

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 797 351**

51 Int. Cl.:

C08L 27/06	(2006.01) B29C 35/04	(2006.01)
B29K 27/06	(2006.01) C08K 5/00	(2006.01)
B29K 105/04	(2006.01) B29C 44/42	(2006.01)
B29C 71/02	(2006.01) B29K 77/00	(2006.01)
B29C 45/77	(2006.01) B29K 67/00	(2006.01)
B29C 35/02	(2006.01) B29K 33/00	(2006.01)
C08J 9/30	(2006.01) B29K 25/00	(2006.01)
B29C 44/58	(2006.01)	
B29C 44/34	(2006.01)	
B29K 105/00	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.12.2014 PCT/SE2014/051474**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.06.2015 WO15088431**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2014 E 14870041 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020 EP 3079878**

54 Título: **Aparato y procedimiento para la producción de embriones de espuma expandida**

30 Prioridad:

12.12.2013 SE 1351482

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

02.12.2020

73 Titular/es:

**DIAB INTERNATIONAL AB (100.0%)
Box 201
312 22 Laholm, SE**

72 Inventor/es:

**STIGSSON, JERRY y
WILHELMSSON, LARS GUSTAV**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 797 351 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aparato y procedimiento para la producción de embriones de espuma expandida

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un aparato y un proceso para la producción de un material celular, expandido a base de polímeros adecuados.

- 10 En la actualidad, materiales poliméricos de espuma rígida basada en PVC están siendo ampliamente utilizados como material de núcleo en estructuras en sándwich en el sector naval o aeronáutico, o como aislantes térmico/acústicos en el sector de la construcción. En una estructura en sándwich, el núcleo separa dos materiales estructuralmente más rígidos, tales como plástico reforzado con fibra (FRP), metal o similar. Tales estructuras en sándwich tienen muchas ventajas en comparación con las estructuras de una sola capa más tradicionales, tales como menor peso, propiedades
- 15 de aislamiento etc. Mientras que otros materiales poliméricos de espuma rígida, tal como espuma de poliuretano, etc., pueden ser producidos usando procedimientos continuos simplificados, la producción de materiales poliméricos de espuma rígida basada en PVC implica el moldeo de cuerpos discretos parcialmente expandidos (denominados en los sucesivos cuerpos embrionarios) bajo alta presión en una prensa. Los cuerpos embrionarios se someten posteriormente a un tratamiento químico-físico para obtener el material polimérico de espuma rígida.

- 20 Más en detalle, el proceso de producción de un material polimérico de espuma rígida basada en PVC implica inicialmente la formación de una pasta de plastisol que consiste en una mezcla de polvos (PVC y otros compuestos) y sustancias líquidas (en isocianatos particulares). La pasta se llena en una cavidad de molde cerrado y se somete a un proceso de calentamiento y posterior enfriamiento bajo alta presión, lo que da como resultado un cuerpo
- 25 embrionario parcialmente expandido. El cuerpo embrionario es entonces expandido aún más mediante un tratamiento térmico adicional en agua y/o un horno de vapor. La formación del material espumado rígido final es el resultado de una reacción de hidrólisis de los grupos de isocianato presentes en el material, con la consiguiente acumulación de un polímero que retícula la estructura química. El proceso de moldeo comprende calentar el plastisol en un molde cerrado, mediante lo cual se crea una alta presión debido a la expansión térmica del plastisol y la activación del agente
- 30 expansionante disuelto en el mismo. El plastisol se mantiene a temperatura elevada durante un periodo de tiempo predeterminado con el fin de permitir que el plastisol se gelatinice, tras lo cual la cavidad del molde se enfría a una temperatura que es suficientemente baja para permitir la extracción del cuerpo embrionario del molde sin que se expanda de manera incontrolada.

- 35 Los productos de partida obtenibles a partir de plastisol se caracterizan por ciertos rangos de propiedades mecánicas, y los productos espumados requieren largos tiempos de gelificación bajo presión, largos tiempos de expansión y largos tiempos de curado.

- 40 Como se ha descrito anteriormente, los productos poliméricos espumados celulares son producidos a través de la mezcla de polvos (PVC, anhídrido, agentes expansionantes químicos, pigmentos) con líquidos (por ejemplo, isocianatos y anhídridos líquidos y a veces plastificantes) en una mezcla bastante viscosa conocida como "plastisol". Dicha mezcla, de alta viscosidad, después de haber sido compuesta en un recipiente de disolución, se vierte en un molde y, a continuación, se aumenta la temperatura bajo presión, hasta que se alcance una temperatura de entre 150 °C y 200 °C, con el fin de provocar la gelificación del policloruro de vinilo y que tenga lugar la descomposición del
- 45 agente expansionante. Los agentes expansionantes químicos se descomponen para formar nitrógeno gaseoso que o bien se disuelve en gel recién formado o forma pequeñas burbujas. Este gel semiespumado se conoce como "embrión". Después de una longitud predeterminada de tiempo que es suficiente para que el embrión consiga la composición deseada, el molde y el embrión se dejan enfriar.

- 50 Una vez que la temperatura del embrión ha bajado lo suficiente para que tenga una forma estable de modo que pueda ser liberado del molde sin sufrir daños o una expansión no controlable, se transfiere a una unidad de proceso de expansión, tal como una cámara o tanque, en la que se puede espumar, es decir, donde se deja que se expanda, hasta la densidad deseada mediante calentamiento en presencia de agua caliente o vapor. La expansión mediante agua caliente o vapor da como resultado una disminución en la viscosidad del embrión a medida que se calienta. Una
- 55 vez que tiene una viscosidad suficientemente baja, el embrión se expandirá debido a la presión del nitrógeno disuelto y el gas adicional formado a través de la reacción del contenido de isocianato del gel con el agua que se difunde en el gel. Las reacciones químicas se producen durante el moldeo por compresión inicial, donde los agentes expansionantes químicos se descomponen y emiten gas de nitrógeno, y durante la posterior expansión, cuando se produce una serie compleja de reacciones de agua, isocianato y anhídrido, proporcionando una espuma final curada con una estructura
- 60 química reticulada que podría describirse como una poliamida-poliimida-PVC-poliisocianurato-poliurea.

Será evidente a partir de esta descripción que la práctica industrial de este proceso por lotes es complicada. Además,

requiere una gran cantidad de energía para calentar los moldes metálicos y la placa de prensa en la etapa de moldeo por compresión para formar los embriones, y la mayoría de esta energía se pierde cuando se deja enfriar el molde antes de liberar el embrión. Por otra parte, los moldes tienen que ser movidos dentro y fuera de la prensa lo que, debido a su peso y tamaño, es laborioso y consume mucho tiempo. Cada molde se construye generalmente para poder producir solamente un único espesor de embrión, lo que limita la flexibilidad del sistema. A medida que se calientan los moldes, se mantienen calientes mientras tiene lugar la gelificación y después deben enfriarse antes de que el embrión pueda ser liberado, por lo que el tiempo de ciclo es alto (1,5-2,0 minutos por milímetro de profundidad de molde). El procedimiento sólo funciona satisfactoriamente cuando se utiliza PVC polimerizado por emulsión (ePVC) con un valor de pH alto, ya que los emulsionantes en el ePVC ayudan a catalizar reacciones químicas que generan el calor necesario para acelerar el proceso de gelificación en el centro del molde profundo utilizado en el proceso. Esta reacción también requiere surfactantes a base de silicona y/o carboxilato de amonio cuaternario con el fin de desencadenar las reacciones químicas que generan calor dentro del plastisol y acelerar el proceso de gelificación. Otra razón para el uso de ePVC es que está en forma de pequeñas partículas que se pueden gelificar fácilmente sin la necesidad de fuerzas de fricción. PVC polimerizado en suspensión (sPVC), más barato, no se puede utilizar en este proceso, ya que está en forma de partículas grandes que necesitan fundirse rápidamente utilizando fricción con el fin de generar una masa fundida homogénea.

El documento EP1393876 divulga un procedimiento para inyectar una masa termoplástica fundida que comprende un agente expansionante en una cavidad de molde, donde se aplica una contrapresión a la masa fundida inyectada durante la inyección. La contrapresión es menor que la presión de descarga, pero mayor que la presión de espumación del agente expansionante.

Un problema adicional con los procesos de la técnica anterior es que producen células indeseablemente grandes y la formación de las células es difícil de controlar ya que no hay medios disponibles para controlar la presión dentro del molde durante la fase de enfriamiento.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un producto, a unidades de moldeo por inyección, y a procedimientos para la producción de embriones que utilizan menos energía que los procedimientos de la técnica anterior. Esto se logra mediante el uso de un aparato de moldeo por inyección en el que la temperatura y la presión en el cilindro de inyección y la temperatura y la presión en el molde de inyección pueden controlarse. Un procedimiento para lograr esto tiene las etapas de inyectar la masa fundida de plástico caliente en un molde expandible sin calentar mientras se controla la temperatura de inyección y la presión, así como la temperatura del molde y la presión con el fin de impedir la formación de espuma prematura de la masa fundida. Una vez que se llena el molde, al tiempo que se mantiene la presión en el molde, la temperatura de la masa fundida caliente se reduce hasta una temperatura de apertura del molde que es suficientemente fría de modo que el embrión sea suficientemente viscoso como para que pueda tener lugar una expansión controlada del embrión, es decir, el embrión es suficientemente viscoso para ser lo suficientemente fuerte y evitar que se rompa cuando se abre el molde y la presión en el embrión disminuye, mientras que al mismo tiempo el embrión es suficientemente fluido para que pueda espumarse y expandirse después de la caída de presión causada por la apertura del molde. Después, el embrión puede ser liberado del molde. El procedimiento según la presente invención también hace que sea posible producir producto espumado con tamaño de célula controlado, y el procedimiento también puede aplicarse a diversos tipos de sistemas de polímeros expandibles. La presente invención facilita incluso el moldeo por inyección de polímeros expandibles que previamente han demostrado ser difíciles o incluso imposible de controlar.

Mediante el uso de este nuevo procedimiento para producir embriones expandibles se ha disminuido el tiempo total de proceso de 1,5-2,0 min/mm de profundidad de molde de la técnica anterior hasta 0,2-0,3 min/mm de profundidad de molde para el nuevo procedimiento.

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un producto moldeado por inyección que puede obtenerse mediante la preparación de un embrión que tiene un volumen V_{final} , que comprende las etapas de:

- proporcionar un plastisol;
- proporcionar una unidad de inyección para el moldeo por inyección que comprende un cilindro con una boquilla y una unidad de control adaptada para controlar la contrapresión P_{back} el interior del cilindro y para mantener dicha presión por encima de una presión de espumación crítica;
- proporcionar un molde que comprende un orificio de inyección, medios de aplicación de fuerzas, una primera y una segunda mitad de molde que forman una cavidad de molde con un volumen de cavidad, donde las mitades de molde pueden moverse una respecto de la otra para modificar el volumen de la cavidad, donde el molde se proporciona en un estado frío que tiene un volumen de cavidad de V_{min} y donde los medios de aplicación de fuerzas ejercen una fuerza de apriete mantenida y controlada F_{set} en la cavidad de molde creando una presión P_4 en el interior del molde;

- conectar el orificio de inyección del molde a la boquilla de la unidad de inyección;
 - añadir el plastisol a la unidad de inyección;
 - preparar un volumen de dosis V_{shot} de masa fundida caliente del plastisol en la unidad de inyección;
 - inyectar la masa fundida caliente en la cavidad de molde fría de volumen V_{min} ;
- 5 - seguir inyectando la masa fundida caliente en la cavidad de molde creando una presión de cavidad P_{cavity} igual a o mayor que la presión de apriete P_4 haciendo que el molde se expanda para que pueda recibir el volumen de dosis V_{shot} ;
- dejar enfriar la masa fundida caliente inyectada con el fin de formar un embrión, mediante lo cual el volumen del embrión se contrae durante la fuerza de apriete mantenida controlada F_{set} dejando que la cavidad de molde se contraiga, reduciéndose el riesgo de que una caída de presión en la cavidad provoque espumación en el embrión formado;
- 10 - abrir el molde y retirar el embrión moldeado inyectado formado; y
- exponer dicho embrión a expansión y reticular el embrión utilizando calor y agua o vapor.
- 15 En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a una espuma de PVC expandida; donde la espuma expandida tiene una relación entre módulo de compresión y densidad de al menos 1,28 para espumas con una densidad de 25-40 kg/m³, o de al menos 1,40 para espumas con una densidad de 41-115 kg/m³, o de al menos 1,69 para espumas con una densidad de 116-420 kg/m³.
- 20 Otro aspecto se refiere a un procedimiento para producir un embrión espumable que tiene un volumen V_{final} usando moldeo por inyección, que comprende las etapas de:
- proporcionar un plastisol;
 - proporcionar una unidad de inyección para el moldeo por inyección que comprende un cilindro con una boquilla y
- 25 una unidad de control adaptada para controlar la contrapresión P_{back} el interior del cilindro y para mantener dicha presión por encima de una presión de espumación crítica;
- proporcionar un molde que comprende un orificio de inyección, un medio que ejerce una fuerza, una primera y una segunda mitad de molde que forman una cavidad de molde con un volumen de cavidad, donde las mitades de molde pueden moverse una respecto de la otra para modificar el volumen de la cavidad, donde el molde se proporciona en
- 30 un estado frío que tiene un volumen de cavidad de V_{min} y donde los medios de aplicación de fuerzas ejercen una fuerza de apriete mantenida y controlada F_{set} en la cavidad de molde creando una presión P_4 en el interior del molde;
- conectar el orificio de inyección del molde a la boquilla de la unidad de inyección;
 - añadir el plastisol a la unidad de inyección;
 - preparar un volumen de dosis V_{shot} de masa fundida caliente del plastisol en la unidad de inyección;
- 35 - inyectar la masa fundida caliente en la cavidad de molde fría de volumen V_{min} ;
- seguir inyectando la masa fundida caliente en la cavidad de molde creando una presión de cavidad P_{cavity} igual a o mayor que la presión de apriete P_4 haciendo que el molde se expanda para que pueda recibir el volumen de dosis V_{shot} ;
 - dejar enfriar la masa fundida caliente inyectada con el fin de formar un embrión, mediante lo cual el volumen del
- 40 embrión se contrae durante la fuerza de apriete mantenida controlada F_{set} dejando que la cavidad de molde se contraiga, reduciéndose el riesgo de que una caída de presión en la cavidad provoque espumación en el embrión formado; y
- abrir el molde y retirar el embrión moldeado inyectado formado.
- 45 Otro aspecto adicional de la presente invención se refiere a un molde para realizar el procedimiento descrito anteriormente, que comprende una primera y una segunda mitad de molde que forman una cavidad de molde con un volumen de cavidad, donde las mitades de molde pueden moverse una respecto de la otra para modificar el volumen de cavidad, un orificio de entrada dispuesto en la primera mitad de molde capaz de entrar en contacto de sellado con una unidad de inyección, medios para enfriar el molde, medios de aplicación de fuerzas adaptados para ejercer una
- 50 fuerza de apriete mantenida controlada en dicho molde y medios para controlar la fuerza de apriete con el fin de dejar que el volumen de la cavidad aumente durante la inyección de masa fundida caliente que ejerce una fuerza sobre la segunda mitad de molde, donde la fuerza ejercida por la masa fundida caliente es mayor que la fuerza de apriete, empujando la segunda mitad de molde lejos de la primera mitad de molde, y dejando que la cavidad de molde se contraiga durante el enfriamiento del embrión, reduciéndose el riesgo de que una caída de presión en la cavidad
- 55 provoque una espumación prematura en el embrión formado.
- Otro aspecto adicional de la presente invención se refiere a un aparato de moldeo por inyección que comprende una unidad de inyección adecuada para el moldeo por inyección, que comprende una unidad de control adaptada para controlar la contrapresión P_{back} el interior del cilindro y mantener dicha presión por encima de una presión de
- 60 espumación crítica $P_{critical}$ y un molde según la presente invención como se describe anteriormente.

Todas las realizaciones divulgadas en esta solicitud son aplicables a todos los aspectos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- La figura 1 muestra esquemáticamente una sección parcial a través de una unidad de inyección de la técnica anterior con una tolva de alimentación.
- La figura 2 muestra esquemáticamente una sección parcial a través de una unidad de inyección con una línea de alimentación según una realización de la presente invención.
- 10 La figura 3 muestra esquemáticamente un aparato para producir embriones semiespumados según la presente invención.
- La figura 4 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de medición de una primera realización de un procedimiento de producción de embriones semiespumados según la presente invención.
- 15 La figura 5 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de inyección inicial de la primera realización de un procedimiento de producción de embriones semiespumados según la presente invención.
- La figura 6 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de llenado y expansión de molde de la primera realización de un procedimiento de producción de embriones semiespumados según la presente invención.
- 20 La figura 7 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de enfriamiento de molde bajo presión constante de la primera realización de un procedimiento de producción de embriones semiespumados según la presente invención.
- 25 La figura 8 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de apertura inicial y medición de la siguiente dosis de la primera realización de un procedimiento de producción de embriones semiespumados según la presente invención.
- 30 La figura 9 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de desmoldeo y medición de la siguiente dosis de la primera realización de un procedimiento de producción de embriones semiespumados según la presente invención.
- La figura 10 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de cierre de molde de la primera realización de un procedimiento de producción de embriones semiespumados según la presente invención.
- 35 La figura 11 es un gráfico que muestra cómo las presiones en las diferentes partes del sistema varían durante un ciclo de inyección.
- 40 La figura 12 muestra una estructura celular de espuma expandida que tiene un tamaño de célula (diámetro) promedio de 80 μm .
- Presión de cavidad de 300 bares, densidad de 80 kg/m^3 . 100 aumentos.
- 45 La figura 13 muestra una estructura celular de espuma expandida que tiene un tamaño de célula (diámetro) promedio de 150 μm .
- Presión de cavidad de 200 bares, densidad de 80 kg/m^3 . 100 aumentos.
- 50 La figura 14 muestra una estructura celular de una espuma expandida de la técnica anterior, tamaño de célula (diámetro) de 300 μm , densidad de 80 kg/m^3 . 100 aumentos.
- La figura 15 muestra la resistencia a la compresión frente a la densidad de dos espumas de PVC.
- 55 La figura 16 muestra el módulo de compresión frente a la densidad de dos espumas de PVC.
- La figura 17 muestra ajustes experimentales para la formación de productos según la presente invención.
- ## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION
- 60 En la presente invención, el término "plastisol" significa una suspensión de partículas poliméricas y de un agente reticulante.

La figura 1 muestra esquemáticamente una sección transversal parcial a través de una unidad de inyección convencional 1 para su uso en la fabricación de productos moldeados por inyección. La unidad de inyección 1 comprende una tolva de alimentación 3 en la que se proporciona un material termoplástico 5, que va a someterse a moldeo por inyección, normalmente en forma de gránulos o polvo. La tolva conduce, a través de una abertura de entrada 7, a un diámetro interior 9 en un cilindro calentado 11 en el que puede caer el termoplástico. El diámetro interior 9 contiene un émbolo de tornillo alternativo 13 que tiene acanaladuras helicoidales 15 dispuestas en su superficie exterior. El émbolo de tornillo 13 se puede hacer girar por un motor (no mostrado) y por medio de esta rotación, las acanaladuras 15 hacen que el material se mueva a lo largo del interior del cilindro. En este proceso, los gránulos o polvo son sólidos en el área de entrada del diámetro interior, lo que hace innecesario incluir algún "sellado dinámico" especial en el eje del émbolo de tornillo en esta área. El émbolo de tornillo 13 también se puede mover en la dirección longitudinal del cilindro a través de medios de émbolo (no mostrados) con el fin de forzar la salida de material por una boquilla 17 montada en el extremo de salida 19 del cilindro. Un anillo de verificación 21 que puede moverse de manera axial de tipo convencional usado en moldeo por inyección que actúa como una válvula de retención está dispuesto en cilindro, formando una sección de reserva de material 23 entre el anillo de verificación y la boquilla, sección de reserva de material 23 que tiene un volumen (V_{shot}) suficiente para llenar el molde en el cual se va a inyectar el material. La fricción entre el material y el émbolo de tornillo y la pared interna del cilindro y el calentamiento externo del cilindro hacen que los gránulos o polvo de material termoplástico se funda a medida que se alimenta desde la abertura de entrada y, una vez que un volumen suficiente o preestablecido de material fundido se haya recogido en la sección de reserva de material 23, la rotación del émbolo de tornillo se detiene y el émbolo de tornillo se hace avanzar hacia la boquilla, lo que hace que el material en la sección de reserva de material se inyecte en el molde a través de la boquilla en el extremo del cilindro. Una vez que el plástico se ha solidificado en el molde, la unidad de inyección está lista para medir la siguiente dosis. La medición de la siguiente dosis comienza con el inicio del movimiento giratorio del émbolo de tornillo que, de nuevo, acumula una cierta presión (contrapresión) en la sección de reserva de material. La acumulación de presión debida a la aglomeración de plástico fundido en la sección de reserva de material que se ha introducido allí por el movimiento giratorio del tornillo empujará el émbolo de tornillo "hacia atrás" durante la medición.

La Figura 2 muestra esquemáticamente una sección transversal parcial a través de una unidad de inyección 201 según una realización de la presente invención para la fabricación de embriones. La unidad de inyección 201 comprende una línea de entrada presurizada 203 en la que se proporciona un plastisol 205 que se va a moldear por inyección. La línea de entrada conduce, a través de una abertura de entrada 207, a un diámetro interior 209 en un cilindro calentado 211 en el que el plastisol puede fluir bajo presión. El diámetro interior 209 contiene un émbolo de tornillo alternativo 213 que tiene acanaladuras helicoidales 215 dispuestas en su superficie exterior. Con el fin de evitar la fuga de plastisol líquido fuera del cilindro, un sello dinámico 216 se proporciona en el diámetro interior, por ejemplo, en el eje del émbolo de tornillo, entre la abertura de entrada 207 y el extremo cerrado 218 del cilindro. El émbolo de tornillo 213 se puede hacer girar por un motor (no mostrado) y por medio de esta rotación, las acanaladuras 215 hacen que el material se mueva a lo largo del interior del cilindro. El émbolo de tornillo 213 también se puede mover en la dirección longitudinal del cilindro a través de medios de émbolo 214 con el fin de forzar la salida de material por una boquilla 217 montada en el extremo de salida 219 del cilindro. Medios 214 también puede actuar como una unidad de control adaptada para controlar continuamente la contrapresión P_{back} en el interior del cilindro y mantener dicha presión por encima de la presión de espumación crítica. La unidad de control también puede ser una unidad independiente de los medios de émbolo 214. Un anillo de verificación 221 que puede moverse de manera axial y que actúa como una válvula de retención está situado entre el émbolo de tornillo y el cilindro para formar una sección de reserva de material 223 entre el anillo de verificación y la boquilla. El anillo de verificación 221 no sólo tiene que sellar presiones suficientemente altas para impedir la espumación prematura en la masa fundida sino que también tiene que impedir fugas del plastisol fundido de baja viscosidad e impedir el reflujo no deseado de la masa fundida caliente en la sección de reserva de material 223 durante la medición y la inyección, por lo que está dotado preferentemente de un sellado adicional 222 que proporciona un sellado más estanco que el sello utilizado en una unidad de inyección de moldeo por inyección convencional que no tiene que sellar dicho material de baja viscosidad. La sección de reserva de material 223 tiene un volumen suficiente para llenar el molde en el cual se va a inyectar el material. El volumen de dosis es variable y se establece para obtener la profundidad de molde deseada o espesor de pieza final que, en una etapa adicional en el proceso, dará lugar al espesor o volumen deseado V_{final} del bloque de espuma formado usando el proceso. La boquilla 217 está dotada de una válvula de cierre de boquilla móvil 224 que se puede mover hacia una posición cerrada en la que puede sellar la boquilla con el fin de mantener la presión dentro del cilindro y que se puede mover hacia una posición de inyección en la que la boquilla está abierta y se puede conectar a un molde. La válvula de cierre de boquilla puede ser de cualquier tipo adecuado, tal como una válvula de pasador de cierre, una válvula de compuerta deslizante o una válvula de cierre con perno.

La rotación del émbolo de tornillo hace que el plastisol avance a través del cilindro y, una vez que un volumen suficiente de material fundido se haya recogido en la sección de reserva de material 223, el émbolo de tornillo puede hacerse avanzar hacia la boquilla desde su posición y la válvula de cierre se mueve hacia la posición de inyección, lo que hace

que el material en la sección de reserva de material se inyecte en el molde a través de la boquilla en el extremo del cilindro. Preferentemente, el plastisol fundido en la sección de reserva de material 223 se presuriza y se satura con gas. El molde se empuja hasta abrirse por la masa fundida, es decir, el volumen de la cavidad del molde aumenta, durante la fase de inyección; la expansión, el movimiento de apertura del molde durante la inyección, se controla para
 5 mantener una presión en el molde, lo que impide una nucleación celular no deseada o la espumación de la masa fundida de plástico debido a una fuerza de apriete constante F_{set} .

Una vez que el ciclo de inyección se completa, la válvula de cierre de boquilla se mueve hacia la posición cerrada y la medición para la siguiente dosis de inyección puede comenzar. Durante la medición, el émbolo de tornillo gira con el
 10 fin de llevar la masa fundida de plastisol hacia la sección de recepción de material, mientras que al mismo tiempo el propio émbolo de tornillo es conducido de nuevo a la posición inicial correspondiente al volumen de dosis deseado. Durante este movimiento de retorno del émbolo de tornillo, los medios de émbolo 214 mantiene una contrapresión predeterminada sobre el émbolo de tornillo con el fin de asegurar que la presión ejercida sobre el material en el cilindro sea suficientemente alta (preferentemente por encima de la presión de espumación crítica $P_{critical}$) para evitar que el
 15 material se espume dentro del cilindro.

La figura 3 muestra esquemáticamente una primera realización de un aparato según la presente invención para formar embriones de plastisol semiespumados. El aparato comprende un inyector 201 del tipo descrito anteriormente, que está destinado a usarse para llenar un molde expandible 341 con masa fundida de plástico. La presión dentro del
 20 diámetro interior de la unidad de inyección 201 aumenta desde la presión de entrada P_2 en la región de apertura de entrada 207 hasta la presión P_3 detrás de la válvula de cierre de boquilla 224.

El molde comprende una primera mitad molde 343 que incluye un puerto de inyección 345 a través del cual la masa fundida de plástico se puede inyectar en la cavidad de molde 347 que se forma entre la primera mitad de molde 343
 25 y una segunda mitad de molde 349. Durante el llenado del molde, las mitades de molde 343, 349 se pueden separar mientras se mantiene la presión de apriete P_4 dentro de la cavidad de molde 347 formada entre las mismas a través medios de aplicación de fuerzas 348, por ejemplo, uno o más accionadores que se hacen funcionar de manera hidráulica, neumática o eléctrica. Dichos medios de aplicación de fuerzas 348 también puede actuar como una unidad de control adaptada para controlar la presión de apriete y para mantener la presión de apriete por encima de la presión
 30 de espumación crítica $P_{critical}$. Preferentemente, no hay ningún medio de sellado provisto entre las superficies mutuamente enfrentadas de la mitad de molde macho y la mitad de molde hembra que se mueven más allá la una de la otra a medida que el molde se expande y se contrae. Dichos medios de sellado no son necesarios ya que las mitades de molde no se calientan y las fugas de la masa fundida de plástico inyectada en el hueco entre estas superficies mutuamente enfrentadas se impiden mediante el rápido enfriamiento de la masa fundida de plástico a
 35 medida que entra en contacto con las mitades de molde frías, lo que aumenta su viscosidad de manera que no pueda fluir a través del estrecho hueco entre las mitades del molde. Medios de expulsión, por ejemplo, un suministro de aire comprimido o, como se muestra en las figuras, un pasador expulsor 350 se proporcionan en una mitad de molde, por ejemplo, la segunda mitad de molde 349, para expulsar el embrión moldeado.

40 Como alternativa o complemento al uso de una válvula de cierre de boquilla que puede moverse hacia una posición cerrada donde puede sellar la boquilla para mantener la presión dentro del cilindro y que puede moverse hacia una posición de inyección en la que la boquilla está abierta y puede conectarse a un molde, es posible utilizar un sistema de canal caliente que está dotado de un pasador de cierre en el molde. Este pasador de cierre se puede mover desde una posición abierta, de inyección, que permite que la masa fundida de plástico que se inyecte en el molde o hasta
 45 una posición cerrada que impide que la masa fundida de plástico se inyecte en el molde (y también impide que el reflujo de masa fundida de plástico inyectada desde salga del molde durante un tiempo de enfriamiento posterior). Si una válvula de cierre de boquilla se proporciona en la unidad de inyección, entonces se puede dejar abierta de forma continua durante la producción normal.

50 Una fuente de suministro 351 de plastisol puede conectarse a la apertura de entrada 207 de la unidad de inyección 201 a través de una línea de suministro 361. La fuente de suministro de plastisol puede comprender un recipiente de mezcla presurizada 353 bajo presión P_1 en la que los ingredientes constitutivos del plastisol 205 pueden proporcionarse y después mezclarse con un mezclador 357. El mezclador puede ser cualquier tipo de mezclador adecuado. Alternativamente, la fuente de suministro de plastisol puede ser un recipiente no presurizado que contiene
 55 plastisol premezclado. La línea de suministro 361 está dotada de una bomba dosificadora 363 para permitir que el plastisol se introduzca desde el recipiente de mezcla 353 a la apertura de entrada 207, y una válvula 365 se proporciona con el fin de controlar la presión dentro de la línea de suministro 361 y obstaculizar el reflujo desde el cilindro al interior de la línea de suministro 361.

60 La región de molde 371 del dispositivo se muestra rodeada por líneas discontinuas y, preferentemente, no se calienta, con el consiguiente ahorro de energía en comparación con las unidades de la técnica anterior. La región de alimentación 375, que se muestra rodeada por líneas discontinuas que abarcan la fuente de suministro de plastisol, la

línea de alimentación y, preferentemente, también el extremo de entrada de la unidad de inyección, no se calienta. Preferentemente, solo se calientan las regiones de la unidad de inyección hacia adelante de la abertura de entrada 207, ahorrando así energía.

5 Las figuras 4-11 muestran las fases consecutivas en una primera realización de un procedimiento de producción de embriones semiespumados utilizando un aparato para producir embriones según la presente invención. Como se muestra en la figura 4, al final de la fase de medición, el molde se cierra, la bomba de dosificación está activa para introducir más material en el cilindro, el émbolo de tornillo se hace girar, lo que introduce más material en la sección de recepción de material al mismo tiempo que la acumulación de presión debida a la aglomeración de este material
10 en la sección de recepción de material empuja el émbolo de tornillo hacia abajo del cilindro, durante lo cual el movimiento inverso de los medios de émbolo mantiene una presión opuesta al movimiento del émbolo de tornillo con el fin de impedir una espumación/nucleación celular no deseadas del material. Cuando el émbolo de tornillo está en la posición de retorno o trasera, los medios de émbolo 214 siguen ejerciendo una fuerza en la dirección de la boquilla en el émbolo de tornillo de manera que una presión P_{back} (es decir, una contrapresión) está siempre presente en el interior
15 del cilindro, tanto a lo largo del tornillo como en la sección de recepción de material. La válvula de cierre de boquilla 224 se cierra y la presión dentro del diámetro interior es P_2 cerca de la entrada y aumenta a P_3 en la válvula de cierre de boquilla. Durante la fase de medición, la presión detrás de la válvula de cierre de boquilla P_3 es igual a la contrapresión P_{back} . Esto corresponde a la etapa 1101 y 1102 en la figura 11. Se prefiere que el nivel de presión dentro del diámetro interior se controle y mantenga por encima de la presión de espumación crítica $P_{critical}$ durante todo el
20 proceso de moldeo por inyección. La presión dentro del cilindro, e incluso del molde, se controla preferentemente todo el tiempo o de forma continua utilizando cualquier medio adecuado.

La figura 5 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de inyección inicial en la que el pequeño volumen de molde inicial V_{min} se llena rápidamente. Cuando la válvula de cierre de boquilla abre el molde, se cierra
25 mediante el accionador 348 con una fuerza de apriete F_{set} y el volumen de la cavidad de molde está en su mínimo V_{min} , siendo la presión P_4 dentro la misma igual a la presión ambiente. El llenado rápido se consigue, por ejemplo, mediante la apertura de la válvula de cierre de boquilla al mismo tiempo que se mueve el émbolo de tornillo hacia la boquilla con fuerza suficiente para alcanzar la velocidad de inyección especificada v_{ini} centímetros cúbicos por segundo (ccm/s) al tiempo que se mantiene el molde en su posición cerrada con una fuerza de apriete F_{set} . Preferentemente,
30 el llenado inicial del molde en esta fase tarda menos de un segundo y, preferentemente, tarda menos de una décima de segundo. Esto corresponde a la etapa 1103 en la figura 11. El llenado inicial sella el hueco entre las paredes de mitad de molde mutuamente enfrentadas y permite que la presión dentro del molde (P_4) aumente hasta la presión de la cavidad deseada $P_{cavidad}$. Esta fase es una fase muy corta ya que V_{min} se llena muy rápido. Preferentemente, V_{min} corresponde a una profundidad de cavidad inicial mayor que 0,2 mm y menor que 4,2 mm, más preferentemente entre
35 0,5 mm y 2,0 mm, o entre 0,7 y 1,6, o entre 0,9 mm y 1,4 mm, o entre 1,0 y 1,2 mm.

Una vez que el molde se ha llenado inicialmente, la fase de llenado del molde, como se muestra esquemáticamente en la figura 6, se lleva a cabo. En esta fase, el émbolo de tornillo avanza hacia la boquilla arrastrando el anillo de verificación 221 con el mismo (lo que impide el reflujo), introduciendo de este modo la masa fundida de plástico en la
40 cavidad del molde. Se deja que el molde se expanda a medida que se inyecta más masa fundida, que empuja la mitad de molde móvil, de modo que pueda recibir el volumen de dosis (V_{shot}) de masa fundida y, durante esta expansión del molde, las presiones dentro del molde (P_4) y del diámetro interior de la unidad de inyección (P_2 y P_3) son controladas con el fin de garantizar que se encuentren siempre por encima de la presión $P_{critical}$ necesaria para la espumación prematura de la masa fundida de plástico. El control de las presiones puede hacerse utilizando cualquier medio
45 adecuado. Esto corresponde a la etapa 1104 en la figura 11.

La figura 7 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la "fase de enfriamiento de molde bajo presión constante". Durante esta fase, la válvula de cierre de boquilla está cerrada y la bomba de dosificación está en funcionamiento con el fin de rellenar el diámetro interior de la unidad de inyección con plastisol, al mismo tiempo que
50 el émbolo de tornillo vuelve a la posición de retorno o trasera correspondiente al volumen de dosis deseado. Puesto que la masa fundida de plástico caliente se inyectó en un molde frío, se enfriará, y la expansión térmica negativa dará como resultado una contracción de su volumen. Para evitar la espumación no deseada del embrión, la fuerza de apriete sobre el molde se mantiene de modo que la contracción de la masa fundida de plástico se refleja en la contracción del volumen de molde hasta el volumen final, o deseado, del embrión V_{final} , garantizando de este modo
55 que la presión en el molde se mantenga a la presión P_{cavity} necesaria para impedir la nucleación celular de la masa fundida. En el volumen final, o deseado, V_{final} , la temperatura T del embrión ha caído a, o por debajo de, T_{final} , una temperatura en la que la masa fundida ya no es un líquido, sino que ha adquirido una consistencia similar a la de un sólido o un gel y tiene ahora una forma suficientemente estable para soportar la nucleación celular y la espumación de expansión, que de otro modo se produciría debido a la caída de presión experimentada durante la apertura del
60 molde. En una realización, la temperatura de la masa fundida caliente o gel en el molde se controla, y la temperatura en el sistema de enfriamiento y/o el tiempo pueden ajustarse dependiendo de la temperatura de la masa fundida caliente o el gel formado. Se puede usar cualquier medio adecuado para controlar la temperatura y se puede comunicar

con medios para controlar las presiones en el molde y en la unidad de inyección. Dependiendo, entre otras cosas, del volumen de plástico en el molde, de la temperatura del plástico y del molde y de las características de enfriamiento del molde, esta fase puede durar entre unos pocos segundos y varios minutos. Preferentemente, el sistema está dispuesto de manera que el tiempo que tarda el plastisol y el molde en enfriarse se ajusta en función del volumen de la dosis, cuanto mayor sea la dosis mayor será el tiempo. Preferentemente, el tiempo debe ser lo más corto posible. El tiempo depende de la profundidad de la cavidad o del espesor del producto moldeado. Esto corresponde a la etapa 1105 en la figura 11.

La figura 8 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de apertura del molde y de medición. En esta fase, la bomba de dosificación todavía está en funcionamiento con el fin de llenar el diámetro interior, y la contrapresión ejercida sobre el émbolo de tornillo se mantiene con el fin de garantizar que todo el plastisol y la masa fundida en el diámetro interior se someten a una presión que es mayor que la presión a la que el plastisol o la masa fundida comenzarían a espumar, evitando así la espumación del material en el diámetro interior. Esto corresponde a la primera parte de la etapa 1106 en la figura 11.

La figura 9 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de desmoldeo y medición, en la que el expulsor empuja el embrión fuera del molde y la medición de la siguiente dosis continúa. La expulsión se produce al final de la etapa 1106 en la figura 11.

La Figura 10 muestra esquemáticamente el aparato de la figura 3 en la fase de cierre del molde, donde el molde vuelve a la posición en la que la cavidad del molde se encuentra en su volumen mínimo y apretada con una fuerza de apriete F_{set} . El sistema está listo para que comience el siguiente ciclo de inyección. Esto corresponde a la etapa 1101' en la figura 11.

La figura 11 muestra un ejemplo de cómo las presiones y fuerzas de apriete en el aparato se pueden ajustar durante las diferentes fases del procedimiento.

En un proceso de moldeo por inyección convencional, el molde expandible se cierra mediante un accionador de apriete y la fuerza de apriete se acumula hasta un determinado punto prefijado inicial antes de iniciar la inyección. En un sistema de accionamiento hidráulico, esto se consigue aumentando la presión hidráulica hasta que la fuerza de apriete ha alcanzado el valor requerido. Después de alcanzar el valor del punto prefijado inicial requerido, el sistema hidráulico se bloquea y permanece bloqueado hasta el final del proceso, cuando se produce la apertura del molde, es decir, no hay ningún control de presión activo de la fuerza de cierre del molde durante el proceso de inyección. Esto hace que sea imposible que las mitades del molde expandible se muevan durante la inyección y el enfriamiento.

En un sistema según la presente invención, la presión de apriete sobre el molde se controla continuamente durante toda la secuencia de inyección y enfriamiento usando cualquier medio adecuado. Esto significa que la mitad de molde móvil puede separarse de la mitad de molde fija con el fin de aumentar el volumen de la cavidad de molde durante la inyección tan pronto como la presión ejercida por la masa fundida caliente inyectada dentro del molde (la presión de la cavidad) dé como resultado una fuerza contraria que supere la fuerza de apriete del accionador de apriete. En otras palabras, la alta presión de inyección durante la inyección superará la presión dentro del accionador hidráulico y provocará un movimiento de expansión de la mitad de molde móvil. Mediante el control continuo de la presión hidráulica de apriete, la expansión del molde se sincroniza con la inyección de la masa fundida, y la apertura del molde puede controlarse mediante los ajustes de la velocidad de inyección. De esta manera es posible controlar la presión de la cavidad y garantizar que siempre supere una presión de cavidad predeterminado durante esta fase del proceso. El nivel de presión de la cavidad influye en gran medida en el tamaño celular del producto final y una alta presión en la cavidad proporciona células uniformes pequeñas.

Debido al control continuo de la presión hidráulica de apriete durante la inyección y el enfriamiento, es posible alcanzar una presión controlada en el molde durante la acción de cierre del molde que tiene lugar cuando el molde y su contenido se enfrían. Durante este tiempo de enfriamiento, el plástico experimentará una "expansión térmica negativa", es decir, enfriar la masa fundida hará que el plástico se contraiga. Al proporcionar un control continuo del sistema hidráulico de apriete, es posible obtener un movimiento de "cierre" de la mitad de molde móvil que garantiza que la presión de cavidad predeterminada se mantiene en el punto prefijado en todo momento. Esta acción de cierre y el mantenimiento de la presión de la cavidad garantizan que el gas expansionante se mantenga en solución dentro del material y no forme burbujas de gas que darían como resultado células no deseables en el embrión. En ausencia de cualquier control de la presión durante el enfriamiento del molde, la presión de la cavidad disminuiría en proporción a la contracción del material a medida que se enfría. La disminución de la presión de la cavidad significaría que la nucleación celular no estaría bajo control y esto daría lugar a una estructura celular no óptima. Manteniendo el control de la presión de la cavidad durante el enfriamiento, la nucleación se suprime. La nucleación celular sólo puede ocurrir después de que haya terminado el enfriamiento y cuando la presión sobre el embrión enfriado se libera durante la apertura del molde. Sin embargo, aunque la nucleación celular se produce en esos momentos, la expansión no

controlada del embrión no puede tener lugar ya que la consistencia del embrión enfriado lo impide.

En un proceso de moldeo por inyección convencional se establece una "contrapresión", que se utiliza durante la medición de un volumen de dosis. La "contrapresión" se genera ejerciendo una cierta fuerza sobre el tornillo, que actúa en dirección axial hacia el molde al mismo tiempo que el émbolo de tornillo está girando. El resultado es una cierta presión de fusión mantenida en el material delante de la punta del tornillo durante la medición. Una vez finalizada la medición, es normal que el diámetro interior se despresurice, es decir, la fuerza axial en el tornillo se libera. Esta situación se mantiene hasta que la dosis se inyecte en el molde. Después, durante la inyección, una fuerza de inyección axial (normalmente mucho más alta que la contrapresión) se aplica en el émbolo de tornillo para cumplir con la velocidad de inyección deseada (ccm/s) de la configuración de inyección. La velocidad de inyección puede ser de 25 ccm/s a 300 ccm/s. Después de que la secuencia de inyección haya terminado, el diámetro interior se despresurizará de nuevo. Algunas veces, la unidad de inyección retrocede desde (es decir, se desplaza hacia atrás de modo que ya no toque) su punto de contacto con el molde con el fin de evitar la transferencia de calor desde la punta de la unidad de inyección al molde y/o el enfriamiento de la punta mediante el molde relativamente más frío.

Dicho sistema no es adecuado para la producción de embriones de plastisol. La despresurización del diámetro interior haría que la masa fundida de plastisol que está dentro de la espuma del diámetro interior proporcione de manera no controlada una estructura celular muy desfavorable con grandes burbujas de gas. La masa fundida de plastisol, en su camino a través del diámetro interior a lo largo de y, en frente del tornillo, necesita mantenerse por encima de un cierto nivel crítico de presión ($P_{critical}$). Este nivel crítico de presión garantiza que el gas expansionante, por ejemplo, generado a partir de la descomposición de los agentes expansionantes químicos, se disuelva en la masa fundida y no experimente nucleación para generar burbujas. Es muy importante que la presión a lo largo del diámetro interior y a través de todas las etapas de proceso se mantenga por encima del nivel crítico. El nivel de presión crítica necesario depende del nivel de agente expansionante en la formulación y del perfil de temperatura de la unidad de inyección. Niveles superiores de agente expansionante necesitan una mayor presión interna en el diámetro interior. Temperaturas de diámetro interior más altas requieren mayores presiones internas en el diámetro interior para evitar la nucleación celular.

En un sistema según la presente invención, la unidad de control para la fuerza axial en el tornillo siempre se controla para garantizar que la fuerza axial esté por encima del nivel crítico necesario para mantener una presión sobre el material dentro del diámetro interior que esté por encima de la presión de nucleación crítica ($P_{crit.}$). Esta presión mantiene el gas generado en solución e impide la espumación de la masa fundida.

Debido a este alto nivel de presión continua en el diámetro interior es necesario disponer de algún medio para cerrar la boquilla, tal como una válvula de cierre, en la boquilla de la unidad de inyección o en el orificio de entrada del molde que solo se abre durante la secuencia de inyección. Preferentemente, la válvula de cierre de boquilla se cierra después de la inyección del volumen de dosis (V_{shot}). Si se abriese durante el enfriamiento, entonces existe el riesgo de que se produzca un refluo de la masa fundida desde la cavidad del molde hacia dentro del diámetro interior. Esto sucedería si la fuerza de apriete/la presión en la cavidad fijada es mayor que la contrapresión fijada (P_{back}). Como alternativa también se podría utilizar un canal caliente con un pasador de cierre. Además, en ausencia de una boquilla cerrada o similar, se produciría una caída de presión no deseada en el diámetro interior durante el desmoldeo, lo que daría como resultado una espumación no controlada dentro del diámetro interior. En una realización, la misma presión de apriete se mantiene durante todo el proceso de moldeo por inyección, y en otra realización la presión de apriete se altera durante todo el proceso de moldeo por inyección.

En otra realización de la presente invención, un sistema para producir embriones espumables comprende una unidad de inyección y una pluralidad de moldes expandibles. El sistema está dispuesto de manera que la unidad de inyección se fija sustancialmente en una posición predeterminada y los moldes se mueven a su vez hasta una posición en la que el molde se puede llenar y después, mientras se mantiene la presión de apriete sobre el molde, se mueven hasta una posición en la que el molde se puede enfriar y el embrión se puede expulsar. De esta manera no hay necesidad de esperar a que un molde se haya enfriado y a que el embrión se haya expulsado antes de que el siguiente molde pueda llenarse. Esto da como resultado un aumento de la productividad del sistema.

En una realización adicional de la invención, una pluralidad de moldes está dispuesta en una línea y la unidad de inyección está dispuesta para moverse de molde a molde. Cada vez que llega a un molde vacío llevará a cabo una inyección de masa fundida caliente en el molde y, antes de que el molde y la masa fundida caliente se hayan enfriado, se desplazará hasta el siguiente molde que va a llenarse. Esto da como resultado un aumento de la productividad del sistema.

En aún otra realización de la invención, una unidad de inyección está dotada de un colector de inyección que comprende una pluralidad de salidas, cada una de las cuales conduce a un molde diferente. Cada salida puede estar provista de una válvula y el sistema funciona de modo que cuando la inyección tiene lugar durante un ciclo de

inyección sólo una válvula está abierta, haciendo de este modo que la masa fundida se introduzca solamente en el molde en el otro lado de la válvula. En el siguiente ciclo de inyección se abre una válvula diferente, haciendo de este modo que la masa fundida se introduzca en un molde diferente.

5 Para que el plastisol se procese según la presente invención, tiene que poder bombearse. preferentemente, las partículas poliméricas sólidas son pequeñas o están en forma de polvo. Los plastisoles utilizados en un sistema según la presente invención tienen preferentemente los siguientes ingredientes, donde todos los porcentajes vienen dados en peso:

10 35-60% de polvo polimérico (por ejemplo, PVC (policloruro de vinilo). Preferentemente, el polímero es un grado polimerizado en suspensión de PVC (sPVC) solo o una mezcla de sPVC con PVC polimerizado por emulsión (ePVC);

15 1-15% de anhídrido. El anhídrido es preferentemente anhídrido dicarboxílico cíclico, por ejemplo, anhídrido ftálico o, preferentemente, una mezcla 70/30 de ciclohexano-1,2-anhídrido dicarboxílico y 4-metil-anhídrido hexahidroftálico que es líquido a temperatura ambiente;

20 20-60% de isocianato. El isocianato se basa preferentemente en versiones líquidas de difenilmetano-4,4'-diisocianatos (4,4'-MDI), por ejemplo, CDMDI (carbodiimida modificada 4,4'-MDI) y MDI polimérico (pMDI), ya sea utilizado de manera individual o como mezcla;

25 0.5-7% de agente expansionante. Los agentes expansionantes pueden ser 2,2'-azobis-isobutironitrilo (AIBN), azodicarbonamida (ADC), bicarbonato de sodio y ácido cítrico, utilizados de manera independiente como un único agente expansionante químico o como una mezcla. Como alternativas a los agentes expansionantes químicos, se podría utilizar agentes expansionantes físicos, por ejemplo, ciclopentano, CO₂, acetona, u otros líquidos con un punto de ebullición a baja temperatura;

30 0-1% de adyuvantes de procesamiento tales como lubricantes. Un adyuvante de procesamiento podría ser una cera de hidrocarburo que es sólo moderadamente soluble en la masa fundida de PVC de modo que durante el calentamiento en el interior del cilindro de inyección migrará hacia la interfaz entre la masa fundida y las superficies de acero en el interior del cilindro de inyección calentado. Aquí actuará como un lubricante en la superficie caliente, garantizando así que el PVC no se pegue o se estanque ni se caliente en exceso con el consiguiente riesgo de degradación por calor; y aditivos. Los aditivos se pueden incorporar en la formulación para cambiar el comportamiento físico-químico del producto final. Por ejemplo, se pueden añadir plastificantes como ftalatos y ésteres adiposos o fosfatos orgánicos para obtener la resistencia y la rigidez necesarias para la aplicación final. Los plastificantes también aumentan la resistencia a la fractura del material y dan mayor capacidad de absorción de energía de impacto. Pueden suponer el 0-10% de la formulación. El anhídrido y el isocianato pueden actuar como plastificantes, por ejemplo, durante los procesos de moldeo. Se pueden añadir retardantes de llama a la formulación para mejorar la resistencia al fuego y al humo del material final y pueden suponer el 0-10% de la formulación. Se pueden añadir rellenos inorgánicos a la formulación para servir como sitios de nucleación celular o como un aditivo para aumentar la rigidez del material y pueden suponer el 0-10% de la formulación. Se pueden añadir estabilizadores térmicos de PVC a la formulación para aumentar la estabilidad térmica del material durante el proceso de moldeo por inyección, por ejemplo, si se lleva a cabo el proceso con ajustes que provocan un largo tiempo de residencia de la masa fundida dentro del cilindro calentado (por ejemplo, cuando hay un pequeño volumen de dosis en relación con el volumen máximo de dosis de la máquina) y pueden suponer el 0-2% de la formulación. Se pueden añadir surfactantes y catalizadores reticulantes a la formulación y pueden suponer el 0-1% de la misma. Los ingredientes anteriormente mencionados no deben considerarse como limitantes, un experto en la materia sabe qué reactivos pueden utilizarse. Por ejemplo, pueden utilizarse otros agentes reticulantes y otra química de reticulación.

50 Otros polímeros adecuados para moldearse por inyección usando el procedimiento según la presente invención son diferentes poliestirenos, poliacrilatos o ésteres de celulosa o combinaciones de los mismos. En una realización, el plastisol comprende al menos uno de los siguientes ejemplos no limitativos:

Polímero de estireno acrilonitrilo SAN

55 Poliestireno PS

Polimetilmetacrilato PMMA

Polimetacrilato de butilo PBMA

60

Poliamida PA

Policarbonato PC

Politereftalato de etileno PET

5 Polietileno PE

Polietileno clorado CPE o compuestos similares a ésteres de celulosa

Acetato de celulosa CA

10

Triacetato de celulosa CTA

Acetato butirato de celulosa CAB

15 Acetato propionato de celulosa CAP

o cualquier combinación o copolímeros de los mismos junto con agentes reticulantes adecuados. Que la presente invención funcione para varios materiales poliméricos se muestra en los ejemplos divulgados en la figura 17. En una realización, el plastisol comprende un polímero esencialmente amorfo. En otra realización, el plastisol comprende un polímero esencialmente cristalino. En una realización, el plastisol comprende PMMA. En otra realización, el plastisol comprende SAN. En otra realización, el plastisol comprende un copolímero de PMMA y otro comonómero acrílico, por ejemplo, acrilato de butilo-metilo. En otra realización, el plastisol comprende ésteres de celulosa, por ejemplo, propionato de acetato de celulosa. En otra realización, el plastisol comprende una mezcla de PVC y otro polímero. En otra realización, el plastisol comprende una mezcla de PVC y PMMA. En otra realización, el plastisol comprende una mezcla de PVC y SAN.

En una realización, el plastisol comprende partículas poliméricas sólidas y anhídrido e isocianato.

En una realización de la presente invención, el plastisol comprende policloruro de vinilo, anhídrido, preferentemente un anhídrido dicarboxílico, isocianato y un agente expansionante.

Preferentemente, se controlan las temperaturas y presiones en el sistema. Las temperaturas adecuadas en la unidad de inyección son:

35 temperatura de plastisol 15-25 °C, temperatura de la zona de entrada 15-25 °C, zona de alimentación 25-120 °C, zona de compresión 25-150 °C, zona de fusión 100-180 °C, sección de reserva de masa fundida 120-180 °C, y punta de boquilla 120-180 °C.

La temperatura de enfriamiento del molde debe ser preferentemente de entre 5 y 50 °C. En una realización, la temperatura de enfriamiento es la misma durante todo el proceso de moldeo por inyección. En otra realización, la temperatura de enfriamiento varía durante el proceso de moldeo por inyección.

Los ajustes de presión deben ser preferentemente:

45 presión de la bomba 50-150 bar, contrapresión 50-150 bar, presión de la cavidad 50-400 bar.

La presente invención se refiere además a un producto moldeado por inyección en el que un embrión se obtiene produciendo un embrión según la presente invención y exponiendo dicho embrión a una expansión y reticulando el embrión utilizando calor y agua o vapor. El cuerpo embrionario es expandido mediante un tratamiento térmico adicional en agua y/o un horno de vapor. La formación del material espumado rígido final es el resultado de una reacción de hidrólisis de los grupos de isocianato presentes en el material, con la consiguiente acumulación de un polímero que reticula la estructura química.

El producto según la presente invención es una espuma expandida de cualquier polímero o mezcla de polímeros adecuados. La espuma tiene típicamente una densidad de 25 kg/m³ a 400 kg/m³, un tamaño celular de 10 µm a 1 mm y un módulo de compresión de al menos 50 MPa. El procedimiento de la presente invención hace que sea posible lograr estructuras microcelulares o submicrocelulares en una espuma expandida, donde la espuma tiene propiedades mecánicas mejoradas. El procedimiento también hace que sea posible controlar el tamaño celular ajustando las distintas presiones, por ejemplo, la presión de la cavidad, véase las figuras 12-14.

60

Las propiedades mecánicas mejoradas hacen posible el uso de un material de menor densidad con el fin de lograr la misma resistencia a la compresión o módulo de compresión, véanse las figuras 15-16 y la tabla 1. La densidad, la

resistencia a la compresión y el módulo de compresión están relacionados entre sí, donde una menor densidad da como resultado una menor resistencia a la compresión o un menor módulo de compresión, y viceversa. Sin embargo, la espuma de la presente invención tiene una mayor relación entre resistencia a la compresión y densidad que las espumas expandidas habituales. Las figuras 15 y 16 muestran un diagrama de resistencia a la compresión (MPa) frente a la densidad (kg/m³) y de módulo de compresión (MPa) frente a la densidad (kg/m³), respectivamente. La referencia es una espuma expandida producida según el procedimiento estándar; véase, por ejemplo, el documento WO2007141647.

La densidad de la espuma según la presente invención puede ser de 25 kg/m³ o más, o de 45 kg/m³ o más, o de 60 kg/m³ o más, o de 80 kg/m³ o más, o de 400 kg/m³ o menos, o de 300 kg/m³ o menos, o de 200 kg/m³ o menos, o de 150 kg/m³ o menos, o de 110 kg/m³ o menos, o de 100 kg/m³ o menos. En una realización, el intervalo de densidad está comprendido entre 45 kg/m³ y 110 kg/m³. La densidad se midió según la norma ISO 845:2006.

Tabla 1. Relación específica entre resistencia a la compresión y densidad y relación específica entre módulo y densidad para espumas de PVC expandidas producidas usando la tecnología estándar de la técnica anterior y espumas expandidas según la presente invención.

Intervalo de densidades (kg/m ³)	Compr. específica Resistencia (MPa/(kg/m ³))		Compr. específica Módulo (MPa/(kg/m ³))	
	Técnica anterior	Muestra 1	Técnica anterior	Muestra 1
25-40	0.012	0.015	1.05	1.28
41-55	0.013	0.018	1.04	1.40
56-70	0.015	0.021	1.17	1.49
71-90	0.018	0.023	1.13	1.58
91-115	0.020	0.025	1.35	1.64
116-145	0.023	0.027	1.31	1.69
146-180	0.021	0.029	1.25	1.72
181-230	0.027	0.030	1.55	1.74
231-280	0.029	0.031	1.60	1.77
281-340	0.026	0.031	1.61	1.78
341-380	0.028	0.032	1.64	1.79
381-420	0.029	0.032	1.63	1.80

Las espumas de PVC de la tabla 1 se obtienen de un plastisol de PVC, donde el plastisol comprende PVC, anhídrido, agente expansionante e isocianato. Como se observa en la tabla 1, la relación entre densidad y resistencia a la compresión, y módulo de compresión, es significativamente mayor para la muestra 1 en comparación con espumas obtenidas con la tecnología de la técnica anterior. Por ejemplo, la espuma expandida de la presente invención tiene una relación entre módulo de compresión y densidad de al menos 1,28 para espumas con una densidad de 25-40 kg/m³, o de al menos 1,40 para espumas con una densidad de 41-115 kg/m³, o de al menos 1,69 para espumas con una densidad de 116-420 kg/m³. En una realización, la espuma tiene una relación de al menos 1,49 para espumas con una densidad de 56-180 kg/m³.

El tamaño celular puede ser de 10 µm o más, o de 50 µm o más, o de 100 µm o más, o de 200 µm o más, o de 300 µm o más, o de 1.000 µm o menos, o de 800 µm o menos, o de 600 µm o menos, o de 400 µm o menos, o de 350 µm o menos. El tamaño celular se determinó según ASTM D3576-04. En una realización, el tamaño celular es de 150 µm o menos en una espuma que tiene una densidad de hasta 115 kg/m³. En otra realización, el tamaño celular es de 130 µm o menos en una espuma que tiene una densidad de hasta 115 kg/m³. En otra realización, el tamaño celular es de 100 µm o menos, preferentemente de 80 µm o menos, en una espuma que tiene una densidad de hasta 400 kg/m³.

Como se mencionó anteriormente, la espuma expandida de la presente invención presenta muy buenas propiedades mecánicas, especialmente resistencia a la compresión y módulo de compresión. La resistencia a la compresión de la espuma es de 0,3 MPa o más, o de 0,5 MPa o más, o de 0,75 MPa o más, o de 1 MPa o más, o de 1,5 MPa o más. El módulo de compresión de la espuma es de 40 MPa o más, o de 50 MPa o más, o de 80 MPa o más, o de 100 MPa o más, o de 125 MPa o más. La resistencia a la compresión y el módulo de compresión se midieron según una tecnología y procedimientos estándar, ASTM D 1621.

EJEMPLOS

Ejemplo 1

5 La muestra 1 se preparó de acuerdo con lo siguiente:

contenido de plastisol:

<u>Componentes</u>	Contenido (peso%)
sPVC	15.1%
ePVC	30.8%
Anhídrido	10.0%
Isocianato (CDMDI/pMDI)	39.6%
Agente expansionante (AZDN/ADC)	4.4%
Adyuvantes de procedimiento (lubricantes)	0.1%

10 El PVC en este experimento comprendía dos PVC diferentes; sPVC es un PVC polimerizado en suspensión y ePVC es un PVC polimerizado por emulsión.

El anhídrido es preferentemente anhídrido dicarboxílico cíclico, por ejemplo, anhídrido ftálico o, preferentemente, una mezcla 70/30 de ciclohexano-1,2-anhídrido dicarboxílico y 4-metil-anhídrido hexahidroftálico que es líquido a

15 temperatura ambiente. El isocianato se basa preferentemente en versiones líquidas de difenilmetano-4,4'-diisocianatos (4,4'-MDI), por ejemplo, CDMDI (carbodiimida modificada 4,4'-MDI) y MDI polimérico (pMDI), puro o como mezcla. El lubricante es cera de hidrocarburo.

Unidad de inyección	
Temperatura de plastisol	20 °C
Zona de entrada	20 °C
Zona de alimentación	100 °C
Zona de compresión	120 °C
Zona de fusión	140 °C
Sección de reserva de fusión	165 °C
Punta de cilindro y del sistema de canal caliente	165 °C
Unidad de molde	
Temperatura de enfriamiento de molde	15 °C
Presión	
Presión de bomba	100 Bar
Contrapresión	110 Bar
Presión de la cavidad	200 Bar
Velocidad de medición*	200 mm/s
Velocidad de inyección	
Inicial (volumen inicial)	100 ccm/s
Media (volumen aparente)	250 ccm/s
Final (último 10%)	25 ccm/s
Profundidad de cavidad inicial de molde	1 mm

Los resultados se muestran en las figuras 15-16 y en la tabla 1.

Ejemplo 2

5 Ejemplos (ejemplos denotados como 1-14) que usan otras composiciones y configuraciones se dan a conocer en la figura 17. En dichos ejemplos, se han usado plastisoles que comprenden ePVC, sPVC, SAN y PMMA-co-PBMA.

En resumen, el procedimiento se realizó como se ha descrito anteriormente con las condiciones indicadas en la figura 17. Se usaron mezclas de polvos poliméricos de ePVC (5,8-30,8%) y SPVC (15,1-41,0%), o sPVC (34%), o PMMA-
10 co-PBMA (5,8-45,5%), o SAN (5,8-45,5%). También se usó anhídrido (4-11,9%), agente expansionante (2,5-4,4%), MDI (39,4-50,0%), lubricante (0,1%) y surfactante (0-0,5%).

Para cada muestra se determinó la densidad, la resistencia a la compresión, el módulo de compresión y el tamaño celular.

15

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir un embrión espumable que tiene un volumen V_{final} usando moldeo por inyección, que comprende las etapas de:
- 5
- proporcionar un plastisol;
 - proporcionar una unidad de inyección para el moldeo por inyección que comprende un cilindro con una boquilla y una unidad de control adaptada para controlar la contrapresión P_{back} en el interior del cilindro y para mantener dicha presión por encima de una presión de espumación crítica;
- 10
- proporcionar un molde que comprende un orificio de inyección, un medio que ejerce una fuerza, una primera y una segunda mitad de molde que forman una cavidad de molde con un volumen de cavidad, donde las mitades de molde pueden moverse una respecto de la otra para modificar el volumen de la cavidad, donde el molde se proporciona en un estado frío que tiene un volumen de cavidad de V_{min} y donde los medios de aplicación de fuerzas ejercen una fuerza de apriete mantenida y controlada F_{set} en la cavidad de molde creando una presión P_4 en el interior del molde;
- 15
- conectar el orificio de inyección del molde a la boquilla de la unidad de inyección;
 - añadir el plastisol a la unidad de inyección;
 - preparar un volumen de dosis V_{shot} de masa fundida caliente del plastisol en la unidad de inyección;
 - inyectar la masa fundida caliente en la cavidad de molde fría de volumen V_{min} ;
- 20
- seguir inyectando la masa fundida caliente en la cavidad de molde creando una presión de cavidad P_{cavity} igual a o mayor que la presión de apriete P_4 haciendo que el molde se expanda para que pueda recibir el volumen de dosis V_{shot} ;
 - dejar enfriar la masa fundida caliente inyectada con el fin de formar un embrión, mediante lo cual el volumen del embrión se contrae durante la fuerza de apriete mantenida controlada F_{set} dejando que la cavidad de molde se contraiga, reduciéndose el riesgo de que una caída de presión en la cavidad provoque espumación en el embrión formado; y
- 25
- abrir el molde y retirar el embrión moldeado inyectado formado.
2. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se mantiene la misma presión de apriete durante todo el proceso de moldeo por inyección o en el que se modifica la presión de apriete durante todo el proceso de moldeo por inyección.
- 30
3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el orificio de entrada o la boquilla comprende una válvula de cierre para permitir una presión de cavidad más alta que la contrapresión sin un reflujo de masa fundida caliente dentro de la unidad de inyección y para reducir al mínimo el riesgo de una caída de presión en el cilindro, donde la válvula de cierre se cierra preferentemente después de la inyección de V_{shot} .
- 35
4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que V_{min} corresponde a una profundidad de cavidad inicial mayor que 0,2 mm y menor que 4,2 mm, más preferentemente entre 0,5 mm y 2,0 mm y más preferentemente entre 0,9 mm y 1,4 mm.
- 40
5. Un producto moldeado por inyección obtenido preparando un embrión según la reivindicación 1 y exponiendo dicho embrión a expansión y reticulando dicho embrión utilizando calor y agua o vapor.
- 45
6. El producto según la reivindicación 5, en el que el plastisol comprende al menos uno de PVC, SAN, PS, PMMA, PC, CA, CAB, CAP, CTA, PET, PE, CPE o PA.
7. El producto según la reivindicación 5, en el que el plastisol comprende policloruro de vinilo, un anhídrido dicarboxílico, isocianato y un agente expansionante.
- 50
8. El producto según la reivindicación 6, en el que el plastisol es PVC y donde el producto tiene una relación de módulo de compresión y densidad de al menos 1,28 para productos con una densidad de 25-40 kg/m³, o de al menos 1,40 para productos con una densidad de 41-115 kg/m³, o de al menos 1,69 para productos con una densidad de 116-420 kg/m³.
- 55
9. El producto según la reivindicación 8, en el que la relación es de al menos 1,49 para productos con una densidad de 56-180 kg/m³.
10. El producto según cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9, en el que el tamaño celular es de 150 μ m o menos en un producto que tiene una densidad de hasta 115 kg/m³, o de 100 μ m o menos, preferentemente 80 μ m o menos, en un producto que tiene una densidad de hasta 400 kg/m³.
- 60

11. El producto según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el producto se obtiene de un plastisol que comprende PVC, anhídrido, agente expansionante e isocianato.
12. Un molde (341) para moldear por inyección un embrión usando una masa fundida de plastisol, que comprende una primera (343) y una segunda mitad (349) de molde que forman una cavidad de molde (347) con un volumen de cavidad, donde las mitades de molde pueden moverse una respecto de la otra para modificar el volumen de cavidad, un orificio de entrada (345) dispuesto en la primera mitad de molde capaz de entrar en contacto de sellado con una unidad de inyección (201), medios para enfriar el molde, medios de aplicación de fuerzas (348) adaptados para ejercer una fuerza de apriete mantenida controlada en dicho molde y medios para controlar la fuerza de apriete con el fin de dejar que el volumen de la cavidad aumente durante la inyección de masa fundida caliente que ejerce una fuerza sobre la segunda mitad de molde (349), donde la fuerza ejercida por la masa fundida caliente es mayor que la fuerza de apriete, empujando la segunda mitad de molde (349) lejos de la primera mitad de molde (343), y adaptados para dejar que la cavidad de molde (347) se contraiga durante el enfriamiento del embrión, reduciéndose el riesgo de que una caída de presión en la cavidad provoque una espumación prematura en el embrión formado.
13. Un aparato de moldeo por inyección que comprende una unidad de inyección (201) adecuada para el moldeo por inyección, que comprende una unidad de control (214) adaptada para controlar la contrapresión P_{back} dentro del cilindro y mantener dicha presión por encima de una presión de espumación crítica $P_{critical}$ y un molde (341) según la reivindicación 12.
14. El aparato de moldeo por inyección según la reivindicación 13, en el que la unidad de inyección (201) comprende un cilindro (211) con un diámetro interior (209), una abertura de entrada (207), un extremo cerrado (218) y un sello dinámico (216) dispuesto entre la abertura de entrada (207) y el extremo cerrado (218) del cilindro.
15. El aparato de moldeo por inyección según la reivindicación 13, en el que la unidad de control se comunica con los medios de aplicación de fuerzas (348) del molde (341) de modo que la fuerza de inyección sea mayor que la fuerza de apriete del molde (341).

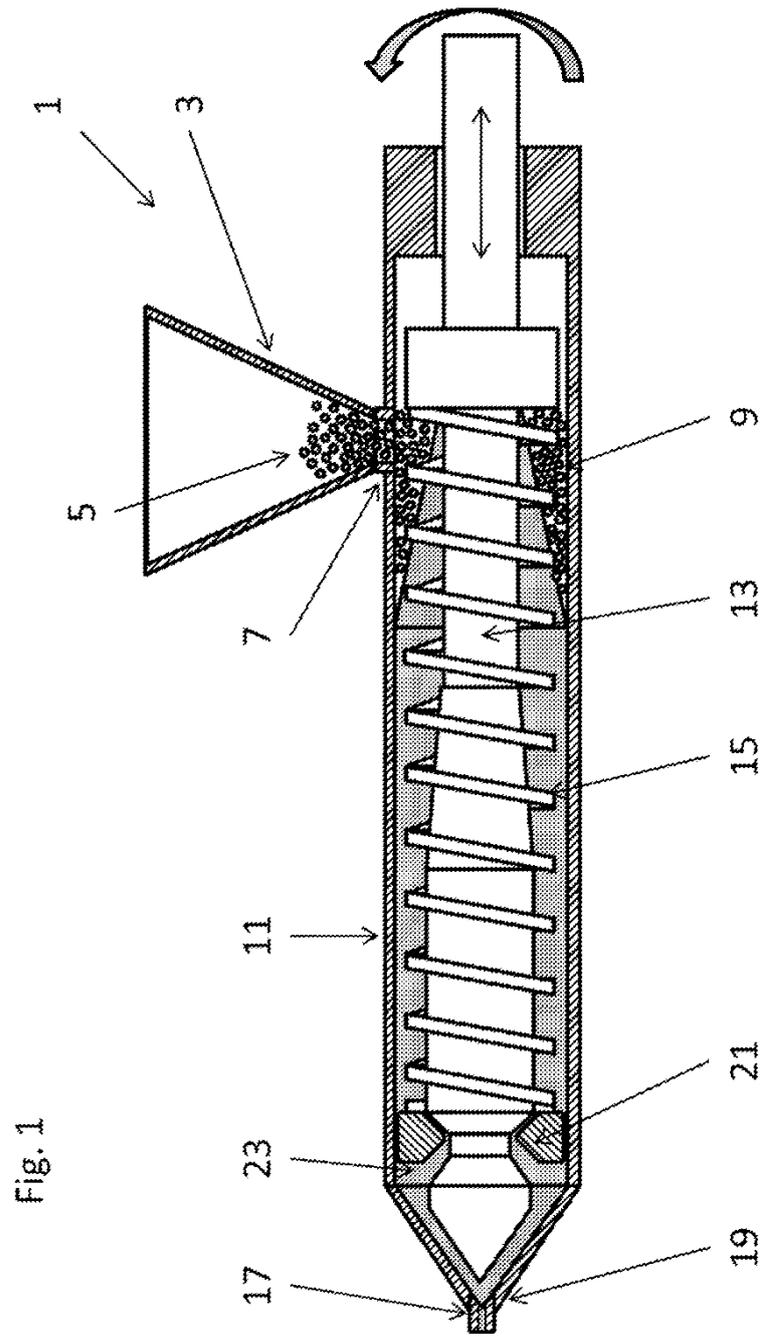
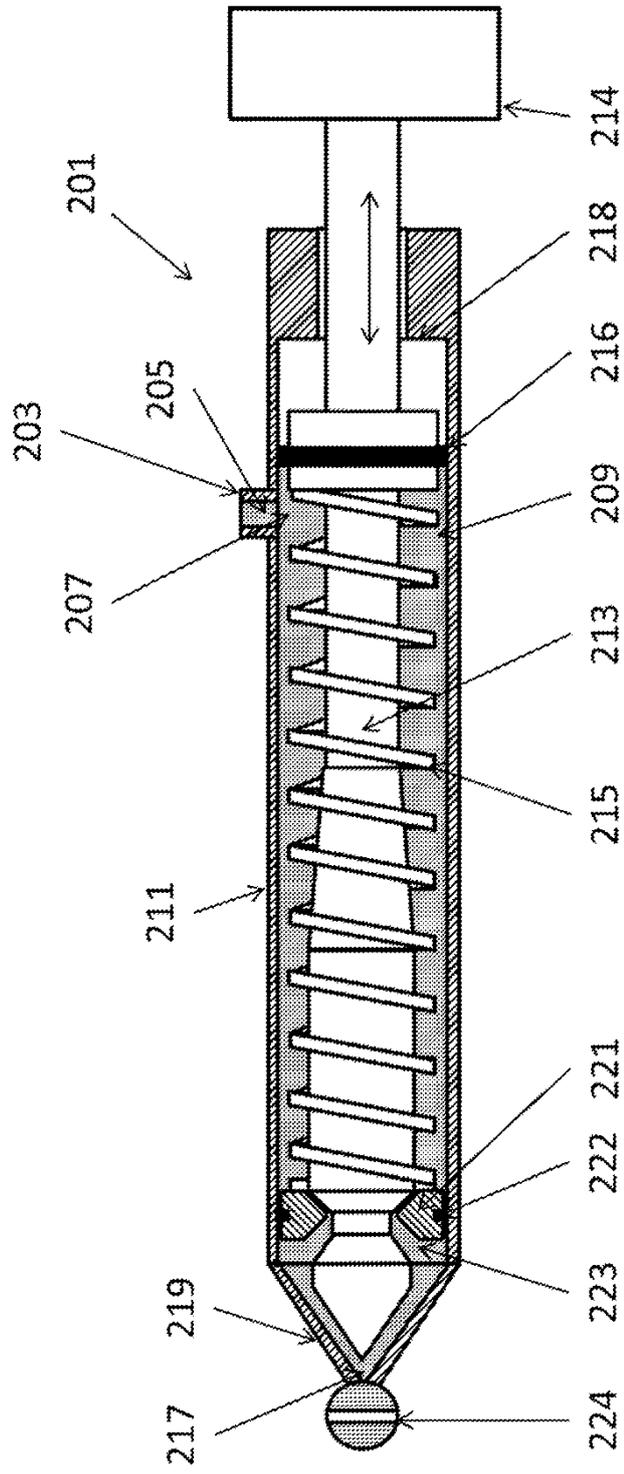


Fig. 1

Fig. 2



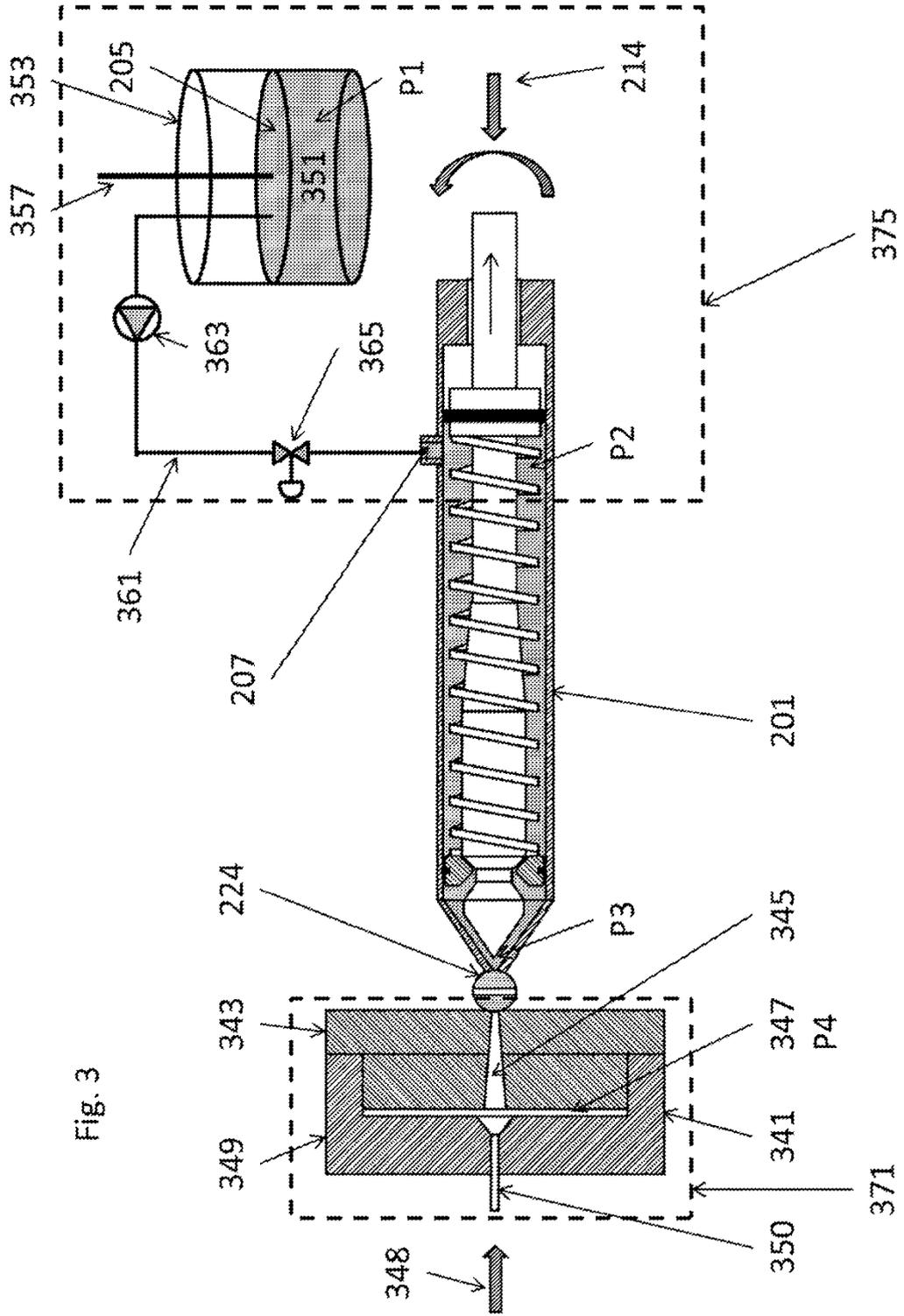


Fig. 3

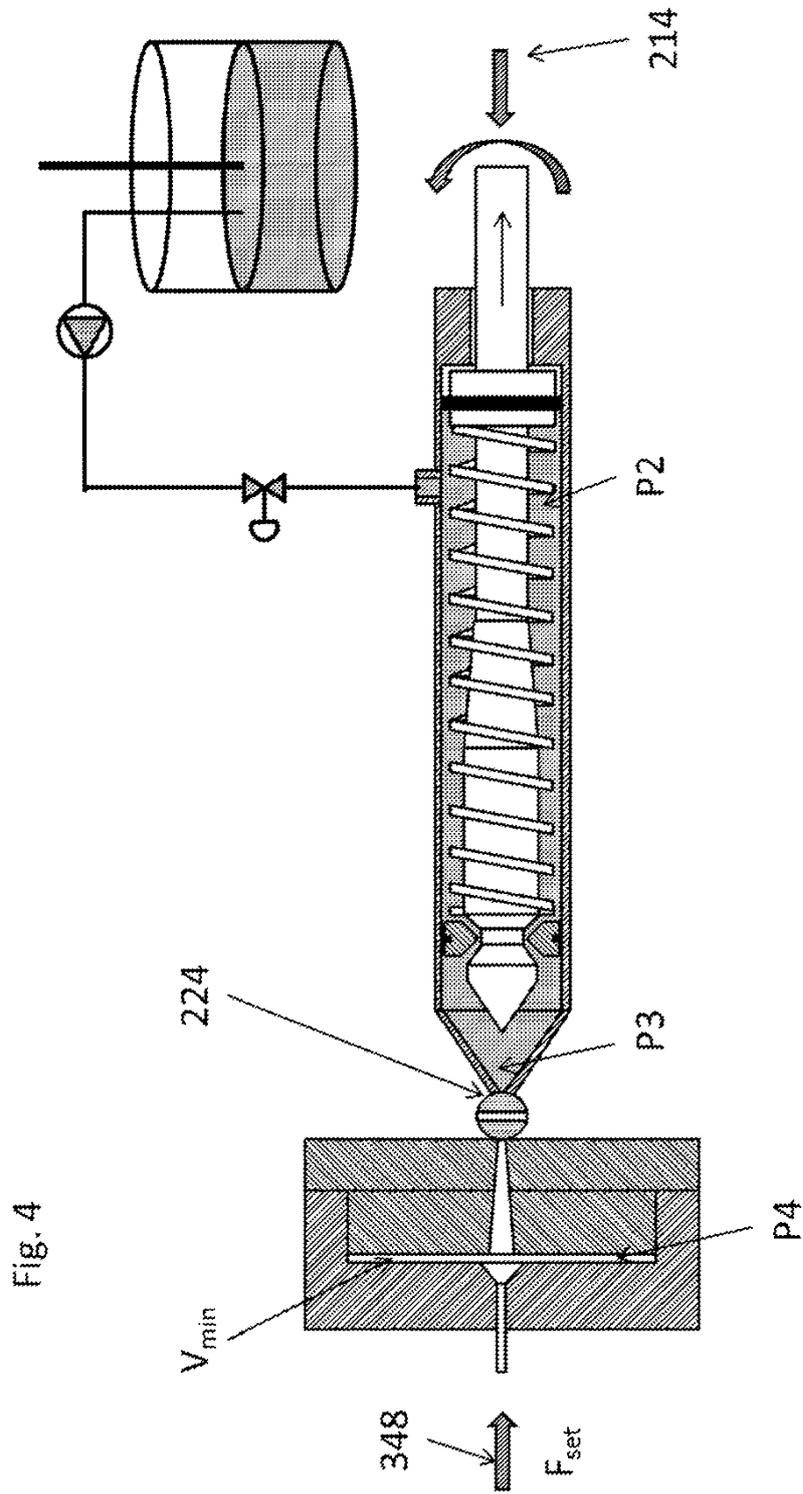


Fig. 4

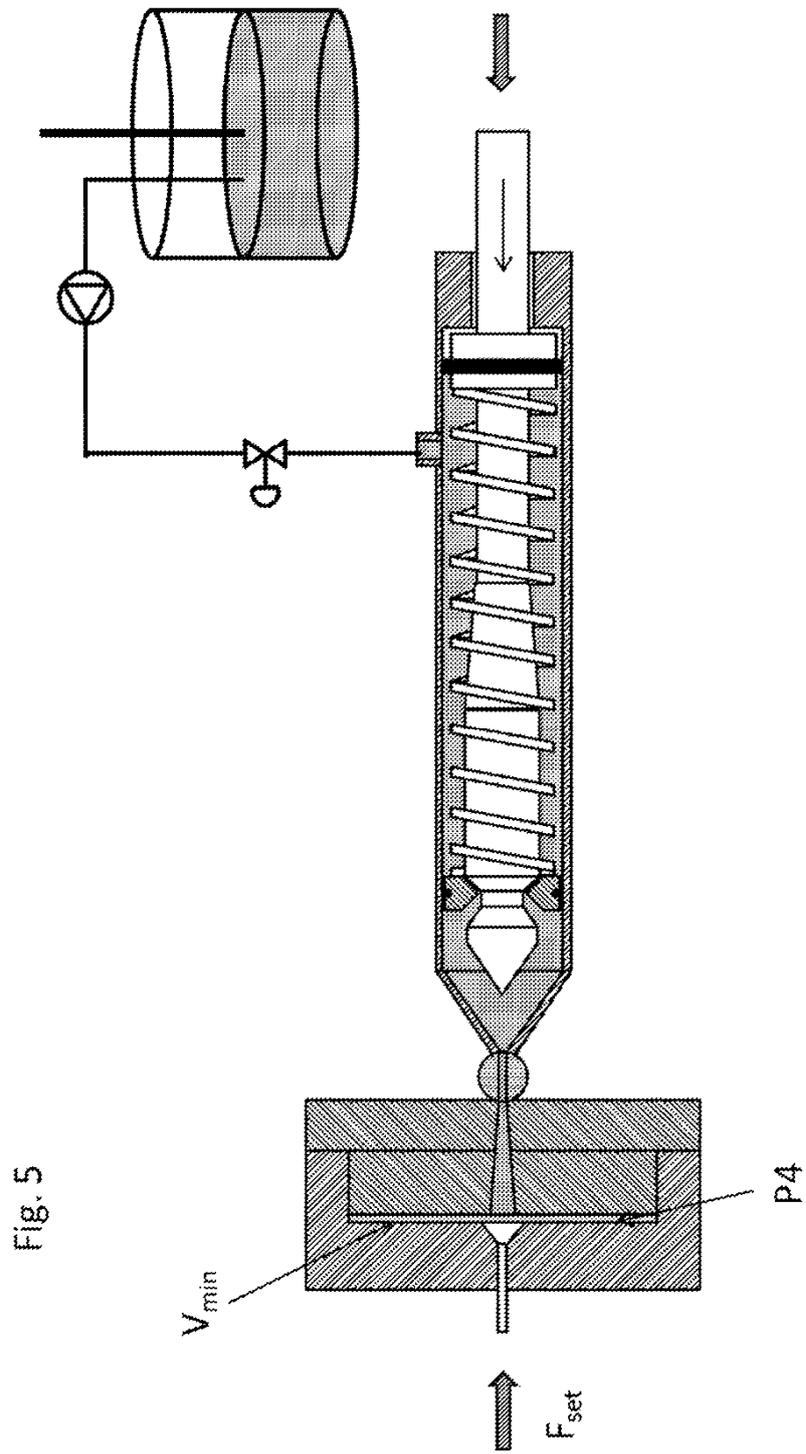


Fig. 5

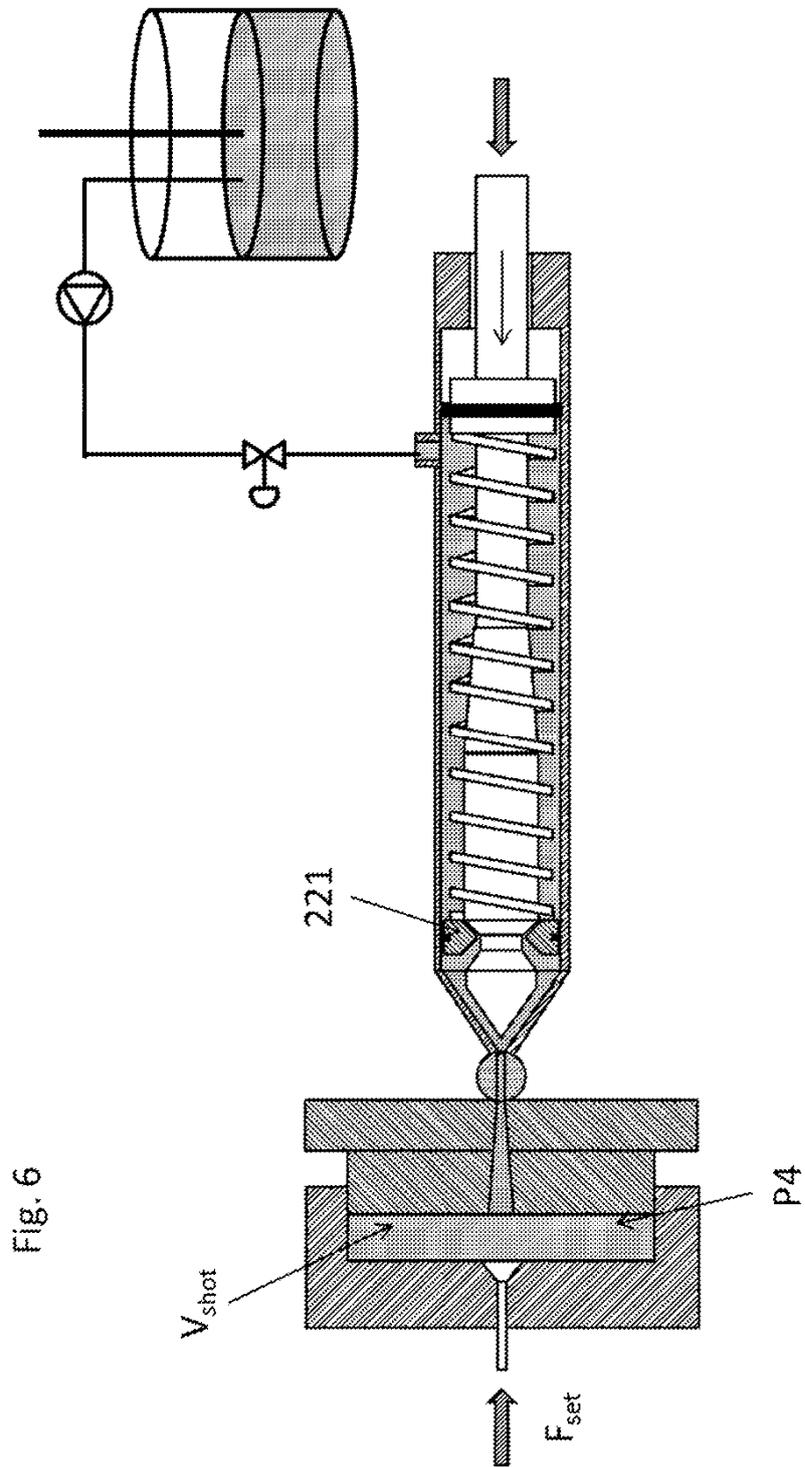


Fig. 6

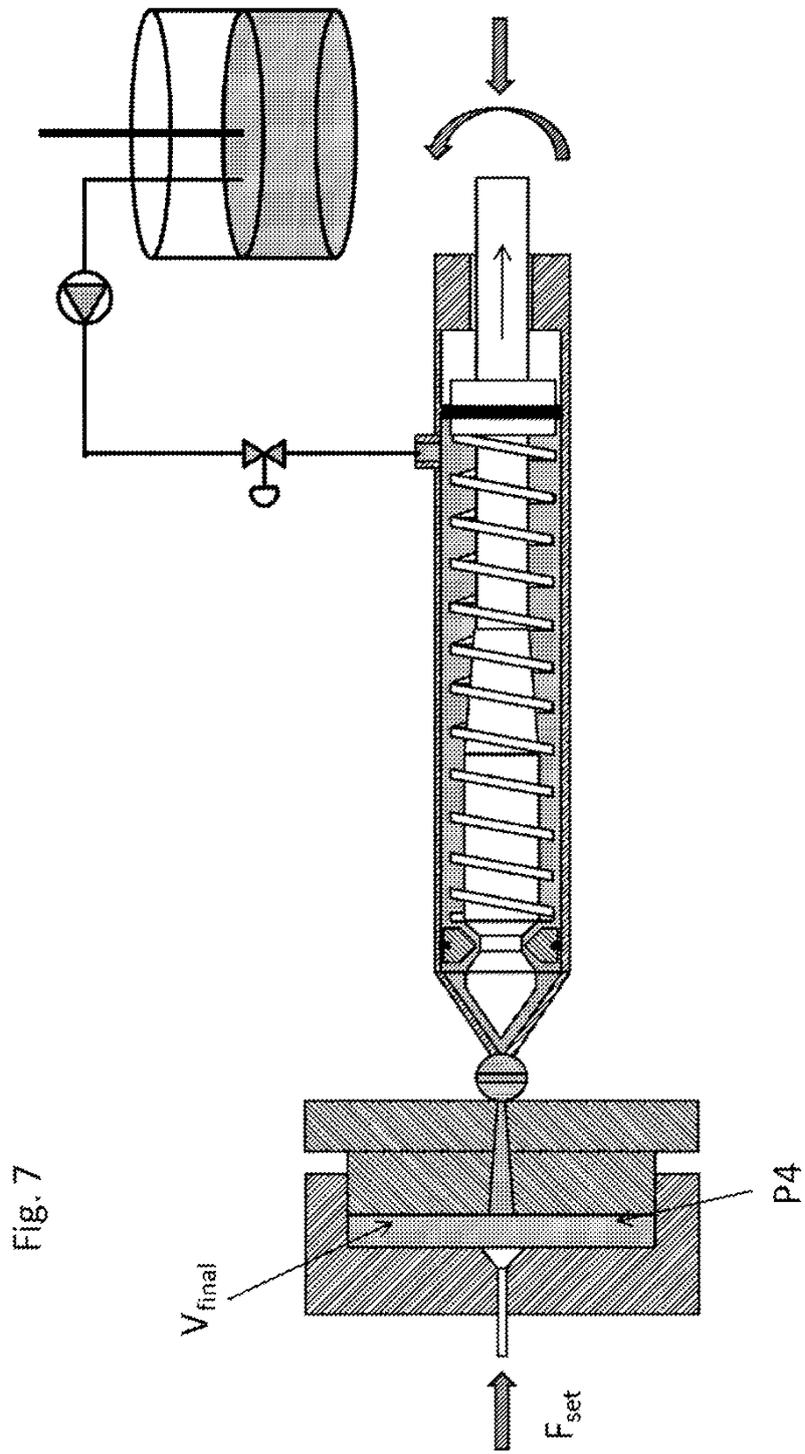


Fig. 7

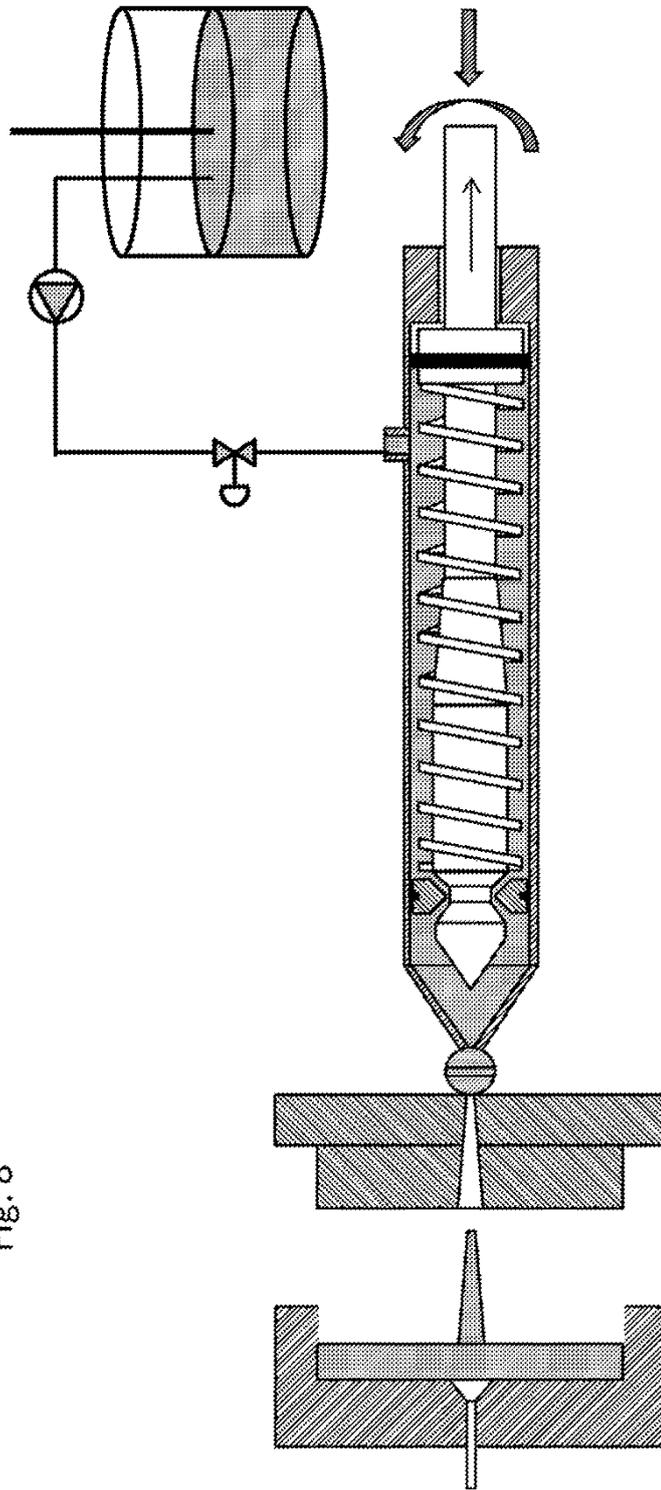


Fig. 8

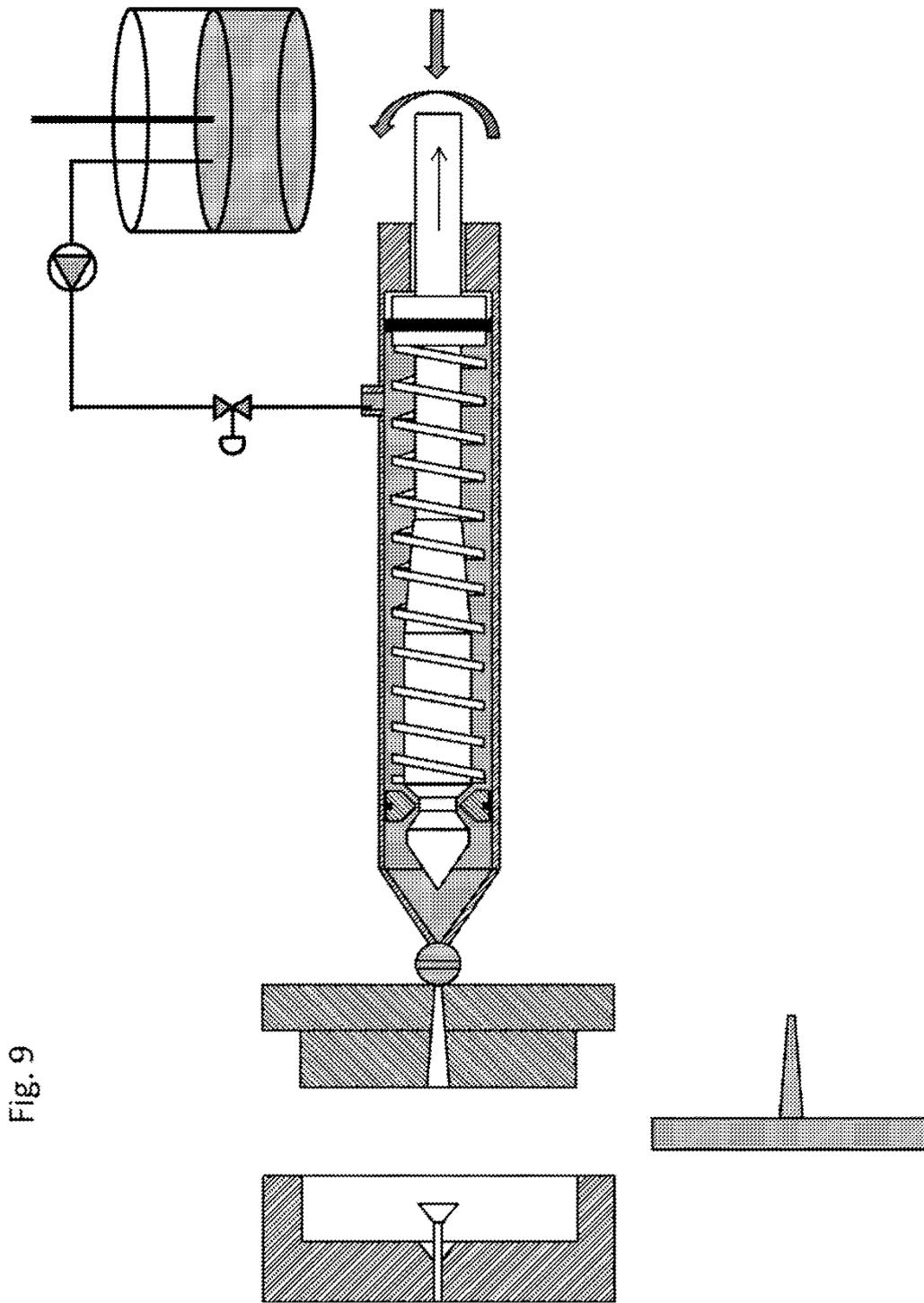


Fig. 9

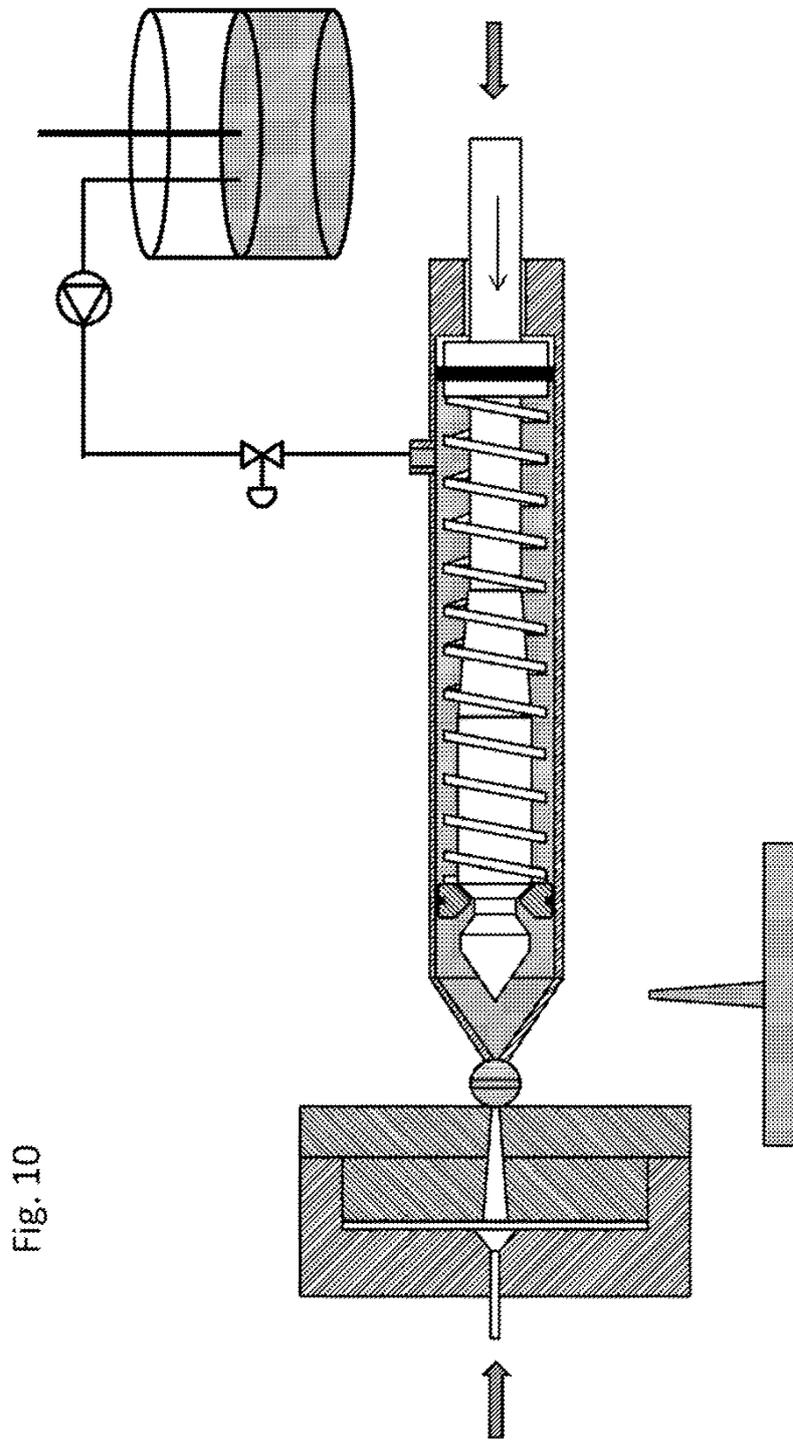
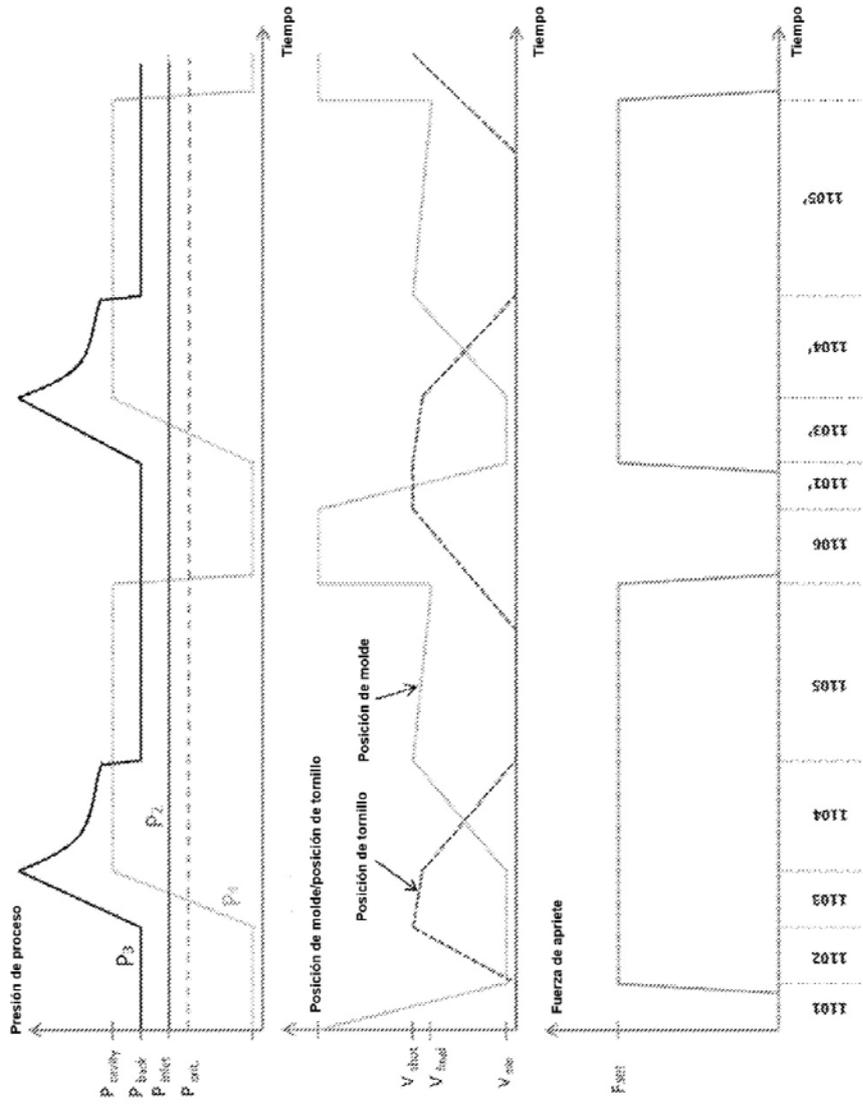


Fig. 10

Fig. 11



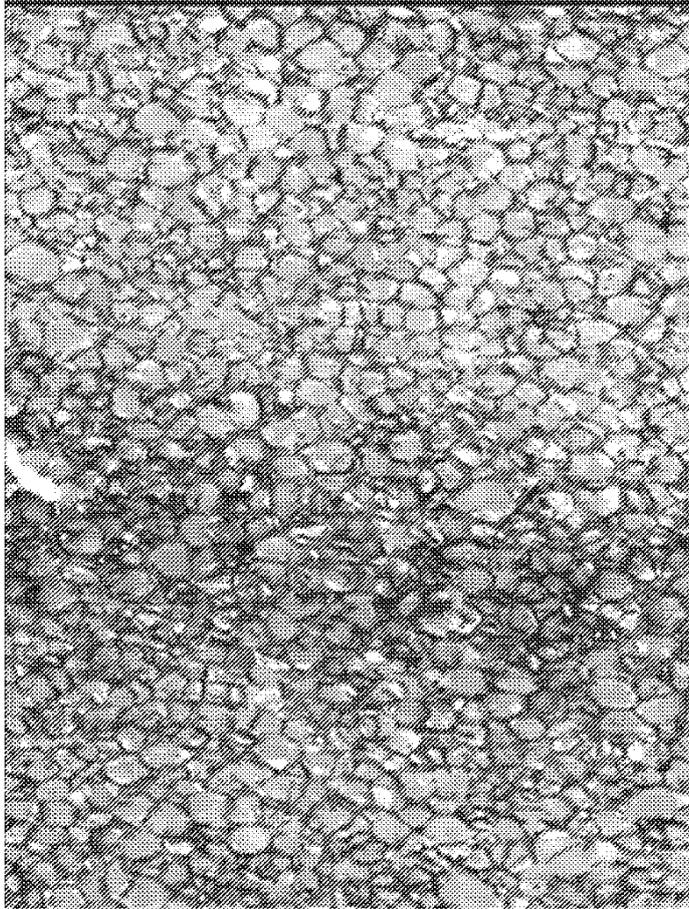


Fig. 12

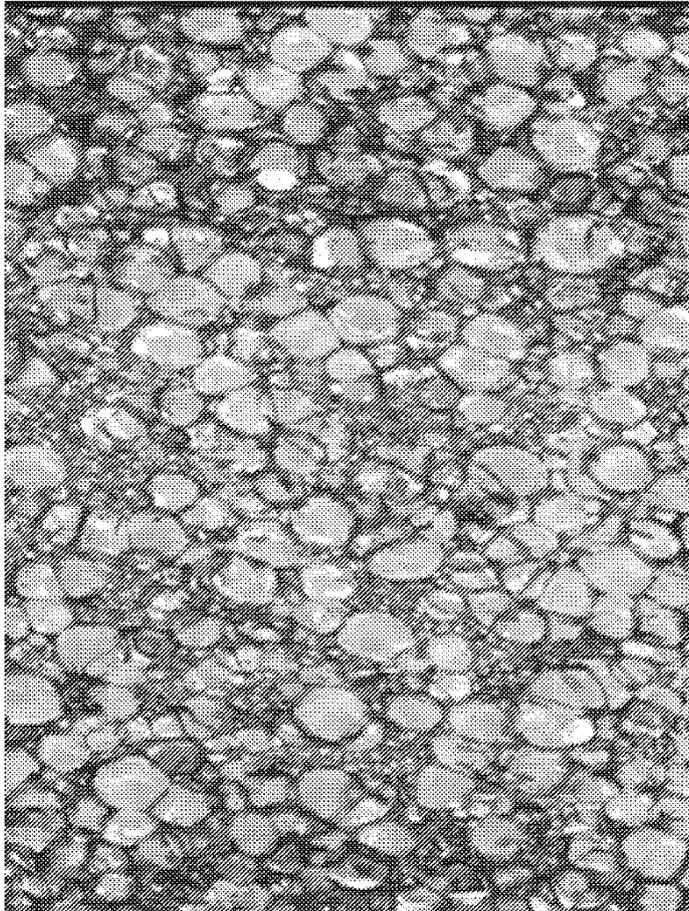


Fig. 13

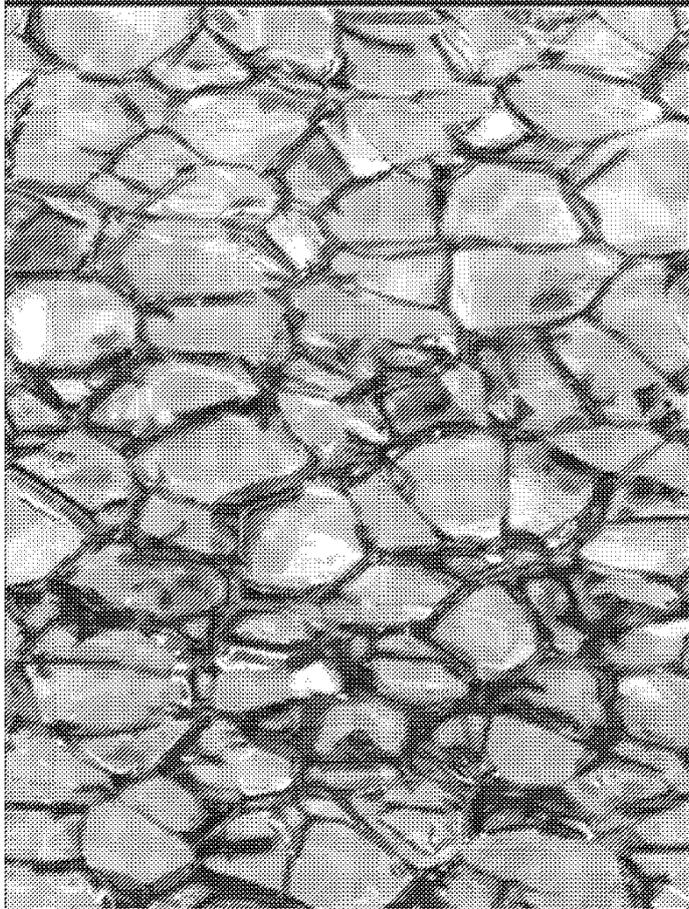


Fig. 14

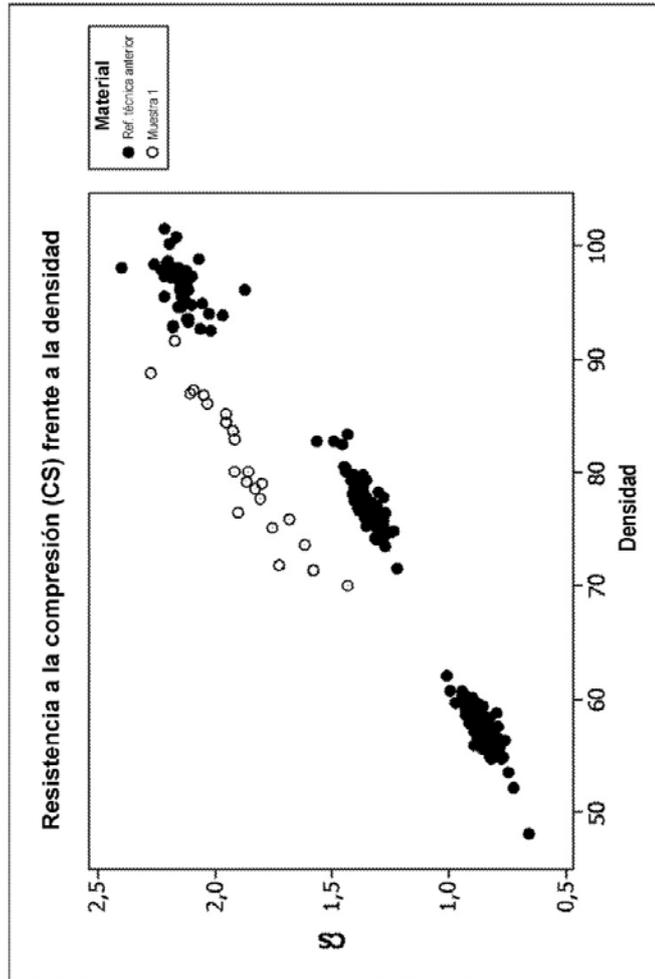


Fig. 15

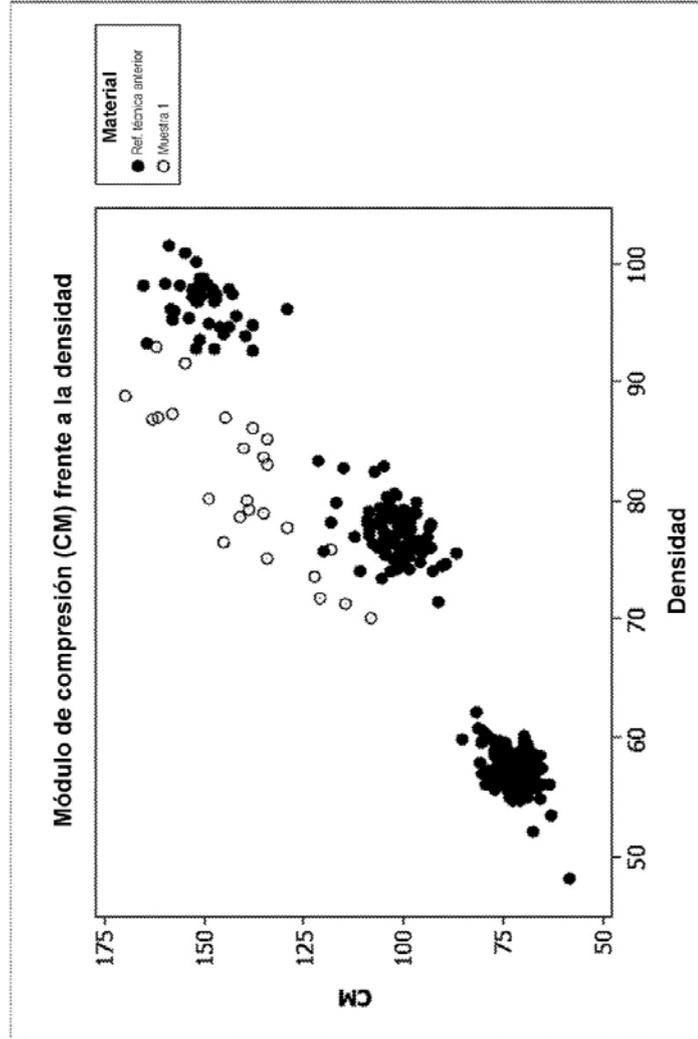


Fig. 16

Fig. 17.

Formulación	Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3	Ejemplo 4	Ejemplo 5	Ejemplo 6	Ejemplo 7	Ejemplo 8	Ejemplo 9	Ejemplo 10	Ejemplo 11	Ejemplo 12	Ejemplo 13	Ejemplo 14
ePVC	30,8%	30,8%	30,8%	30,8%	8,1%	8,2%	5,8%	5,8%	5,8%	5,8%	5,8%	5,8%	5,8%	5,8%
APVC	15,1%	15,1%	15,1%	15,1%	35,6%	35,9%	34,2%	34,2%	34,2%	41,0%	41,0%	34,0%	34,0%	34,0%
Anhidrido dicarboxílico	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	11,9%	11,9%	6,0%	6,0%	6,0%	4,0%	4,0%	6,0%	6,0%	6,0%
Agente de expansión	4,4%	4,4%	4,4%	4,4%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	2,8%	2,8%	3,6%	3,6%	2,5%
MDI	39,6%	39,6%	39,6%	39,6%	39,4%	39,8%	49,8%	49,8%	49,8%	42,6%	42,6%	50,0%	50,0%	45,4%
Lubricante	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Surfactante	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Copolímero PHM/APBMA (resina acrílica)														
Resina SAN	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Ajustes de máquina														
Volumen de dosis	600	350	350	250	300	300	300	270	270	270	270	270	270	270
Temperatura de cilindro (°C)	160	170	170	160	160	160	160	163	163	160	160	160	160	160
Tempo de enfriamiento (s)	960	360	360	200	360	360	360	300	300	360	360	300	300	300
Contrapresión (bar)	110	150	150	100	125	125	125	150->125	150->125	150->125	125	125	125	125
"Presión de pausa" (bar)	110	150	150	100	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Presión de cavidad (bar)	300	150	300	200	125	125	125	150	200	200	125	200	200	200
Ajustes de expansión														
Temp. de secado		98	98	98	92	92	94	92	92	92	92	85	70	85
Tempo de secado		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temp. de humedad		88	91	91	88	85	87	81	81	81	85	75	65	75
Tempo de humedad		1	1	1	2	2	3,5	2	2	2	5	2	2	2
Prueba de compresión y estructura celular														
Densidad (kg/m ³)	84,7	65,7	80,1	111,0	67,0	55,05	61,6	67,3	59,9	83,3	192,3	61,5	56,1	72,0
Compr. Resistencia (Mpa)	2,16	1,37	1,85	2,72	1,30	0,90	1,24	1,24	1,15	1,83	5,28	1,21	0,99	1,46
Compr. Módulo (Mpa)	184,7	114,2	149,0	207,4	88,4	64,7	111,9	107,7	95,6	140,6	359,0	96,3	86,0	118,0
Rel. Compr. Resistencia (Mpa/kg/m ³)	0,026	0,021	0,023	0,024	0,019	0,016	0,020	0,018	0,019	0,022	0,027	0,020	0,018	0,020
Rel. Módulo de compr. (Mpa/kg/m ³)	2,18	1,74	1,86	1,87	1,34	1,17	1,82	1,60	1,60	1,69	1,87	1,57	1,53	1,64
Tamaño celular	0,066	0,125	0,085	<0,05	0,213	0,154	0,305	0,501	0,0913	0,0739	0,163	0,113	0,148	0,095
								0,118						0,102
								Bi-modal						