

Película de espuma ligera de múltiples capas con una blancura superficial perceptible mejorada

Solicitud relacionada

La presente solicitud reivindica prioridad de la solicitud de patente provisional de EE.UU. No. 62/911,820 presentada el 7 de octubre de 2019, que se incorpora aquí por referencia en su totalidad.

Campo de la invención

La presente invención se relaciona con una película de espuma de múltiples capas que se puede utilizar para la aplicación de sustitución del papel en la industria del embalaje.

Antecedentes

Con el gran crecimiento de la demanda en el embalaje de alimentos en los mercados emergentes, sería deseable producir una película polimérica reciclable y ligera que posea una alta calidad superficial y blancura para fines de impresión. Por lo tanto, se debe incorporar un pigmento blanco de alguna forma a los productos plásticos. Por ejemplo, el dióxido de titanio (TiO_2) se ha utilizado ampliamente como uno de los pigmentos blancos convencionales en diversas industrias. El TiO_2 es un aditivo multifuncional fotosensible en la industria de polímeros que puede dispersar de manera eficiente todo el espectro de la luz visible según el tipo y la concentración, por lo tanto, imparte blancura, brillo y opacidad.

A diferencia de otros pigmentos de color que pueden proporcionar opacidad al absorber parte del espectro de la luz visible, el TiO_2 y todos los demás pigmentos blancos similares pueden hacerlo al dispersar la luz visible. En películas termoplásticas de múltiples capas, los pigmentos blancos, por ejemplo, el TiO_2 , se pueden incorporar en las capas superficiales para proporcionar opacidad y blancura. Por lo tanto, todas las luces que golpean la superficie se dispersan hacia afuera, excepto la cantidad que absorbe el polímero o los pigmentos. Por lo tanto, la cantidad, la dispersión y el tipo de pigmentos en la superficie pueden determinar cómo y en qué medida toda la estructura aparece opaca y blanca.

Por otro lado, para varias aplicaciones, un lado de las películas puede tener un color diferente al blanco. Por ejemplo, en muchos casos, incluso para aplicaciones de protección de superficies, un lado es blanco y el otro lado es negro. En este caso, parte de las luces, excluyendo la cantidad que es dispersada por los pigmentos blancos, es absorbida por la parte posterior negra, lo que influye en la blancura

perceptible de la superficie blanca. Por lo tanto, para aumentar la cantidad de luz dispersada y reflejada y disminuir la cantidad de absorción y transmisión de luz, la cantidad de pigmento blanco, por ejemplo, un TiO_2 con un índice de refracción más alto, se podría aumentar para abordar este problema, lo que puede aumentar la blancura de la superficie, lo que, en consecuencia, puede aumentar significativamente el costo de producción. Entonces, la pregunta es si la blancura superficial perceptible en un lado de la película o lámina de polímero de múltiples capas se puede mejorar, o al menos permanecer intacta, cuando el otro lado de la misma película o lámina tiene un color diferente, específicamente negro, sin ningún aumento en la concentración de pigmento blanco, por ejemplo, TiO_2 .

Resumen de la invención

En el presente documento se describe una película de múltiples capas reciclable y ligera con una blancura superficial perceptible mejorada para aplicación de embalaje. La película puede tener una superficie muy suave con alta blancura e intensidad de luz, lo que da como resultado una calidad de impresión superior.

En un aspecto, se proporciona una película termoplástica de múltiples capas ligera y coextruida. La película comprende al menos una capa de espuma, que incluye una pluralidad de células en las que al menos el 10 % de las células son células cerradas. La película comprende además capas sólidas a cada lado de la capa de espuma. La película tiene un espesor total igual o superior a $25,4\ \mu\text{m}$, y la densidad aparente de menos de $1\ \text{gr}/\text{cm}^3$, y una de las capas superficiales sólidas contiene pigmento blanco. La capa superficial blanca tiene un valor de blancura externa superior a 80 según ASTM E313-73 y un valor de tinte de capa superficial inferior a 1 según ASTM E313-73, y el valor de luminosidad (L^*) de la capa superficial blanca de más de 90 en la dimensión CIE $L^*a^*b^*$ según ASTM E308.

La película puede tener una superficie con una lisura *Sheffield* media, según TAPPI T 538, inferior a 100.

Otros aspectos, realizaciones, ventajas y características se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada.

Descripción detallada

Las formas singulares “un/una” y “el/la” incluyen referentes plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

Todos los rangos divulgados en este documento incluyen el punto final indicado y se pueden combinar de forma independiente (por ejemplo, el espesor total de más de 25,4 μm incluye el punto final, 25,4 μm .).

Como se utiliza en el presente documento, se puede aplicar un lenguaje aproximado para modificar cualquier representación cuantitativa que pueda variar sin dar como resultado un cambio en la función básica con la que está relacionada. En consecuencia, un valor modificado por un término o términos, como por ejemplo “aproximadamente” y “sustancialmente”, no puede limitarse al valor preciso especificado. También se debe considerar que el modificador “aproximadamente” divulga el rango definido por el valor absoluto de los dos criterios de valoración. Por ejemplo, la expresión “desde aproximadamente 0,05 a aproximadamente 15” también divulga el rango “desde 0,05 hasta 15”.

Como se utiliza en el presente documento, el término “ligero” se refiere al valor de densidad aparente de los productos descritos en este documento que es menor o igual que la densidad de su homólogo sólido elaborado a partir de la resina virgen base asociada o la densidad de la resina virgen base asociada. En un contexto similar, se refiere a que el valor de la densidad aparente de los productos aquí descritos es menor o al menos igual a la densidad de los cartones del mismo espesor o con los mismos valores de peso por unidad de área en gr/m^2 . Por ejemplo, los valores de densidad aparente de los productos de esta invención pueden ser inferiores a $0,962 \text{ gr}/\text{cm}^3$, que es inferior al valor de densidad de la resina virgen base asociada de $0,962 \text{ gr}/\text{cm}^3$ o inferior al valor de densidad aparente de $0,962 \text{ gr}/\text{cm}^3$ de su homólogo sólido elaborado a partir de la resina virgen base asociada. En otro contexto similar, se refiere a que el valor de la densidad aparente de los productos aquí descritos es menor que la densidad del agua o $1 \text{ gr}/\text{cm}^3$.

La presente divulgación se relaciona con una película o lámina de espuma de polietileno ligera de múltiples capas adecuada para usarse en una amplia gama de aplicaciones tales como embalaje de comida rápida; embalaje de productos alimenticios secos tales como bizcochos, galletas, cereales, té, café, azúcar, harina, mezclas de alimentos secos, chocolates, confitería, comida para mascotas; embalaje de alimentos congelados tales como alimentos refrigerados y helados; tapa de soporte para productos frescos tales como verduras, frutas, carne, tocino y pescado; embalaje de alimentos horneados; embalaje de alimentos líquidos y bebidas tales como jugos, leche y todo tipo de productos derivados de la leche; y embalaje de todo tipo de detergentes para ropa, champús y jabones corporales; fabricación de todo tipo de bolsas, incluidas bolsas verticales, sachet, cajas de comida para mascotas y cajas de comestibles; todo tipo de embalajes asépticos para incluir productos pasteurizados; embalaje de alimentos para bebés; embalaje

de todo tipo de postres; embalaje de alimentos líquidos y bebidas tales como caldos, sopas, jugos, leche y todo tipo de productos derivados de la leche, concentrados, todo tipo de aderezos, huevos líquidos y productos de tomate. Además, se puede utilizar en aplicaciones de protección de superficies, así como en aplicaciones de señalización y bloqueo de luz.

En el presente documento se divulga una película de múltiples capas reciclable y ligera con blancura superficial perceptible mejorada que comprende al menos tres capas, que pueden ser un reemplazo para los cartones que se utilizan en las industrias de embalaje, para aplicaciones de embalaje de contacto directo y no directo con alimentos. La película comprende polietileno (PE) en donde al menos una capa, sin incluir las capas superficiales sólidas, tiene una estructura celular, y una de las capas superficiales sólidas comprende una cantidad adecuada de pigmentos blancos, por ejemplo, TiO_2 . En algunas realizaciones, al menos el 10 % de las células son células cerradas; en algunas realizaciones, más del 50 % de las células son células cerradas; y, en algunas realizaciones, más del 75 % de las células son células cerradas. Como se utiliza en el presente documento, una “célula cerrada” se refiere a una célula que tiene paredes celulares que rodean completamente la célula sin aberturas, de modo que no hay interconectividad con una célula adyacente.

Además, la blancura de la capa superficial perceptible del producto de película de espuma de múltiples capas que se divulga en el presente documento podría mejorarse con respecto a sus homólogos sólidos. Esto podría lograrse ante todo mediante la inclusión de una capa celular en el núcleo de la película de múltiples capas o la inclusión de una capa celular como capa intermedia entre la capa central y la capa superficial sólida blanca, donde se ubica adyacente o cerca de la capa superficial sólida blanca. En otra realización, se puede lograr una blancura superficial perceptible mejorada mediante la inclusión de una capa celular entre las dos capas superficiales sólidas de la película de múltiples capas. En segundo lugar, mediante un ajuste y una alteración precisos del espesor de la capa celular, así como del tamaño de la célula y la densidad de la célula. La blancura superficial perceptible mejorada en los productos divulgados podría haberse logrado debido a un aumento en la dispersión de la luz visible en el lado blanco de la película después de la inclusión de una capa celular.

En una realización, al menos una de las capas sólidas intermedias en la película de múltiples capas que se describe aquí puede comprender un triturado posconsumo, por ejemplo, polietileno (PE) triturado posconsumo.

En algunas realizaciones, se puede usar un proceso de película expandida donde la presión de cabeza de la extrusora puede aumentar debido a un espacio muy estrecho que beneficia la nucleación de células en la capa de espuma. Con una técnica de este tipo, debe evitarse la fractura del fundido y la resina debe tener una estabilidad térmica excelente y una resistencia del fundido lo suficientemente alta. En algunas realizaciones, todas las capas de la película de múltiples capas descrita comprenden PE y, en algunos casos, el material polimérico en una o más de estas capas consiste esencialmente en PE. En una realización, al menos una capa de la película de múltiples capas puede comprender LDPE. En algunas realizaciones, la película de múltiples capas puede estar compuesta por nueve capas; en algunas realizaciones, ocho capas; en algunas realizaciones, siete capas; en algunas realizaciones, seis capas; en algunas realizaciones, cinco capas, en algunas realizaciones, cuatro capas y, en algunas realizaciones, tres capas. Por ejemplo, una película de tres capas puede comprender una capa central de espuma (por ejemplo, que comprende PE) y dos capas sólidas (por ejemplo, que comprenden PE), cada una en lados opuestos respectivos de la capa central, en donde una de las capas superficiales sólidas contiene pigmentos blancos (por ejemplo, TiO_2). En un caso, una película de espuma de cinco capas comprende una capa central de espuma (por ejemplo, que comprende PE) entre las dos capas superficiales sólidas, cada una de las cuales se encuentra en lados opuestos respectivos de la capa central, en donde una de las capas superficiales sólidas contiene pigmentos blancos (por ejemplo, TiO_2). En otra realización, una película de espuma de siete capas comprende una capa central de espuma entre las dos capas superficiales sólidas, en donde una de las capas superficiales sólidas contiene pigmentos blancos (por ejemplo, TiO_2). En otra realización, la película de múltiples capas, que puede ser de tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho o nueve capas, comprende al menos una capa de espuma y dos capas superficiales sólidas, en donde una de las capas superficiales sólidas contiene pigmentos blancos (por ejemplo, TiO_2). Debe entenderse que pueden ser posibles otras configuraciones de capas.

En una realización, el proceso para producir las películas de múltiples capas descritas puede utilizar una cantidad muy pequeña y precisa de gas supercrítico, por ejemplo, por debajo del 0,1 % en peso, como auxiliar de procesamiento y agente de expansión. Dicho gas supercrítico se puede inyectar en el polímero fundido a alta presión, por ejemplo, superior a 3400000 Pa, dentro de un mezclador eficiente y eficaz, por ejemplo, un mezclador de transferencia de cavidad, como una extensión del cilindro de la extrusora. El agente de expansión supercrítico utilizado en el proceso puede ser nitrógeno, dióxido de carbono o una mezcla de nitrógeno y dióxido de carbono. En algunas realizaciones, el agente de expansión supercrítico se puede introducir dentro de la sección de mezcla de la extrusora a una presión de inyección mayor o igual a 3400000 Pa; en algunos casos, mayor o igual a 7000000 Pa; en algunos casos, mayor o

igual a 24000000 Pa y, en algunos casos, mayor o igual a 38000000 Pa. La temperatura del mezclador se puede controlar con precisión dentro de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. La inclusión de una pequeña cantidad de gas puede ofrecer algunas ventajas importantes en el proceso y, por ejemplo, en los procesos de extrusión de la película expandida. Por ejemplo, el gas puede reducir la contrapresión, lo que permite un procesamiento con mayor rendimiento y puede retrasar cualquier inestabilidad de burbujas. Por lo tanto, la fractura del fundido podría reducirse significativamente. Además, el gas puede mejorar la capacidad de procesamiento del PE y servir como agente de expansión físico con la presencia de un agente de nucleación en la capa que tiene una estructura celular. La adición del agente de expansión físico puede reducir el desarrollo de la fractura del fundido debido a la manipulación de la viscosidad del fundido, lo que puede dar como resultado una alta lisura superficial. Por lo tanto, la calidad de impresión en la película se puede mejorar significativamente.

En general, se pueden usar equipos de procesamiento de polímeros convencionales para producir las películas que se describen en el presente documento. En algunos casos, por ejemplo, la película se puede producir mediante el proceso de película de expansión utilizando una boquilla anular con una abertura de boquilla de 0,45 a 1,3 mm y una relación de expansión que varía de 1,5:1 a 3,5:1. Las relaciones de expansión más altas pueden dar como resultado una orientación MD/TD (dirección de la máquina/dirección transversal) más equilibrada, lo que mejora la dureza general de la película. La geometría y la especificación de la boquilla pueden fabricarse según, por ejemplo, la solicitud de patente US 2012/0228793 A1, que se incorpora aquí por referencia en su totalidad.

En algunas realizaciones, se han descrito capas de espuma adecuadas y métodos para formarlas, por ejemplo, en la Solicitud de Patente de EE.UU. de propiedad común No. 16/875,198, presentada el 15 de mayo de 2020 y titulada *"LIGHTWEIGHT POLYETHYLENE FILM FOR ASEPTIC PACKAGING APPLICATIONS AND THE PRODUCT RESULTING THEREFROM AND THE PROCESS OF MAKING THE SAME"* y la Solicitud de Patente de EE.UU. No. 16/415,233, presentada el 17 de mayo de 2019 y titulada *"LIGHTWEIGHT POLYETHYLENE FILM FOR FOOD PACKAGING APPLICATIONS AND THE PRODUCT RESULTING THEREFROM AND THE PROCESS OF MAKING THE SAME"*, las cuales se incorporan aquí por referencia en su totalidad.

En algunas realizaciones, se han descrito capas de espuma adecuadas y métodos para formarlas, por ejemplo, en la Solicitud de Patente de EE.UU. de propiedad común No. US20200198308A1, presentada el 15 de noviembre de 2019 y titulada *"ANISOTROPIC THIN POLYETHYLENE SHEET AND APPLICATIONS THEREOF AND THE PROCESS OF MAKING THE SAME"* que se incorpora aquí por referencia en su totalidad.

La mayoría de las películas expandidas de PE convencionales se procesan con el uso de una mezcla de PE que comprende LDPE para mejorar la estabilidad de las burbujas. Casi todas las películas de HDPE se fabrican en un proceso de película expandida de alto stock; de lo contrario, la resistencia al desgarramiento de la película de HDPE se deteriora significativamente. Como se describió anteriormente, en las realizaciones de los métodos que se utilizan para producir películas de múltiples capas, se puede inyectar un gas supercrítico en el fundido a una velocidad controlada de manera precisa, dentro de un mezclador de transferencia, antes de entrar en la boquilla anular. Esta unidad podría controlarse como una zona de temperatura separada con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ y una variación de presión de inyección de gas por debajo del 1 %. El efecto de plastificación del gas puede dar como resultado un cambio de viscosidad de la resina fundida que mejoraría la capacidad de procesamiento de la resina dentro de la boquilla anular a una temperatura más baja en comparación con la temperatura de procesamiento que se usa convencionalmente. Por lo tanto, se puede hacer una burbuja relativamente estable dentro de la bolsa. Entonces, debido a la capacidad de calor específica, alta y general del polietileno, el estiramiento transversal de la burbuja se puede retrasar hasta que la película se enfríe, lo que puede mejorar aún más la estabilidad de la burbuja y la altura de la línea de escarcha. Esto también podría ser beneficioso para manipular la cinética de cristalización de las capas superficiales para mejorar algunas otras propiedades fisiomecánicas.

En algunas realizaciones, las películas de espuma de múltiples capas descritas en el presente documento se pueden producir mediante el proceso de película expandida, el proceso de película fundida u otros métodos adecuados.

En algunas realizaciones, la composición polimérica de cada capa puede comprender algunas cantidades adecuadas de otros aditivos, tales como pigmentos, agentes deslizantes, agentes antiestáticos, estabilizadores UV, antioxidantes, agentes nucleantes o agentes clarificantes. En alguna realización, una de las capas superficiales sólidas contiene una cantidad adecuada de pigmento blanco, por ejemplo, menos del 1 por ciento en peso, como TiO_2 , Rutilo TiO_2 , Anatasa TiO_2 , Óxido de antimonio, Óxido de zinc, Carbonato básico, Plomo blanco, Litopón, Arcilla, Silicato de Magnesio, Barita (BaSO_4), Carbonato de Calcio (CaCO_3), colorante líquido blanco o cualquier otro tipo de aditivo que se pueda utilizar como colorante blanco.

En algunos casos, la película de espuma de múltiples capas puede estar compuesta por dos capas superficiales sólidas en donde una de las capas superficiales contiene una cantidad adecuada de

pigmentos blancos, por ejemplo, menos del 1 por ciento en peso, y la otra capa superficial sólida contiene una cantidad adecuada de pigmentos negros, por ejemplo, menos del 1 por ciento en peso.

En otra realización de ejemplo, al menos una de las capas en el producto de múltiples capas descrito en este documento, excluyendo las capas superficiales sólidas, comprende hasta un 100 % de triturado posconsumo, por ejemplo, triturado de polietileno posconsumo o posindustrial.

La capa de espuma puede contener opcionalmente de 0,05 a 15 por ciento en peso de un aditivo inorgánico, un aditivo orgánico o una mezcla de un aditivo inorgánico y orgánico como agente de nucleación. Por ejemplo, la capa de espuma puede contener hasta un 15 % en peso de talco como agente nucleante. En algunas realizaciones, al menos una capa puede incluir un agente clarificante en menos del 1 por ciento en peso, como menos del 0,5 por ciento en peso, como menos del 0,1 por ciento en peso, como menos del 0,05 por ciento en peso. En algunos casos, al menos una capa de la película puede contener hasta aproximadamente un 40 % en peso de carbonatos de calcio.

La película de múltiples capas descrita en la que una de las capas superficiales sólidas contiene pigmento blanco, que comprende al menos una capa de espuma, puede tener una blancura superficial perceptible significativamente mejorada en comparación con los artículos de película sólida blanca conocidos con una concentración de pigmento blanco similar. En algunas realizaciones, la película de múltiples capas descrita en la que una de las capas superficiales sólidas comprende pigmento blanco con una concentración menor que la concentración de pigmento blanco en artículos de película sólida blanca existentes en técnicas anteriores, que comprende al menos una capa de espuma, puede tener una blancura superficial perceptible significativamente mejorada. En una realización de ejemplo, la película de espuma de múltiples capas, por ejemplo, una película de espuma de tres capas con una capa central de espuma, en donde una de las capas superficiales sólidas contiene menos del 1 % en peso de pigmento blanco (por ejemplo, TiO_2) y la otra capa superficial sólida contiene menos de 1 % en peso de pigmento negro (por ejemplo, negro de humo), puede tener un valor de índice de blancura de más de 80 y un valor de índice de matiz de menos de 1 según ISO 11475, también según ASTM E313-73 y también según TAPPI T 525. La muestra puede tener una intensidad luminosa (L^*), en coordenada CIE $L^*a^*b^*$, superior a 90 según ASTM E308, también según ISO 5631-2.

En otra realización, una película termoplástica de múltiples capas ligera coextruida que comprende al menos una capa de espuma que incluye una pluralidad de células, donde al menos el 10 % de las células son células cerradas y capas sólidas en cada lado de la capa de espuma. La película tiene un

espesor total igual o superior a 25,4 μm , y la densidad aparente de menos de 1 gr/cm^3 , y una de las capas superficiales sólidas contiene pigmento blanco en donde la capa superficial blanca tiene un valor de blancura de capa superficial superior a 80 y un valor de tinte de capa superficial inferior a 1 según ISO 11475, también según ASTM E313-73 y también según TAPPI T 525. La película tiene un valor de luminosidad (L^*) de la capa superficial blanca superior a 90 en la dimensión CIE $L^*a^*b^*$ según ASTM E308, también según ISO 5631-2.

Las películas descritas pueden tener una superficie con una lisura *Sheffield* media, según TAPPI T 538, inferior a 100. En algunas realizaciones, la película puede tener una lisura *Sheffield* media de menos de 50; en algunos casos, menos de 40; en algunos casos, menos de 30; y, en algunos casos, menos de 15.

La película de espuma de múltiples capas puede tener un espesor total superior a 25,4 μm , en algunos casos superior a 203,2 μm , en algunos casos superior a 254 μm y en algunos casos superior a 330,2 μm .

En algunas realizaciones, la película ligera de esta invención tiene una densidad aparente inferior a 1 gr/cm^3 ; en algunos casos, inferior a 0,962 gr/cm^3 ; en algunos casos, inferior a 0,94 gr/cm^3 ; en algunos casos, inferior a 0,9 gr/cm^3 ; en algunos casos, inferior a 0,85 gr/cm^3 ; y en algunos casos, inferior a 0,8 gr/cm^3 .

En algunas realizaciones, cualquier capa de espuma de las películas descritas puede tener células distribuidas uniformemente, por ejemplo, con una morfología de célula cerrada, un tamaño celular promedio de aproximadamente 10 a 250 μm , una densidad celular promedio de aproximadamente 10^2 a 10^9 células/ cm^3 y una relación de expansión de la capa de espuma de 1 a 9. En algunos casos, la capa de espuma comprende más del 50 % de células cerradas. En una realización, la capa de espuma tiene sustancialmente en su totalidad una morfología de células cerradas (por ejemplo, más del 95 % de células cerradas).

En algunas realizaciones, se pueden usar varios termoplásticos en al menos una capa de la película de espuma de múltiples capas, como polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policarbonato (PC), metacrilato de poli(metilo) (PMMA), ácido poliláctico (PLA), polihidroxialcanoatos (PHA), tereftalato de polietileno (PET), tereftalato de polibutileno (PBT), acetato de vinilo-etileno (EVA), alcohol etilvinílico (EVOH), cloruro de polivinilo (PVC), cloruro de polivinilideno (PVDC), poliamida (PA), copolímero de LLDPE que incluye un comonómero de α -olefina tal como buteno, hexeno u octeno; cualquiera de las resinas conocidas como familia TPE tales como, entre otros, copolímero de propileno-etileno, olefina

termoplástica (TPO) y poliuretano termoplástico (TPU). En otra realización de ejemplo, la película tiene al menos una capa que comprende un HDPE con una densidad de 0,94 a 0,962 gr/cm³. En algunas realizaciones, la película tiene al menos una capa que comprende HDPE con un índice de fusión de 0,02 a 20 dg/min.

En otra realización, al menos una capa (por ejemplo, excluyendo las capas superficiales exteriores) de la película de múltiples capas descrita aquí puede comprender LDPE, PP, PA, EVOH, EVA o PVOH. En una realización, los productos de película de espuma de múltiples capas descritos en el presente documento pueden comprender una capa de barrera contra el oxígeno o al menos una capa de barrera contra el oxígeno, entre las dos capas superficiales sólidas.

Los siguientes ejemplos demuestran el proceso de la presente divulgación. Los ejemplos son solo demostrativos y no pretenden limitar la divulgación con respecto a los materiales, las condiciones o los parámetros de procesamiento establecidos en el presente documento.

Ejemplos

Se produjeron muestras de película HDPE de múltiples capas (tres capas) con el uso de una línea de película expandida de Windmoeller & Hoelscher Corporation que comprende una extrusora principal de 105 mm y dos coextrusoras idénticas de 75 mm. La extrusora central estaba equipada con una unidad de inyección de gas supercrítico, capaz de inyectar nitrógeno o dióxido de carbono, y un mezclador de transferencia MuCell de 120 mm, ambos de MuCell Extrusion LLC. Todas las películas fueron producidas por el proceso de expansión de película con el uso de una boquilla anular con un espacio de boquilla que oscilaba entre 0,45 y 1,3 mm y una relación de expansión que oscilaba entre 1,8:1 y 3,5:1. El borde de la boquilla anular estaba revestido con nitruro de boro.

Para caracterizar la blancura, el tinte, la intensidad de la luz y otras características de color de las muestras se utilizó un espectrofotómetro MiniScan EZ de HunterLab. La lisura de los productos se evaluó con el uso de un densómetro automático y probador de lisura Gurley™ 4340.

La Tabla 1 contiene los resultados de caracterización de los productos que se realizaron, como ejemplos no limitativos para el esclarecimiento de la presente invención. Las muestras se produjeron con polietileno de alta densidad ELITE 5960 de Dow Chemical Company, con un índice de fusión de 0,85 dg/min y una densidad de 0,962 gr/cm³. En algunas muestras, se utilizó una fracción menor de LDPE 132I de Dow Chemical Company con un índice de fusión de 0,25 dg/min y una densidad de 0,921 gr/cm³. Una fracción

menor del polipropileno utilizado en algunas muestras fue PRB 0131 de Braskem con un porcentaje de flujo de fusión de 1,3 dg/min y una densidad de 0,902 gr/cm³. El carbonato de calcio y el talco se prepararon y se introdujeron como una mezcla básica altamente cargada de, respectivamente, 80 % en peso de carbonato de calcio y 74 % en peso de talco dentro del PE como resina portadora base. La capa central de espuma de todas las muestras contiene hasta aproximadamente un 16 % en peso de talco como agente de nucleación celular. La cantidad de carbonato de calcio utilizada en unas pocas capas de algunas muestras fue de hasta aproximadamente el 38,4 % en peso.

Todas las muestras se coextruyeron con un rendimiento total de 300 a 500 kg/h, como se muestra en la Tabla 1. La temperatura de la sección de mezcla, en donde se inyectó el gas supercrítico, se mantuvo a 190°C para todas las muestras de espuma. Se usó nitrógeno supercrítico como agente de expansión físico y se inyectó en el mezclador de transferencia MuCell (MTM) a una concentración de 0,045 % en peso a 0,065 % en peso, con mucha precisión, en el polímero fundido.

Las muestras 1 y 2 son muestras sólidas de HDPE de monocapa, con el mismo espesor de 233 µm, donde la muestra 2 contiene un 25 % de carbonato de calcio, lo que resultó en un aumento del valor de opacidad de aproximadamente 22 a aproximadamente 50. Las propiedades de color como blancura, tinte, brillo e intensidad de luz, excluyendo la opacidad, para las muestras 1 y 2 se midieron con un respaldo de mosaico negro que puede representar las mismas películas con una capa negra. Las muestras 3 a 8 contienen 10,5 % en peso de TiO₂ en la capa superficial blanca. Aunque la estructura de estas muestras es diferente, todas exhiben un valor de blancura, tinte, brillo e intensidad de luz en el mismo rango.

La muestra 16 es una película sólida de tres capas en la que la concentración de TiO₂ en la capa sólida disminuyó significativamente, en comparación con las muestras 3 a 8, al 4,9 % en peso, en esta muestra, la luminosidad medida, L*, se deterioró a 85,4 y el valor del tinte aumentó a 4,22. El valor de blancura, sin embargo, no disminuyó, aunque la concentración de TiO₂ disminuyó a casi la mitad. Esto podría deberse a la absorción UV y la dispersión azul de la capa de soporte negra que contiene casi un 0,5 % en peso de negro de humo. Además, el valor de brillo disminuyó significativamente, lo que podría deberse a la disminución de la concentración de TiO₂ que influye en la dispersión.

La muestra 10 es la versión de espuma de la muestra 9, en donde la inclusión de solo una capa de espuma en el medio dio como resultado una mayor cantidad de dispersión de luz y un aumento significativo del valor de luminosidad (L*); así como el valor de tinte se redujo significativamente a 0,86.

Por lo tanto, la muestra 10 mostró una blancura superficial perceptible mejorada en comparación con la muestra 9, aunque la cantidad de TiO_2 se redujo drásticamente en comparación con las otras muestras.

Tabla 1																											
Muestra		1	2		3		4		5		6		7		8		9		10								
ID	Homólogo sólido 1	Homólogo sólido 2	6 Sólido			6A			6B		8 Sólido		8C		8E		16 Sólido		16								
Densidad (gr/cm³)	0.962	1.107	1.102			0.814			0.832		1.075		0.865		0.912		1.134		0.82								
Espesor (um)	233	233	244			227			225		214		282		275		230		307								
Peso básico (gr/m²)	223	258	268.9			184.7			187.2		230.1		243.8		250.7		260.9		251.8								
Rendimiento total	400	400	353.1			357.9			400		353		400		400		500		500								
Capa	Monocapa	Monocapa	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
HDPE	100	75	43	40	45	40	45	40	45	40	42	40	40	40	45	45	65	50	65	65	50	65	65	50	65		
64% talco relleno PE			25			25			15		25		35		25		20		20								
talco %			0	16	0	0	16	0	9.6	16	9.6	29.4	0	22.4	0	0	0	16	0	0	12.8	0	0	12.8	0		
LDPE %			20	30	20	10	30	10	10	30	10	10	45	10	30	45	25	53	45	40							
PP %			30			45			45		30		30		30		7										
80% CaCO3 relleno PE			32	15	25	43	35	28	20				28		20		29.8		30	28	29.8	30	28				
CaCO3 %		25	25.6	12	20	34.4	0	28	22.4	0	16	0	0	0	22.4	0	16	0	0	23.8	24	22.4	23.8	24	22.4		
70% TiO2 Mezcla básica			15			15			15		15		15		15		7		7								
40% Mezcla básica negro de humo			2			2			2		2		2		2		1.2		1.2								
TiO2 %			10.5			10.5			10.5		10.5		10.5		10.5		4.9		4.9								
Negro de humo %			0.8			0.8			0.8		0.8		0.8		0.8		0.48		0.48								
Espesor de la capa (um)			42	137	65	30	137	60.2	32.7	126	66.1	40	134	40	51	181	50	50	174	51.3	45	140	45	45	217	45	
Rendimiento (kg/hr)			64.3	190	98.8	72.7	140	145	85	144	171	71.5	210	71.3	87.3	222	90.8	75.1	244	80.7	100	300	99.7	104	293	103	
Blancura (WIE)	106.67	68.21	89.8			88.5			86.1		89.7		87.6		87		86.4		80.1								
Tinte	7.7	2.34	2.83			2.5			2.15		3.06		2.22		2.17		4.22		0.86								
Brillo (Y)	18.8	41.27	79			79.9			80.3		77.1		79.7		79.4		66.8		77.1								
L*	50.45	70.36	91.2			91.6			91.8		90.3		91.5		91.4		85.4		90.4								
Opacidad	22.1	49.57	100			100			100		100		100		100		100		100								
Lisura (Sheffield)	10	10	19			43			37		15.4		23		127		35.8		10.7								