimotercer aspecto incluye la película multicapa de uno cualquiera del noveno al decimosegundo
15 aspectos, en donde la película multicapa comprende una turbidez de 2 % a 70 %.

Un decimocuarto aspecto incluye la película multicapa de uno cualquiera del noveno al decimotercer aspectos, en donde la película multicapa comprende un
20 módulo secante al 1 % en MD (dirección de la máquina) que es de 500 MPa a 2500 MPa.

Un decimoquinto aspecto incluye un envase flexible, una bolsita, una bolsa, o una bolsa vertical que comprende la película de uno cualquiera del primer al
25 octavo aspectos o la película multicapa de uno cualquiera del noveno al decimocuarto aspectos.

Estas y otras modalidades se describen con más detalle en la siguiente Descripción detallada y en las figuras.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

A continuación se describirán modalidades específicas de la presente solicitud. Sin embargo, la descripción puede representarse de diferentes formas y no debe interpretarse como que se limita a las modalidades que se exponen en la presente descripción. Por el contrario, estas modalidades se proporcionan para que la presente divulgación sea completa y detallada y para que transmita de forma completa el alcance del objeto para las personas del oficio de nivel medio.

Definiciones

El término “polímero” se refiere a un compuesto polimérico preparado mediante la polimerización de monómeros, ya sean del mismo tipo o de un tipo diferente. Por lo tanto, el término genérico polímero abarca el término “homopolímero”, empleado habitualmente para referirse a polímeros preparados a partir de un solo tipo de monómero, así como “copolímero”, que se refiere a polímeros preparados a partir de dos o más monómeros diferentes. El término “interpolímero”, como se usa en la presente, se refiere a un polímero preparado mediante la polimerización de al menos dos tipos diferentes de monómeros. Por ende, el término genérico interpolímero incluye copolímeros y polímeros preparados a partir de

más de dos tipos diferentes de monómeros, tales como terpolímeros.

“Polietileno” o “polímero a base de etileno” significa polímeros que comprenden más de 50 % por molar de unidades que se han derivado de monómero de etileno. Esto incluye homopolímeros o copolímeros de polietileno (es decir, unidades derivadas de dos o más comonómeros). Las formas comunes de polietileno conocidas en la técnica incluyen polietileno de baja densidad (LDPE, por sus siglas en inglés); polietileno lineal de baja densidad (LLDPE, por sus siglas en inglés); polietileno de ultra baja densidad (ULDPE, por sus siglas en inglés); polietileno de muy baja densidad (VLDPE, por sus siglas en inglés); polietileno de media densidad (MDPE, por sus siglas en inglés); y polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés).

El término “LDPE” también puede denominarse “polímero de etileno de alta presión” o “polietileno altamente ramificado” y se define como el polímero que se homopolimeriza o copolimeriza parcial o completamente en autoclave o reactores tubulares a presiones superiores a 14.500 psi (100 MPa) con el uso de iniciadores de radicales libres, tales como peróxidos (ver, por ejemplo, US 4.599.392, que se incorpora en la presente descripción por referencia). Típicamente, las resinas de LDPE tienen una densidad en el rango de 0,916 a 0,935 g/cm.

El término “LLDPE” incluye resina elaborada con sistemas de catalizadores Ziegler-Natta así como resina elaborada usando catalizadores de un solo sitio, que incluyen, pero no se limitan a, catalizadores de bis-metaloceno (a veces denominados “m-LLDPE”) y catalizadores de geometría restringida, y resina elaborada con catalizadores moleculares de posmetaloceno. LLDPE incluye copolímeros u homopolímeros de polietileno lineales, sustancialmente lineales o heterogéneos. Los LLDPE contienen menos ramificación de cadena larga que los LDPE e incluyen los polímeros de etileno sustancialmente lineales que se definen adicionalmente en la patente de los EE. UU. núm. 5.272.236, la patente de los EE. UU. núm. 5.278.272, la patente de los EE. UU. núm. 5.582.923 y la patente de los EE. UU. núm. 5.733.155; las composiciones poliméricas de etileno lineal homogéneamente ramificadas, tales como aquellas en la patente de los EE. UU. núm. 3.645.992; los polímeros de etileno heterogéneamente ramificados, tales como los preparados de acuerdo con el proceso descrito en la patente de los EE. UU. 4.076.698; y/o mezclas de estos (tales como los descritos en US 3.914.342 o US 5.854.045). Las resinas de LLDPE pueden fabricarse mediante polimerización en fase gaseosa, en fase de solución o en suspensión, o cualquier combinación de

estas, usando cualquier tipo de reactor o configuración de reactor que se conozca en la técnica.

El término “MDPE” se refiere a polietilenos que tienen densidades de 0,926 a 0,945 g/cc. “MDPE” se
5 fabrica típicamente usando catalizadores de cromo o Ziegler-Natta o usando catalizadores de un solo sitio que incluyen, pero no se limitan a, catalizadores de bis-metaloceno y catalizadores de geometría restringida.

El término “HDPE” se refiere a polietilenos que
10 tienen densidades mayores que aproximadamente 0,945 g/cc hasta aproximadamente 0,980 g/cc, que generalmente se preparan con catalizadores Ziegler-Natta, catalizadores de cromo o catalizadores de un solo sitio que incluyen, entre otros, catalizadores de bis-metaloceno y catalizadores de
15 geometría restringida.

El término “ULDPE” se refiere a polietilenos que tienen densidades de 0,880 a 0,909 g/cc, que generalmente se preparan con catalizadores Ziegler-Natta, catalizadores de un solo sitio que incluyen, entre otros, catalizadores
20 de bis-metaloceno y catalizadores de geometría restringida, y catalizadores moleculares de posmetaloceno. La expresión “polímero a base de propileno”, como se usa en la presente descripción, se refiere a un polímero que comprende, en forma polimerizada, se refiere a polímeros que comprenden
25 más de 50 % en peso de unidades que se han derivado de

monómero de propileno. Esto incluye homopolímero de propileno, copolímero aleatorio de polipropileno, copolímero de impacto de polipropileno, interpolímero de propileno/ α -olefina y copolímero de propileno/ α -olefina.

5 Estos materiales de polipropileno son generalmente conocidos en la técnica.

“Película multicapa” significa cualquier estructura que tenga más de una capa. Por ejemplo, la estructura multicapa puede tener dos, tres, cuatro, cinco o
10 más capas. Una película multicapa puede describirse como que tiene las capas designadas con letras. Por ejemplo, una estructura de tres capas que tiene una capa central B y dos capas externas A y C puede designarse como A/B/C. De la misma manera, una estructura que tiene dos capas centrales
15 B y C y dos capas externas A y D se designaría como A/B/C/D. Además, el experto en la técnica sabría que capas adicionales E, F, G, etc., también pueden incorporarse en esta estructura.

Como se usa en la presente descripción,
20 “multimodal” significa composiciones que pueden caracterizarse por tener al menos dos (2) subcomponentes poliméricos con densidades variables y pesos moleculares promediados en peso y, opcionalmente, también pueden tener diferentes valores de índice de fusión. En una
25 modalidad, multimodal puede definirse por tener al menos dos picos distintos en un cromatograma de cromatografía

de permeación en gel (GPC, por sus siglas en inglés) que muestra la distribución de pesos moleculares. En otra modalidad, multimodal puede definirse por tener al menos dos picos distintos en un cromatograma de fraccionamiento por elución de cristalización (CEF, por sus siglas en inglés) que muestra la distribución de ramificación de la cadena corta. Multimodal incluye resinas que tienen dos picos, así como resinas que tienen más de dos picos, tales como, por ejemplo, tres picos o cuatro picos.

10 A continuación, se hará referencia en detalle a las modalidades de película de BOPE de la presente descripción, en donde la película de BOPE comprende un HDPE multimodal como se da a conocer y describe en la presente descripción. Algunas modalidades incluyen
15 películas multicapa que tienen al menos una capa que comprende un HDPE multimodal tal como se da a conocer y describe en la presente descripción.

Las películas de BOPE dadas a conocer y descritas en la presente descripción tienen al menos una
20 capa que comprende un HDPE multimodal que tiene un índice de fusión (I_2) que es de 0,5 g/10 min a 10,0 g/10 min, una densidad que es de 0,940 g/cc a 0,965 g/cc, una polidispersidad (M_w/M_n) que es de 10 a 20, y un peso molecular (M_z) que es de 500.000 g/mol a 1.000.000 g/mol.

25

Polietileno de alta densidad

En modalidades, el HDPE multimodal tiene un índice de fusión (I_2) de 0,8 g/10 min a 5,0 g/10 min, tal como 1,0 g/10 min a 5,0 g/10 min, 1,5 g/10 min a 5,0 g/10 min, 2,0 g/10 min a 5,0 g/10 min, 2,5 g/10 min a 5,0 g/10 min, 3,0 g/10 min a 5,0 g/10 min, 3,5 g/10 min a 5,0 g/10 min, 4,0 g/10 min a 5,0 g/10 min, 4,5 g/10 min a 5,0 g/10 min, 0,8 g/10 min a 4,5 g/10 min, 1,0 g/10 min a 4,5 g/10 min, 1,5 g/10 min a 4,5 g/10 min, 2,0 g/10 min a 4,5 g/10 min, 2,5 g/10 min a 4,5 g/10 min, 3,0 g/10 min a 4,5 g/10 min, 3,5 g/10 min a 4,5 g/10 min, 4,0 g/10 min a 4,5 g/10 min, 0,8 g/10 min a 4,0 g/10 min, 1,0 g/10 min a 4,0 g/10 min, 1,5 g/10 min a 4,0 g/10 min, 2,0 g/10 min a 4,0 g/10 min, 2,5 g/10 min a 4,0 g/10 min, 3,0 g/10 min a 4,0 g/10 min, 3,5 g/10 min a 4,0 g/10 min, 0,8 g/10 min a 3,5 g/10 min, 1,0 g/10 min a 3,5 g/10 min, 1,5 g/10 min a 3,5 g/10 min, 2,0 g/10 min a 3,5 g/10 min, 2,5 g/10 min a 3,5 g/10 min, 3,0 g/10 min a 3,5 g/10 min, 0,8 g/10 min a 3,0 g/10 min, 1,0 g/10 min a 3,0 g/10 min, 1,5 g/10 min a 3,0 g/10 min, 2,0 g/10 min a 3,0 g/10 min, 2,5 g/10 min a 3,0 g/10 min, 0,8 g/10 min a 2,5 g/10 min, 1,0 g/10 min a 2,5 g/10 min, 1,5 g/10 min a 2,5 g/10 min, 2,0 g/10 min a 2,5 g/10 min, 0,8 g/10 min a 2,0 g/10 min, 1,0 g/10 min a 2,0 g/10 min, 1,5 g/10 min a 2,0 g/10 min, 0,8 g/10 min a 1,5 g/10 min, 1,0 g/10 min a 1,5 g/10 min, o 0,8 g/10 min a 1,0 g/10 min.

En una o más modalidades, el HDPE multimodal tiene una densidad de 0,950 g/cc a 0,965 g/cc, tal como de 0,952 g/cc a 0,965 g/cc, de 0,955 g/cc a 0,965 g/cc, de 0,958 g/cc a 0,965 g/cc, de 0,960 g/cc a 0,965 g/cc, de 5 0,962 g/cc a 0,965 g/cc, de 0,950 g/cc a 0,962 g/cc, de 0,952 g/cc a 0,962 g/cc, de 0,955 g/cc a 0,962 g/cc, de 0,958 g/cc a 0,962 g/cc, de 0,960 g/cc a 0,962 g/cc, de 0,950 g/cc a 0,960 g/cc, de 0,952 g/cc a 0,960 g/cc, de 0,955 g/cc a 0,960 g/cc, de 0,958 g/cc a 0,960 g/cc, de 10 0,950 g/cc a 0,958 g/cc, de 0,952 g/cc a 0,958 g/cc, de 0,955 g/cc a 0,958 g/cc, de 0,950 g/cc a 0,955 g/cc, de 0,952 g/cc a 0,955 g/cc, de 0,950 g/cc a 0,952 g/cc.

En modalidades, el HDPE multimodal tiene una polidispersidad (M_w/M_n) de 10 a 20, tal como de 11 a 20, 15 de 12 a 20, de 13 a 20, de 14 a 20, de 15 a 20, de 16 a 20, de 17 a 20, de 18 a 20, de 19 a 20, de 10 a 19, de 11 a 19, de 12 a 19, de 13 a 19, de 14 a 19, de 15 a 19, de 16 a 19, de 17 a 19, de 18 a 19, de 10 a 18, de 11 a 18, de 12 a 18, de 13 a 18, de 14 a 18, de 15 a 18, de 16 a 20 18, de 17 a 18, de 10 a 17, de 11 a 17, de 12 a 17, de 13 a 17, de 14 a 17, de 15 a 17, de 16 a 17, de 10 a 16, de 11 a 16, de 12 a 16, de 13 a 16, de 14 a 16, de 15 a 16, de 10 a 15, de 11 a 15, de 12 a 15, de 13 a 15, de 14 a 15, de 10 a 14, de 11 a 14, de 12 a 14, de 13 a 14, de 10 25 a 13, de 11 a 13, de 12 a 13, de 10 a 12, de 11 a 12, o de 10 a 11.

En modalidades, el HDPE multimodal tiene una relación de índice de fusión (I_{10}/I_2) que es de 5,0 a 15,0, tal como de 6,0 a 15,0, de 7,0 a 15,0, de 8,0 a 15,0, de 9,0 a 15,0, de 10,0 a 15,0, de 11,0 a 15,0, de 12,0 a 15,0, de 13,0 a 15,0, de 14,0 a 15,0, de 5,0 a 14,0, de 6,0 a 14,0, de 7,0 a 14,0, de 8,0 a 14,0, de 9,0 a 14,0, de 10,0 a 14,0, de 11,0 a 14,0, de 12,0 a 14,0, de 13,0 a 14,0, de 5,0 a 13,0, de 6,0 a 13,0, de 7,0 a 13,0, de 8,0 a 13,0, de 9,0 a 13,0, de 10,0 a 13,0, de 11,0 a 13,0, de 12,0 a 13,0, de 5,0 a 12,0, de 6,0 a 12,0, de 7,0 a 12,0, de 8,0 a 12,0, de 9,0 a 12,0, de 10,0 a 12,0, de 11,0 a 12,0, de 5,0 a 11,0, de 6,0 a 11,0, de 7,0 a 11,0, de 8,0 a 11,0, de 9,0 a 11,0, de 10,0 a 11,0, de 5,0 a 10,0, de 6,0 a 10,0, de 7,0 a 10,0, de 8,0 a 10,0, de 9,0 a 10,0, de 5,0 a 9,0, de 6,0 a 9,0, de 7,0 a 9,0, de 8,0 a 9,0, de 5,0 a 8,0, de 6,0 a 8,0, de 7,0 a 8,0, de 5,0 a 7,0, de 6,0 a 7,0, o de 5,0 a 6,0.

En una o más modalidades, el HDPE multimodal tiene una relación de índice de fusión (I_{21}/I_2) que es de 60 a 80, tal como de 62 a 80, 65 a 80, 68 a 80, 70 a 80, 72 a 80, 75 a 80, 78 a 80, de 60 a 78, de 62 a 78, 65 a 78, 68 a 78, 70 a 78, 72 a 78, 75 a 78, de 60 a 75, de 62 a 75, 65 a 75, 68 a 75, 70 a 75, 72 a 75, de 60 a 72, de 62 a 72, 65 a 72, 68 a 72, 70 a 72, de 60 a 70, de 62 a 70, 65 a 70, 68 a 70, de 60 a 68, de 62 a 68, 65 a 68, de 60 a 65, de 62 a 65, o de 60 a 62.

En modalidades, el HDPE multimodal tiene un peso molecular (Mn) medido por GPC que es de 9000 g/mol a 10.000 g/mol, tal como de 9.100 g/mol a 10.000 g/mol, de 9200 g/mol a 10.000 g/mol, de 9.300 g/mol a 10.000 g/mol, de 9400 g/mol a 10.000 g/mol, de 9500 g/mol a 10.000 g/mol, de 9600 g/mol a 10.000 g/mol, de 9700 g/mol a 10.000 g/mol, de 9800 g/mol a 10.000 g/mol, de 9900 g/mol a 10.000 g/mol, de 9000 g/mol a 9900 g/mol, de 9100 g/mol a 9900 g/mol, de 9200 g/mol a 9900 g/mol, de 9300 g/mol a 9900 g/mol, de 9400 g/mol a 9900 g/mol, de 9500 g/mol a 9900 g/mol, de 9600 g/mol a 9900 g/mol, de 9700 g/mol a 9900 g/mol, de 9800 g/mol a 9900 g/mol, de 9000 g/mol a 9800 g/mol, de 9100 g/mol a 9800 g/mol, de 9200 g/mol a 9800 g/mol, de 9300 g/mol a 9800 g/mol, de 9400 g/mol a 9800 g/mol, de 9500 g/mol a 9800 g/mol, de 9600 g/mol a 9800 g/mol, de 9700 g/mol a 9800 g/mol, de 9000 g/mol a 9700 g/mol, de 9100 g/mol a 9700 g/mol, de 9200 g/mol a 9700 g/mol, de 9300 g/mol a 9700 g/mol, de 9400 g/mol a 9700 g/mol, de 9.500 g/mol a 9700 g/mol, de 9600 g/mol a 9700 g/mol, de 9000 g/mol a 9600 g/mol, de 9100 g/mol a 9600 g/mol, de 9200 g/mol a 9600 g/mol, de 9300 g/mol a 9600 g/mol, de 9400 g/mol a 9600 g/mol, de 9500 g/mol a 9600 g/mol, de 9000 g/mol a 9500 g/mol, de 9100 g/mol a 9500 g/mol, de 9200 g/mol a 9500 g/mol, de 9300 g/mol a 9500 g/mol, de 9400 g/mol a 9500 g/mol, de 9000 g/mol a 9400 g/mol, de 9100 g/mol a 9400 g/mol, de

9200 g/mol a 9400 g/mol, de 9300 g/mol a 9400 g/mol, de 9000 g/mol a 9300 g/mol, de 9100 g/mol a 9300 g/mol, de 9200 g/mol a 9300 g/mol, de 9000 g/mol a 9200 g/mol, de 9100 g/mol a 9200 g/mol, o de 9000 g/mol a 9100 g/mol.

5 En una o más modalidades, el HDPE multimodal tiene un peso molecular (Mw) medido por GPC que es de 110.000 g/mol a 135.000 g/mol, tal como de 112.000 g/mol a 135.000 g/mol, de 115.000 g/mol a 135.000 g/mol, de 118.000 g/mol a 135.000 g/mol, de 120.000 g/mol a 10 135.000 g/mol, de 122.000 g/mol a 135.000 g/mol, de 125.000 g/mol a 135.000 g/mol, de 128.000 g/mol a 135.000 g/mol, de 130.000 g/mol a 135.000 g/mol, de 132.000 g/mol a 135.000 g/mol, de 110.000 g/mol a 132.000 g/mol, de 112.000 g/mol a 132.000 g/mol, de 15 115.000 g/mol a 132.000 g/mol, de 118.000 g/mol a 132.000 g/mol, de 120.000 g/mol a 132.000 g/mol, de 122.000 g/mol a 132.000 g/mol, de 125.000 g/mol a 132.000 g/mol, de 128.000 g/mol a 132.000 g/mol, de 130.000 g/mol a 132.000 g/mol, de 110.000 g/mol a 20 130.000 g/mol, de 112.000 g/mol a 130.000 g/mol, de 115.000 g/mol a 130.000 g/mol, de 118.000 g/mol a 130.000 g/mol, de 120.000 g/mol a 130.000 g/mol, de 122.000 g/mol a 130.000 g/mol, de 125.000 g/mol a 130.000 g/mol, de 128.000 g/mol a 130.000 g/mol, de 25 110.000 g/mol a 128.000 g/mol, de 112.000 g/mol a 128.000 g/mol, de 115.000 g/mol a 128.000 g/mol, de

118.000 g/mol a 128.000 g/mol, de 120.000 g/mol a
 128.000 g/mol, de 122.000 g/mol a 128.000 g/mol, de
 125.000 g/mol a 128.000 g/mol, de 110.000 g/mol a
 125.000 g/mol, de 112.000 g/mol a 125.000 g/mol, de
 5 115.000 g/mol a 125.000 g/mol, de 118.000 g/mol a
 125.000 g/mol, de 120.000 g/mol a 125.000 g/mol, de
 122.000 g/mol a 125.000 g/mol, de 110.000 g/mol a
 122.000 g/mol, de 112.000 g/mol a 122.000 g/mol, de
 115.000 g/mol a 122.000 g/mol, de 118.000 g/mol a
 10 122.000 g/mol, de 120.000 g/mol a 122.000 g/mol, de
 110.000 g/mol a 120.000 g/mol, de 112.000 g/mol a
 120.000 g/mol, de 115.000 g/mol a 120.000 g/mol, de
 118.000 g/mol a 120.000 g/mol, de 110.000 g/mol a
 118.000 g/mol, de 112.000 g/mol a 118.000 g/mol, de
 15 115.000 g/mol a 118.000 g/mol, de 110.000 g/mol a
 115.000 g/mol, de 112.000 g/mol a 115.000 g/mol, o de
 110.000 g/mol a 112.000 g/mol.

En una o más modalidades, el HDPE multimodal
 tiene un peso molecular (Mw) medido por GPC que es de
 20 600.000 g/mol a 1.300.000 g/mol, tal como de 650.000 g/mol
 a 1.300.000 g/mol, de 700.000 g/mol a 1.300.000 g/mol, de
 750.000 g/mol a 1.300.000 g/mol, de 800.000 g/mol a
 1.300.000 g/mol, de 850.000 g/mol a 1.300.000 g/mol, de
 900.000 g/mol a 1.300.000 g/mol, de 950.000 g/mol a
 25 1.300.000 g/mol, de 1.000.000 g/mol a 1.300.000 g/mol, de
 1.050.000 g/mol a 1.300.000 g/mol, de 1.100.000 g/mol a

1.300.000 g/mol, de 1.150.000 g/mol a 1.300.000 g/mol, de
1.200.000 g/mol a 1.300.000 g/mol, de 1.250.000 g/mol a
1.300.000 g/mol, de 600.000 g/mol a 1.250.000 g/mol, de
650.000 g/mol a 1.250.000 g/mol, de 700.000 g/mol a
5 1.250.000 g/mol, de 750.000 g/mol a 1.250.000 g/mol, de
800.000 g/mol a 1.250.000 g/mol, de 850.000 g/mol a
1.250.000 g/mol, de 900.000 g/mol a 1.250.000 g/mol, de
950.000 g/mol a 1.250.000 g/mol, de 1.000.000 g/mol a
1.250.000 g/mol, de 1.050.000 g/mol a 1.250.000 g/mol, de
10 1.100.000 g/mol a 1.250.000 g/mol, de 1.150.000 g/mol a
1.250.000 g/mol, de 1.200.000 g/mol a 1.250.000 g/mol, de
600.000 g/mol a 1.200.000 g/mol, de 650.000 g/mol a
1.200.000 g/mol, de 700.000 g/mol a 1.200.000 g/mol, de
750.000 g/mol a 1.200.000 g/mol, de 800.000 g/mol a
15 1.200.000 g/mol, de 850.000 g/mol a 1.200.000 g/mol, de
900.000 g/mol a 1.200.000 g/mol, de 950.000 g/mol a
1.200.000 g/mol, de 1.000.000 g/mol a 1.200.000 g/mol, de
1.050.000 g/mol a 1.200.000 g/mol, de 1.100.000 g/mol a
1.200.000 g/mol, de 1.150.000 g/mol a 1.200.000 g/mol, de
20 600.000 g/mol a 1.100.000 g/mol, de 650.000 g/mol a
1.100.000 g/mol, de 700.000 g/mol a 1.100.000 g/mol, de
750.000 g/mol a 1.100.000 g/mol, de 800.000 g/mol a
1.100.000 g/mol, de 850.000 g/mol a 1.100.000 g/mol, de
900.000 g/mol a 1.100.000 g/mol, de 950.000 g/mol a
25 1.100.000 g/mol, de 1.000.000 g/mol a 1.100.000 g/mol, de
1.050.000 g/mol a 1.100.000 g/mol, de 600.000 g/mol a

1.050.000 g/mol, de 650.000 g/mol a 1.050.000 g/mol, de
 700.000 g/mol a 1.050.000 g/mol, de 750.000 g/mol a
 1.050.000 g/mol, de 800.000 g/mol a 1.050.000 g/mol, de
 850.000 g/mol a 1.050.000 g/mol, de 900.000 g/mol a
 5 1.050.000 g/mol, de 950.000 g/mol a 1.050.000 g/mol, de
 1.000.000 g/mol a 1.050.000 g/mol, de 600.000 g/mol a
 1.000.000 g/mol, de 650.000 g/mol a 1.000.000 g/mol, de
 700.000 g/mol a 1.000.000 g/mol, de 750.000 g/mol a
 1.000.000 g/mol, de 800.000 g/mol a 1.000.000 g/mol, de
 10 850.000 g/mol a 1.000.000 g/mol, de 900.000 g/mol a
 1.000.000 g/mol, de 950.000 g/mol a 1.000.000 g/mol, de
 600.000 g/mol a 950.000 g/mol, de 650.000 g/mol a
 950.000 g/mol, de 700.000 g/mol a 950.000 g/mol, de
 750.000 g/mol a 950.000 g/mol, de 800.000 g/mol a
 15 950.000 g/mol, de 850.000 g/mol a 950.000 g/mol, de
 900.000 g/mol a 950.000 g/mol, de 600.000 g/mol a
 900.000 g/mol, de 650.000 g/mol a 900.000 g/mol, de
 700.000 g/mol a 900.000 g/mol, de 750.000 g/mol a
 900.000 g/mol, de 800.000 g/mol a 900.000 g/mol, de
 20 850.000 g/mol a 900.000 g/mol, de 600.000 g/mol a
 850.000 g/mol, de 650.000 g/mol a 850.000 g/mol, de
 700.000 g/mol a 850.000 g/mol, de 750.000 g/mol a
 850.000 g/mol, de 800.000 g/mol a 850.000 g/mol, de
 600.000 g/mol a 800.000 g/mol, de 650.000 g/mol a
 25 800.000 g/mol, de 700.000 g/mol a 800.000 g/mol, de
 750.000 g/mol a 800.000 g/mol, de 600.000 g/mol a

750.000 g/mol, de 650.000 g/mol a 750.000 g/mol, de 700.000 g/mol a 750.000 g/mol, de 600.000 g/mol a 700.000 g/mol, de 650.000 g/mol a 700.000 g/mol, o de 600.000 g/mol a 650.000 g/mol.

5 En una o más modalidades, el HDPE multimodal tiene un peso molecular (Mw) medido por GPC que es de 5,0 a 10,0, tal como de 5,5 a 10,0, de 6,0 a 10,0, de 6,5 a 10,0, de 7,0 a 10,0, de 7,5 a 10,0, de 8,0 a 10,0, de 8,5 a 10,0, de 9,0 a 10,0, de 9,5 a 10,0, de 5,0 a 9,5, de 5,5 a 9,5, 10 de 6,0 a 9,5, de 6,5 a 9,5, de 7,0 a 9,5, de 7,5 a 9,5, de 8,0 a 9,5, de 8,5 a 9,5, de 9,0 a 9,5, de 5,0 a 9,0, de 5,5 a 9,0, de 6,0 a 9,0, de 6,5 a 9,0, de 7,0 a 9,0, de 7,5 a 9,0, de 8,0 a 9,0, de 8,5 a 9,0, de 5,0 a 8,5, de 5,5 a 8,5, de 6,0 a 8,5, de 6,5 a 8,5, de 7,0 a 8,5, de 7,5 a 15 8,5, de 8,0 a 8,5, de 5,0 a 8,0, de 5,5 a 8,0, de 6,0 a 8,0, de 6,5 a 8,0, de 7,0 a 8,0, de 7,5 a 8,0, de 5,0 a 7,5, de 5,5 a 7,5, de 6,0 a 7,5, de 6,5 a 7,5, de 7,0 a 7,5, de 5,0 a 7,0, de 5,5 a 7,0, de 6,0 a 7,0, de 6,5 a 7,0, de 5,0 a 6,5, de 5,5 a 6,5, de 6,0 a 6,5, de 5,0 a 20 6,0, de 5,5 a 6,0, o de 5,0 a 5,5.

En modalidades, el HDPE multimodal dado a conocer y descrito en la presente descripción puede elaborarse mediante cualquier proceso adecuado. En una o más modalidades, el HDPE multimodal dado a conocer y 25 descrito en la presente descripción puede elaborarse mediante polimerización en fase gaseosa, polimerización

en suspensión, o una combinación de polimerización en fase gaseosa y polimerización en suspensión. En modalidades, el HDPE multimodal dado a conocer y descrito en la presente descripción puede elaborarse mediante polimerización en fase gaseosa. Por ejemplo, el HDPE multimodal dado a conocer y descrito en la presente descripción puede prepararse mediante los métodos descritos en la patente de los EE. UU. núm. 8.455.594, que se incorpora en la presente descripción como referencia en su totalidad.

En una o más modalidades, el HDPE dado a conocer o descrito en la presente descripción puede elaborarse usando un sistema de polimerización secuencial doble, por ejemplo, un primer reactor de fase gaseosa y un segundo reactor de fase gaseosa que funcionan en serie. Etileno, uno o más comonómeros de alfa-olefina, hidrógeno, catalizador, por ejemplo, el catalizador Ziegler-Natta, aceite mineral en suspensión, N_2 , e isopentano puede alimentarse continuamente al primer reactor. Posteriormente, un cocatalizador, por ejemplo, trietilaluminio (TEAL), puede alimentarse al primer reactor para activar el catalizador. La primera reacción de polimerización del etileno se lleva a cabo después en la presencia de 1-hexeno en el primer reactor bajo las condiciones mostradas a continuación en la Tabla 1, produciendo de esta manera el primer complejo de

componente-catalizador. El primer complejo de componente-catalizador se transfiere al segundo reactor. Un etileno adicional, hidrógeno, cocatalizador, por ejemplo, TEAL, N₂ e isopentano, pueden alimentarse al segundo reactor. En 5 modalidades, no se agrega un catalizador adicional al segundo reactor. La segunda reacción de polimerización de etileno puede llevarse a cabo en el segundo reactor en las condiciones mostradas a continuación en la Tabla 1, produciendo de esta manera el primer complejo de 10 componente-catalizador-segundo componente. El primer complejo del componente-catalizador-segundo componente puede extraerse del segundo reactor en lotes hacia la cámara de producto, donde se puede purgar para eliminar los hidrocarburos residuales, y después transferirse a un 15 tambor. El tambor puede purgarse con nitrógeno humidificado.

Tabla 1

Tipo de comonomero	1-hexano
Catalizador	Ziegler-Natta
Cocatalizador	2,5 % de TEAL
Primer tipo de reactor	Fase gaseosa
Segundo tipo de reactor	Fase gaseosa
Primera temperatura de reacción (°C)	85
Segunda temperatura de reacción (°C)	110
Primera presión de reacción (psi)	348
Segunda presión de reacción (psi)	394
C₂ Presión parcial (psi) del primer reactor	26,1
C₂ Presión parcial (psi) del segundo reactor	81,1
Relación molar H₂/C₂ del primer reactor	0,115

Relación molar H_2/C_2 del segundo reactor	1,799
Relación molar C_6/C_2 del primer reactor	0,0463
Relación molar C_6/C_2 del segundo reactor	0,0029
Velocidad de alimentación del catalizador (cc/h) (Primer reactor solamente)	6
Isopentano del primer reactor (% molar)	8,8
Isopentano del segundo reactor (% molar)	3,4

Películas y películas multicapa

El HDPE multimodal que tiene la combinación de propiedades descritas anteriormente exhibe una excelente capacidad de procesamiento y un rendimiento ajustable en películas de acuerdo con algunas modalidades. El rendimiento de estiramiento del HDPE multimodal descrito anteriormente es más estable que otros típicos HDPE convencionales y ligeramente mejor que otras resinas. El HDPE multimodal descrito anteriormente puede ejecutarse de 50 % a 100 % en la capa central sin ningún problema en algunas modalidades. El HDPE multimodal descrito anteriormente también requiere una torsión inferior para extrudirse a la misma rpm/salida que otras, resinas de HDPE convencionales en algunas modalidades. Esta es una característica muy importante ya que muchas de las líneas de orientación existentes de polipropileno orientado biaxialmente (BOPP, por sus siglas en inglés) se diseñaron para extrudir polipropileno, lo que usa una torsión inferior que la mayoría de los polietilenos puede manejar. Por lo tanto, cuando se ejecuta una línea de orientación de BOPP con polietileno, la línea típicamente

sufre una reducción significativa de la salida, a veces una reducción de 60 % a 70 %. Además, mejorar el sistema extrusor para alojar el polietileno puede ser muy costoso. Por consiguiente, un HDPE que puede ejecutarse
5 al 100 % sin la pérdida de la tasa de producción puede proporcionar un reemplazo significativamente más atractivo y reciclable para el polipropileno.

Si bien los HDPE comercialmente disponibles se han evaluado y algunos de ellos tienen un rendimiento de
10 estiramiento suficiente, la mayoría de ellos son HDPE con un índice de fusión (MI, por sus siglas en inglés) fraccional, que varía de 0,4 g/10 min a 0,9 g/10 min de I₂. El HDPE usado en algunas modalidades de la presente invención tiene un MI más alto (I₂) a 1,5 g/10 min y un Mz
15 alto. Sin desear limitarse a ninguna teoría particular, se cree que la combinación de MI aumentado (I₂) y un Mz alto proporciona el rendimiento de estiramiento robusto observado en el HDPE dado a conocer y descrito en la presente descripción para usarse en algunas modalidades de
20 la presente invención. También se considera que la densidad relativamente más baja es un factor importante para reducir la velocidad de cristalización, haciendo de esta manera que la banda sea más estable y más fácil de estirar en las etapas MDO y TDO.

25 En modalidades, la película de polietileno orientada biaxialmente es una película monocapa que

comprende el HDPE descrito anteriormente como la única capa.

Cuando la película es una película monocapa, la capa puede contener uno o más aditivos como se conoce generalmente. Tales aditivos incluyen antioxidantes, tales como IRGANOX 1010 e IRGAFOS 168 (disponibles en el comercio a través de BASF), absorbentes de luz ultravioleta, agentes antiestáticos, pigmentos, colorantes, agentes nucleantes, agentes de relleno, agentes de deslizamiento, pirorretardantes, plastificantes, auxiliares de procesamiento, lubricantes, estabilizadores, inhibidores de humo, agentes de control de la viscosidad, agentes modificadores de la superficie y agentes antibloqueo. La composición de la capa puede, por ejemplo, comprender menos de 10 por ciento en el peso combinado de uno o más aditivos, basado en el peso de la capa en algunas modalidades, y menos de 5 por ciento en peso en otras modalidades. En modalidades, la capa en una película multicapa puede ser una mezcla del HDPE descrito en la presente descripción y uno o más de LLDPE, LDPE, copolímero de etileno-propileno, plastómeros de polietileno, etc.

En modalidades donde la película es una película monocapa que comprende el HDPE descrito en la presente descripción, la capa de película, de acuerdo con modalidades, comprende al menos 40 % en peso del HDPE

descrito en la presente descripción, tal como al menos
45 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción,
al menos 50 % en peso del HDPE descrito en la presente
descripción, al menos 55 % en peso del HDPE descrito en la
5 presente descripción, al menos 60 % en peso del HDPE
descrito en la presente descripción, al menos 65 % en peso
del HDPE descrito en la presente descripción, al menos el
70 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción,
al menos el 75 % en peso del HDPE descrito en la presente,
10 al menos 80 % en peso del HDPE descrito en la presente
descripción, al menos el 90 % en peso del HDPE descrito en
la presente descripción, o al menos el 95 % en peso del
HDPE descrito en la presente descripción. En modalidades,
donde la película es una película monocapa que comprende
15 el HDPE descrito en la presente descripción, la capa de
película, en modalidades, consiste en o consiste
esencialmente en el HDPE descrito en la presente
descripción.

En algunas modalidades, la película de
20 polietileno orientada biaxialmente es una película
multicapa, donde al menos una capa comprende el HDPE
descrito en la presente descripción. Por ejemplo, una
película multicapa puede comprender una capa que incluye
el HDPE descrito en la presente descripción y comprende
25 además otras capas típicamente incluidas en películas
multicapa dependiendo de la aplicación que incluyen, por

ejemplo, capas selladoras, capas aislantes, capas de unión, otras capas de polietileno, capas de polipropileno, etc. En modalidades donde la película es una película multicapa, la capa que comprende el HDPE dado a conocer y
5 descrito en la presente descripción es una capa central de la película multicapa.

Como ejemplo, en algunas modalidades, una película multicapa puede comprender la capa analizada anteriormente que comprende el HDPE descrito en la presente
10 descripción (Capa B) y otra capa (Capa A). La Capa A tiene una superficie facial superior y una superficie facial inferior, en donde la superficie facial superior de la Capa A está en contacto adherente con una superficie facial inferior de la Capa B.

15 En algunas de tales modalidades, la Capa A puede ser una capa selladora formada a partir de uno o más polímeros a base de etileno como se conoce por los expertos en la técnica que son adecuados para usarse en una capa selladora.

20 Sin embargo, como se indicó anteriormente, la Capa A puede comprender cualquier cantidad de otros polímeros o mezclas de polímeros. Por ejemplo, si las películas multicapa incluye una capa aislante, la Capa A podría ser una capa de unión en contacto adherente entre
25 la capa externa y la capa aislante, y otra capa de unión podría estar entre la capa aislante y una capa selladora.

También debe entenderse que las películas multicapa de las modalidades pueden incluir dos Capa A; una en cada superficie principal de la Capa B, donde una superficie principal describe una superficie con una gran área de superficie y las películas tienen dos superficies principales opuestas y paralelas entre sí. Por lo tanto, en modalidades, la película multicapa es una película de BOPE de 3 capas que puede describirse como una película A/B/A. Debe entenderse que en las modalidades, cada Capa A puede tener la misma composición, y en otras modalidades, las dos capas A pueden tener composiciones diferentes.

En modalidades, la película multicapa puede ser una película de BOPE de cinco capas que tiene una Capa B (tal como una capa central) hecha a partir del HDPE dado a conocer y descrito en la presente descripción. Presente en una superficie principal de la Capa B está una primera capa de unión (Capa D) y una segunda capa de unión (también Capa D) en una segunda superficie principal de la Capa B. La primera capa de unión tiene una capa superficial (Capa A) en la superficie principal opuesta a la Capa B, y la segunda capa de unión tiene una capa superficial (Capa C) en la superficie principal opuesta a la Capa B. La película de 5 capas puede describirse como una película A/D/B/D/C.

En una o más modalidades, las capas de unión, la Capa D, son del mismo material. En algunas modalidades, las capas de unión, la Capa D, están hechas del mismo material que la Capa B. En consecuencia, en una o más modalidades, la Capa B y las capas de unión, la Capa D, están todas hechas o comprenden el HDPE multimodal dado a conocer y descrito en la presente descripción. Sin embargo, en otras modalidades, las capas de unión, la Capa D, no están hechas del mismo material que la Capa B. En modalidades, la Capa D comprende una mezcla de LLDPE y HDPE (ya sea el HDPE dado a conocer y descrito en la presente descripción u otro HDPE) o la Capa D puede ser una resina de unión (p. ej., copolímero de etileno-propileno o un polímero modificado con anhídrido maleico).

En modalidades, las capas superficiales, la Capa A y la Capa C, pueden hacerse del mismo material. En otras modalidades, las capas superficiales, la Capa A y la Capa C, pueden hacerse de materiales diferentes. En una modalidad, las capas superficiales, la Capa A y la Capa C, están ambas hechas de BOPE, tal como INNATE fabricado por la Dow Chemical Company. En modalidades, la Capa A y la Capa C comprenden uno o más de LLDPE, una mezcla de LLDPE y HDPE (ya sea el HDPE dado a conocer y descrito en la presente descripción u otro HDPE), HDPE (ya sea el HDPE dado a conocer y descrito en la presente descripción u otro

HDPE), polipropileno, copolímero de etileno-propileno, o una poliimida.

Se debe comprender que cualquiera de las capas anteriores también puede comprender uno o más aditivos
5 conocidos por las personas del oficio de nivel medio, tales como antioxidantes, estabilizadores de luz ultravioleta, estabilizadores térmicos, agentes de deslizamiento, antibloqueantes, pigmentos o colorantes, auxiliares de procesamiento, catalizadores reticulantes,
10 pirorretardantes, agentes de relleno y agentes formadores de espuma.

En modalidades donde la película es una película multicapa, al menos una capa de la película multicapa comprende el HDPE descrito en la presente descripción. La
15 al menos una capa que comprende el HDPE descrito en la presente descripción, de acuerdo con las modalidades, comprende al menos 40 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción, tal como al menos 45 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción, al menos 50 %
20 en peso del HDPE descrito en la presente descripción, al menos 55 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción, al menos 60 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción, al menos 65 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción, al menos el 70 % en
25 peso del HDPE descrito en la presente descripción, al menos el 75 % en peso del HDPE descrito en la presente,

al menos 80 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción, al menos el 90 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción, o al menos el 95 % en peso del HDPE descrito en la presente descripción. En 5 modalidades, la al menos una capa de película que comprende el HDPE descrito en la presente descripción consiste en o consiste esencialmente en el HDPE descrito en la presente descripción.

Las películas multicapa pueden formarse y 10 orientarse (por ejemplo, orientarse biaxialmente) mediante cualquier proceso adecuado. La información sobre estos procesos se puede encontrar en textos de referencia tales como, por ejemplo, el *Kirk Othmer Encyclopedia*, the *Modern Plastics Encyclopedia*, or the *Wiley Encyclopedia* 15 *of Packaging Technology*, 2d edition, A.L. Brody and K.S. Marsh, eds., wiley-Interscience (Hoboken, 1997). Por ejemplo, las películas multicapa pueden formarse a través de la colada de láminas o cualquier otro procedimiento de colada adecuado. Los procesos de orientación adecuados 20 incluyen tecnología de marco tensor. Cuando la película es una película multicapa, las varias capas de película pueden coextrudirse mediante cualquier medio adecuado.

Tales películas de polietileno (ya sea monocapa o multicapa), antes de la orientación biaxial, pueden tener 25 una variedad de espesores según, por ejemplo, el número de capas, del uso previsto de la película y otros factores. En

algunas modalidades, tales películas de polietileno tienen un espesor antes de la orientación biaxial de 0,8 a 1,0 mm.

En algunas formas de realización, la película de polietileno se orienta biaxialmente por el uso de un proceso de orientación biaxial secuencial de marcos de estiramiento. Tales técnicas son generalmente conocidas por los expertos en la técnica. En general, con un proceso de orientación biaxial secuencial de marco tensor, el marco tensor se incorpora como parte de una línea de coextrusión multicapa. Después de extrudir desde una matriz plana, la película se enfría en un rodillo de enfriamiento y se sumerge en un baño de agua lleno de agua a temperatura ambiente. La película fundida se pasa después sobre una serie de rodillos con diferentes velocidades de rotación para lograr el estiramiento en dirección de la máquina. Hay varios pares de rodillos en el segmento de estiramiento en dirección de máquina de la línea de fabricación, y todos se calientan en aceite. Los rodillos pareados funcionan secuencialmente como rodillos precalentados, rodillos de estiramiento y rodillos para la relajación y el recocido. La temperatura de cada par de rodillos se controla por separado. Después del estiramiento en dirección de la máquina, la película se pasa a un horno de aire caliente de marco tensor con zonas de calentamiento para llevar a cabo el estiramiento en dirección transversal. Las primeras varias zonas son para

el precalentamiento, seguidas por zonas para el estiramiento, y después las últimas zonas para el recocido.

La película orientada uniaxialmente se introduce en un tensor a una velocidad de línea de aproximadamente 20 a 28 metros por minuto, se calienta preliminarmente entre aproximadamente 140 °C y 155 °C, se estira en la dirección transversal a aproximadamente 120 °C a 130 °C en una relación de estiramiento de aproximadamente 6 a 8 veces el ancho original, y después se termofija o recuece a aproximadamente 105 °C a 120 °C para reducir las tensiones internas debido a la orientación, para minimizar la contracción térmica de la película final, y para obtener una película orientada biaxialmente relativamente estable térmicamente.

En modalidades, la película puede extraerse a una relación de estirado en la dirección de la máquina de 4,5:1 a 6,5:1, tal como de 4,8:1 a 6,5:1, de 5,0:1 a 6,5:1, de 5,2:1 a 6,5:1, de 5,5:1 a 6,5:1, de 5,8:1 a 6,5:1, de 6,0:1 a 6,5:1, de 6,2:1 a 6,5:1, de 4,5:1 a 6,2:1, de 4,8:1 a 6,2:1, de 5,0:1 a 6,2:1, de 5,2:1 a 6,2:1, de 5,5:1 a 6,2:1, de 5,8:1 a 6,2:1, de 6,0:1 a 6,2:1, de 4,5:1 a 6,0:1, de 4,8:1 a 6,0:1, de 5,0:1 a 6,0:1, de 5,2:1 a 6,0:1, de 5,5:1 a 6,0:1, de 5,8:1 a 6,0:1, de 4,5:1 a 5,8:1, de 4,8:1 a 5,8:1, de 5,0:1 a 5,8:1, de 5,2:1 a 5,8:1, de 5,5:1 a 5,8:1, de 4,5:1 a

5,5:1, de 4,8:1 a 5,5:1, de 5,0:1 a 5,5:1, de 5,2:1 a 5,5:1, de 4,5:1 a 5,2:1, de 4,8:1 a 5,2:1, de 5,0:1 a 5,2:1, de 4,5:1 a 5,0:1, de 4,8:1 a 5,0:1, de 4,5:1 a 4,8:1.

5 En modalidades, la película puede extraerse a una relación de estirado en la dirección transversal de 6,0:1 a 9,0:1, tal como de 6,2:1 a 9,0:1, de 6,5:1 a 9,0:1, de 6,8:1 a 9,0:1, de 7,0:1 a 9,0:1, de 7,2:1 a 9,0:1, de 7,5:1 a 9,0:1, de 7,8:1 a 9,0:1, de 8,0:1 a 9,0:1, de 8,2:1 a 9,0:1, de 8,5:1 a 9,0:1, de 8,8:1 a 9,0:1, de 6,0:1 a 8,8:1, de 6,2:1 a 8,8:1, de 6,5:1 a 8,8:1, de 6,8:1 a 8,8:1, de 7,0:1 a 8,8:1, de 7,2:1 a 8,8:1, de 7,5:1 a 8,8:1, de 7,8:1 a 8,8:1, de 8,0:1 a 8,8:1, de 8,2:1 a 8,8:1, de 8,5:1 a 8,8:1, de 6,0:1 a 8,5:1, de 6,2:1 a 8,5:1, de 6,5:1 a 8,5:1, de 6,8:1 a 8,5:1, de 7,0:1 a 8,5:1, de 7,2:1 a 8,5:1, de 7,5:1 a 8,5:1, de 7,8:1 a 8,5:1, de 8,0:1 a 8,5:1, de 8,2:1 a 8,5:1, de 6,0:1 a 8,2:1, de 6,2:1 a 8,2:1, de 6,5:1 a 8,2:1, de 6,8:1 a 8,2:1, de 7,0:1 a 8,2:1, de 7,2:1 a 8,2:1, de 7,5:1 a 8,2:1, de 7,8:1 a 8,2:1, de 8,0:1 a 8,2:1, de 6,0:1 a 8,0:1, de 6,2:1 a 8,0:1, de 6,5:1 a 8,0:1, de 6,8:1 a 8,0:1, de 7,0:1 a 8,0:1, de 7,2:1 a 8,0:1, de 7,5:1 a 8,0:1, de 7,8:1 a 8,0:1, de 6,0:1 a 7,8:1, de 6,2:1 a 7,8:1, de 6,5:1 a 7,8:1, de 6,8:1 a 7,8:1, de 7,0:1 a 7,8:1, de 7,2:1 a 7,8:1, de 7,5:1 a 7,8:1, de 6,0:1 a 7,5:1, de 6,2:1 a 7,5:1, de 6,5:1 a 7,5:1, de 6,8:1 a

7,5:1, de 7,0:1 a 7,5:1, de 7,2:1 a 7,5:1, de 6,0:1 a
7,2:1, de 6,2:1 a 7,2:1, de 6,5:1 a 7,2:1, de 6,8:1 a
7,2:1, de 7,0:1 a 7,2:1, de 6,0:1 a 7,0:1, de 6,2:1 a
7,0:1, de 6,5:1 a 7,0:1, de 6,8:1 a 7,0:1, de 6,0:1 a
5 6,8:1, de 6,2:1 a 6,8:1, de 6,5:1 a 6,8:1, de 6,0:1 a
6,5:1, de 6,2:1 a 6,5:1, o de 6,0:1 a 6,2:1.

Después de la orientación, la película orientada
biaxialmente tiene un espesor de 10 a 60 micrómetros en
algunas formas de realización. En algunas modalidades, la
10 película orientada biaxialmente tiene un espesor de 15 a
30 micrómetros.

En algunas formas de realización, según, por
ejemplo, la aplicación de uso final, la película de
polietileno orientada biaxialmente se puede someter a
15 tratamiento corona, tratar con plasma o imprimir mediante
el uso de técnicas conocidas por las personas del oficio
de nivel medio.

Propiedades de las películas multicapa

20 En modalidades, las películas multicapa que
incluyen una capa que comprende el HDPE multimodal dado a
conocer y descrito en la presente descripción al menos en
una capa central tienen una turbidez de 2 % a 70 %, tal
como de 5 % a 70 %, de 10 % a 70 %, de 15 % a 70 %, de
25 20 % a 70 %, de 25 % a 70 %, de 30 % a 70 %, de 35 % a
70 %, de 45 % a 70 %, de 45 % a 70 %, de 50 % a 70 %, de

55 % a 70 %, de 60 % a 70 %, de 65 % a 70 %, de 2 % a
65 %, de 5 % a 65 %, de 10 % a 65 %, de 15 % a 65 %, de
20 % a 65 %, de 25 % a 65 %, de 30 % a 65 %, de 35 % a
65 %, de 45 % a 65 %, de 45 % a 65 %, de 50 % a 65 %, de
5 55 % a 65 %, de 60 % a 65 %, de 2 % a 60 %, de 5 % a
60 %, de 10 % a 60 %, de 15 % a 60 %, de 20 % a 60 %, de
25 % a 60 %, de 30 % a 60 %, de 35 % a 60 %, de 45 % a
60 %, de 45 % a 60 %, de 50 % a 60 %, de 55 % a 60 %, de
2 % a 60 %, de 5 % a 60 %, de 10 % a 60 %, de 15 % a
10 60 %, de 20 % a 60 %, de 25 % a 60 %, de 30 % a 60 %, de
35 % a 60 %, de 45 % a 60 %, de 45 % a 60 %, de 50 % a
60 %, de 55 % a 60 %, de 2 % a 55 %, de 5 % a 55 %, de
10 % a 55 %, de 15 % a 55 %, de 20 % a 55 %, de 25 % a
55 %, de 30 % a 55 %, de 35 % a 55 %, de 45 % a 55 %, de
15 45 % a 55 %, de 50 % a 55 %, de 2 % a 50 %, de 5 % a
50 %, de 10 % a 50 %, de 15 % a 50 %, de 20 % a 50 %, de
25 % a 50 %, de 30 % a 50 %, de 35 % a 50 %, de 45 % a
50 %, de 45 % a 50 %, de 2 % a 45 %, de 5 % a 45 %, de
10 % a 45 %, de 15 % a 45 %, de 20 % a 45 %, de 25 % a
20 45 %, de 30 % a 45 %, de 35 % a 45 %, de 45 % a 45 %, de
2 % a 40 %, de 5 % a 40 %, de 10 % a 40 %, de 15 % a
40 %, de 20 % a 40 %, de 25 % a 40 %, de 30 % a 40 %, de
35 % a 40 %, de 2 % a 35 %, de 5 % a 35 %, de 10 % a
35 %, de 15 % a 35 %, de 20 % a 35 %, de 25 % a 35 %, de
25 30 % a 35 %, de 2 % a 30 %, de 5 % a 30 %, de 10 % a
30 %, de 15 % a 30 %, de 20 % a 30 %, de 25 % a 30 %, de

2 % a 25 %, de 5 % a 25 %, de 10 % a 25 %, de 15 % a 25 %, de 20 % a 25 %, de 2 % a 20 %, de 5 % a 20 %, de 10 % a 20 %, de 15 % a 20 %, de 2 % a 20 %, de 5 % a 20 %, de 10 % a 20 %, de 15 % a 20 %, de 2 % a 15 %, de 5 % a 15 %, de 10 % a 15 %, de 2 % a 10 %, de 5 % a 10 %, o de 2 % a 5 %.

En una o más modalidades, las películas multicapa que incluyen el HDPE multimodal dado a conocer y descrito en la presente descripción al menos en una
10 capa central tienen un módulo secante al 1 % en la dirección de la máquina (MD) que es de 500 MPa a 2500 MPa, tal como de 750 MPa a 2500 MPa, de 1000 MPa a 2500 MPa, de 1250 MPa a 2500 MPa, de 1500 MPa a 2500 MPa, de 1750 MPa a 2500 MPa, de 2000 MPa a 2500 MPa, de
15 2250 MPa a 2500 MPa, de 500 MPa a 2250 MPa, de 750 MPa a 2250 MPa, de 1000 MPa a 2250 MPa, de 1250 MPa a 2250 MPa, de 1500 MPa a 2250 MPa, de 1750 MPa a 2250 MPa, de 2000 MPa a 2250 MPa, de 500 MPa a 2000 MPa, de 750 MPa a 2000 MPa, de 1000 MPa a 2000 MPa, de 1250 MPa a 2000 MPa,
20 de 1500 MPa a 2000 MPa, de 1750 MPa a 2000 MPa, de 500 MPa a 1750 MPa, de 750 MPa a 1750 MPa, de 1000 MPa a 1750 MPa, de 1250 MPa a 1750 MPa, de 1500 MPa a 1750 MPa, de 500 MPa a 1500 MPa, de 750 MPa a 1500 MPa, de 1000 MPa a 1500 MPa, de 1250 MPa a 1500 MPa, de 500 MPa a
25 1250 MPa, de 750 MPa a 1250 MPa, de 1000 MPa a 1250 MPa,

de 500 MPa a 1000 MPa, de 750 MPa a 1000 MPa, o de 500 MPa a 750 MPa.

Artículos

5 En diversas modalidades, las películas multicapa descritas en la presente descripción se pueden usar para formar artículos, tales como envases. Tales artículos se pueden formar a partir de cualquiera de las películas multicapas que se describen en la presente descripción. Los
10 ejemplos de envases que se pueden formar a partir de películas multicapa de diversas modalidades pueden incluir envases flexibles, sobres, bolsitas, bolsas, bolsas verticales, y envases o bolsas preelaborados. En algunas modalidades, las películas multicapa descritas en la
15 presente descripción pueden usarse para envases para alimentos, tales como envases para carnes, quesos, cereales, nueces, jugos, salsas, chips, bocadillos, y lo similar. Tales empaques pueden formarse mediante técnicas conocidas por los expertos en la técnica basado en las
20 enseñanzas en la presente descripción y basado en el uso particular del empaque (p. ej., tipo de alimento, cantidad de alimento, etc.).

Métodos de prueba

25 Los métodos de prueba incluyen lo siguiente:

Turbidez

La turbidez se mide de acuerdo con ASTM D1003. Un Hazeguard Plus (BYK-Gardner USA; Columbia, MD) se usa para la prueba. La turbidez total se reportó como el promedio de cinco mediciones.

Densidad

Las muestras moldeadas de compresión para la medición de densidad se prepararon de acuerdo con ASTM D 4703. Las mediciones de densidad se realizaron de acuerdo con ASTM D792, el Método B en 2 horas de moldeo.

Índice de fusión

Los índices de fusión (I_2) se midieron de acuerdo con ASTM D-1238 a 190 °C y una carga de 2,16 kg. Los valores de I_2 se reportan en dg/min.

Módulo secante

El módulo secante se midió basándose en las pruebas de tracción de acuerdo con ASTM D882. La película se acondiciona durante al menos 40 horas después de la producción de la película a 23 °C (+/- 2 °C) y 50 % de RH (+/- 10) de acuerdo con las normas ASTM. Las condiciones de prueba estándar son 23 °C (+/- 2 °C) y 50 % de H. R. (+/- 10 %) según las normas ASTM. Las tiras reactivas de la prueba de tracción se cortan de una hoja en la máquina y en

direcciones transversales (MD y CD). Las tiras miden 1 pulgada de ancho por aproximadamente 8 pulgadas de largo. Las muestras se cargan en un marco de prueba de tracción usando mordazas de agarre de línea (caucho plano en un lado de la mordaza y un agarre de línea en el otro) a una longitud de calibre (agarre de línea a distancia de agarre de línea) de 2 pulgadas. Las muestras se estiran después a una velocidad de cruceta de 20 pulgadas/min. A partir de la curva de tensión-alargamiento resultante se calculan el módulo elástico (a partir de la porción inicial de la curva de tensión-alargamiento, frecuentemente denominada el módulo de Young) y el módulo secante a 1 % y 2 % de alargamiento.

15 Cromatografía de permeación en gel (GPC)

Los pesos moleculares (M_w , M_z , M_n , etc.) se midieron usando GPC a menos que se indicara de otro modo.

El sistema cromatográfico consistió en un cromatógrafo GPC de alta temperatura GPC-IR de PolymerChar (Valencia, España) equipado con un detector infrarrojo IR5 interno (IR5). El compartimiento del horno del automuestreador se fijó a 160° Celsius y el compartimiento de la columna se fijó a 150° Celsius. Las columnas usadas fueron 4 columnas lineales de lecho mixto de 30 cm “Mezclado A” de 20 micrones de Agilent. El solvente cromatográfico usado fue 1,2,4-triclorobenceno y contenía

200 ppm de hidroxitolueno butilado (BHT). La fuente de solvente se roció con nitrógeno. El volumen de inyección usado fue 200 microlitros y la velocidad de flujo fue 1,0 mililitro/minuto.

5 La calibración del conjunto de columnas de GPC se realizó con 21 estándares de poliestireno de distribución de peso molecular estrecha con pesos moleculares que variaban de 580 a 8.400.000 y se dispusieron en 6 mezclas de “cóctel” con al menos una
10 década de separación entre pesos moleculares individuales. Los estándares se adquirieron de Agilent Technologies. Los estándares de poliestireno se prepararon a razón de 0,025 gramos en 50 mililitros de solvente para pesos moleculares iguales a o mayores de
15 1.000.000, y 0,05 gramos en 50 mililitros de solvente para pesos moleculares menores de 1.000.000. Los estándares de poliestireno se disolvieron a 80 grados Celsius con agitación suave durante 30 minutos. Los pesos moleculares máximos del estándar de polietileno se
20 convirtieron a pesos moleculares de polietileno mediante la Ecuación 1 (como se describe en Williams and Ward, J. Polym. Sci., Polym. Let., 6, 621 (1968)).:

$$M_{polietileno} = A \times (M_{poliestireno})^B \quad (\text{EC. 1})$$

donde M es el peso molecular, A tiene un valor de 0,4315 y B es igual a 1,0.

Para ajustar los respectivos puntos de calibración equivalentes a polietileno se usó un polinomio de quinto orden. Para corregir la resolución de la columna y los efectos de ampliación de banda para obtener el estándar de homopolímero de polietileno lineal a un Mw de 120.000 se realizó un pequeño ajuste a A (de aproximadamente 0,375 a 0,445).

El conteo total de placas del conjunto de columnas de GPC se llevó a cabo con decano (preparado a razón de 0,04 g en 50 mililitros de TCB y disuelto durante 20 minutos con agitación suave). El recuento de placas (Ecuación 2) y la simetría (Ecuación 3) se midieron en una inyección de 200 microlitros de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Conteo de placas} = 5,54 * \left(\frac{RV_{\text{máx.pico}}}{\text{Ancho de pico a } \frac{1}{2} \text{ altura}} \right)^2 \quad (\text{EC. 2})$$

donde RV es el volumen de retención en mililitros, el ancho de pico está en mililitros, el máximo de pico es la altura máxima del pico y $\frac{1}{2}$ altura es $\frac{1}{2}$ altura del máximo de pico.

$$\text{Simetría} = \left(\frac{\text{Pico posterior } RV_{\text{un décimo de altura}} - RV_{\text{Máx.pico}}}{RV_{\text{Máx.pico}} - \text{Pico anterior } RV_{\text{un décimo de altura}}} \right) \quad (\text{EC. 3})$$

donde RV es el volumen de retención en mililitros y el ancho de pico está en mililitros, el máximo de pico es la posición máxima del pico, un décimo de altura es 1/10 de altura del máximo de pico, y donde pico posterior se refiere a la cola del pico a volúmenes de retención posteriores al máximo de pico y donde pico anterior se refiere al frente del pico a volúmenes de retención anteriores al máximo de pico. El conteo de placas para el sistema cromatográfico debe ser mayor que 18.000 y la simetría debe estar entre 0,98 y 1,22.

Las muestras se prepararon de manera semiautomática con el software “Instrument Control” de PolymerChar, en donde el peso objetivo de las muestras fue 2 mg/ml y el solvente (que contenía 200 ppm de BHT) se añadió a un vial tapado con septo previamente rociado con nitrógeno, por medio del automuestreador de alta temperatura de PolymerChar. Las muestras se disolvieron durante 2 horas a 160° Celsius con agitación de “baja velocidad”.

Los cálculos de $Mn_{(GPC)}$, $Mw_{(GPC)}$ y $Mz_{(GPC)}$ se basaron en los resultados de GPC usando el detector interno IR5 (canal de medición) del cromatógrafo GPC-IR de PolymerChar de acuerdo con las Ecuaciones 4-6, usando el software PolymerChar GPCOne™, el cromatograma de IR en el que se restó la línea de base en cada punto de

recolección de datos (i) igualmente espaciado, y el peso molecular equivalente de polietileno obtenido de la curva de calibración estrecha de estándares para el punto (i) de la Ecuación 1.

5

$$Mn_{(GPC)} = \frac{\sum_i IR_i}{\sum_i \left(IR_i / M_{Polietileno_i} \right)} \quad (EC. 4)$$

$$Mw_{(GPC)} = \frac{\sum_i (IR_i * M_{Polietileno_i})}{\sum_i IR_i} \quad (EC. 5)$$

$$Mz_{(GPC)} = \frac{\sum_i (IR_i * M_{Polietileno_i}^2)}{\sum_i (IR_i * M_{Polietileno_i})} \quad (EC. 6)$$

10 Para monitorear las desviaciones con el transcurso del tiempo, se introdujo en cada muestra un marcador de velocidad de flujo (decano) por medio de una microbomba controlada con el sistema GPC-IR de PolymerChar. Este marcador de velocidad de flujo (FM, por
15 sus siglas en inglés) se usó para corregir linealmente la velocidad de flujo de la bomba (Velocidad de flujo(nominal)) para cada muestra mediante la alineación de RV del respectivo pico del decano dentro de la muestra (RV(FM muestra)) con la del pico del decano dentro de la

calibración estrecha de estándares (RV(FM calibrado)). Se
asume que cualquier cambio en el tiempo del pico del
marcador decano se relaciona con un cambio lineal en la
velocidad de flujo (Velocidad de flujo(efectiva)) durante
5 la totalidad de la corrida. Para facilitar la máxima
precisión de una medición de RV del pico del marcador de
flujo, se usa una rutina de ajuste de mínimos cuadrados
para ajustar el pico del cromatograma de concentración
del marcador de flujo en una ecuación cuadrática. Después
10 se usa el primer derivado de la ecuación cuadrática para
resolver la verdadera posición del pico. Después de
calibrar el sistema basado en un pico del marcador de
flujo, la velocidad de flujo efectiva (con respecto a la
calibración estrecha de estándares) se calcula como
15 Ecuación 7. El procesamiento del pico del marcador de
flujo se llevó a cabo por medio del software GPCOne™ de
PolymerChar. La corrección de la velocidad de flujo
aceptable es tal que la velocidad de flujo efectiva debe
estar dentro de +/- 0,5 % de la velocidad de flujo
20 nominal.

Velocidad de flujo(efectiva) = Velocidad de flujo(nominal)

$$* (RV(FM \text{ calibrado}) / RV (FM \text{ muestra})) \quad (EC. 7)$$

Ejemplos

Los siguientes ejemplos ilustran características de la presente descripción, pero no pretenden limitar el alcance de la descripción.

5 Se produjeron películas de polietileno orientadas biaxialmente de cinco capas usando una línea de marco piloto de 2,1 metros de ancho. Las películas se produjeron usando una matriz (ADBDC) de 5 capas con un espacio de matriz de 3,1 mm, se fundieron en un tambor de enfriamiento con un impulsor de cuchilla de aire. Las películas se estiraron a una relación de estirado de 5,5: a 6,0:1 en la dirección de la máquina a través de una serie de rodillos calentados y con velocidad diferencial, seguido de un estiramiento en la dirección transversal a una relación de estirado de 8:1. Las configuraciones de cada extrusora se muestran en la Tabla 2 a continuación.

Tabla 2

Extrusoras	Tipo	Diámetro	L/D
A - piel (lado de rodillo frío)	único	1,25"	24:1
B - capa central	único	2,5"	30:1
C - piel	único	1,25"	24:1
D - capa de unión	único	1,5"	24:1

20 Una película multicapa con un ancho de 280 mm a 290 mm y un espesor de 0,8 mm a 1,0 mm se coextruyó a temperaturas de procesamiento de aproximadamente 240 °C a 260 °C a través de un troquel de cinco capas y se coló en

un tambor de enfriamiento cuya temperatura de superficie se controló entre 40 °C y 90 °C para solidificar la película no orientada a una velocidad de colada de aproximadamente 4 metros por minuto a 6 metros por minuto. La película no orientada se precalentó en la dirección de la máquina durante el estiramiento a aproximadamente 65 °C a 130 °C, se estiró en la dirección de la máquina a aproximadamente 110 °C a 130 °C en una relación de estiramiento de aproximadamente 5 a 6 veces la longitud original. La lámina estirada resultante se recoció a aproximadamente 30 °C a 70 °C para reducir la contracción por calor y para obtener una película orientada uniaxialmente.

La película orientada uniaxialmente se introdujo en un tensor a una velocidad de línea de aproximadamente 20 metros por minuto a 28 metros por minuto, se calentó preliminarmente entre aproximadamente 140 °C y 155 °C, se estiró en la dirección transversal a aproximadamente 120 °C a 130 °C en una relación de estiramiento de aproximadamente 6 a 8 veces el ancho original, y después se termofijó o recoció a aproximadamente 105 °C a 120 °C para reducir las tensiones internas debido a la orientación, para minimizar la contracción térmica de la película final, y para obtener una película orientada biaxialmente relativamente estable térmicamente. Después de la orientación biaxial, el espesor de la película coextrudida total fue nominalmente

aproximadamente 20 micrómetros; las capas externas (extrusoras A y C) fueron de aproximadamente 1 micrómetro cada una, las capas de unión (extrusora D dividida en dos capas) fueron de aproximadamente 0,65 micrómetros a 0,8 micrómetros cada una y la capa central (extrusora B) tenía de aproximadamente 16 micrómetros a 17 micrómetros de espesor. La película multicapa orientada biaxialmente se puede enrollar en forma de rollo. La relación de relajación de la orientación en la dirección de la máquina puede ser entre 3 % y 5 %, la relación de relajación de la orientación en la dirección transversal puede ser entre 3 % y 6 %.

En todos los experimentos, la capa central (extrusora B) y las capas de unión (extrusora D) usaron el mismo material de HDPE. Las capas superficiales (extrusora A y C) usaron el mismo material de LLDPE. El ancho final de la película es aproximadamente 1,1 m.

El material de LLDPE usado en las capas superficiales fue Innata™ TF80 de The Dow Chemical Company que tiene un índice de fusión de 1,7 g/10 min y una densidad de 0,926 g/cc. Las características de los materiales de HDPE usados en las capas de unión y núcleo se enumeran en la Tabla 3 a continuación. El HDPE-1 era un HDPE bimodal producido a través de un proceso de reactor doble de acuerdo con los procesos descritos en la patente de los EE. UU. núm. 8.445.594 del Ejemplo 6, que

se incorpora en la presente descripción como referencia en su totalidad.

Tabla 3

	Unidad	HDPE-1	HDPE-A	HDPE-B	HDPE-C
Densidad	g/cc	0,955	0,955	0,958	0,967
I₂	g/10 min	1,47	0,87	0,44	1,16
I₁₀/I₂		12,8	12,4	16,4	15,1
I₂₁/I₂		68	56	85	113
M_n (GPC)	g/mol	9.325	16.532	14.804	10.226
M_w (GPC)	g/mol	122.201	101.087	136.630	109.074
M_z (GPC)	g/mol	741.347	299.039	1.415.618	455.363
M_w/M_n (GPC)		13,10	6,11	9,23	10,67
M_z/M_w (GPC)		6,07	2,96	10,36	4,17

5

En particular, HDPE-1 se preparó mediante un sistema de polimerización de doble secuencial, que comprende un primer reactor de fase gaseosa y un segundo reactor de fase gaseosa que funcionan en serie. Etileno, uno o más comonómeros de alfa-olefina, hidrógeno, un catalizador Ziegler-Natta, en una suspensión en aceite mineral, N₂, e isopentano se alimentaron continuamente al primer reactor. Posteriormente, un cocatalizador de trietilaluminio (TEAL, por sus siglas en inglés), se alimentó continuamente al primer reactor para activar el catalizador. La primera reacción de polimerización del etileno en la presencia de 1-hexeno se lleva a cabo después en el primer reactor bajo las condiciones mostradas a continuación en la Tabla 4, produciendo de esta manera un primer complejo de componente-catalizador. El primer

20

complejo de componente-catalizador se transfirió continuamente al segundo reactor. Etileno adicional, hidrógeno, cocatalizador de TEAL, N₂, e isopentano, se alimentó continuamente al segundo reactor. Ningún catalizador adicional se añadió al segundo reactor. La segunda reacción de polimerización de etileno se llevó a cabo en el segundo reactor en las condiciones mostradas a continuación en la Tabla 4, produciendo de esta manera el primer complejo de componente-catalizador-segundo componente. El primer complejo del componente-catalizador-segundo componente se extrajo del segundo reactor en lotes hacia la cámara de producto, donde se purgó para eliminar los hidrocarburos residuales, y después se transfirió a un tambor. El tambor se purgó con nitrógeno humidificado.

15 Tabla 4

Tipo de comonomero	1- hexano
Catalizador	Ziegler-Natta
Cocatalizador	2,5 % de TEAL
Primer tipo de reactor	Fase gaseosa
Segundo tipo de reactor	Fase gaseosa
Primera temperatura de reacción (°C)	85
Segunda temperatura de reacción (°C)	110
Primera presión de reacción (psi)	348
Segunda presión de reacción (psi)	394
C₂ Presión parcial (psi) del primer reactor	26,1
C₂ Presión parcial (psi) del segundo reactor	81,1
Relación molar H₂/C₂ del primer reactor	0,115
Relación molar H₂/C₂ del segundo reactor	1,799
Relación molar C₆/C₂ del primer reactor	0,0463
Relación molar C₆/C₂ del segundo reactor	0,0029

Velocidad de alimentación del catalizador (cc/h) (Primer reactor solamente)	6
Isopentano del primer reactor (% molar)	8,8
Isopentano del segundo reactor (% molar)	3,4

El polímero se procesó adicionalmente en un mezclador/peletizador. Se añadieron aditivos adicionales, tales como 400 ppm de Irganox 1010 y 500 ppm de Irgafos
5 168, al polímero. El polímero se fundió en el mezclador, y los aditivos se dispersaron en estos.

El HDPE-A fue un HDPE bimodal producido a través de un proceso de reactor de doble solución. El HDPE-B es un HDPE unimodal producido mediante un proceso de reactor
10 único a través de un catalizador tipo cromo. El HDPE-C fue un HDPE bimodal producido a través de un proceso de reactor de doble solución de acuerdo con los procesos descritos en la solicitud PCT núm. PCT/US 2021/024140, que se incorpora en la presente descripción como
15 referencia en su totalidad.

Las formulaciones del Ejemplo 1, que se prepararon de acuerdo con las modalidades dadas a conocer y descritas en la presente descripción, y el Ejemplo comparativo A, el Ejemplo comparativo B, y el Ejemplo
20 comparativo C se enumeran en la Tabla 5. La Tabla 5 también incluye el rendimiento de estiramiento de TDO, la apariencia de la banda después de TDO, el requisito de torsión en la extrusora B del núcleo principal, así como la turbidez y el módulo de cada película. Como se muestra

en la Tabla 5, la muestra con HDPE 1 en las capas de unión y de núcleo exhibió la mejor estabilidad de estiramiento en TDO, un reblandecimiento de trama bajo después de TDO, la apariencia de trama más homogénea, y una variación de calibre baja al mismo tiempo. La estabilidad de estiramiento, la apariencia de la banda y la baja variación de calibre se encuentran entre los requisitos más importantes para producir películas de BOPE de alta calidad a grandes líneas de marco tensor a escala industrial. Las muestras que usan HDPE 1 también requirieron una torsión baja en la extrusora del núcleo principal, que también es importante para mantener una alta salida a grandes líneas de marco tensor a escala industrial.

15 Tabla 5

Extrusora	Ejemplo 1	Ejemplo comparativo A	Ejemplo comparativo B	Ejemplo comparativo C
A - piel (lado de rodillo frío)	TF80	TF80	TF80	TF80
D - capa de unión	HDPE 1	HDPE A	HDPE B	HDPE C
B - capa central	HDPE 1	HDPE A	HDPE B	HDPE C
D - capa de unión	HDPE 1	HDPE A	HDPE B	HDPE C
C - piel	TF80	TF80	TF80	TF80
Clasificación en estiramiento de la estabilidad a TDO*	1	3	2	4
Reblandecimiento de la banda después de TDO	Bajo	Alto	Bajo	Alto
Apariencia de la banda	Homogénea	No homogénea con muchas bandas MD	Ligeramente no homogénea	No homogénea con muchas bandas MD
Variación de calibre	Bajo	Alto	Bajo	Alto

Torsión del motor en la capa del núcleo B de la extrusora (%)	53,6	58,7	60,8	47,5
Turbidez (%)	58	46	31	75
Módulo secante - 1 % de MD (MPa)	1770	2119	2215	1996

*Clasificación del estiramiento de la estabilidad a TDO: 1- mejor, 4- peor

Resultará evidente que existe la posibilidad de realizar modificaciones y variaciones sin apartarse del alcance de la descripción definido en las reivindicaciones adjuntas. Más específicamente, aunque algunos aspectos de la presente descripción se identifican en la presente como preferidos o particularmente ventajosos, se contempla que la presente descripción no se limite necesariamente a estos aspectos.