

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 957**

51 Int. Cl.:

**B65H 18/04** (2006.01)

**B65H 18/28** (2006.01)

**B65H 19/22** (2006.01)

**B65H 75/24** (2006.01)

**B65H 19/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2013 E 13184263 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 2711320**

54 Título: **Procedimiento y aparato para la producción de rollos de papel sin núcleo**

30 Prioridad:

**21.09.2012 US 201213623959**

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

**03.12.2019**

73 Titular/es:

**PAPER CONVERTING MACHINE COMPANY  
ITALIA S.P.A. (100.0%)  
Via W.A. Chapman, 1  
55051 Fornaci di Barga Lucca, IT**

72 Inventor/es:

**TECHLIN, MICHAEL E.**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 733 957 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**

Procedimiento y aparato para la producción de rollos de papel sin núcleo

5 Antecedentes

La presente invención se refiere a rollos de papel enrollado de forma convolutiva, tal como el papel higiénico y el papel de cocina (también llamado toalla de papel doméstico). Más en particular, la invención se refiere a un rollo de dicho papel sin núcleo.

10 Es muy conocido en la técnica que los rollos de papel enrollado de forma convolutiva se forman generalmente en una máquina conocida como rebobinadora. Se usa una rebobinadora para convertir rollos grandes de papel originales en pequeños rollos de papel higiénico, papel de cocina, toallas de tela dura, productos industriales y similares. Una línea de rebobinado consiste en uno o más desenrollados, módulos para el acabado del papel (por ejemplo, estampado, impresión, perforación), y una rebobinadora en el extremo para enrollar el papel en un rollo largo, comúnmente conocido como bobina. Por lo general, la rebobinadora produce bobinas de aproximadamente 90 a 180 mm de diámetro para el papel higiénico y el papel de cocina y de aproximadamente 100 a 350 mm de diámetro para la toalla de tela dura y los productos industriales. La longitud de la bobina suele ser de 1,5 a 5,4 m, dependiendo del ancho del rollo original. Las bobinas tienen una longitud de más de 90 a 115 mm para el papel higiénico y de 200 a 300 mm para el papel de cocina y la toalla de tela dura.

25 Tradicionalmente, estos tipos de productos de papel se producen y suministran al usuario final con un núcleo de cartón en el centro. Sin embargo, tal como demuestran numerosas patentes sobre el tema, existe un interés apremiante en lograr una buena forma de producir y suministrar estos productos sin núcleos. Las razones generalmente incluyen una mayor eficacia potencial y un menor uso de materiales. En el caso de productos de tracción central, el núcleo debe desecharse antes incluso de que el producto sea utilizado.

30 Recientemente, la Unión Europea ha emitido una directiva que establece que los núcleos de cartón dentro de los productos de papel tisú deben considerarse parte del embalaje. Por lo tanto, están sujetos a un impuesto proporcional a su peso. Este es un programa gubernamental para incentivar el uso de menos materiales de embalaje. Los convertidores que puedan suministrar productos sin núcleo obtendrán una ventaja competitiva.

35 No obstante, a pesar de su atractivo, los productos sin núcleo siguen siendo solo un nicho de mercado. La adopción más amplia se ha estancado debido a las limitaciones de la producción sin núcleo, principalmente la ineficacia general de las rebobinadoras sin núcleo actuales.

De manera ideal, se desea en el mercado un sistema de producción sin núcleo con los siguientes atributos:

- 40 • Que pueda producir tanto rollos de baja firmeza como de alta firmeza, es decir, que tenga una gran ventana operativa.
- Que tenga costes de capital y requisitos de espacio similares a los de las máquinas que funcionan con núcleos.
- Que tenga costes operativos (consumibles y mantenimiento) similares a los de las máquinas que funcionan con núcleos.
- 45 • Que requiera una formación y un nivel de destreza por parte del operador similares a los de las máquinas que funcionan con núcleos.
- Que pueda funcionar de manera fiable a alta velocidad de banda y frecuencia de ciclo.
- Que pueda cambiar rápida y fácilmente entre la producción con núcleo y la producción sin núcleo.

50 Descripción de la técnica anterior

Las patentes de Estados Unidos n.º 5.660.349, n.º 5.725.176 y n.º 6.270.034 describen devanadoras de torreta, también denominadas devanadoras de centro, que están destinadas a la producción de productos de papel tisú sin núcleo. Las devanadoras de torreta tienen los mismos inconvenientes tanto en la producción sin núcleo como en la producción con núcleo. No pueden producir productos muy firmes porque su único control es la tensión de banda entrante. Una mayor tensión de banda hará que la bobina sea más firme, pero también se correlaciona con roturas de banda más frecuentes debido a reventones de las perforaciones o a rasgaduras por defectos a lo largo de los bordes de la banda. Además, no pueden funcionar a altas velocidades debido a la estrechez del mandril dentro de la bobina, lo que provoca una vibración excesiva. Por último, no pueden ejecutar altas velocidades de ciclo debido al tiempo requerido en el ciclo para indexar la torreta, desacelerar la bobina y luego retirar la bobina del mandril.

60 Además, las devanadoras de torreta de ancho significativo deben usar mandriles rígidos para soportar la bobina de devanado. Por lo tanto, están sujetas a las mismas limitaciones que las devanadoras de superficie que utilizan mandriles rígidos y tienen una ventana operativa relativamente estrecha: las bobinas enrolladas fuertemente (alta firmeza) no pueden desprenderse del mandril debido a la resistencia inducida por la alta presión entre las capas y las bobinas enrolladas demasiado flojas (baja firmeza) pueden plegarse o arrugarse cuando se intenta desprender la

bobina. El plegado se produce cuando las vueltas externas de papel en la bobina se mueven axialmente en relación con las vueltas internas de papel, que pueden incluso permanecer estacionarias en el mandril. El arrugamiento se produce cuando la bobina se libera solo localmente y se colapsa como un acordeón.

5 Las patentes de Estados Unidos n.º 5.538.199, n.º US 5.542.622, n.º US 5.603.467, n.º US 5.639.046, n.º US 5.690.296 y n.º US 5.839.680 describen un sistema para producir rollos sólidos. Las patentes de Estados Unidos n.º 5.402.960 y n.º US 5.505.402 describen otro sistema para producir rollos sólidos. Aunque estos sistemas logran el objetivo de no tener núcleo, los productos tampoco tienen orificio y, por lo tanto, no se pueden utilizar con los dispensadores universales y casi generalizados que requieren un orificio para que el eje pase a través del mismo.

10 La patente de Estados Unidos n.º 7.992.818 describe un sistema para producir rollos sólidos con una capa de material de separación en el bobinado de modo que el núcleo interno pueda ser expulsado axialmente del rollo, formando un orificio en el producto terminado. Aunque este sistema logra el objetivo de no tener núcleo, tiene poco ahorro de material debido al material de separación, el pegamento para unir el material de separación y el probable desperdicio del núcleo. Además, este enfoque no resuelve el problema de la estrecha gama de productos. El núcleo no puede ser empujado hacia afuera de los rollos enrollados sin apretar porque los rollos se pliegan con dureza en su lugar. Y el núcleo no puede ser expulsado de los rollos fuertemente enrollados debido a que su resistencia, inducida por la alta presión entre capas, es demasiado grande.

20 La patente n.º IT 1.201.390 y las patentes de Estados Unidos n.º 5.421.536, n.º 5.497.959 y n.º 6.056.229 describen devanadoras de superficie con mandriles de recirculación, es decir, los mandriles se retiran de los rollos para producir un producto sin núcleo, y los mandriles se reutilizan. En cada caso, los mandriles tienen forma cilíndrica y se extienden a lo largo del ancho de la banda. La patente de Estados Unidos n.º 5.421.536 divulga el uso de material extensible para el mandril desde la columna 4, línea 65, hasta la columna 5, línea 7:

25 "La invención también es ventajosa porque se puede usar un material extensible tal como caucho, plástico y similares como material para la construcción del mandril 15 a fin de facilitar el desprendimiento del rodillo. Mediante el uso de un material extensible, la elongación longitudinal provocada por las fuerzas de desprendimiento se acompaña de una reducción del radio. La relación de los dos depende del coeficiente de Poisson. En cualquier caso, el agarre por compresión de la bobina enrollada de manera convolutiva sobre el mandril se reduce y supera con éxito por la fuerza de desprendimiento en combinación con la elongación y la reducción del radio".

30 Las patentes de Estados Unidos n.º 1.986.680 y n.º 6.565.033 describen máquinas con mandriles de devanado divididos. Los mandriles se dividen en dos partes con la mitad extraída de cada extremo de la bobina a fin de reducir la fuerza necesaria para realizar la extracción de bobinas fuertemente enrolladas. El documento US 1.986.680 tiene la ventaja de que el mandril aprieta la banda en el momento de la transferencia y no requiere pegamento de transferencia ni vacío. Sin embargo, su diseño cónico dividido requiere que la máquina triplice el ancho de la banda y, debido a que solo tiene un juego de mandriles, puede funcionar únicamente en modo de arranque y parada.

35 Las patentes de Estados Unidos n.º 5.660.349, n.º 6.270.034, n.º 5.497.959 y n.º 6.595.458 describen el uso de vacío junto con mandriles que tienen cubiertas perforadas para transferir la banda en rebobinadoras de movimiento continuo. Esto elimina la necesidad de pegamento de transferencia y las complicaciones concomitantes que presenta el pegamento para el desprendimiento de productos sin núcleo. La mayor dificultad en el uso de vacío es la porosidad de la banda de papel tisú, que permite que un gran volumen de aire fluya a través de la misma. El flujo de aire está limitado por el diámetro interior del mandril y su longitud. El uso de mandriles de vacío a una velocidad de producción razonable está limitado a mandriles de gran diámetro y productos con un tamaño de orificio de gran diámetro, generalmente más de 48 mm, y anchos de banda estrechos, generalmente menos de 2,6 m. El vacío también es una mala solución cuando actúa directamente sobre las bandas de papel tisú, ya que se infiltra en el sistema y deteriora el rendimiento con el tiempo. La limpieza del sistema es laboriosa y requiere un tiempo de inactividad de la máquina considerable.

40 La patente de Estados Unidos n.º 6.752.345 describe una devanadora de superficie con el diseño de división de mandril del documento US 6.565.033 que tiene, adicionalmente, arandelas de mandril. En la columna 2, líneas 26-42 se explican varios medios para transferir la banda a los mandriles sin utilizar pegamento de alta adherencia, que normalmente se usa en los núcleos. Estos medios se utilizan debido a que el pegamento de alta adherencia dificulta la extracción del mandril de la bobina. En la columna 2, líneas 43-48 se explica que estos medios simplemente no son lo suficientemente fiables para funcionar a alta velocidad. La columna 3, líneas 23-34 enseña que el propósito de las arandelas es limpiar los residuos de adhesivo y papel como parte del procedimiento de recirculación, haciendo factible el uso de pegamento de transferencia de alta adherencia, permitiendo la conversión a alta velocidad.

45 El enfoque descrito en el documento US 6.752.345 aborda varios problemas importantes con la producción sin núcleo. Sin embargo, el uso de mandriles divididos aumenta la complejidad de la máquina, el coste y el espacio requerido, en relación con el funcionamiento con núcleos. Los diversos mecanismos adicionales también reducen la visibilidad dentro de la máquina y dificultan la accesibilidad para fines de operación y mantenimiento. Las arandelas de mandril también aumentan el coste, la complejidad de la máquina, el espacio requerido, en relación con el funcionamiento con núcleos. Por último, las declaraciones en la columna 3, líneas 24-26 de que la disposición de

lavado permite "eliminar de la superficie de los mandriles cualquier residuo de papel u otro material que pueda seguir adhiriéndose al mandril después de la extracción" y en las líneas 43-45, de que "en ausencia de un sistema de lavado, los residuos se acumularían en los mandriles extraíbles", sugieren que el sistema permite que se produzcan desgarros y otros daños dentro de la bobina durante la extracción del mandril.

La publicación de patente de Estados Unidos n.º 2009 0272835 A1 describe dispositivos mecánicos de plegado de banda que se pueden usar en lugar de pegamento para transferir la banda. El párrafo 0011 menciona su adaptabilidad a la producción de rollos sin núcleo. Si bien los dispositivos pueden eliminar la necesidad de pegamento de transferencia y arandelas de mandril, la utilidad y la eficiencia del sistema se reducen considerablemente.

Las rebobinadoras sin núcleo del estado de la técnica utilizan mandriles relativamente rígidos. La descripción de la rigidez se aplica tanto a la dirección radial como a lo largo del eje longitudinal. Esta descripción de la rigidez se refiere a los típicos núcleos de cartón que se utilizan en las rebobinadoras para producir rollos con núcleos. Aunque estos núcleos pueden variar desde núcleos de una sola capa de gran conformidad hasta núcleos muy rígidos con tres, cuatro o cinco capas, todos son mucho menos rígidos que los mandriles hechos de aleaciones metálicas (aluminio, titanio, acero, etc.) o compuestos de polímero reforzados con fibra (con fibras de aramida, fibras de carbono, etc.). Los mandriles de bobinado hechos de estos materiales de alto módulo son relativamente rígidos. Los mandriles están contruidos con varias combinaciones de estos materiales de alto módulo y alta resistencia porque deben ser muy robustos para soportar las altas fuerzas a las que se ven sometidos durante los repetidos casos de extracción de las bobinas sin sufrir daños.

Los diseñadores de máquinas tienen que hacer ajustes para la alta rigidez radial de los mandriles rígidos cuando diseñan rebobinadoras sin núcleo. Esto se puede lograr con una cuna oscilante, tal como se enseña en el documento US 5.769.352 (columna 2, líneas 2-12), una cuna deformable como se enseña en el mismo documento (columna 5, líneas 42-48), o superficies conformes, como se enseña en el documento US 6.056.229 (columna 5, líneas 50-52 y columna 6, líneas 1-5). Sin embargo, los alojamientos oscilantes, deformables y conformes no están predispuestos para funcionar a alta velocidad sin desgastes y fallos prematuros.

De manera alternativa, los mandriles de alta rigidez radial pueden usarse con una cuna rígida, como se muestra en la Figura 1 (artículo 11) del documento US 5.769.352. Esto requiere mandriles de precisión, una configuración precisa del espacio entre los elementos de la cuna y el rodillo superior, y un espacio que sea precisamente uniforme en todo el ancho de la máquina. Estos requisitos tienden a aumentar el coste de la máquina, el coste de las piezas y el nivel de destreza del operador que es necesario.

Las patentes n.º IT 1.201.390 y las patentes de Estados Unidos n.º 6.565.033, n.º 6.752.345, n.º 5.421.536 y n.º 6.056.229 muestran extractores de mandril y arrancadores de bobina que son típicos de las rebobinadoras sin núcleo. En todos los casos, la bobina está soportada por un canal, debajo, y restringida en la dirección axial únicamente por una placa contra su cara de extremo cuando se extrae el mandril o se empuja la bobina. Además, en todos los casos, el actuador que mueve la bobina o el mandril se desplaza lateralmente de la línea central del mandril, por lo que las grandes fuerzas de extracción/tracción producen grandes cargas de momento en las guías para el cierre que tira del mandril o la paleta que empuja la bobina. Se requieren formas sustanciales de bastidores, corchetes y guías para contrarrestar este momento, lo que aumenta el coste y el espacio requerido, y reduce la velocidad a la que operan. Y es una queja frecuente que las formas de guía se desgastan prematuramente.

La publicación de patente de Estados Unidos n.º 2006 0214047 es un ejemplo de un mandril expansible mecánicamente que puede usarse para el devanado de productos sin núcleo. Es característico de los mandriles expansibles, en el sentido de que es un complejo conjunto compuesto por muchas partes complejas, y las partes en expansión que entran en contacto con el interior del producto constituyen esencialmente una cubierta alrededor de los elementos dentro del mandril que soportan las cargas axiales y de flexión.

La publicación de patente de Estados Unidos n.º 2007 0152094 es un ejemplo de un mandril inflable de forma fluida que puede usarse para devanar productos sin núcleo. Es característico de los mandriles inflables de forma fluida en el sentido de que la porción inflada que entra en contacto con el interior del producto es o bien una piel envuelta alrededor de la misma o bien un neumático colocado sobre los elementos dentro del mandril que soportan las cargas axiales y de flexión. El documento WO 2010 026604 A1 describe además un ejemplo de devanado de productos sin núcleo con un mandril.

La patente de Estados Unidos n.º 2.520.826 describe núcleos de devanado de presurización y los medios para hacerlo. Su objetivo es aumentar temporalmente la rigidez radial de los núcleos, para que no sean aplastados por los rodillos de jaula, que pueden aplicar a una alta fuerza de apriete. No se menciona la retirada del núcleo ni la producción de productos sin núcleo.

Las patentes de Estados Unidos n.º 2.066.659, n.º 2.466.974, n.º 2.647.701, n.º 2.749.133, n.º 3.007.652, n.º 3.097.808, n.º 3.791.659, n.º 4.516.786 y n.º 7.942.363 describen varias pinzas de sujeción que pueden usarse para sujetar los extremos de tubos huecos. Son características de su campo técnico en el sentido de que se expanden

dentro del tubo para fijarlo. En todos los diseños está implícito el supuesto de que el tubo se comporta de manera relativamente rígida, y por lo tanto no se deforma bajo las cargas de trabajo.

5 El documento US 2011/266386 A1 describe una rebobinadora automática rápida para películas de embalaje sin eje que incluye un cuerpo, una caja de alimentación para contener ejes inflados, un paso de guía formado en la caja de alimentación, un par de discos giratorios, cuatro pares de cabezales de apriete, un bastidor de soporte para sostener un rollo grande de película de embalaje, varias ruedas de guía y una rueda de prensado para prensar y mover la película de embalaje de un rollo grande, una unidad de corte de dientes de sierra y una unidad de recolección y 10 varios ejes inflables, en la que, durante el funcionamiento, los cuatro pares de pasadores de apriete que rotan con los discos rotativos son movidos en orden para apretar o liberar el eje inflable a fin de rebobinarlo con la película de embalaje de rollo grande, cortada por la unidad de corte, luego se dejan caer en la unidad de recolección de manera que los ejes inflados de los pequeños rollos acabados con los ejes inflados se desinflan y se retiran de modo que el pequeño rollo terminado se convierte en un pequeño rollo sin un eje de devanado.

15 El documento WO 2007/016897 divulga un aparato para formar rollos de papel sin núcleo que incluye un mandril inflable que puede adquirir un diámetro mayor mientras se enrolla una banda de papel alrededor de su superficie exterior. El mandril se puede desinflar para disminuir el diámetro del rollo de papel.

20 El documento DE 20 2010 013 967 U1 divulga un dispositivo de inserción de un eje de devanado para material de fibra, que comprende una porción de cuerpo oblongo, un elemento deslizante que se mueve hacia atrás y hacia adelante a lo largo de la porción de cuerpo para desplazar el eje de devanado hacia una estación de devanado, y elementos para desplazar el eje de devanado en la dirección de crecimiento del material de fibra que se va a enrollar, en el que el eje de devanado dentro del rollo de material de fibra se separa de la porción de cuerpo al menos en la dirección de un grado de libertad con respecto al eje central del eje de devanado sustancialmente en un 25 plano rectangular.

Los tubos de núcleo de plástico han demostrado ser un componente clave fiable para muchos productos, en particular aquellos en las industrias de películas, cintas y telas, donde el coste del núcleo es una parte insignificante del coste total del producto. Sin embargo, los tubos de núcleo de plástico no se usan en el papel higiénico ni en el 30 papel de cocina debido a que su coste es mucho mayor que el de los núcleos de cartón convencionales, y también porque los plásticos no se producen en las fábricas de papel, que suelen fabricar tanto el cartón como los productos de papel tisú a partir de la pulpa de madera y el papel reciclado. Se requerirían equipos adicionales de extrusión y transporte adicional de materiales para fabricar suficientes núcleos de plástico que pudieran enviarse con el producto. Esto, sin embargo, no sería preocupante si los núcleos de plástico se retiraran del producto bobinado y se 35 reciclaran para enrollar otro producto como se describe a continuación.

Comentarios generales sobre el actual estado de la técnica

40 El siguiente es un resumen del estado de la técnica en el rebobinado de productos de papel tisú/toalla sin núcleo con mandriles extraíbles. Estos inconvenientes constituyen las razones principales por las que la producción sin núcleo sigue siendo un nicho de mercado, a pesar de su atractivo intrínseco.

- Las velocidades máximas de ciclo son muy bajas, debido a la secuencia de desprendimiento de bobinas.
- Los mandriles rígidos de precisión utilizados son caros, al igual que sus recubrimientos, que se desgastan.
- 45 • Los mandriles hechos de metales son pesados. Por lo tanto, tienen una masa y una inercia polar relativamente altas, lo que presenta los siguientes problemas:

50 La elevada masa hace que partes del insertador y la porción de alimentación de la cuna se deterioren rápidamente debido a los impactos y/o la abrasión durante el funcionamiento a alta velocidad.

La masa y la inercia polar elevadas hacen que el mandril resista los cambios repentinos en su velocidad de translación y rotación que se requieren cuando se empuja hacia el canal entre el rodillo superior y la superficie de rodadura estacionaria de la rebobinadora. Si el mandril no acelera adecuadamente, se producen transferencias de banda deficientes y poco fiables. El peor de los casos es un fallo total de transferencia, lo que hace que la máquina se bloquee.

55 La masa y la inercia polar elevadas hacen que el mandril resista los cambios repentinos en su velocidad de translación y rotación requeridos cuando sale de la superficie de rodadura estacionaria y entra en el estrechamiento entre los rodillos superiores e inferiores. Si no se acelera adecuadamente, se produce un devanado de mala calidad. El peor de los casos es que el mandril se desliza sin control a través del estrechamiento y hace que la máquina se bloquee.

60 La elevada masa y la rigidez de estos mandriles se combinan para otorgarles la capacidad de causar graves daños a otras partes de la máquina durante un choque a alta velocidad.

- Aunque los mandriles hechos de compuestos de polímeros reforzados con fibra han reducido la masa y la inercia polar, en relación con los mandriles metálicos, presentan los siguientes problemas:

65

Son muy caros. Esto no sólo afecta a la compra inicial de la máquina, sino también a sus costes de funcionamiento continuos, ya que los mandriles tienen una vida útil finita y deben ser sustituidos cuando están desgastados o rotos.

Durante choques graves, los mandriles compuestos de fibra de carbono se rompen en pedazos. Los escombros son similares a astillas y pueden ser peligrosos para los operadores que los limpian y para los usuarios finales si las virutas entran en el producto terminado.

La alta rigidez de estos mandriles les otorga la capacidad de causar graves daños a otras partes de la máquina durante un choque a alta velocidad. El objetivo de usar estos mandriles compuestos tan caros es funcionar más rápido, por lo que el daño causado es a menudo tan grande como un mandril de metal más pesado que funciona más lento.

- Las devanadoras de superficie sin núcleo solo pueden ejecutar con éxito una gama limitada de productos:

Los productos de baja firmeza (enrollados sin apretar) carecen de la rigidez radial necesaria para soportar el mandril relativamente pesado durante el devanado a alta velocidad. También carecen de la presión entre capas para resistir el plegado durante la extracción del mandril o el desprendimiento de bobinas. Y carecen de la resistencia de la columna para resistir el colapso axial localizado (arrugamiento como un acordeón) durante la extracción del mandril o el desprendimiento de bobinas.

Los productos muy firmes (enrollados fuertemente) tienen una presión excesiva entre capas y pueden atascar el actuador durante la extracción del mandril o el desprendimiento de la bobina.

Solo una gama limitada de productos tiene la firmeza adecuada para soportar los mandriles relativamente pesados durante el devanado y resistir el colapso durante el desprendimiento, una presión entre capas lo suficientemente alta como para evitar el plegado durante el desprendimiento, pero también una presión entre capas lo suficientemente baja como para que el arrancador no se atasque.

- La transferencia de banda en rebobinadoras sin núcleo se realiza a velocidades relativamente bajas, en comparación con las máquinas que funcionan con núcleos convencionales. La transferencia de banda es la etapa de unir la banda al núcleo o al mandril. Hay varias razones para las velocidades relativamente bajas:

Cuando la máquina se bloquea, o la banda se rompe, los mandriles relativamente rígidos causan daños menos graves a las otras partes de la máquina y a sí mismos si funcionan a menor velocidad.

La adherencia del pegamento de transferencia debe ser inferior que la de una máquina con núcleos para hacer posible el desprendimiento de las bobinas, especialmente si se quiere evitar el uso de arandelas de mandril. La transferencia de banda es menos fiable con adhesivos de baja adherencia a altas velocidades

Los mandriles tienen mayor masa e inercia que los núcleos y, por lo tanto, no pueden hacer transiciones de velocidad abruptas como los núcleos (tal como se describió anteriormente), por lo que la secuencia de transferencia es más difícil de controlar y menos fiable.

- Las máquinas sin núcleo tienen costes operativos más altos debido a un mantenimiento más frecuente, el reemplazo de mandriles dañados, el reemplazo de piezas especiales desgastadas y un mayor nivel de destreza requerido por parte del operador.
- Aunque las máquinas se pueden cambiar entre el funcionamiento con núcleo y sin núcleo, se trata de un esfuerzo de cambio importante, no de un simple cambio de grado.
- Incluso después de que el rollo finalizado se haya producido con éxito, todavía existe el peligro de que se desenrede internamente durante el tránsito hacia el usuario final si la cola interior no está fijada.

#### Desafíos de la producción de rollos sin núcleo

Para fabricar una rebobinadora sin núcleo eficaz, se deben superar obstáculos importantes. Deben abordarse las siguientes dos áreas críticas. Los problemas parecen complejos, porque una solución en un área puede causar dificultades en otra. La solución más elegante sería abordar ambas áreas de manera simultánea.

#### 1. Material y diseño del mandril

El mandril es el punto de partida y el elemento central. Lo ideal sería que tuviera todas las siguientes propiedades, algunas de las cuales son compensatorias, si no mutuamente excluyentes:

- Baja masa e inercia (para aceleraciones rápidas a alta velocidad de banda).
- Inercia polar baja (para aceleraciones rápidas a alta velocidad de banda).
- Bajo coste.
- Adecuada rigidez a la flexión (para ser transportado).
- Bajo coeficiente de fricción (para favorecer la extracción).
- Adecuada resistencia a la tracción (para la extracción).
- Resistencia a la abrasión y al desgaste (para ser duradero).
- Adecuada resistencia a la fatiga (para mayor longevidad).

- Disponible en tamaños personalizados (para adaptarse a los requisitos de varios diámetros de orificios).
- Resistencia natural a la corrosión (para resistir el pegamento de transferencia, el pulverizado de agua y el lavado).
- No tóxico (preferiblemente en contacto con alimentos).
- 5 • Algo de ductilidad (para mantener la integridad durante un choque).
- Capacidad de reciclaje (eliminación después de que se haya desgastado o roto).
- Los extremos pueden acomodar algunos medios para sujetarlos de forma segura (para la extracción).
- La superficie que se acopla con el medio de agarre no es más grande que el diámetro exterior del mandril (para permitir el funcionamiento de varios mandriles de longitud (anchos de banda) en una sola rebobinadora).
- 10 • Rigidez radial prácticamente uniforme para toda la longitud, incluyendo los extremos (para permitir el funcionamiento de varios mandriles de longitud (anchos de banda) en una sola rebobinadora).

Lo ideal sería que el mandril fuera como un núcleo de cartón tubular circular en cuanto a su rigidez radial y uniformidad de sección transversal, y que fuera similar en cuanto a su masa e inercia. Entonces, se podría utilizar para fabricar la misma gama de productos que se fabrican con núcleos. Y esto podría hacerse esencialmente en las mismas rebobinadoras que usan núcleos. Pero, ¿cómo podría un mandril así ser extraído con éxito de una bobina enrollada?

## 2. Fiabilidad y velocidad de transferencia frente a la extracción del mandril

Se recomienda un pegamento de alta adherencia en húmedo para transferencias de banda fiables a alta velocidad. Pero, un pegamento menos adherente es mejor para una extracción más fácil y más limpia del mandril. Aunque estos dos intereses siempre pueden competir, hacer que la transferencia funcione con pegamento de menor adherencia o que la extracción funcione con pegamento de mayor adherencia, produciría un área de convergencia en la que ambos intereses se verían satisfechos.

De manera ideal, se podrían alcanzar los siguientes puntos de encuentro:

- El pegamento de transferencia tiene una adherencia húmeda suficientemente alta para transferencias fiables a alta velocidad de banda.
- El pegamento de transferencia se libera lo suficientemente bien como para facilitar la extracción, sin dañar el mandril ni el producto.
- El mandril está completamente limpio cuando se retira de la bobina.
- Si el mandril no está completamente limpio, solo queda un residuo fino o una película del pegamento de transferencia (sin papel) y se puede ignorar, o bien se puede limpiar fácilmente, preferiblemente con un paño seco, no mediante lavado.
- Si cualquier residuo de pegamento o película es demasiado importante para ser ignorado, y no puede ser fácilmente limpiado en seco, es soluble en agua por lo que puede ser limpiado cuando se moja.
- El pegamento de transferencia es una variedad ya existente, no es una nueva formulación exótica.
- El pegamento de transferencia se puede aplicar mediante los procedimientos de aplicación existentes, tales como la extrusión o el embadurnamiento.

### Sumario de la invención

La invención se define por las reivindicaciones independientes 1, 22 y 29. Otras realizaciones de la invención se pueden encontrar en las reivindicaciones dependientes.

La invención se basa en un novedoso mandril de baja inercia y peso ligero que consiste en un tubo de plástico flexible de paredes relativamente delgadas que se comporta de forma muy parecida a un núcleo de cartón. Además de ser radialmente conforme, como un núcleo, el mandril también es axialmente elástico, para facilitar la extracción del rollo o la bobina de papel que se enrolla en el mandril. El objetivo de este mandril es reemplazar los núcleos de cartón en rebobinadoras nuevas y existentes que actualmente enrollan rollos de papel con núcleos. Ejemplos de rebobinadoras de superficie de este tipo se describen en las patentes de Estados Unidos n.º 6.056.229, n.º 6.422.501, n.º 6.497.383, n.º 5.370.335, n.º 4.828.195 y n.º 7.104.494, concedidas a nombre de Paper Converting Machine Company. El mandril también se puede utilizar en otros modelos de rebobinadoras de superficie de este proveedor, tanto de funcionamiento continuo como de arranque y parada.

El mandril también se puede utilizar en rebobinadoras de superficie de otros proveedores, por ejemplo, y sin limitarse a, las rebobinadoras descritas en las patentes de Estados Unidos n.º 5.150.848 (Consani), n.º 5.979.818 (Perini), n.º 6.945.491 (Gambini), n.º 7.175.126 (Futura), n.º 7.175.127 (Bretting), n.º 8.181.897 (Chan Li), y otros.

El mandril también se puede utilizar en rebobinadoras de torreta o rebobinadoras de centro, tanto de funcionamiento continuo como de arranque y parada. Ejemplos de rebobinadoras de centro de este tipo se describen en las patentes de Estados Unidos n.º 2.769.600, n.º 2.995.314, n.º 5.725.176 y n.º RE 28.353. El mandril también se puede utilizar en devanadoras de torreta de otros proveedores.

El mandril también se puede usar en las rebobinadoras de superficie central, tanto de funcionamiento como de arranque y parada, por ejemplo, y sin limitarse a, las rebobinadoras descritas en las patentes de Estados Unidos n.º 7.293.736, n.º 7.775.476 y n.º 7.942.363.

5 La invención también se puede usar en un nuevo mandril de baja inercia y peso ligero que consiste en un tubo de plástico de pared relativamente gruesa, o varilla sólida, que puede tener una rigidez radial alta, pero es axialmente elástico, para facilitar la extracción. El objetivo de este mandril es reemplazar los mandriles de devanado relativamente rígidos en rebobinadoras nuevas y existentes que fabrican productos sin núcleo con orificios. Una rebobinadora de superficie de este tipo a modo de ejemplo se describe en la patente de Estados Unidos n.º 6.056.229. El mandril también puede adaptarse para su uso en rebobinadoras de superficie sin núcleo de otros proveedores, por ejemplo, y sin limitarse a, las rebobinadoras descritas en la patente n.º IT 1.201.390, las patentes de Estados Unidos n.º 6.565.033, n.º 6.595.458, n.º 6.752.345 y la publicación de patente de Estados Unidos n.º 2009/0272835 A1.

15 Cada uno de los novedosos mandriles anteriores se usa en una rebobinadora para formar un nuevo producto, a saber, un rollo o una bobina de papel enrollado que comprende el mandril novedoso y una banda de papel que se enrolla alrededor del mandril de manera convolutiva. Opcional y preferiblemente, la primera capa del papel enrollado de manera convolutiva se une adhesivamente al mandril, lo que se conoce como transferencia. Después de que el nuevo producto anterior sale de la rebobinadora, el mandril se retira o se extrae de la bobina tirando de uno o de 20 ambos extremos del mandril. El mandril retirado puede reciclarse, es decir, recircularse a la rebobinadora para su uso en la formación de otra bobina mediante el devanado de la banda de papel alrededor del mandril.

El propósito de la elasticidad axial de los dos nuevos mandriles es permitir que el mandril se alargue longitudinalmente durante la etapa de extracción del mandril de la bobina de papel. El alargamiento longitudinal del mandril da como resultado una separación progresiva localizada del mandril de la bobina, reduciendo en gran medida la fuerza de extracción máxima. Se cree que este efecto es más importante que la reducción del diámetro del mandril. El alargamiento longitudinal del mandril también produce una reducción del diámetro del mandril, lo que facilita la extracción del mandril de la bobina. La relación entre la cantidad de alargamiento longitudinal y la cantidad de reducción de diámetro depende del coeficiente de Poisson del material del mandril.

30 Como alternativa a enrollar la bobina en un mandril elástico y luego estirar el mandril para extraerlo, se puede presurizar un mandril elástico tubular antes o durante el enrollado para expandir el mandril y aumentar su diámetro y, si los extremos no están sujetos, disminuir su longitud. Después del devanado, la presión puede eliminarse, lo que resulta en una reducción del diámetro del mandril y un aumento de su longitud, lo que facilita la extracción del mandril. Este procedimiento también se puede utilizar con estiramiento del mandril durante la extracción. Los procedimientos no se excluyen mutuamente y pueden emplearse para lograr una mayor reducción de la fuerza máxima de extracción que cualquiera de los dos por sí solo.

Otro aspecto es una pinza de sujeción del mandril para agarrar uno o ambos extremos del mandril tubular anterior y extraer el mandril de la bobina. La pinza de sujeción incluye un eje rígido de tamaño inferior que se inserta dentro del mandril tubular para proporcionar soporte interno. Alrededor del perímetro exterior del tubo se colocan bloques discretos, radialmente móviles. Cuando los bloques se mueven contra el tubo, el tubo elástico se deforma en lóbulos entre los bloques. Los lóbulos son deformaciones leves que tienen carácter temporal porque la tensión dentro del material del tubo está muy por debajo del límite elástico del material.

45 Descripción de los dibujos

La invención se explicará en los dibujos adjuntos, en los que:

50 La Figura 1 es una reproducción de la Figura 2 de la patente de Estados Unidos n.º 6.056.229 de la técnica anterior, que ilustra una rebobinadora de superficie que enrolla una banda de papel alrededor de un núcleo de cartón;

La Figura 2 es una reproducción de la Figura 3 de la patente de Estados Unidos n.º 5.979.818 de la técnica anterior, que ilustra otra rebobinadora de superficie que enrolla una banda de papel alrededor de un núcleo de cartón;

55 La Figura 3 es una ilustración de una rebobinadora central o rebobinadora de torreta de la técnica anterior rebobinando una banda de papel alrededor de un núcleo de cartón;

La Figura 4 es una vista en perspectiva, parcialmente separada, de un mandril de plástico tubular axialmente elástico formado de acuerdo con la invención;

60 La Figura 5 es una vista de extremo del mandril de la Figura 4;

La Figura 6 es una vista en perspectiva, parcialmente separada, de un mandril de plástico sólido axialmente elástico formado de acuerdo con la invención;

La Figura 7 es una vista de extremo del mandril de la Figura 6;

65 La Figura 8 ilustra la rebobinadora de superficie de la Figura 1 rebobinando una banda de papel alrededor de mandriles que están formados de acuerdo con la invención;

La Figura 9 es una vista en perspectiva, parcialmente separada, de un rollo o bobina de papel enrollado de

manera convolutiva alrededor del mandril de la Figura 4;

La Figura 10 es una vista en perspectiva, parcialmente separada, de un rollo o bobina de papel enrollado de manera convolutiva alrededor del mandril de la Figura 6;

5 La Figura 11 es una vista en perspectiva, parcialmente separada, del rollo o bobina de papel de la Figura 9 o 10 después de que el mandril haya sido extraído del rollo o bobina;

La Figura 12 es una vista superior de un cierre para enganchar un extremo de un mandril tubular;

La Figura 13 es una vista en sección tomada a lo largo de la línea 13-13 de la Figura 12;

La Figura 14 es una vista en sección lateral en alzado del cierre de la Figura 12 y un mandril tubular antes de que el mandril se enganche con el cierre;

10 La Figura 15 es una vista similar a la Figura 14 después de que el mandril se engancha con el cierre;

La Figura 16 es una vista en sección similar a la Figura 13 que muestra el mandril enganchado por el cierre;

La Figura 17 es una vista fragmentaria ampliada de una porción de la Figura 16 que muestra el acoplamiento del mandril por los bloques de sujeción del cierre;

15 La Figura 18 es una vista lateral en alzado, parcialmente separada, que muestra el sistema de accionamiento del cierre;

Las Figuras 19-28 ilustran los pasos para extraer un mandril de una bobina;

La Figura 29 es una vista de extremo de la sujeción periférica para una bobina enrollado en un mandril con las sujeciones superior e inferior sin enganchar la bobina.

La Figura 30 es una vista similar a la Figura 29 con las restricciones superior e inferior enganchando la bobina.

20 La Figura 31 es una vista similar a la Figura 30 que muestra la restricción de la cara del extremo enganchada al final de la bobina;

Figura 32 ilustra una trayectoria de recirculación para los mandriles que han sido extraídos de las bobinas;

La Figura 33 es una vista de extremo de la trayectoria de recirculación de la Figura 32;

25 La Figura 34 es una vista fragmentaria en sección de una bobina enrollado y un mandril que muestra una banda axial de adhesivo o pegamento que une la primera capa de bobinado al mandril;

La Figura 35 es una vista superior de aparato para aplicar una tira axial de adhesivo o pegamento a un mandril;

La Figura 36 es una vista de extremo del aparato de la Figura 35;

La Figura 37 es una vista fragmentaria de un aparato para hacer girar una bobina alrededor de un mandril estacionario que muestra los cierres y los rodillos superiores desenganchados;

30 La Figura 38 es una vista fragmentaria tomada a lo largo de la línea 38-38 de la Figura 37;

La Figura 39 es una vista similar a la Figura 37 que muestra los cierres y los rodillos superiores enganchados;

La Figura 40 es una vista de extremo tomada a lo largo de la línea 40-40 de la Figura 39;

La Figura 41 ilustra el concepto de presurización del mandril durante el bobinado;

35 Las Figuras 42-45 ilustran las fuerzas requeridas para liberar un mandril de una bobina en diversas condiciones;

La Figura 46 ilustra los puntos en una curva de tensión-deformación que se utilizan para calcular el módulo de tracción;

La Figura 47 ilustra el límite de elasticidad del HDPE en una curva de tensión-deformación; y

La Figura 48 es similar a la Figura 47 e identifica propiedades adicionales del HDPE.

#### 40 Descripción de realizaciones específicas

##### Enrollamiento de rollos o bobinas de la técnica anterior

45 La Figura 1 ilustra un procedimiento convencional y muy conocido de la técnica anterior para enrollar una banda de papel alrededor de núcleos de cartón a fin de formar rollos o bobinas alargados de papel enrollado de manera convolutiva. El aparato ilustrado en la Figura 1 es una rebobinadora de superficie, y los detalles de la estructura y el funcionamiento de la rebobinadora se describen en la patente de Estados Unidos n.º 6.052.229.

50 Tal como se describe en la patente '229, la rebobinadora de la Figura 1 incluye tres rodillos de devanado giratorios 25, 26 y 27 que giran en la dirección de las flechas para enrollar una banda W en un núcleo de cartón hueco C para formar una bobina L de papel enrollado de manera convolutiva, tal como papel higiénico o papel de cocina. El primer y segundo rodillos de devanado 25 y 26 también se denominan rodillos de devanado superior e inferior, y el tercer rodillo de devanado 27 también se denomina rodillo de deslizamiento. Una placa estacionaria 28 se monta debajo del primer rodillo de devanado 25 aguas arriba del segundo rodillo de devanado 26 y proporciona una superficie de rodadura para los núcleos. Antes de enrollar completamente la bobina, se introduce un nuevo núcleo C1 en el canal entre el primer rodillo de devanado 25 y la superficie de rodadura 28 mediante un brazo de apriete giratorio 29. Ya se han aplicado anillos circunferenciales de adhesivo al núcleo C1 de manera convencional. De manera alternativa, el adhesivo puede aplicarse al núcleo en forma de una raya que se extiende longitudinalmente, que también es convencional. El brazo de apriete 29 incluye una almohadilla de apriete 30, y la rotación continua del brazo de apriete hace que la almohadilla de apriete apriete la banda contra una barra de apriete estacionaria 31 para cortar la banda a lo largo de una línea de perforación en la banda. El núcleo C1 es movido por el brazo de apriete a lo largo de la superficie de rodadura 28 hasta una posición en la que se comprime con el primer rodillo de devanado 25 y comienza a rodar sobre la superficie de rodadura. A medida que el núcleo C1 rueda sobre la superficie de rodadura 28, los anillos de adhesivo del núcleo recogen la porción delantera de la banda cortada, de modo que la banda comienza a enrollarse sobre el núcleo a medida que el núcleo rueda sobre la superficie de rodadura. La fijación de la banda al núcleo se conoce como transferencia. El extremo de cola de la banda cortada continúa enrollándose en la

bobina L. El núcleo C1 continúa rodando sobre la superficie de rodadura 28 y enrolla la banda alrededor de ella para formar una nueva bobina. Cuando el núcleo C1 y la nueva bobina alcanzan el segundo rodillo de devanado 26, la bobina se mueve a través de la línea de contacto entre el primer y segundo rodillos de devanado 25 y 26 y finalmente entra en contacto con el tercer rodillo de devanado 27. Los tres rodillos de devanado 25-27 forman un nido de bobinado o cuna de bobinado para la bobina.

La Figura 2 ilustra otra rebobinadora de superficie de la técnica anterior que enrolla una banda de papel alrededor de núcleos de cartón para formar rollos o bobinas alargados de papel enrollado de manera convolutiva. Los detalles de la estructura y el funcionamiento de la rebobinadora de la Figura 2 se describen en la patente de Estados Unidos n.º 5.979.818.

La rebobinadora descrita en la patente '818 también incluye tres rodillos de devanado giratorios 33, 34 y 35 que giran en la dirección de las flechas para enrollar una banda N sobre un núcleo de cartón hueco A para formar una bobina L. Una superficie curvada o riel 36 se extiende debajo del primer rodillo de devanado 33 hacia el segundo rodillo de devanado 34 y proporciona una superficie de rodadura. La superficie de rodadura 36 forma un canal 37 entre el primer rodillo de devanado y la superficie de rodadura. Antes de que la bobina L esté completamente enrollada, se introduce un nuevo núcleo A1 en el canal 37 por un transportador 38 y comienza a rodar sobre la superficie de rodadura 36. Una unidad giratoria 39 gira en el sentido de las agujas del reloj para hacer que una almohadilla de apriete 40 presione la banda contra el primer rodillo de devanado 33, lo que hace que la banda se corte a lo largo de una línea de perforación. A medida que el núcleo A1 continúa rodando entre la superficie 36 y el primer rodillo de devanado 33, el adhesivo en el núcleo recoge la porción delantera de la banda cortada, de modo que la banda comienza a enrollarse en el núcleo para formar una nueva bobina. El extremo de cola de la banda cortada continúa siendo enrollado en la bobina L. Cuando el nuevo núcleo A1 y la nueva bobina alcanzan el segundo rodillo de devanado 34, la bobina se mueve a través del estrechamiento entre el primer y el segundo rodillo de devanado 33 y 34 y finalmente entra en contacto con el tercer rodillo de devanado 35, que también se conoce como rodillo de deslizamiento. Nuevamente, los tres rodillos de devanado 33-35 forman nido de bobinado o cuna de bobinado para la bobina.

Una superficie de rodadura como la superficie de rodadura 28 de la Figura 1 y la superficie de rodadura 36 de la Figura 2 que forma con el primer rodillo de devanado superior o superior un canal para insertar el núcleo se ha vuelto común en la industria de formación de papel tisú y toalla del tamaño del consumidor es una práctica habitual de muchos proveedores de rebobinadoras. El uso de esta superficie de rodadura hace que la rotación del núcleo se acelere en dos pasos bruscos. El primer paso tiene lugar entre el primer rodillo de devanado y la superficie de rodadura inmediatamente después de la inserción del núcleo en el canal. El segundo paso se lleva a cabo entre el primer y el segundo rodillo de devanado, cuando la bobina se desliza desde el extremo de la superficie de rodadura hacia la línea de contacto formada por los rodillos de devanado. Los núcleos se introducen en el canal con una velocidad de rotación leve, si la hay. En el primer paso, el primer rodillo de devanado y la superficie de rodadura aceleran bruscamente las velocidades de rotación y traslación del núcleo. El primer rodillo de enrollamiento impulsa el núcleo a lo largo de la superficie de rodadura sustancialmente a una  $\frac{1}{2}$  velocidad de banda. En el segundo paso, cuando el núcleo se enrolla en la línea de contacto entre los dos rodillos de devanado, inmediatamente pierde la mayor parte de su velocidad de traslación, que se convierte abruptamente a una velocidad de rotación adicional por parte de los rodillos giratorios. El primer rollo gira a la velocidad de alimentación de la banda y el segundo rollo gira ligeramente más lento para que el núcleo se mueva a través del estrechamiento.

La dimensión del canal entre la superficie de rodadura y el primer rodillo de devanado es menor que la dimensión del núcleo, de manera que el núcleo se comprime a medida que rueda. Se requiere la compresión del núcleo en el canal para acelerar bruscamente el núcleo y para impulsar el núcleo a lo largo de la superficie de rodadura. La dimensión del estrechamiento entre el primer y el segundo rodillo de devanado es menor que el diámetro del núcleo y los devanados iniciales del papel, por lo que el núcleo se comprime a medida que pasa a través del estrechamiento. La compresión del núcleo en el estrechamiento es necesaria para acelerar bruscamente la rotación del núcleo y controlar su movimiento a través del estrechamiento.

Los núcleos de cartón que se utilizan con las rebobinadoras de las Figuras 1 y 2 son radialmente conformes y se pueden comprimir elásticamente, de modo que el núcleo puede comprimirse a medida que rueda sobre la superficie de rodadura y cuando pasa a través de la línea de contacto. Como se mencionó anteriormente, los rebobinadores sin núcleo que usan mandriles rígidos deben adaptarse a la rigidez radial de los mandriles para que los mandriles puedan rodar sobre la superficie de rodadura y pasar a través de la línea de contacto sin ser comprimidos.

La Figura 3 ilustra otro procedimiento convencional y muy conocido de la técnica anterior para enrollar una banda de papel alrededor de núcleos de cartón para formar rollos o bobinas alargadas de papel enrollado de manera convolutiva. El aparato ilustrado en la Figura 3 es una rebobinadora de centro o rebobinador de torreta que es comercializada por Paper Converting Machine Company ("PCMC") con el nombre Centrum.

La rebobinadora de centro de la Figura 3 incluye una torreta giratoria 45 sobre la cual se montan seis mandriles 46. En una rebobinadora de centro el término "mandril" se refiere a una varilla sólida sobre la cual se puede insertar un núcleo de cartón convencional. Se aplican anillos circunferenciales de adhesivo al núcleo, y una banda de papel W

se adhiere adhesivamente al núcleo. El mandril en el que se monta el núcleo se acciona de forma giratoria para enrollar el papel sobre el núcleo, y la torreta gira para mover el mandril y el núcleo a una posición en la que el rollo o la bobina enrollado se retira del mandril.

5 Mandriles nuevos para el reemplazo de los núcleos

10 Las Figuras 4 y 6 ilustran los nuevos mandriles alargados 60 y 61 que se pueden usar en lugar de los núcleos de cartón que se han descrito con respecto a las rebobinadoras de la técnica anterior de las Figuras 1-3 o en lugar de los mandriles rígidos descritos con respecto a las rebobinadoras sin núcleo de la técnica anterior. Cada uno de los mandriles incluye un eje longitudinal x y está formado por un material flexible y axialmente elástico que se describirá en detalle a continuación. El mandril 60 de la Figura 4 es un tubo de pared relativamente delgada y tiene un diámetro exterior OD, un diámetro interior ID y un espesor de pared t. El mandril 61 de la Figura 6 es una varilla sólida y tiene un diámetro D. De manera alternativa, el mandril podría ser un tubo de pared relativamente gruesa o una varilla con una abertura de diámetro pequeño. El material flexible y axialmente elástico de los mandriles 60 y 61 contrasta con el material de los mandriles de la técnica anterior.

15 Materiales de mandril de la técnica anterior frente a materiales de mandril nuevos

20 Las rebobinadoras sin núcleo del estado de la técnica utilizan mandriles relativamente rígidos. Las alternativas de materiales abundan, pero las selecciones generalmente se hacen de entre una de las siguientes dos categorías: aleaciones metálicas (aluminio, titanio, acero, etc.) y compuestos de polímeros reforzados con fibra (generalmente fibras de vidrio, carbono o aramida en una matriz de resina termoestable de poliéster o epoxi). Los mandriles se construyen con varias combinaciones de estos materiales de alto módulo y alta resistencia porque deben ser muy robustos para soportar las altas fuerzas a las que están sometidos durante las repetidas extracciones de bobinas, sin sufrir daños.

25 Las propiedades mecánicas de los materiales están sujetas a una amplia variación basada en el contenido de la aleación, el procesamiento, la calidad de la fibra, los ángulos de envoltura, el curado, etc. Sin embargo, la Tabla 1 ilustra las propiedades típicas de algunas aleaciones metálicas y compuestos de polímeros reforzados con fibra comúnmente disponibles.

30

Tabla 1

	Aleaciones Metálicas				Compuestos reforzados con fibra				
	Aleación de aluminio	Aleación de acero	Aleación de níquel	Aleación de titanio	Extruido	Fibra de vidrio en poliéster	Fibra de vidrio en poliéster	Fibra de carbono Resina epoxi	Fibra de aramida Resina epoxi
Módulo de elasticidad a la tracción	71705 (10400)	206843 (30000)	206843 (30000)	113763 (16500)	17237 (2500)	27579 (4000)	103421 (15000)	75842 (11000)	
Límite de elasticidad a la tracción	310 (45000)	414 (60000)	310 (45000)	827 (120000)	207 (30000)	345 (50000)	483 (70000)	448 (65000)	
Densidad de masa	2,7	7,85	8,47	4,43	1,85	1,95	1,6	1,4	
Coefficiente de Poisson	0,32	0,3	0,32	0,34	-	-	-	-	
Límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad	0,4	0,2	0,2	0,7	1,2	1,3	0,5	0,6	

Las aleaciones metálicas y los compuestos de polímeros reforzados con fibra se caracterizan por un módulo de elasticidad y un límite de elasticidad relativamente altos. Los compuestos de polímeros reforzados con fibra se diferencian por su menor densidad de masa, lo que les otorga una alta relación resistencia/peso.

5 En contraste con los materiales utilizados para la fabricación de los mandriles relativamente rígidos de la técnica anterior, existe otra categoría de materiales, caracterizada por una menor rigidez, menor resistencia y menor coste, que se puede usar para hacer un mandril elástico novedoso. A menudo se les conoce como plásticos de ingeniería o commodities y son polímeros termoplásticos. La siguiente información proviene de las entradas de **Plásticos de ingeniería, Commodities, Termoplásticos y Polietileno** en Wikipedia.

10 Los plásticos de ingeniería son un grupo de materiales plásticos que exhiben propiedades mecánicas y térmicas superiores en una amplia gama de condiciones por encima y en relación con los plásticos commodities de uso más común. El término usualmente se refiere a materiales termoplásticos en lugar de materiales termoestables. Los plásticos de ingeniería se utilizan para piezas en lugar de envases y embalajes. Ejemplos de plásticos de ingeniería.

15 Polietileno de peso molecular ultraalto (UHMWPE)  
 Politetrafluoroetileno (PTFE/Teflon)  
 Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)  
 Policarbonatos (PC)  
 20 Poliamidas (PA/Nylon)  
 Tereftalato de polibutileno (PBT)  
 Tereftalato de polietileno (PET)  
 Óxido de polifenileno (PPO)  
 Polisulfona (PSU)  
 25 Polietercetona (PEK)  
 Polieterecetonona (PEEK)  
 Poliimidias (PI)  
 Sulfuro de polifenileno (PPS)  
 Polioximetileno (POM/Acetal)

30 Los plásticos commodities son plásticos que se utilizan en grandes volúmenes y en una amplia gama de aplicaciones, tales como películas para embalaje, cintas fotográficas y magnéticas, contenedores de bebidas y basura y una variedad de productos domésticos en los que las propiedades mecánicas y los entornos de servicio no son críticos. Tales plásticos exhiben propiedades mecánicas relativamente bajas y son de bajo coste. La gama de productos incluye platos, vasos, bandejas de transporte, bandejas médicas, contenedores, bandejas de siembra, material impreso y otros artículos desechables. Ejemplos de plásticos commodities:

35 Polietileno (PE)  
 40 Polietileno de baja densidad (LDPE)  
 Polietileno de densidad media (MDPE)  
 Polietileno de alta densidad (HDPE)  
 45 Polipropileno (PP)  
 Poliestireno (PS)  
 Cloruro de polivinilo (PVC)  
 Polimetilmetacrilato (PMMA)  
 Tereftalato de polietileno (PET)

50 La distinción entre plásticos de ingeniería y commodities es informal. La distinción entre ellos, sin embargo, no es importante para este análisis. El punto importante es que sus propiedades materiales son notablemente diferentes de las aleaciones metálicas y los compuestos de polímeros reforzados con fibra.

55 Los termoplásticos abarcan una amplia gama de materiales con propiedades extraordinariamente diversas. Algunos son frágiles, otros son resistentes. Algunos son rígidos, otros son flexibles. Algunos son duros, otros son suaves. Algunos son de espuma. Algunos son como el caucho. Pero, independientemente de la naturaleza exacta de los polímeros termoplásticos específicos, son, como categoría, marcadamente diferentes de las aleaciones metálicas y los compuestos de polímeros reforzados con fibra. En contraste con los materiales compuestos que son heterogéneos debido a la fibra en la matriz, los materiales termoplásticos son homogéneos.

60 Las propiedades mecánicas de los plásticos están sujetas a una amplia variación basada en aditivos y procedimientos de procesamiento. Sin embargo, la Tabla 2 ilustra las propiedades habituales de algunos polímeros termoplásticos comúnmente disponibles.

Tabla 2

		Polímeros termoplásticos					
		Poliétileno de baja densidad	Poliétileno de alta densidad	Nylon GS	Policarbonato	Polipropileno	Cloruro de polivinilo
Módulo de elasticidad a la tracción	MPa (ksi)	207 (30)	1034 (150)	3309 (480)	2206 (320)	1206 (175)	2896 (420)
Límite de elasticidad a la tracción	MPa (psi)	9,6 (1400)	27,6 (4000)	86,2 (12500)	65,5 (9500)	34,4 (5000)	51,4 (7450)
Densidad de masa	g/cm <sup>3</sup>	0,92	0,95	1,16	1,2	0,9	1,4
Coefficiente de Poisson		-	0,42	0,40	0,37	0,45	0,41
Estructura		semicristalina	semicristalina	semicristalina	amorfa	semicristalina	amorfa
Temperatura de transición vítrea	°C (°F)	-123 (-190)	-84 (-120)	66 (150)	149 (300)	-12 (10)	77 (170)
Límite de elasticidad a la tracción dividido por módulo de elasticidad	%	4,7	2,7	2,6	3,0	2,9	1,8

Estos materiales se caracterizan por un módulo de elasticidad, un límite de elasticidad y una densidad de masa relativamente bajos. Los valores del coeficiente de Poisson son relativamente altos.

5 Los valores enumerados para el cloruro de polivinilo son las especificaciones para tuberías de PVC, también conocido como PVC rígido. Los valores indicados para polipropileno, policarbonato, nylon y polietileno de alta densidad son valores promedio para los grados de extrusión.

10 De los muchos polímeros termoplásticos disponibles, existe un subconjunto que es adecuado para su uso como material flexible y axialmente elástico. No existe un nombre aceptado científicamente ni comercialmente para esta categoría. Es una categoría novedosa y no se ha utilizado para enrollar mandriles en rebobinadoras sin núcleo. La definición de los atributos y el rango de propiedades que muestran qué materiales están en esta categoría es un objeto de la invención y se explicará en detalle. Si bien muchos atributos desempeñan un papel, las propiedades más importantes son las que se enumeran en la tabla.

15 De las propiedades enumeradas en la tabla, la más importante es el límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad, porque indica la idoneidad del material del mandril para los nuevos medios de extracción que también forman parte de la presente invención. No se usa comúnmente para especificar materiales, por lo que se proporciona una explicación detallada en la siguiente sección.

20 Propiedades mecánicas de los materiales de mandril

El módulo de elasticidad se denomina a veces módulo de elasticidad o módulo de Young. Su valor es la pendiente de la curva de tensión-deformación en la región elástica. Esta relación es la ley de Hooke.

25 
$$E = \sigma / \epsilon$$

E es el módulo de elasticidad.  
 $\sigma$  es la tensión de tracción.  
 $\epsilon$  es la deformación axial.

30 La curva de tensión-deformación para una aleación de aluminio se ilustra en la página 148 de *The Science and Engineering of Materials*, 2ª Edición, de Donald R. Askeland, 1989, PWS-KENT Publishing Company. ISBN 0-534-91657-0. El módulo de elasticidad se indica como la pendiente de la curva en la región elástica, es decir, entre la carga cero (y la deformación) y el límite de elasticidad. Si un material se carga a un valor de tensión menor que el límite de elasticidad, volverá a aproximadamente su longitud original. El límite de elasticidad de este material corresponde a una deformación de 0,0035 pulg/pulg. Por lo tanto, otra forma de expresar la limitación de rendimiento es que, si el material se tensa menos del 0,35 %, volverá aproximadamente a su longitud original. Si se deforma (se estira) a una longitud mayor, se deformará plásticamente y no volverá a su longitud original. Un objetivo para cualquier mandril en una rebobinadora es que no se deforme permanentemente, sino que retorne a la misma longitud y forma y, por lo tanto, sea reutilizable durante muchos ciclos

45 El módulo de elasticidad es una indicación de la rigidez de un material. Cuanto mayor sea el valor del módulo, mayor será su resistencia al alargamiento. Las curvas abreviadas de tensión-deformación para acero y aluminio se muestran en la página 153 de *The Science and Engineering of Materials*, 2ª Edición, de Donald R. Askeland, 1989, PWS-KENT Publishing Company. ISBN 0-534-91657-0. La curva para el acero tiene una pendiente más pronunciada y, por lo tanto, un valor de módulo más alto.

50 Las Tablas 1 y 2, que resumen las propiedades típicas del material, tienen valores calculados en la fila inferior que se identifican como límite de elasticidad a la tracción dividido por módulo de elasticidad. Se obtienen cuando el límite de elasticidad se divide por el módulo de elasticidad, en un replanteamiento de la Ley de Hooke.

$$\epsilon_o = S_y / E$$

55 E es el módulo de elasticidad.  
 $S_y$  es el límite de elasticidad.

60 El límite de elasticidad a la tracción dividido por los valores de módulo de elasticidad para las aleaciones metálicas es relativamente bajo. Los valores para los compuestos de polímeros reforzados con fibra también son generalmente bajos, aunque pueden manipularse más al alterar la calidad la fibra, los ángulos de envoltura, la relación fibra a matriz, etc. No obstante, está claro que los valores para los polímeros termoplásticos son relativamente altos. Cuanto más alto es este valor, más se puede alargar el material sin deformación permanente, por lo que los materiales con valores más altos están predispuestos a funcionar mejor como mandriles axialmente elásticos.

65

Propiedades preferidas del mandril

Se pueden usar diversos polímeros termoplásticos como mandriles de devanado. Algunos funcionarán mejor que otros. Reducir la selección a las mejores alternativas requiere cierta información.

5 El LDPE es atractivo debido a su alto valor de límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad. Su módulo de elasticidad es tan bajo que un mandril de pared delgada, con un diámetro exterior habitual, que es lo suficientemente largo para su uso en una rebobinadora de ancho de producción, puede ser poco fiable. No obstante, puede funcionar muy bien en una máquina estrecha, o con consideraciones de diseño especiales para adaptarse a su flexibilidad, o para mandriles de gran diámetro. La muy baja temperatura de transición vítrea indica que es extremadamente resistente.

15 El tubo de PVC se puede haber utilizado como mandril de devanado en las rebobinadoras de arranque y parada y se sabe que se ha utilizado como mandril de devanado para fabricar bobinas sin núcleo en al menos una rebobinadora de funcionamiento continuo. Sin embargo, el PVC rígido no es adecuado para su uso como mandril axialmente elástico, debido a su bajo valor de límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad. Y no se puede usar como un mandril flexible, radialmente elástico debido a su naturaleza frágil, como lo indica la alta temperatura de transición vítrea y la estructura amorfa. Su densidad relativamente alta es también un inconveniente.

20 El nylon es superior al PVC rígido en términos de límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad y por su densidad. Pero, no es lo suficientemente flexible como para ser un mandril radialmente elástico, como lo indica su alta temperatura de transición vítrea.

25 El policarbonato es un termoplástico inusual por su buena tenacidad, a pesar de ser amorfo y tener una temperatura de transición vítrea muy alta. Tiene un alto valor de límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad y un valor razonable de densidad de masa. En sus formas más comunes, no es lo suficientemente flexible como para ser un mandril radialmente elástico, como lo indica su temperatura de transición vítrea; pero, si se pueden agregar plastificantes para bajar su temperatura de transición vítrea, sin afectar negativamente a su resistencia, y otras propiedades atractivas, en gran medida, puede ser viable para un mandril elástico.

30 El polipropileno y el HDPE tienen valores altos de límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad, buena tenacidad y baja densidad. También tienen buenos valores de rigidez y resistencia. La temperatura de transición vítrea más baja del HDPE indica que es extremadamente resistente y tiene buena flexibilidad.

35 Aunque el HDPE es la realización preferida por razones que se mencionan aquí y se explican en profundidad en las siguientes secciones, también se pueden usar otros materiales, tanto existentes como no inventados ni descubiertos, que exhiban un comportamiento similar.

40 Sobre la base de lo anterior, los mandriles de baja inercia conformes, axialmente elásticos, que se forman de acuerdo con la invención, tienen de manera ventajosa las siguientes propiedades físicas:

- 45 • Límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad (%):  
mayor que 1,5, preferiblemente mayor que 2,0, más preferiblemente mayor que 2,5.
- Temperatura de transición vítrea (°C (°F)):  
menos de 15,6 (60), preferiblemente menos de 4,4 (40), más preferiblemente menos de -17,8 (0).
- 50 • Densidad de masa (g/cm<sup>3</sup>):  
menos de 1,50, preferiblemente menos de 1,25, más preferiblemente menos de 1,00.
- Módulo de elasticidad a la tracción (N/mm<sup>2</sup> (psi)):  
menos de 13789 (2.000.000), preferiblemente menos de 6895 (1.000.000), más preferiblemente menos de 3447 (500.000).
- 55 • Límite de elasticidad a la tracción (N/mm<sup>2</sup> (psi)):  
menos de 345 (50.000), preferiblemente menos de 172 (25.000), más preferiblemente menos de 103 (15.000).
- 60 • Estructura (% cristalinidad):  
mayor que 25, preferiblemente mayor que 50, más preferiblemente mayor que 75.
- Coeficiente de Poisson:  
mayor que 0,30, preferiblemente mayor que 0,35, más preferiblemente mayor que 0,40.

65

Material preferido para los mandriles

El HDPE es el material seleccionado para la realización preferida. Aunque se podrían usar otros plásticos de ingeniería o commodities, y la mayoría de ellos comparten al menos algunas de estas ventajas, el HDPE tiene la mejor combinación general de ventajas y beneficios, que se enumeran a continuación.

5

- Relativamente barato.
- Fácilmente disponible en todo el mundo.
- Conocimientos especializados ampliamente disponibles para extrusión, moldeo y conformado.
- Se puede trabajar en frío y/o en caliente después de la formación inicial.
- Se puede fundir en caliente con juntas tan resistentes como el material base.
- Excelente resistencia a la corrosión.
- Excelente resistencia química.
- Buena resistencia al impacto.
- Buena resistencia a la fatiga.
- Aprobado por la FDA para contacto con alimentos.
- Fácilmente reciclable (plástico n.º 2).
- Bajo coeficiente de fricción.
- Baja densidad de masa.
- Buena resistencia a la abrasión y al desgaste.
- Límite de elasticidad adecuado.
- Módulo de elasticidad de flexión adecuado.
- Buen módulo de elasticidad a la tracción.
- Disponible extruido a tamaños personalizados.
- Buena tenacidad-mezcla de resistencia y ductilidad apropiadas.

10

15

20

25

Forma recomendada del mandril

El HDPE puede extruirse para tener la misma sección transversal circular, tubular y uniforme que un núcleo de cartón convencional. Resulta que estos tubos tienen una rigidez radial muy similar a la de los equivalentes de núcleo, lo que es deseable para un reemplazo del núcleo. Sin embargo, el tubo de HDPE puede tener una pared más gruesa, a fin de tener una mayor sección transversal para soportar la carga de tracción, manteniendo así la tensión máxima más baja y, con todo, exhibir una rigidez radial similar a la de un núcleo de cartón con un diámetro exterior proporcional.

30

35

Aunque la densidad del HDPE es mayor que la de la típica placa de núcleo, por lo que la masa y la inercia polar de los tubos de plástico es mayor, son mucho más bajos y mucho más cercanos a un núcleo equivalente, que los mandriles rígidos. Consúltese la Tabla 3 para ver una comparación de núcleos de cartón típicos con tubos de HDPE. La tabla incluye valores para la aleación de aluminio típica, aleación de acero, compuesto de polímero reforzado con fibra de carbono, compuesto de polímero reforzado con fibra de vidrio y tubos de cloruro de polivinilo. Estos valores representan el mejor caso porque son para tubos circulares uniformes de sección transversal simple y no incluyen la masa de las características finales en los tubos que se utilizan para cooperar con un medio de agarre.

40

Tabla 3

		Núcleo de 1 capa	Núcleo de 2 capas	Tubo de HDPE	Tubo de aleación de aluminio	Tubo de aleación de acero	Tubo de fibra de carbono	Tubo de fibra de vidrio	Tubo de cloruro de polivinilo
Gravedad específica	-	0,66	0,75	0,95	2,7	7,85	1,6	1,95	1,4
Peso específico	N/cm <sup>3</sup> (#/pulg <sup>3</sup> )	0,007 (0,024)	0,007 (0,027)	0,009 (0,034)	0,026 (0,097)	0,077 (0,283)	0,016 (0,058)	0,019 (0,070)	0,014 (0,051)
Diámetro exterior	cm (pulg)	4,3 (1,7)	4,3 (1,7)	4,3 (1,7)	4,3 (1,7)	4,3 (1,7)	4,3 (1,7)	4,3 (1,7)	4,3 (1,7)
Espesor de pared	cm (pulg)	0,046 (0,018)	0,05 (0,020)	0,091 (0,036)	0,152 (0,060)	0,152 (0,060)	0,152 (0,060)	0,152 (0,060)	0,254 (0,100)
Diámetro interior	cm (pulg)	4,229 (1,665)	4,219 (1,661)	4,135 (1,628)	4,013 (1,580)	4,013 (1,580)	4,013 (1,580)	4,013 (1,580)	3,81 (1,500)
Área de sección	cm <sup>2</sup> (pulg <sup>2</sup> )	0,606 (0,094)	0,671 (0,104)	1,213 (0,188)	1,993 (0,309)	1,993 (0,309)	1,993 (0,309)	1,993 (0,309)	3,245 (0,503)
Longitud	cm (pulg)	267 (105)	267 (105)	267 (105)	267 (105)	267 (105)	267 (105)	267 (105)	267 (105)
Peso	N (#)	1,07 (0,24)	1,33 (0,30)	3,02 (0,68)	14,06 (3,16)	40,92 (9,20)	8,32 (1,87)	10,14 (2,28)	11,88 (2,67)
Masa	kg (# s <sup>2</sup> /pulg)	0,107 (0,00061)	0,135 (0,00077)	0,308 (0,00176)	1,436 (0,00820)	4,173 (0,02383)	0,851 (0,00486)	1,037 (0,00592)	1,210 (0,00691)
Inercia polar	kg cm <sup>2</sup> (# pulg s <sup>2</sup> )	0,485 (0,00043)	0,610 (0,00054)	1,378 (0,00122)	6,236 (0,00552)	18,122 (0,01604)	3,694 (0,00327)	4,508 (0,00399)	5,016 (0,00444)

A continuación, se enumeran algunas de las numerosas ventajas de usar como mandriles tubos de plástico flexibles de pared delgada que se comportan como núcleos de cartón:

- 5 • Los mandriles ligeros y flexibles no provocan daños catastróficos en la máquina durante los choques a altas velocidades como lo hacen los mandriles rígidos.
- Los mandriles se pueden doblar, arrugar y aplastar durante un choque a alta velocidad o un reventón de la banda, pero no se rompen ni se astillan en pedazos pequeños. Casi siempre el mandril sigue siendo una pieza grande, por lo que es fácil de retirar, no representa ningún peligro para el operador y no deja residuos que puedan entrar en los productos posteriores.
- 10 • Los mandriles ligeros y flexibles no requieren recubrimientos de goma costosos y fácilmente dañables en los rodillos del nido de bobinado y en los dedos de la cuna. En cambio, al igual que con los núcleos, la conformidad está en el tubo.
- Pueden usarse en rebobinadoras que también fabrican productos con núcleos, con solo algunas modificaciones menores en las rebobinadoras necesarias para lograrlo. Esto ofrece los siguientes beneficios y soluciona los principales obstáculos para hacer que el rebobinado sin núcleo sea económico.
- 15
  - Tiene costes económicos y requisitos de espacio similares a las máquinas que funcionan con núcleos.
  - Tiene costes operativos (consumibles y mantenimiento) similares a las máquinas que funcionan con núcleos.
  - 20 - Requiere una formación y un nivel de destreza por parte del operador similar a las máquinas que funcionan con núcleos.
  - Puede funcionar de manera fiable a alta velocidad de banda y frecuencia de ciclo.
  - Se puede cambiar rápida y fácilmente entre la producción con y sin núcleos.
- 25 • Los mandriles de baja inercia polar y de baja masa permiten un buen control a altas velocidades de banda.
- Los mandriles ligeros y flexibles expanden la ventana operativa de las rebobinadoras de superficie sin núcleo para incluir productos de baja firmeza y enrollados sin apretar que nunca antes han sido posibles en las rebobinadoras de superficie sin núcleo.
- 30 • Su sencilla geometría de tubo permite el uso de guías de posición de núcleo estándar, es decir, tapones de núcleo en ralentí que se insertan en los extremos de un núcleo para mantener su posición axial durante el devanado (al igual que se usa con los núcleos).
- Debido al bajo coeficiente de fricción y la buena característica de liberación del HDPE, los mandriles se pueden limpiar de manera automática con muchos códigos de pegamento de transferencia, por lo que no se requiere un lavado periódico.
- 35 • Si se requiere un lavado periódico para un pegamento de transferencia elegido, el lavado es muy simple porque (a) el HDPE no se corroe, y (b) su construcción en una sola pieza de sección transversal constante no tiene bordes ni costuras que atrapan el agua.
- Los mandriles son baratos.
- 40 • Los mandriles se pueden extruir a medida según el diámetro y el espesor de pared especificados. Por lo tanto, la pared del tubo se puede definir de acuerdo con las necesidades de procedimiento y el diámetro exterior del tubo se puede ajustar, si es necesario, para satisfacer la solicitud de un cliente.
- Los mandriles tienen una excelente resistencia a la corrosión.
- Los mandriles tienen una excelente resistencia química.
- Los mandriles tienen buena resistencia al impacto.
- 45 • Los mandriles tienen buena resistencia a la fatiga.
- Los mandriles están aprobados por la FDA para el contacto con alimentos.
- Los mandriles son fácilmente reciclables (plástico n.º 2). Son especialmente fáciles de reciclar porque no tienen componentes de materiales diferentes (insertos metálicos, etc.) que deban ser desmontados o retirados.
- Los mandriles tienen bajo coeficiente de fricción.
- 50 • Los mandriles tienen buena resistencia a la abrasión y al desgaste.

Puede parecer que los mandriles resultarían demasiado débiles, dado su bajo límite de elasticidad a la tracción. Sin embargo, tienen un coeficiente de fricción muy bajo y las fuerzas de tracción para el BRT (papel higiénico) de calidad de consumo (baja firmeza) y calidad comercial (firmeza media) son bastante bajas. Las fuerzas de tracción solo aumentan cuando aumenta la firmeza de la bobina (resistencia al devanado).

El BRT de calidad de consumo y comercial habitual se enrollan en un tubo de HDPE de 4,32 cm (1,70 pulgadas) de diámetro exterior x 0,09 cm (0,036 pulgadas) de pared x 290 cm (114 pulgadas) de largo requieren una fuerza de entre 133 y 1557 N (de 30 a 350 libras) para la extracción del mandril de un devanado de bobina de banda de 267 cm (105 pulgadas) de ancho. La fuerza de extracción varía en gran medida según la rigidez del devanado, el tiempo de secado del pegamento de transferencia, el coeficiente de fricción del sustrato sobre HDPE y otros factores. No obstante, la tensión de tracción inducida por 1557 N (350 libras) es solo de 12,8 MPa (1.863 psi), lo que está muy por debajo del límite de elasticidad a la tracción de 27,6 MPa (4.000 psi). El factor de seguridad es  $4.000/1.863 = 2,1$ . Este es un buen factor de seguridad, como se explicará más adelante.

Hasta ahora esto se ve bien, pero todavía mejora. Como se explicará en secciones subsiguientes, el uso de un mandril radial y axialmente elástico, por ejemplo, de HDPE, ofrece otras ventajas.

Formación de rollos sin núcleo con mandriles elásticos

La Figura 8 ilustra la rebobinadora de superficie de la técnica anterior de la Figura 1, pero en lugar de utilizar núcleos de cartón, la banda de papel se enrolla en mandriles de peso ligero, baja inercia, radialmente conformes, axialmente elásticos 64 que se forman de acuerdo con la invención, por ejemplo, el mandril tubular 60 de la Figura 4. En la Figura 8, los mandriles 64 se utilizan para enrollar bobinas o rollos de papel L de la misma manera que los núcleos de cartón que se describen en la patente n.º 6.056.229

La Figura 8 ilustra una banda de papel W que forma un primer bobina L que se está enrollando en un primer mandril 64 entre el segundo y el tercer rodillo de enrollamiento 26 y 27. Antes de enrollar completamente la bobina L, se introduce un nuevo mandril 64a en el canal entre el primer rodillo de enrollamiento 25 y la superficie de rodadura 28 mediante el brazo de presión giratorio 29. Una banda lineal de pegamento de transferencia o adhesivo ya se ha aplicado al mandril 64a de manera convencional. Alternativamente, los anillos circunferenciales de adhesivo pueden aplicarse de la manera convencional. La rotación continuada del brazo de apriete 29 hace que la almohadilla de apriete 30 presione la banda contra la barra de apriete estacionaria 31 para cortar la banda a lo largo de una línea de perforación en la banda. El mandril 64a mueve el mandril 64a a lo largo de la superficie de rodadura 28 a una posición en la que el mandril de devanado 25, que es radialmente compatible y de baja inercia, se comprime y acelera y comienza a rodar sobre la superficie de rodadura aproximadamente a 1/2 de la velocidad de la banda. A medida que el mandril 64a rueda sobre la superficie de rodadura 28, el adhesivo sobre el mandril recoge la porción delantera de la banda cortada de modo que la banda comienza a enrollarse sobre el mandril a medida que el mandril rueda sobre la superficie de rodadura. El extremo de cola de la banda cortada continúa enrollando sobre la bobina L. El mandril 64a continúa rodando sobre la superficie de rodadura 28 y enrolla la red alrededor de la misma para formar una nueva bobina. Cuando el mandril 64a y la nueva bobina alcanzan el estrechamiento entre el primer y el segundo rodillo de enrollamiento 25 y 26, el mandril de baja inercia que cumple con la función radial se comprime y acelera a medida que la bobina se mueve a través del estrechamiento de manera similar al núcleo de cartón. El procedimiento de devanado completo se describe en la patente n.º 6.056.229.

Los mandriles 64 también se pueden usar en lugar de núcleos de cartón en las rebobinadoras de la técnica anterior que se ilustran en las Figuras 2 y 3, así como otras rebobinadoras que enrollan una banda de papel sobre un núcleo de cartón. En cada caso, la rebobinadora puede enrollar el papel en los mandriles de la misma manera que la rebobinadora enrolla el papel en los núcleos de cartón.

El mandril sólido axialmente elástico 61 de la Figura 6, o una versión del mandril tubular 60 de pared gruesa, elásticamente axial, que es radialmente rígida, se puede usar para enrollar bobinas o rollos de papel sin núcleo L de la misma manera que los mandriles rígidos que se describen en la patente de Estados Unidos n.º 6.056.229 con la misma transferencia y devanado representados en las Figuras 13 y 14 de esa patente.

La Figura 9 ilustra una bobina 66 de papel que se ha enrollado de manera convolutiva en un mandril tubular 60 por cualquiera de las rebobinadoras que se han descrito en el presente documento. De manera similar, la Figura 10 ilustra una bobina 67 de papel que se ha enrollado de manera contigua en un mandril sólido 61 por dicha rebobinadora. En cada caso, el mandril se extiende preferiblemente más allá de uno o ambos extremos de la bobina de papel para que el mandril pueda extraerse o retirarse de la bobina sujetando uno o ambos extremos del mandril. La Figura 11 ilustra la bobina 66, 67 de la Figura 9 o la Figura 10 después de que se haya retirado el mandril. Una abertura central 68 que se extiende axialmente se extiende a través de la bobina.

Extracción de mandriles

La fuerza para extraer un mandril rígido de una bobina (o empujar una bobina fuera de un mandril rígido) es lineal con respecto a la longitud de enganche de la bobina del mandril después de que se establece el movimiento relativo. La fuerza para iniciar el movimiento relativo es en realidad mucho mayor, por lo que el gráfico del perfil de fuerza contiene pasos en el mismo.

Los siguientes valores se proporcionan a modo de ejemplo para ilustrar el caso. Las fuerzas de extracción medidas variarán en gran medida según la rigidez del devanado, el tiempo de secado del pegamento de transferencia, el coeficiente de fricción del sustrato sobre la superficie del mandril y otros factores. Las mediciones de la fuerza requerida para extraer las bobinas se registraron en la máquina sin núcleo PCMC descrita en la patente de Estados Unidos n.º 6.056.229. El producto era un papel higiénico muy denso, firmemente enrollado. La longitud de la bobina (ancho de la banda) era de 254 cm (100 pulgadas). El mandril era del tipo rígido, fabricado de tubo de acero de aleación, con un diámetro exterior de 1,74 cm (0,668 pulgadas).

La fuerza para liberar la bobina del mandril, iniciando un movimiento relativo, fue de aproximadamente 5160 N (1.160 libras). Este nivel de fuerza fue de muy breve duración, mostrando la apariencia de un pico ascendente en el gráfico. La fuerza cayó inmediatamente a 1334 N (300 libras), que era el nivel para mantener el movimiento relativo

con 254 cm (100 pulgadas) de acoplamiento de mandril. La fuerza disminuyó linealmente a medida que el mandril se retiraba hasta llegar a cero en el momento en que el extremo del mandril salía de la bobina (sin conexión bobina-mandril). La Figura 42 muestra la fuerza del actuador frente a la posición del actuador para este caso de mandriles rígidos. Los productos enrollados fuertemente requieren menos fuerza de desprendimiento y, por lo tanto, tienen valores de fuerza más bajos en sus gráficos, pero la forma general de sus gráficos es la misma.

La fuerza de separación es muy alta en relación con la fuerza de extracción. Es 3,87 veces superior. La fuerza de desprendimiento, después de que el movimiento relativo está en marcha, es solo un 26 % mayor que la fuerza de separación. Cuando se usan mandriles rígidos, los mandriles, el hardware de desprendimiento (o extracción), el tren de accionamiento del actuador y el actuador deben diseñarse para adaptarse a la muy elevada fuerza inicial a fin de iniciar el movimiento relativo. Sin embargo, cuando se usan mandriles elásticos, la fuerza máxima puede reducirse considerablemente. En lugar de liberarse del mandril de una vez, como sucede con los mandriles rígidos, los mandriles elásticos se liberan progresivamente y sin problemas a medida que se estiran dentro de la bobina. Los mandriles se pueden estirar de esta manera, debido a sus valores de módulo elástico relativamente bajos. Y como la fuerza máxima es mucho menor, la tensión máxima es mucho menor, por lo que los mandriles de plástico de resistencia relativamente baja son lo suficientemente fuertes

La Figura 43 muestra el caso de un mandril axialmente elástico que se retira del mismo producto analizado con respecto a la Figura 42. El gráfico asume el mismo coeficiente de fricción, aunque el valor para HDPE podría ser menor. Muestra el caso del mandril que se tira de un solo extremo, donde el alargamiento del mandril hace que se libere progresivamente y sin problemas sobre la mitad de la longitud de la bobina antes de que la otra mitad se suelte de repente. La altura de la punta por encima de la fuerza de desprendimiento de 1334 N (300 libras) se reduce a la mitad, de 5160 N a 3247 N (de 1.160 libras a 730 libras).

Si la fuerza máxima de 3247 N (730 libras) es aceptable para la sección transversal del mandril, debido a que la tensión de tracción inducida es lo suficientemente baja en relación con el límite de elasticidad del material, entonces se puede utilizar este procedimiento de tracción simple.

Sin embargo, si la fuerza máxima reducida todavía es demasiado grande, entonces se puede añadir un accionador para empujar el otro extremo del mandril. La Figura 44 muestra el caso de un mandril axialmente elástico que se retira del mismo producto. El gráfico asume el mismo coeficiente de fricción, aunque el valor del HDPE podría ser menor. Muestra el caso de que se haya tirado únicamente de un extremo del mandril hasta que el alargamiento del mandril haya provocado que se libere progresivamente y sin problemas en casi la mitad de la bobina. Entonces, antes de que la otra mitad se libere repentinamente, un accionador en el otro extremo del mandril comienza a empujar el mandril en la misma dirección. La otra mitad del mandril aún se libera repentinamente, pero la carga se reparte de manera casi uniforme entre los dos actuadores. Esto se puede asegurar sincronizando el accionador de empuje para que se mueva cuando el accionador de tracción se acerca a una distancia de recorrido preestablecida o a un nivel de par preestablecido, ambos conocidos debido a las señales de retroalimentación electrónicas. Por lo tanto, la altura de la punta por encima de la fuerza de desprendimiento de 1334 N (300 libras) se reduce en tres cuartos, de 5160 N a 2291 N (de 1.160 libras a 515 libras). Si la fuerza máxima de 2291 N (515 libras) es aceptable para la sección transversal del mandril, debido a que la tensión de tracción inducida es lo suficientemente baja en relación con el límite de elasticidad del material, entonces se puede utilizar este procedimiento de tracción y empuje.

Sin embargo, si la fuerza máxima reducida todavía es demasiado grande, entonces se puede añadir un actuador para tirar del otro extremo del mandril. La Figura 45 muestra el caso de un mandril axialmente elástico que se retira del mismo producto. El gráfico asume el mismo coeficiente de fricción, aunque el valor del HDPE podría ser menor. Muestra el caso de que se tira de ambos extremos del mandril hasta que el alargamiento del mandril ha provocado que se libere progresivamente y sin problemas a lo largo de toda la longitud de la bobina, por lo que ningún segmento se libera repentinamente. La carga se reparte de manera casi uniforme entre los dos actuadores. Una vez que toda la longitud del mandril está en movimiento en relación con la bobina, el segundo tirador invierte la dirección y se libera antes de tocar la cara de la bobina. Esta secuencia puede ser sincronizada y controlada con precisión porque ambos actuadores tienen servo control de movimiento con señales de retroalimentación electrónicas. Por lo tanto, la punta por encima de la fuerza de desprendimiento de 1334 N (300 libras) se puede eliminar.

Si la fuerza máxima de 1334 N (300 libras) es aceptable para la sección transversal del mandril, debido a que la tensión de tracción inducida es lo suficientemente baja en relación con el límite de elasticidad del material, entonces se puede utilizar este procedimiento de estiramiento del mandril. Si no lo es, entonces se pueden emplear medidas adicionales para reducir aún más la fuerza máxima, tales como implementar la expansión a presión durante el devanado, como se describe más adelante en el presente documento.

Los anteriores valores son ilustraciones comparativas extrapoladas de valores medidos, no valores absolutos. Se estipuló, por ejemplo, que tirar desde un extremo del mandril provocaría que se liberara progresivamente y sin problemas dentro de la mitad de la longitud de la bobina. En realidad, la proporción que se libera gradualmente de esta manera puede ser superior o inferior en función de la sección transversal del mandril, la rigidez del devanado y otros factores.

Los anteriores valores fueron una ilustración comparativa de mandriles rígidos frente a mandriles elásticos. De hecho, los mandriles elásticos tienen otra ventaja no incluida en la comparación, que considera solo la elasticidad axial de los mandriles. Muchos plásticos de ingeniería y commodities tienen valores de coeficiente de Poisson relativamente altos. Por lo tanto, un mandril que experimenta un alargamiento axial experimentará simultáneamente una reducción de diámetro pequeña pero significativa. La reducción del diámetro sirve para reducir aún más la fuerza de extracción/desprendimiento reduciendo la presión de contacto entre la bobina y el mandril.

Al estirar un tubo de HDPE de 254 cm (100 pulgadas) de longitud, o varilla sólida, en un 1,35 %, que es la mitad de su límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad, aumenta su longitud en 3,42 cm (1,35 pulgadas). La reducción del diámetro que acompaña a un tubo, o varilla sólida, de 1,74 cm (0,668 pulgadas) de diámetro exterior, es de 0,01 cm (0,0039 pulgadas). La reducción del diámetro que acompaña a un tubo, o varilla sólida, de 4,32 cm (1,700 pulgadas) de diámetro exterior, es de 0,02 cm (0,0096 pulgadas)

#### Comportamiento de HDPE

Las curvas de tensión-deformación para muchos materiales difieren de las citadas anteriormente en el presente documento para la aleación de aluminio, en que no tienen una esquina bien definida en la transición de la deformación elástica a la permanente (punto de elasticidad). En cambio, después de la porción lineal inicial, la curva se arquea gradualmente hacia la región de deformación permanente. Este es el caso de la mayoría de los polímeros homogéneos, y es el caso del HDPE, como se muestra en Azom.com: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=510>, que tiene curvas de tensión-deformación para varios polímeros.

El procedimiento de límite de elasticidad compensado se usa a menudo para definir el punto de elasticidad para metales altamente dúctiles. Se traza una línea de construcción paralela a la porción inicial de la curva de tensión-deformación. Su intersección con el eje horizontal se desplaza 0,002 desde el origen. El 0,2 % del límite de elasticidad compensado es la tensión a la que la línea de construcción cruza la curva de tensión-deformación como se muestra en la página 151 de *The Science and Engineering of Materials*, 2ª Edición, de Donald R. Askeland, 1989, PWS-KENT Publishing Company. ISBN 0-534-91657-0.

Parece que los proveedores de resinas y productos polimérico rara vez utilizan este procedimiento, o no lo utilizan en absoluto. La mayoría de las tablas de datos de tracción para resinas de polímeros citan ASTM D638 o ISO 527, que define los procedimientos estándar de ensayo de tracción. Los estándares proporcionan el contexto de los valores informados, por lo que pueden compararse, pero las curvas reales de tensión-deformación contienen más datos y, por lo tanto, son las más completas y útiles. Desafortunadamente, las curvas de tensión-deformación para cualquier combinación específica de formulación de polímero y procedimiento de procesamiento rara vez están disponibles.

La siguiente información ha sido obtenida de IDES:

[http://www.ides.com/property\\_descriptions/ISO527-1-2.asp](http://www.ides.com/property_descriptions/ISO527-1-2.asp)

IDES es una empresa de gestión de información sobre plásticos que proporciona un catálogo de hojas de datos en línea y una base de datos de propiedades de los materiales plásticos llamada Prospector. IDES también gestiona datos técnicos de polímeros para varios fabricantes de plásticos y casi todos los distribuidores de resinas. IDES tiene su sede en Laramie, Wyoming.

Ensayos de tracción según ISO 527

El ensayo de tracción se realiza alargando una muestra y midiendo la carga transportada por la muestra. A partir del conocimiento de las dimensiones de la muestra, los datos de carga y deflexión se pueden traducir en una curva de tensión-deformación. Se puede extraer una variedad de propiedades de tracción de la curva de tensión-deformación.

Propiedad	Definición
Deformación por tracción en la rotura	Deformación por tracción correspondiente al punto de ruptura.
Deformación por tracción nominal en la rotura	Deformación por tracción a la tensión de tracción en la rotura.
Deformación por tracción en el rendimiento	Deformación por tracción correspondiente al rendimiento (un aumento de la deformación no produce un aumento de la tensión)
Tensión de tracción en la rotura	Tensión de tracción correspondiente al punto de ruptura.
Tensión de tracción a una deformación del 50 %	Tensión de tracción registrada a una deformación del 50 %

(continuación)

Propiedad	Definición
Tensión de tracción en el rendimiento	Tensión de tracción correspondiente al punto de elasticidad (un aumento de la deformación no produce un aumento de la tensión).
Módulo de tracción	<p>A menudo denominado módulo de Young, o módulo de elasticidad, el módulo de tracción es la pendiente de una línea secante entre el 0,05 % y el 0,25 % de deformación en un gráfico de tensión-deformación. El módulo de tracción se calcula utilizando la fórmula:</p> $E_t = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1)$ <p>en la que <math>\epsilon_1</math> es una deformación de 0,0005, <math>\epsilon_2</math> es una deformación de 0,0025, <math>\sigma_1</math> es la tensión en <math>\epsilon_1</math>, y <math>\sigma_2</math> es la tensión en <math>\epsilon_2</math>.</p>

La Figura 46 ilustra los puntos que se utilizan para calcular el módulo de tracción.

- 5 Las dos cosas más importantes que se deben tomar de esta explicación de ISO 527 son (a) la definición del punto de elasticidad y (b) el procedimiento de cálculo del módulo de elasticidad.

10 El punto de elasticidad se define como cuando un aumento en la deformación no da como resultado un aumento en la tensión. Esto significa que el punto de elasticidad coincide con el primer punto de inflexión en la curva de tensión-deformación del HDPE. Esto supera con creces el límite proporcional y el límite elástico del material.

15 El módulo de elasticidad (pendiente de la curva) se calcula entre una deformación de 0,05 % y una deformación de 0,25 %. Esto está muy cerca del origen, a valores de deformación relativamente bajos, en comparación con la cantidad que pueden estirarse los polímeros termoplásticos y la cantidad que se espera que se alarguen los mandriles elásticos con seguridad en el funcionamiento.

20 La Figura 47 identifica el punto de elasticidad del HDPE en una curva de tensión-deformación. La línea horizontal es el límite de elasticidad ( $S_y$ ), establecido a aproximadamente 30 MPa (4.350 psi). La línea vertical es la deformación en el rendimiento ( $\epsilon_y$ ), establecida en casi el 11 %.

25 El límite proporcional de un material es el punto a partir del cual la relación lineal de la Ley de Hooke ya no es válida. El límite elástico de un material es el punto a partir del cual el material no se recupera completamente a su longitud original cuando se retira la carga. Algunos materiales, en particular muchas aleaciones metálicas, tienen curvas de tensión-deformación que son lineales casi hasta el punto de elasticidad, lo que hace que el límite proporcional, el límite elástico y el límite de elasticidad coincidan casi por completo. Este gráfico ilustra correctamente que no es ni remotamente el caso del HDPE; tanto el límite proporcional como el límite elástico del HDPE se alcanzan mucho antes del punto de elasticidad, por lo que el límite de elasticidad no es un buen criterio para usar al diseñar mandriles elásticos con este material, porque los mandriles deben retornar aproximadamente a su longitud original después de cada ciclo para ser reutilizables (recirculados).

30 La Figura 48 es similar a la Figura 47 pero tiene líneas adicionales trazadas en la misma. La línea diagonal es tangente a la curva en el origen y representa el módulo de elasticidad (E). La línea vertical se traza donde la línea diagonal hace intersección con la línea del límite de elasticidad y representa el límite de elasticidad dividido por el módulo de elasticidad ( $\epsilon_o$ ). La línea horizontal corta se traza a partir de la intersección de la nueva línea vertical cruza la curva de tensión-deformación y representa la tensión ( $\sigma_o$ ) correspondiente al límite de elasticidad dividido por el módulo de elasticidad ( $\epsilon_o$ ).

40

$$S_y = 30 \text{ MPa} = 4.350 \text{ psi}$$

$$\epsilon_y = 0,11 = 11 \%$$

$$\epsilon_o = 0,029 = 2,9 \%$$

$$\sigma_o = 16.5 \text{ MPa} = 2.400 \text{ psi}$$

$$E = S_y / \epsilon_o = 1034 \text{ MPa} = 150.000 \text{ psi}$$

45 Por lo tanto, si este HDPE es alargado en un 2,9 %, inicialmente experimentará una tensión de 16.5 MPa (2.400 psi). El factor de seguridad de este nivel de tensión en relación con el límite de elasticidad es de  $4.350 / 2.400 = 1,8$ . El significado estrechamente definido y habitual de este factor de seguridad es que la tensión inducida es del 55 % del límite de elasticidad, por lo que no se producirá un estiramiento localizado (formación de cuello) ni un alargamiento generalizado. Sin embargo, debido a que esta tensión está técnicamente más allá del límite elástico, se requiere una guía de la magnitud de la tensión que se puede imponer y, con todo, hacer que el mandril regrese a su longitud original cuando se retira la carga. Esto se trata a continuación.

50 Las propiedades del HDPE varían según el proveedor y el procedimiento de procesamiento. La cantidad de información que proporcionan sobre las propiedades mecánicas de sus resinas también varía. Sin embargo, casi

todos los proveedores pueden proporcionar al menos valores para el módulo de elasticidad (E) y el límite de elasticidad ( $S_y$ ). Nuestra experiencia con los tubos de HDPE ha demostrado que las siguientes pautas son buenas para diseñar mandriles elásticos.

- 5 El límite de elasticidad se divide por el módulo elástico utilizando la siguiente ecuación:

$$\epsilon_0 = S_y / E$$

10 La porción elástica del mandril puede alargarse de la mitad a dos tercios de  $\epsilon_0$  durante la extracción de la bobina y, con todo, regresar lo suficientemente cerca de su longitud original, lo suficientemente rápido, para ser recirculado en una rebobinadora sin núcleo de funcionamiento continuo. (Esto es posible porque la máquina debe aceptar cierta tolerancia en la longitud del mandril de todos modos, y la variación cae dentro de la tolerancia de la máquina. Las máquinas que funcionan a velocidades de ciclo más altas pueden requerir una mayor cantidad de mandriles en circulación, o que los mandriles se alarguen menos durante la extracción. Este es un requisito razonable porque los productos más cortos que se pueden ejecutar a altas velocidades de ciclo generalmente se enrollan sin apretar y, por lo tanto, tienen fuerzas de extracción relativamente bajas.) Un mandril sometido a este grado de tensión no regresa inmediatamente a su longitud original porque fue sometido a una tensión superior al límite elástico del material. Sin embargo, con el tiempo vuelve a su longitud original. El retorno a la longitud original ocurre más rápido al principio y más lentamente a medida que el mandril se acerca a su longitud original. El mandril puede tardar varias horas en recuperarse completamente a su longitud original porque los últimos milímetros son los que más tiempo llevan.

25 La porción elástica del mandril puede someterse a un mayor alargamiento sin deformación permanente ni daños cuando se carga (se estira) más lentamente. Cuando se carga más rápidamente, es más probable que experimente tracción localizada o incluso desgarro.

30 El HDPE y otros polímeros termoplásticos responden a la tensión con los comportamientos tanto de sólidos elásticos como de fluidos viscosos. Esta característica se conoce como viscoelasticidad. Las propiedades de los materiales viscoelásticos están sujetas a cambios en función de las variables de velocidad de aplicación de la carga, duración de la carga (tiempo) y temperatura. El comportamiento viscoelástico del HDPE explica los comportamientos descritos en los párrafos anteriores.

35 La velocidad de aplicación de carga es bastante simple. Cuando la carga se aplica más rápidamente, el material parece ser más rígido (reacciona con un módulo de elasticidad más alto). Cuando la carga se aplica con menos rapidez, el material reacciona con un módulo de elasticidad inferior. Este comportamiento se ilustra en la página 151 de *History and Physical Chemistry of HDPE*, de Lester H. Gabriel, Ph.D., P.E. [http://www.plasticpipe.org/pdf/chapter-1\\_history\\_physical\\_chemistry\\_hdpe.pdf](http://www.plasticpipe.org/pdf/chapter-1_history_physical_chemistry_hdpe.pdf)

40 Debido a que la velocidad de aplicación de la carga influye en el módulo de elasticidad del material del mandril, se debe utilizar un sistema servo computarizado con retroalimentación para controlar y permitir los ajustes de los perfiles de movimiento aplicados al mandril, tanto para el estiramiento como para la extracción.

45 El efecto del tiempo es un poco más complicado. Los materiales viscoelásticos fluyen a tensión constante y se relajan a deformación constante. Esto significa que un mandril de bobinado compuesto de un material viscoelástico sujeto a una carga fija continuará alargándose. Esto significa que el mismo mandril sometido a un alargamiento fijo sufrirá una reducción de la tensión. Es como si el módulo de elasticidad del material disminuyera con el tiempo. Por lo tanto, para mantener el alargamiento constante, un actuador debe reducir la fuerza aplicada con el tiempo.

50 Debido a que la carga aplicada debe reducirse con el tiempo si se desea mantener un alargamiento constante, se debe usar un sistema servo computarizado con retroalimentación para controlar adecuadamente y permitir ajustes a la fuerza aplicada al mandril, tanto para el estiramiento como para la extracción.

55 El efecto de la temperatura dentro del intervalo de operación de los mandriles es directo. Cuando su temperatura es más baja, el material parece ser más rígido (reacciona con un módulo de elasticidad más alto). Cuando su temperatura es más alta, el material reacciona con un módulo de elasticidad inferior. Pero, hay algunas ideas que se pueden obtener al observar también el comportamiento del material en un intervalo de temperatura mucho más amplio.

60 El HDPE es un termoplástico semicristalino con una baja temperatura de transición vítrea. En este sentido no es único, pero es inusual. En <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=83> y la sección 2.3, página 28 de *Thermoplastics-Properties*, de J. D. Muzzy, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA se pueden encontrar ilustraciones del efecto del cambio de temperatura en el módulo de elasticidad de los termoplásticos en un amplio rango de temperaturas. Este documento se encuentra disponible en el siguiente sitio web: <http://www-old.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4793/thermoplastchap.pdf>

65

Estas ilustraciones muestran la temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , y la temperatura del punto de fusión,  $T_m$ . Ambas se dibujan para comparación, lo que implica que los valores de  $T_g$  y los valores de  $T_m$  son los mismos para los materiales amorfos y semicristalinos. En realidad, los valores de  $T_g$  y  $T_m$  varían ampliamente no solo entre estos tipos de materiales, sino también entre materiales del mismo tipo.

Algunos polímeros semicristalinos muestran una región de transición vítrea bien definida, como se ilustra en *Thermoplastics - Properties*, mientras que otros no, como se ilustra en el artículo de azom.com. Los valores presentados anteriormente en el presente documento son aproximados y representativos. Sin embargo, los valores precisos no son necesarios para este análisis. La relevancia principal de estos valores es si residen por encima o por debajo de la temperatura de funcionamiento de los mandriles de bobinado. En su mayor parte, esto significa la temperatura ambiente en las fábricas de conversión, generalmente de 15,6 a 37,8 °C (60 a 100 °F).

La temperatura de transición vítrea y la temperatura del punto de fusión para polímeros semicristalinos y amorfos se explican en el siguiente sitio web. En esta sección se proporcionan extractos parafraseados.

<http://www.articlesbase.com/technology-articles/polymer-science-1653837.html>

Por encima de la temperatura del punto de fusión, el polímero permanece como una masa fundida o un líquido.

Entre la temperatura de transición vítrea y la temperatura del punto de fusión, el polímero se comporta como un caucho. Aparentan correosos o gomosos. En el uso común, un caucho útil es un polímero con una  $T_g$  muy por debajo de la temperatura ambiente.

A medida que se acercan a la temperatura de transición vítrea desde arriba, los polímeros se vuelven más rígidos y pasan a través de una temperatura llamada punto de fragilidad, ligeramente más alta que la temperatura de transición vítrea. En este punto su naturaleza flexible y sus propiedades gomosas se han ido perdiendo gradualmente. El material es más rígido y duro y se romperá o fracturará con la aplicación repentina de carga.

Por debajo de la temperatura de transición vítrea, los polímeros son relativamente más duros, más rígidos y más frágiles.  $T_g$  es un punto de referencia común para polímeros de diversa naturaleza, debajo del cual todos ellos se comportan como plásticos rígidos (polímeros vídriosos). En el uso común, un plástico útil es aquel cuya  $T_g$  está muy por encima de la temperatura ambiente.

El peso molecular y la distribución del peso molecular, la tensión o presión externa, la incorporación del plastificante, la copolimerización, el relleno o la fibra de refuerzo, y la reticulación son algunos de los factores importantes que influyen en las temperaturas de transición vítrea y de punto de fusión. La incorporación de plastificantes externos es muy eficaz para disminuir la temperatura de transición vítrea y se puede usar para reformular polímeros que son fuertes y rígidos a temperatura ambiente en polímeros que son flexibles y gomosos a temperatura ambiente.

Como se sugiere en los extractos anteriores, la mayoría de los plásticos se utilizan en formulaciones que tienen temperaturas de transición vítrea muy por encima de la temperatura ambiente. De hecho, muchos plásticos de ingeniería se desarrollaron específicamente con temperaturas elevadas de transición vítrea para permanecer rígidos y fuertes a temperaturas elevadas de funcionamiento. Este punto se ilustra para varios polímeros disponibles comercialmente en la *Products and Applications Guide* (guía de productos y aplicaciones) publicada por el siguiente proveedor de plásticos y está disponible en la dirección web a continuación:

Quadrant Engineering Plastic Products  
2120 Fairmont Avenue  
PO Box 14235  
Reading, PA 19612-4235

[http://www.quadrantplastics.com/fileadmin/quadrant/documents/QEPP/NA/Brochures\\_PDF/General/Products\\_Applications\\_Guide.pdf](http://www.quadrantplastics.com/fileadmin/quadrant/documents/QEPP/NA/Brochures_PDF/General/Products_Applications_Guide.pdf)

La publicación muestra el módulo dinámico (rigidez) frente a la temperatura del material para cargas de corta duración. Los puntos de caída rápida en las curvas coinciden con las temperaturas de transición vítrea. En su mayor parte, estos puntos se sitúan entre 37,7 °C y 260 °C (100 °F y 500 °F), con la mayoría por encima de 65,5 °C (150 °F).

La temperatura de transición vítrea del HDPE es de aproximadamente -84,4 a -90 °C (-120 a -130 °F). Su temperatura de punto de fragilidad es inferior a 62,2 °C (-80 °F). Su temperatura de punto de reblandecimiento es de aproximadamente 121,1 °C (250 °F). Su temperatura de punto de fusión es de 129,4 °C (265 °F). Por lo tanto, la temperatura de funcionamiento de un mandril compuesto de HDPE está muy por encima de las temperaturas de transición vítrea y punto de fragilidad, y muy por debajo de las temperaturas de punto de reblandecimiento y fusión. Esto explica por qué el material tiene una combinación tan buena de flexibilidad, capacidad de estiramiento, durabilidad y dureza que lo hacen adecuado para su uso como mandril de devanado, especialmente la variedad radialmente conforme de paredes delgadas, que puede actuar como un equivalente del núcleo.

La segunda edición del manual *HANDBOOK OF PE PIPE* de Plastic Pipe Institute es una excelente introducción al material de HDPE y su aplicación. En esta sección se proporcionan extractos parafraseados, tomados de las páginas 55 a 56 del capítulo 3. El manual está disponible en el siguiente sitio web.  
[http://plasticpipe.org/publications/pe\\_handbook.html](http://plasticpipe.org/publications/pe_handbook.html)

5 El material de tubería de PE consiste en un polímero de polietileno (comúnmente designado como resina) al que se le han agregado pequeñas cantidades de colorantes, estabilizantes, antioxidantes y otros ingredientes que mejoran las propiedades del material y que lo protegen durante el procedimiento de fabricación, el almacenamiento y el funcionamiento. Los materiales de tubería de PE se clasifican como termoplásticos porque se ablandan y se funden cuando se calientan lo suficiente y se endurecen cuando se enfrían, un procedimiento que es totalmente reversible y se puede repetir. En contraste, los plásticos termoestables se vuelven permanentemente duros cuando se aplica calor.

15 Debido a que el PE es un termoplástico, las tuberías y los accesorios de PE pueden fabricarse mediante la aplicación simultánea de calor y presión. Y, en la práctica, las tuberías de PE se pueden unir mediante procedimientos de fusión térmica mediante los cuales las superficies coincidentes se fusionan permanentemente cuando se unen a una temperatura superior a su punto de fusión.

20 El PE también se clasifica como un polímero semicristalino. Dichos polímeros (por ejemplo, nylon, polipropileno, politetrafluoroetileno), en contraste con los que son esencialmente amorfos (por ejemplo, poliestireno, cloruro de polivinilo), tienen una estructura suficientemente ordenada para que porciones sustanciales de sus cadenas moleculares puedan alinearse estrechamente con porciones de cadenas moleculares adyacentes. En estas regiones de estrecha alineación molecular se forman cristales que se mantienen unidos por enlaces secundarios. Fuera de estas regiones, la alineación molecular es mucho más aleatoria, lo que resulta en un estado menos ordenado, etiquetado como amorfo. En esencia, los polímeros semicristalinos son una mezcla de dos fases, cristalina y amorfa, en la que la fase cristalina es sustancial en término de población.

30 Una consecuencia beneficiosa de la naturaleza semicristalina del PE es una muy baja temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), la temperatura por debajo de la cual un polímero se comporta como un vidrio rígido y por encima de la cual se comporta más como un sólido gomoso. Una  $T_g$  significativamente más baja otorga a un polímero una mayor capacidad de dureza, como lo demuestran las propiedades de rendimiento, tales como: la capacidad de sufrir mayores deformaciones antes de experimentar daños estructurales irreversibles; una gran capacidad para absorber con seguridad las fuerzas de impacto; y una alta resistencia al fallo por rotura o rápida propagación de grietas. Estos aspectos del rendimiento se analizan en otra parte de este capítulo. La  $T_g$  para materiales de tubería de PE es de aproximadamente  $-90\text{ }^\circ\text{C}$  ( $-130\text{ }^\circ\text{F}$ ) en comparación con aproximadamente  $105\text{ }^\circ\text{C}$  ( $221\text{ }^\circ\text{F}$ ) para el cloruro de polivinilo y  $100\text{ }^\circ\text{C}$  ( $212\text{ }^\circ\text{F}$ ) para el poliestireno, que son, ambos, ejemplos de polímeros amorfos que incluyen poco o ningún contenido cristalino.

#### 40 Otros materiales de mandril

Aunque el HDPE es una excelente elección de material para un mandril elástico, se pueden usar otros materiales. Por ejemplo, el polipropileno tiene una buena cantidad de flexibilidad, capacidad de estiramiento, durabilidad y tenacidad, ya que también tiene una temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura ambiente.

45 Los materiales con temperaturas de transición vítrea por encima de la temperatura ambiente, como el nylon y el policarbonato, también pueden funcionar, por ejemplo, como mandriles axialmente elásticos. Estos se podrían usar en rebobinadoras que acepten mandriles radialmente rígidos y ofrecerían al menos las ventajas de bajo coste, baja masa, baja inercia polar y fuerza de extracción reducida. Puede ser favorable usarlos en un caso, por ejemplo, en el que se requiera una mayor rigidez a la flexión que el HDPE para el manejo y transporte de mandril (por ejemplo, Nylon GS (3172 MPa (460.000 psi)) y policarbonato (2413 MPa (350.000 psi)) que tienen, ambos, módulos elásticos de flexión significativamente más altos que el HDPE (1241 MPa (180.000 psi)) o cuando se requiere un mandril más fuerte (por ejemplo, Nylon GS (86.2 MPa (12.500 psi)) y policarbonato (65.5 MPa (9.500 psi))), que tienen, ambos, un límite de elasticidad significativamente mayor que el HDPE (27.6 MPa (4.000 psi)). El principal inconveniente de estos otros materiales es su relativa fragilidad, por lo que pueden romperse en muchas piezas durante un choque o el bloqueo de la máquina. De manera alternativa, se pueden agregar plastificantes a algunos de estos materiales para cambiar la  $T_g$  de un ambiente superior a un ambiente inferior, si esto no reduce también demasiado la resistencia y otras propiedades atractivas.

#### 60 Cloruro de polivinilo

Una sección sobre cloruro de polivinilo (PVC) está garantizada porque la tubería de PVC puede haber sido probada en el pasado en algunas rebobinadoras e incluso puede estar en uso ahora en algunas rebobinadoras. La tubería de PVC puede haber sido probada como una alternativa a los mandriles de aleación metálica utilizados en las rebobinadoras sin núcleo de arranque y parada y se sabe que se usó como mandril de bobinado para fabricar bobinas sin núcleo en al menos una rebobinadora de funcionamiento continuo. La tubería rígida de PVC es atractiva en comparación con las aleaciones metálicas y los compuestos reforzados con fibra porque es fácil de obtener,

mecanizable, de baja fricción, económica y relativamente liviana.

Los siguientes sitios web enumeran los tamaños de tuberías de PVC métricas disponibles comercialmente.

<http://www.epco-plastics.com/pdfs/pvc%20-%2057-87.pdf> [http://www.epco-plastics.com/PVC-U\\_metric\\_technical.asp](http://www.epco-plastics.com/PVC-U_metric_technical.asp)

Los siguientes sitios web enumeran tamaños de tubos de PVC imperial disponibles comercialmente.

<http://www.professionalplastics.com/professionalplastics/PVCPipeSpecifications.pdf> [http://www.sd-w.com/civil/pipe\\_data.htm](http://www.sd-w.com/civil/pipe_data.htm)

La tubería de PVC es un termoplástico amorfo con una alta temperatura de transición vítrea. Debido a que su temperatura de transición vítrea está muy por encima de la temperatura ambiente, es rígida y relativamente frágil durante el funcionamiento, especialmente cuando se somete a cargas repentinas. La Tabla 2, que muestra las propiedades mecánicas típicas de varios polímeros, presentada anteriormente en el presente documento, enumera los valores del PVC "rígido" (bajo contenido de plastificante) que se usa en tuberías disponibles comercialmente. Estos valores son de los siguientes sitios web.

<http://www.professionalplastics.com/professionalplastics/PVCPipeSpecifications.pdf> [http://www.sd-w.com/civil/pipe\\_data.htm](http://www.sd-w.com/civil/pipe_data.htm)

Los siguientes extractos parafraseados están tomados de pvc.org, que está disponible en el siguiente sitio web.

<http://www.pvc.org/en/p/pvc-strength>

La temperatura de transición vítrea del PVC es superior a 70 °C (158 °F). El resultado es una baja resistencia al impacto a temperatura ambiente, que es una de las desventajas del PVC.

Hay muchas maneras de medir la resistencia al impacto. El anterior sitio web incluye una tabla que muestra la energía absorbida por las piezas de ensayo de diversos materiales plásticos cuando se fijan y se martillan para romperlas (falla). Los valores más altos indican una mayor resistencia al impacto. El PVC rígido está en el extremo inferior de la escala.

El anterior sitio web también incluye gráficos que muestran comparaciones del módulo de elasticidad a la tracción de PVC con otros plásticos, y comparaciones del límite de elasticidad a la tracción de PVC con otros plásticos.

Los principales inconvenientes del PVC son su fragilidad y su mayor densidad. Debido a su fragilidad, los mandriles de PVC pueden romperse en muchas piezas durante un choque o atasco de la máquina. Debido a su fragilidad, no se puede utilizar para fabricar mandriles de paredes delgadas y conformes con la radiación radial como el HDPE y, tal vez, el polipropileno. La pared del tubo debe ser más gruesa, especialmente cuando el diámetro exterior del mandril es más grande. La pared de tubo más gruesa, combinada con la mayor densidad de material, asegura que los mandriles fabricados de PVC tendrán una masa y una inercia polar más altas que los mandriles fabricados de HDPE y, por lo tanto, serán más difíciles de controlar en una rebobinadora, especialmente a altas velocidades.

Tal vez el material de la tubería de PVC podría funcionar como un mandril radialmente rígido, algo elástico axialmente. Sin embargo, su menor valor de límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad hace que sea menos adecuado para esta aplicación porque, para muchos productos, se alcanzarían altos niveles de tensión antes de lograr el alargamiento adecuado.

Se pueden agregar plastificantes al PVC para cambiar su temperatura de transición vítrea de por encima de la temperatura ambiente a por debajo de la temperatura ambiente. El PVC acepta fácilmente plastificantes y esto se hace comúnmente. Si esto no reduce también la resistencia y otras propiedades atractivas, puede ser viable para un mandril elástico. El uso de este material también estaría entonces dentro de la novedad de la presente invención.

Los plastificantes pueden cambiar la temperatura de transición vítrea hasta el punto de que el PVC se vuelve más suave, flexible e incluso gomoso. En estas formas se usa en ropa y tapicería, aislamiento de cables eléctricos, productos inflables, piezas de automóviles y muchas aplicaciones en las que reemplaza al caucho. Con la adición de modificadores de impacto y estabilizadores, se ha convertido en un material popular para marcos de puertas y ventanas, también para revestimientos de vinilo. Parece factible que pueda existir, o crearse, una formulación que pueda cumplir los requisitos de un mandril aceptable radial y axialmente elástico.

Los siguientes extractos parafraseados se tomaron de pvc.org. Están disponibles en el siguiente sitio web.

<http://www.pvc.org/en/p/pvc-additives>

El cloruro de polivinilo (PVC) es un termoplástico versátil con la más amplia gama de aplicaciones de toda la familia de los plásticos, lo que lo hace útil en prácticamente todas las áreas de la actividad humana.

Sin aditivos, el PVC no sería una sustancia particularmente útil, pero su compatibilidad con una amplia gama de aditivos, para ablandarlo, colorearlo, hacerlo más procesable o más duradero, en una amplia gama de aplicaciones

potenciales, desde sellos para bajos de automóviles y membranas flexibles para techos hasta tubos y perfiles de ventanas. Los productos de PVC pueden ser rígidos o flexibles, opacos o transparentes, coloreados y aislantes o conductores. No hay solo un PVC, sino toda una familia de productos hechos a medida para satisfacer las necesidades de cada aplicación.

5 Antes de que el PVC se pueda convertir en productos, debe combinarse con una gama de aditivos especiales. Los aditivos esenciales para todos los materiales de PVC son los estabilizantes y los lubricantes. En el caso del PVC flexible, también se incorporan plastificantes. Otros aditivos que pueden usarse incluyen rellenos, auxiliares de procesamiento, modificadores de impacto y pigmentos. Los aditivos influirán o determinarán las propiedades mecánicas, la estabilidad térmica y lumínica, el color, la claridad y las propiedades eléctricas del producto. Una vez que se han seleccionado los aditivos, se mezclan con el polímero en un procedimiento llamado composición.

#### PVC amorfo frente a HDPE semicristalino

15 Los siguientes extractos se tomaron de la *Encyclopedia of PVC*, Segunda Edición, Volumen 3: Compounding Processes, Product Design, and Specifications, editado por Leonard I. Nass, 1992, Marcel Dekker. INSB 0-8247-7822-7. Se pueden ver partes del libro en el siguiente sitio web  
[http://books.google.com/books?id=mDe7EidmqllC&pg=PA238&lpq=PA238&dq=PVCU+-strain+at+yield&source=bl&ots=ITBi2RakPv&sig=90G7PuHtxMfmrnUg\\_uzX45zHRpQ&hl=en&sa=X&ei=HTjjT\\_myK-iW2AXL3LHMDg&ved=0CHwQ6AEwBA#v=onepage&q=PVCU%20strain%20at%20yield&f=false](http://books.google.com/books?id=mDe7EidmqllC&pg=PA238&lpq=PA238&dq=PVCU+-strain+at+yield&source=bl&ots=ITBi2RakPv&sig=90G7PuHtxMfmrnUg_uzX45zHRpQ&hl=en&sa=X&ei=HTjjT_myK-iW2AXL3LHMDg&ved=0CHwQ6AEwBA#v=onepage&q=PVCU%20strain%20at%20yield&f=false)

20 El siguiente extracto es del primer párrafo completo en la página 233.

25 Los últimos 16 años también han estado marcados por la rápida difusión en toda la industria de una mayor comprensión de la importancia fundamental de la naturaleza de las partículas y la cristalinidad del PVC desarrollada durante las décadas de 1960 y 1970. Los cambios en la morfología del PVC rígido y la forma en que se desarrolla su cristalinidad parcial en el producto final por la cantidad de fusión (gelificación\*) obtenida durante la composición y el procesamiento han demostrado ser de importancia crítica para lograr productos de buena calidad. Los procedimientos de ensayo para evaluar estas propiedades aún están en desarrollo, pero se da cuenta del estado actual. El rendimiento del PVC rígido en los ensayos estándar se interpreta, siempre que sea posible, a la luz de este nuevo conocimiento, para animar al lector a que adopte un enfoque fundamental en el diseño del producto, las pruebas, la resolución de problemas y la determinación de especificaciones de rendimiento.

35 El siguiente extracto es del último párrafo en la página 234. Establece que entre el 7 y el 10 % del volumen de PVC rígido es cristalino. Aparentemente, el resto, que es una preponderancia del volumen, es amorfo, lo que hace que la composición global se denomine amorfa.

40 Cada partícula primaria es una unidad independiente que contiene un grupo de moléculas de PVC enredadas. La disposición espacial de los átomos de cloro a lo largo de la columna vertebral de hidrocarburo de las moléculas es tal que solo alrededor del 50-70 % del polímero comercial es sindiotáctico [37, 38], por lo que son raras las series largas e ininterrumpidas de polímero estereoespecífico. Cuando las regiones estereoespecíficas suficientemente largas se acercan durante la polimerización (o durante el enfriamiento de una masa fundida lo suficientemente caliente como para ser amorfa), se unen para formar una región cristalina, uniendo diferentes regiones de la misma molécula y partes de moléculas adyacentes. La estructura de estos cristalitas varía en perfección según la cantidad, el sitio, la regularidad y, por lo tanto, la compatibilidad de las regiones estereoespecíficas. Se cree que están separados por un promedio de aproximadamente 10 nm y generalmente constituyen alrededor del 7-10 % de la estructura del polímero [6]. Cada partícula primaria es un "paquete" independiente, de aproximadamente 1 µm de diámetro, que comprende una red tridimensional de estas cadenas moleculares de PVC enredadas, unidas a intervalos de aproximadamente 10 nm por regiones cristalinas de diferentes tamaños y grados de perfección.

50 El siguiente extracto fue tomado del *Handbook of Vinyl Formulating*, Segunda Edición, editado por Richard F. Grossman, 2008, de John Wiley & Sons. INSB 978-0-471-71046-2. Se pueden ver partes del libro en el siguiente sitio web.  
[http://books.google.com/books?id=1eBbloL0bgAC&pg=PA17&lpq=PA17&dq=pvc+percent+crystallinity&source=bl&ots=pz9rStMSEE&sig=q\\_pxRaqCQwa8o4Sq6iFkmu8Rz\\_g&hl=en&sa=X&ei=9ErjT9aHM6ai2qW73NWoDA&ved=0CH0Q6AEwBQ#v=onepage&q=pvc%20percent%20crystallinity&f=false](http://books.google.com/books?id=1eBbloL0bgAC&pg=PA17&lpq=PA17&dq=pvc+percent+crystallinity&source=bl&ots=pz9rStMSEE&sig=q_pxRaqCQwa8o4Sq6iFkmu8Rz_g&hl=en&sa=X&ei=9ErjT9aHM6ai2qW73NWoDA&ved=0CH0Q6AEwBQ#v=onepage&q=pvc%20percent%20crystallinity&f=false)

60 El siguiente extracto es del primer párrafo completo en la página 17. Establece que ente el 5 y el 10 % del volumen de PVC rígido es cristalino.

65 En el mundo de los termoplásticos, el PVC es un polímero único. A diferencia de muchos de los termoplásticos commodities que compiten contra él, el PVC es principalmente un material amorfo. Sin embargo, la mayoría de las resinas de PVC disponibles comercialmente contienen regiones cristalinas que oscilan entre el 5 y el 10 por ciento del polímero. Aunque muchas de estas regiones cristalinas se funden a temperaturas normales de procesamiento de PVC, algunas permanecen intactas a temperaturas muy por encima de los 200 °C.<sup>8</sup> El hecho de que algunas de

estas regiones existan en PVC plastificado proporciona características de polímeros que recuerdan a las de los elastómeros termoplásticos. Estas regiones de cristalinidad, junto con la distribución relativamente estrecha del peso molecular del PVC, ayudan a impartir una mayor resistencia en estado fundido durante los procedimientos de extrusión y calandrado frente a otros polímeros.<sup>9</sup> La naturaleza mayoritariamente amorfa del PVC también permite la fabricación rentable de artículos transparentes en espesores superiores a 0,250 pulgadas (10 mm) con una selección adecuada de aditivos.

Los siguientes extractos parafraseados están tomados de un artículo titulado *Polymer Science* disponible en Articlesbase.com. Están disponibles en el siguiente sitio web. <http://www.articlesbase.com/technology-articles/polymer-science-1653837.html>

Los estudios morfológicos de polímeros se relacionan principalmente con los patrones moleculares y el estado físico de las regiones cristalinas de los polímeros cristalizables. Se conocen polímeros amorfos, semicristalinos y prominentemente cristalinos. Es difícil y puede ser prácticamente imposible alcanzar el 100 % de cristalinidad en polímeros en masa. También es difícil, según diferentes evidencias microscópicas, obtener polímeros amorfos sólidos completamente desprovistos de cualquier orden molecular o segmentario, estructuras orientadas o cristalinidad. Un espectro completo de estructuras, que abarca un desorden casi total, diferentes clases y grados de orden y un orden casi total, puede describir el estado físico de un sistema polimérico determinado, dependiendo del entorno de ensayo, la naturaleza del polímero y su ruta de síntesis, la microestructura y la secuencia estereoscópica de unidades de repetición, así como la historia termomecánica de la muestra de ensayo. Además, los datos recopilados sobre el grado de cristalinidad también pueden variar dependiendo del procedimiento de ensayo empleado. Por lo tanto, los datos sobre el grado de cristalinidad que se muestra en la Tabla 2 deben considerarse aproximados.

Los polímeros que muestran grados de cristalinidad superiores al 50 % se reconocen comúnmente como cristalinos. Las moléculas de cadena predominantemente lineales de polietileno de alta densidad (HDPE) muestran un grado de cristalinidad que es mucho mayor que cualquier otro polímero conocido (incluso sustancialmente mayor que el del polietileno de baja densidad (LDPE). Para el HDPE, el grado de cristalinidad alcanzable está cerca del límite superior (100 %). Los polímeros atácticos en general (incluyendo los de los grupos laterales voluminosos que contienen metilmetacrilato y estireno), tienen configuraciones irregulares que no se cristalizan significativamente bajo ninguna circunstancia.

Tabla 2: Grado aproximado de cristalinidad (%) para diferentes polímeros.

Polímero	Cristalinidad (%)
Polietileno (LDPE)	60 – 80
Polietileno (HDPE)	80 - 98
Polipropileno (Fibra)	55 – 60
Nylon 6 (Fibra)	55 – 60
Terileno (Fibra de poliéster)	55 – 60
Celulosa (Fibra de algodón)	65 - 70

### Área de sección y tensión del mandril y su relación con la extracción

Cuando las fuerzas de extracción del mandril son bajas, el tamaño de la sección transversal del mandril no es crítico y generalmente se realiza para obtener la conformidad radial deseada. Sin embargo, cuando las fuerzas de extracción del mandril son grandes, como en el caso de productos enrollados muy fuertemente, es útil optimizar el área de la sección.

El diámetro exterior del mandril (OD) viene determinado por el diámetro del orificio requerido en el producto terminado. El diámetro interior del mandril (ID) y, por lo tanto, el espesor de la pared, están determinados por el área de sección transversal requerida. El objetivo es utilizar completamente la deformación máxima recomendada de la mitad a dos tercios del límite de elasticidad dividido por el módulo de elasticidad ( $\epsilon_o$ ). Esta deformación corresponde a una tensión inicial inducida de algo menos de la mitad a dos tercios del límite de elasticidad ( $S_y$ ), debido a la respuesta no lineal de la tensión a la deformación. Si se dispone de datos reales de la curva de tensión-deformación, es mejor utilizarlos. Sin embargo, a continuación, se usa la relación lineal de la Ley de Hooke para simplificar.

Supongamos que  $\epsilon_o = 0,027$  y  $S_y = 27,6$  MPa (4.000 psi). Entonces, la mitad  $\times \epsilon_o = 0,0135$  y la mitad  $\times S_y = 13,8$  MPa (2.000 psi). La tensión objetivo para producir la deformación deseada de la mitad a dos tercios  $\epsilon_o$  también es de aproximadamente 13,8 MPa (2.000 psi).

$$\sigma = F / A$$

Se define el valor objetivo para  $\sigma$ . La fuerza aplicada no es una variable independiente. La fuerza viene determinada por la interacción de la bobina y el mandril. La única variable independiente en la ecuación es el área de la sección transversal.

La elección de un diámetro interior del mandril con un área de sección transversal  $A$  correspondiente que produce la tensión objetivo  $\sigma$  para la fuerza de extracción  $F$  da como resultado un diseño de mandril optimizado, ya que la deformación del mandril se utiliza completamente. El procedimiento de optimización puede ser iterativo, porque la magnitud de la fuerza de extracción no es precisamente predecible y, por lo tanto, debe medirse. No obstante, el procedimiento hace posible la optimización del mandril. En algunos casos, puede llevar a la conclusión de que un eje sólido es preferible a una forma tubular, o se justifica una selección de material diferente.

Vale la pena señalar en este momento que el estiramiento del mandril no aumenta la magnitud de la fuerza de extracción. Si lo hiciera, entonces este procedimiento de estiramiento de un mandril elástico durante la extracción podría ser contraproducente y, por lo tanto, menos útil en la práctica. Pero no lo hace. Es similar a levantar un peso de 444,8 N (100 libras) con una correa elástica en lugar de una cadena de acero inelástica. La fuerza de elevación permanece sin cambios en 444,8 N (100 libras). Quizás se haga más trabajo porque la correa es alargada además del peso que se levanta, pero la fuerza es la misma.

#### 15 Restricción de la bobina durante la extracción del mandril

En las rebobinadoras sin núcleo del estado de la técnica, la bobina es soportada por un canal, debajo, y restringida en la dirección axial únicamente por una placa contra su cara final bien cuando se extrae el mandril o cuando se empuja la bobina. Esto funciona con mandriles rígidos en los que la bobina se libera de repente sustancialmente de manera simultánea, como una unidad, a lo largo de toda su longitud.

Sin embargo, esta disposición no funciona bien con un mandril axialmente elástico, especialmente para bobinas enrolladas sueltas con poca resistencia axial de la columna. Después de que un primer segmento corto de la bobina se haya liberado localmente del mandril elástico en el interior, por ejemplo, en las casi varias pulgadas de longitud de la bobina, la bobina solo tiene su propia resistencia interna al colapso axial para su soporte porque el mandril ya no ofrece soporte axial en esa región. Solo ofrece soporte radial en esa región. La fuerza de extracción aplicada al mandril se transmite a la bobina a través de su interfaz en el segmento que aún no se ha liberado. Esta fuerza atrae el extremo más alejado de la bobina hacia la placa fija en la cara de extremo de la bobina. Esta carga de compresión que actúa axialmente sobre la bobina, dentro de la región en donde el mandril puede deslizarse libremente dentro de la bobina, puede colapsar y arrugar esta región de la bobina (como un acordeón).

Se requiere un medio para evitar este colapso axial de la bobina. La solución preferida es proporcionar restricción axial en la periferia de la bobina. No es necesario que se extienda toda la longitud de la bobina. Sin embargo, si se extiende al menos la mayor parte de la longitud de la bobina es más robusta para tolerar variaciones de bobina a bobina y entre formatos de producto. Y, si se extiende al menos a lo largo de la mayor parte de la longitud de la bobina, se distribuye la fuerza de retención  $n$  en un área mayor de la periferia de la bobina, lo que reduce las posibilidades de que se produzcan daños en la superficie de la bobina. Es más útil aplicarla a lo largo del segmento de la bobina donde el mandril aún no se ha liberado, porque la fuerza axial transmitida del mandril a la bobina en esta región se contrarresta inmediatamente, en la misma región, con menos posibilidad de daño de la bobina en comparación con las fuerzas opuestas aplicadas a mayor distancia axial y, por lo tanto, la transmisión de fuerza toma un camino más largo a través de la bobina.

Se sigue recomendando la restricción periférica de las bobinas cuando se estira el mandril tirando de ambos extremos para reducir en gran medida la fuerza de extracción, por las siguientes razones. Las bobinas de baja densidad y/o aquellas con elevado estiramiento en dirección transversal (CD) pueden alargarse ligeramente con el mandril a medida que se estira el mandril. La restricción periférica de la bobina reduce esta tendencia y, por lo tanto, maximiza el movimiento relativo del mandril y la bobina. Las bobinas de baja firmeza, enrolladas sin apretar, que son posibles gracias al mandril de bobinado muy liviano, tienen una resistencia axial y una rigidez muy bajas y todavía pueden colapsarse, incluso bajo la fuerza de extracción reducida, si la periferia no está restringida.

La restricción periférica por sí sola no es adecuada para la mayoría de los productos, por lo que aún se utiliza una placa fija en la cara de extremo de la bobina. Esta placa garantiza que el interior de la bobina no se desplace axialmente con el mandril, en relación con la periferia de la bobina (plegado) cuando se retira el mandril.

El uso de un mandril elástico asegura fuerzas de extracción razonables sin dañar el producto cuando se producen bobinas sin núcleo firmemente enrolladas. Supera el problema de la alta presión entre capas. El uso de un mandril elástico con restricción de la cara de extremo de bobina y de la periferia de la bobina durante la extracción del mandril garantiza bajas fuerzas de extracción sin plegarse o arrugarse cuando se producen bobinas sin núcleo de baja densidad enrolladas sin apretar. Supera los problemas de baja presión entre capas (plegado) y baja resistencia de la columna (arrugamiento).

El dispositivo que aplica presión sobre la bobina para restringir la periferia de bobina debe tener un recorrido limitado después de que entre en contacto con la superficie de la bobina (por ejemplo, bloqueos de varillas en cilindros neumáticos o un servo accionador con retroalimentación) o comprimirá las bobinas de baja densidad enrolladas sin apretar, aplanándolas a medida que se retira el mandril.

Como se explicó al comienzo de esta sección, cuando los mandriles rígidos funcionan correctamente, la bobina se libera de forma sustancialmente simultánea, como una unidad, a lo largo de toda su longitud. Sin embargo, cuando la bobina está enrollada con firmeza, el accionador se atasca. Generalmente, un segmento de la bobina adyacente a la placa de restricción se separa del mandril localmente y se arruga (colapsa axialmente) porque no puede soportar la excesiva tensión de compresión. Es el agrupamiento de este papel en una forma de acordeón lo que hace que la bobina se enganche en el mandril, bloqueando el accionador. Este mal funcionamiento se puede prevenir utilizando la misma restricción periférica descrita anteriormente para los mandriles elásticos, expandiendo así la ventana operativa de los mandriles rígidos para incluir productos enrollados más fuertemente.

#### 10 Extracción en línea de mandril

En las rebobinadoras sin núcleo del estado de la técnica, la bobina está soportada por un canal, debajo, y restringido en la dirección axial únicamente por una placa contra su cara de extremo, ya sea que se extraiga el mandril o se empuje la bobina. En todos los casos, el elemento flexible que comunica la fuerza del actuador al mandril (en el caso de la tracción) o la placa (en el caso del empuje), ya sea cadena, correa dentada, cable u otro, se desplaza lateralmente de la línea central del mandril, por lo que la fuerza de extracción (tracción) o la fuerza de desprendimiento (empuje) producen grandes cargas de momento en las guías para el cierre (tracción) o la placa (empuje). Se requieren formas de marcos, soportes y guías sustanciales para oponerse a estas grandes cargas de momentos. Esto aumenta el coste y el espacio requerido, y reduce la velocidad práctica a la que operan. Y es una queja frecuente que las formas de guía se desgastan prematuramente.

La disposición de las poleas y la trayectoria de la correa dentada en la presente invención permite que la fuerza de extracción se coloque sustancialmente coincidente con la línea central del mandril. Esto hace que la carga de momento sea mínima, o sustancialmente cero.

Al no tener prácticamente carga de momento, el dispositivo que soporta el cierre del mandril tiene un peso muy liviano en su construcción porque solo debe soportar cargas de tracción y compresión durante la operación, sin cargas de flexión. Su peso más ligero le permite operar a velocidades y aceleraciones máximas más altas, lo que permite obtener mayores velocidades de ciclo para cada extractor. También hace que las partes componentes sean menos caras.

Al no tener prácticamente carga de momento, los marcos, los soportes y las formas de guía se pueden hacer de una construcción más liviana y de un tamaño más compacto. El hecho de que cada extractor sea de tamaño más compacto facilita la utilización de múltiples extractores paralelos en una escala razonable, por ejemplo, que pueden ser alcanzados por un operador de pie en el suelo o en una plataforma baja. La construcción más liviana también hace que los componentes sean menos costosos. Estas mejoras hacen que el uso de múltiples extractores paralelos sea práctico, lo que hace posible, por primera vez, rebobinadoras sin núcleo de muy alta velocidad de ciclo.

#### 40 Novedoso cierre de mandril

Tanto si el mandril se retira de una bobina estacionaria como si bobina se retira de un mandril estacionario, se requiere un cierre para sujetar de forma segura el extremo del mandril que está expuesto más allá del extremo de la bobina. El propósito del cierre es controlar la posición del mandril a lo largo de su eje longitudinal, en relación con la posición de la bobina. Puede llamarse pinza de sujeción, gancho, un medio para cooperar con el extremo del mandril, etc.

La técnica anterior en este campo técnico inmediato (rebobinado de papel tisú sin núcleo) no es capaz de cooperar con un mandril radialmente elástico de sección transversal sustancialmente uniforme. Los mandriles en esta técnica anterior tienen al menos una superficie que es transversal al eje longitudinal del mandril, que se comunica con el cierre. Puede tomar la apariencia de labio, resalte, borde anular interior o exterior, perilla, gancho o similar. Las superficies cónicas, o ahusadas, con su eje, o ejes, paralelos al eje longitudinal del mandril también podrían usarse, aunque no ofrecen un beneficio real, sino solo una diferencia de preferencia, en el sentido de que las superficies de acoplamiento son oblicuas, en lugar de transversales, al eje del mandril.

Sin embargo, con un mandril de sección transversal uniforme (que no puede ser deformado permanentemente por el cierre, debido a la necesidad de recircularlo y reutilizarlo) las fuerzas deben ser transmitidas únicamente por fricción entre superficies concéntricas al eje longitudinal del mandril (si es curvado) o tangente a superficies concéntricas al eje longitudinal del mandril (si es plano).

Nota: esta afirmación bastante amplia supone que el medio es un procedimiento de contacto tradicional, no un procedimiento sin contacto, por ejemplo, que utiliza un motor de inducción lineal, con un mandril metálico, o un mandril con una porción metálica, accionado axialmente por el motor.

El desafío de mantener un mandril axialmente conforme de sección transversal uniforme de esta manera se ve incrementado por el hecho de que los mandriles están hechos de materiales antifricción para minimizar las fuerzas de extracción: están diseñados para deslizarse más fácilmente fuera de las cosas.

Las pinzas de sujeción de la técnica anterior diseñadas para sostener elementos cilíndricos de sección transversal uniforme desde el exterior, como las que se usan para sostener de piezas de trabajo en talleres mecánicos, aplastarían el extremo del mandril antes de desarrollar una fuerza de sujeción axial adecuada. Un supuesto inherente a estos dispositivos es que la pieza cilíndrica es relativamente rígida. Sin embargo, el mandril elástico no es lo suficientemente rígido para soportar las muy elevadas fuerzas radiales necesarias para desarrollar las fuerzas de fricción axial adecuadas.

Las pinzas de sujeción de la técnica anterior diseñadas para sostener elementos tubulares de sección transversal uniforme desde el interior se deslizarían o deformarían permanentemente el extremo del mandril. Un supuesto inherente a estos dispositivos es que la pieza cilíndrica es relativamente fuerte y rígida. Sin embargo, el mandril elástico no es lo suficientemente fuerte y rígido para soportar las muy elevadas fuerzas radiales necesarias para desarrollar las fuerzas de fricción axiales adecuadas. El extremo del mandril cedería, experimentando un aumento permanente del diámetro, o ruptura. De cualquier manera, se dañaría y no sería reutilizable. Nota: las fuerzas aplicadas durante el estiramiento y/o extracción pueden ser mucho más altas que la fuerza de tracción inducida por la restricción de los extremos del mandril cuando se presuriza, generalmente de 222 a 667 N (de 50 a 150 libras), por lo tanto, la pinza de sujeción interior utilizada en el nido de bobinado sería inadecuado para muchos formatos de productos.

Una alternativa válida es hacer que el mandril tenga una sección transversal no uniforme a fin de proporcionar una superficie transversal al eje longitudinal del mandril para que el cierre pueda cooperar con el mismo. Se puede hacer con un mandril homogéneo fusionando una forma en el mandril en o cerca del extremo, trabajando en caliente una característica en el mandril en o cerca del extremo, trabajando en frío una característica en el mandril en o cerca del extremo, mecanizando una característica en el mandril en o cerca del extremo, o similares. La característica puede no poseer técnicamente una superficie transversal, sino una superficie curvada que funciona de manera similar, tal como un orificio u orificios a través de la pared del tubo, una forma cónica o ahusada, una protuberancia anular (interior o exterior), un gancho, una perilla esférica o similar. Se puede hacer con un mandril no homogéneo mediante la coextrusión de un polímero de formulación diferente en el extremo o cerca del mismo, o agregando material diferente, por ejemplo, una aleación metálica, mediante soldadura sónica, sujeción mecánica, unión, adhesivo, etc.

Sin embargo, hacer que la sección transversal del mandril no sea uniforme al poner tales características en sus extremos supone un gran inconveniente. Este gran inconveniente es que tiene un coste mucho mayor. Los mandriles de sección transversal uniforme de materiales termoplásticos pueden extraerse comercialmente de manera muy económica. Si se adquieren en cantidades de 1.000 a 2.000, el coste es inferior al 2 % del coste de un mandril hecho de componentes ensamblados, tales como los que se enseñan en la técnica anterior. Mantener el mandril homogéneo y simplemente agregar características al final sería más económico que agregar piezas de material diferente, pero, con todo, aumentaría el coste en un factor de muchas veces.

Otros inconvenientes incluyen los siguientes.

- La mayor masa y la inercia polar permitirían un peor control a altas velocidades de banda.
- Los mandriles más pesados reducirían la ventana operativa de los devanadores de superficie sin núcleo en relación con la baja firmeza, los productos enrollados sin apretar.
- El peso agregado en los extremos del mandril aumentaría la probabilidad de daños catastróficos de la máquina durante los choques a altas velocidades.
- Los mandriles serán menos duraderos, especialmente si el material agregado es diferente, ya que puede separarse bajo cargas elevadas o cargas de impacto.
- Los mandriles también pueden ser menos duraderos debido a las concentraciones de tensión en las características agregadas.
- Es posible que los mandriles no funcionen en rebobinadoras existentes que también hacen productos con núcleos de cartón porque su geometría no es equivalente a un núcleo.
- Los mandriles pueden no tener una rigidez radial uniforme en toda su longitud y, en lugar de esto, ser más rígidos en o cerca de los extremos, donde la sección transversal difiere. Esto no es un problema para los mandriles rígidos, que se usan en rebobinadores sin núcleo especiales, porque ser un poco más duro que rígido continúa siendo rígido, es decir, es casi igual. Sin embargo, es un gran inconveniente para los mandriles destinados a ser radialmente elásticos y utilizables en devanadores de superficie que necesitan compresión en el núcleo (o mandril) para controlarlo, ya que la alteración de la sección transversal en los extremos puede aumentar radicalmente la rigidez en los extremos. Si la rigidez radial es demasiado alta, puede dañar la máquina o el mandril. Si la mayor rigidez se localiza con respecto al eje longitudinal del mandril, puede causar un desgaste desigual y/o dirigir el mandril hacia un lado cuando se ejecuta.
- Los mandriles serán más costosos de reciclar si se usa material diferente porque el material diferente tiene que estar separado

Se requiere una holgura para colocar el mandril de sección transversal uniforme en, o sobre, los medios de restricción (cierre). La holgura es variable. Los mandriles de menor coste tendrán una mayor variabilidad (tolerancia

de fabricación). Si un cierre requiere mandriles de mayor precisión, entonces se requieren mandriles de mayor coste. Las tolerancias estándar citadas para la extrusión comercial normal de mandriles de HDPE con un espesor de pared de 4,32 cm (1.700 pulgadas) de diámetro exterior x 0,09 cm (0,036 pulgadas) de espesor de pared son de  $\pm 0,02$  cm ( $\pm 0,010$  pulgadas) en el diámetro exterior y también  $\pm 0,02$  cm ( $\pm 0,010$  pulgadas) en el diámetro interior. Esto significa que el espesor de la pared puede variar  $\pm 0,02$  cm ( $\pm 0,010$  pulgadas).

Como se mencionó anteriormente, la extrusión de polímeros termoplásticos a tolerancias normales es una forma muy económica de hacer mandriles de bobinado, especialmente si se piden en grandes cantidades. Pero para aprovechar esta oportunidad, el cierre debe adaptarse a la variación del diámetro del mandril y no dañar los extremos del tubo. Por lo tanto, tiene que abrirse lo suficiente para tener holgura en el diámetro exterior de los tubos más grandes y en el diámetro interior de los tubos más pequeños, así como cerrarse lo suficiente como para enganchar el OD de los tubos más pequeños y el ID de los tubos más grandes.

A continuación, se enumeran los requisitos de diseño del cierre del mandril:

- No daña (deforma permanentemente) el mandril.
- Se adapta al rango relativamente grande de holgura del tubo de polímero extruido comercialmente normal.
- Puede producir una alta fuerza de sujeción axial.
- Transmite la fuerza de sujeción axial de manera uniforme a la sección transversal del mandril para evitar puntos de alta tensión localizados que podrían provocar que el material del mandril cediera o se rasgara.
- Se engancha (bloquea) y se desengancha (libera) rápidamente.
- Puede desengancharse bajo carga de tracción axial. Este es un requisito del procedimiento de estiramiento mecánico.
- Se puede intercambiar para mantenimiento y cambios de diámetro del mandril (formato del producto).
- Es compacto, para facilitar la utilización de múltiples extractores paralelos en una escala razonable.
- Es ligero, por lo que se puede acelerar rápidamente para la extracción del mandril a alta velocidad (velocidad de ciclo alta).
- Tiene accionamiento eléctrico o neumático (no hidráulico, que es propenso a fugas y susceptible de incendio).

Las Figuras 12-18 ilustran la realización preferida de un cierre 69 que puede cooperar con un mandril elástico de pared delgada con sección transversal uniforme.

Con referencia a la Figura 14, un conjunto de cilindro neumático 70 incluye un cuerpo cilíndrico 71 y un pistón 72 que incluye extremos de varilla derecho e izquierdo 73 y 74. El pistón 72 es deslizante dentro de un orificio 75 en el cilindro, y el orificio se comunica con una fuente de aire presurizado a través de puertos 76 y 77. El cilindro 71 es un cilindro de carrera corta y gran diámetro.

El extremo de varilla derecho 73 está provisto de roscas de tornillo 78 y un resalte anular 79. Un soporte 80 se asegura contra el resalte 79 por medio de una tuerca 81. Un extremo 82 de una correa dentada flexible 83 (véase también la Figura 18) se fija a la parte inferior del soporte 80 mediante una abrazadera 84 y el otro extremo 85 de la correa dentada se fija a la parte superior del soporte 80 mediante una abrazadera 86.

Un conjunto de sujeción 88 se monta sobre el extremo de varilla izquierdo 74 y está adaptado para sujetar un mandril tubular 60. El conjunto de sujeción incluye un alojamiento cilíndrico 89 y una clavija central cilíndrica o eje 90 que está dimensionada para su inserción en el orificio del mandril tubular. La clavija tiene una nariz de bala acortada 91 para garantizar que entre en el mandril, incluso si el mandril y la bobina que se enrolla en el mandril están desalineados con el cierre 69. El diámetro de la clavija tiene una tolerancia de fabricación. Su diámetro máximo está especificado, por lo que siempre es menor que el diámetro mínimo posible del mandril. Por lo tanto, cada mandril tiene una holgura radial entre su diámetro interior y la clavija. La holgura varía. La holgura es máxima cuando el diámetro interior del mandril está en su límite de tolerancia superior y el diámetro de la clavija está en su límite de tolerancia inferior.

Una pluralidad (ocho en la realización ilustrada) de bloques de sujeción separados circunferencialmente 92 (véase también la Figura 13) están montados dentro del alojamiento cilíndrico 89 para el movimiento radial. El movimiento radial de los bloques de sujeción está limitado por una cara que se extiende radialmente en el alojamiento cilíndrico 89 y una placa anular 94 que está atornillada al alojamiento. Cada uno de los bloques de sujeción incluye una cara interior que se extiende axialmente 95 y una cara de cuña exterior inclinada 96. Con referencia a la Figura 13, los bloques de sujeción están separados por espaciadores de forma generalmente trapezoidal 97 que se fijan al alojamiento 89. Un perno 98 que se extiende radialmente se fija a cada uno de los bloques de sujeción y se extiende a través del alojamiento 89. Un resorte de compresión 99 entre el alojamiento y la cabeza 100 del perno empuja de manera elástica los bloques radialmente hacia afuera para retraer los bloques.

Una cuña de accionamiento 101 está montada radialmente hacia fuera de cada uno de los bloques de sujeción 92. Cada una de las cuñas de accionamiento incluye una cara de cuña interior inclinada 102 que se acopla a la cara de cuña 96 del bloque de sujeción asociado y una cara exterior de extensión axial 103 que se acopla a una superficie

5 cilíndrica 104 del alojamiento 89. El acoplamiento de las caras 103 y 104 asegura que las cuñas de accionamiento se muevan axialmente dentro del alojamiento 89. Cada cuña de accionamiento 101 está provista de un orificio 105 a través del cual se extiende un perno 98 y cada cuña de accionamiento se fija al cuerpo cilíndrico 71 mediante un perno 106 que se atornilla en la cuña. La cabeza 107 de cada perno 106 se fija al cuerpo cilíndrico mediante una placa de sujeción 108 y una tuerca 109.

10 Con referencia a la Figura 13, los bloques de sujeción 92 están espaciados radialmente hacia fuera desde la clavija cilíndrica 90 para permitir que se inserte un mandril tubular entre la clavija y los bloques. La Figura 14 ilustra el extremo de un mandril tubular 60 insertado sobre la clavija 90. El pistón 72 está en la posición desenganchada en la que el pistón se acopla a la cara izquierda 110 del orificio 75 del cilindro 71. El pistón se mantiene en la posición desenganchada por medio del aire presurizado que entra en el puerto 76 y el puerto 77 se ventila.

15 Con referencia a las Figuras 15 y 16, el mandril se sujeta o engancha mediante el puerto de ventilación 76 y el puerto de presurización 77. El aire presurizado del puerto 77 mueve el cilindro 71 hacia la izquierda, y los pernos 106 mueven las cuñas de accionamiento 101 hacia la izquierda y fuerzan los bloques de sujeción 92 radialmente hacia dentro para sujetar el mandril entre los bloques de sujeción y la clavija 90. La clavija rígida 90 dentro del mandril proporciona soporte interno al mandril para que el mandril no se aplaste.

20 Cuando el cilindro se engancha a 0,41 MPa (60 psig), los bloques de sujeción ejercen casi 17793 N (4.000 libras) sobre el mandril. Por lo tanto, si el coeficiente de fricción de los bloques en un mandril de HDPE es 0,3, la fuerza de retención será de casi 5338 N (1.200 libras). Si esta cantidad no es adecuada, el coeficiente de fricción se puede aumentar con recubrimientos de fricción sobre los bloques y la clavija interior, quizás elevándola a 0,5, y por lo tanto la fuerza de retención a 0,41 MPa (60 psig), a casi 8896 N (2.000 libras).

25 El dispositivo es muy compacto y muy ligero en relación con su fuerza de sujeción. Toda la unidad, incluyendo el cilindro neumático, pero excluyendo la correa dentada, las poleas y el motor que la mueven, es de aproximadamente 6 kg (1/4 de 13 libras).

30 Una característica especialmente novedosa es la forma en que el cierre se adapta a la holgura y la tolerancia de fabricación al deformar elásticamente el extremo del mandril sin deformarlo de manera permanente. La disposición de los bloques de sujeción 92 fue concebida cuidadosamente para evitar la deformación permanente del mandril. La Figura 17 muestra cómo se deforma el mandril 60 cuando es cargado por los bloques de sujeción 92 contra la clavija 90 dentro del mandril. La carga axial se comunica a través de dieciséis superficies en las ocho regiones de contacto sustancialmente lineal entre los ocho bloques de sujeción 92, el mandril y la clavija 90. El mandril solo se deforma suavemente en las regiones entre los bloques. La forma de la sección transversal del mandril adquiere temporalmente la apariencia de lóbulos u ondas 111 entre los bloques de sujeción. La tensión máxima de flexión está en los puntos de inflexión. La magnitud de esta tensión es bastante baja porque el radio de curvatura de los lóbulos es grande. Cuando se retira el cierre del mandril, los lóbulos u ondas desaparecen y el mandril adquiere su forma original.

40 El tamaño del mandril en la realización ilustrada es de 4,32 cm (1,700 pulgadas) de diámetro exterior x 0,09 cm (0,036 pulgadas) de espesor de pared. Ocho bloques de sujeción 92 operan fácilmente sobre su periferia. De hecho, los mismos ocho bloques pueden operar sobre la periferia de un mandril con un diámetro exterior tan pequeño como 2,54 cm (1.000 pulgadas). Una variante obvia es que, para los mandriles de diámetro más pequeño, la cantidad de bloques se puede reducir. La realización preferida tiene ocho bloques para asegurar una buena distribución de la transmisión de fuerza, para evitar puntos de alta tensión localizados que podrían provocar que el material del mandril cediera o se rasgara a fuerzas axiales muy altas, maximizando la vida útil del mandril, pero se pueden usar menos bloques.

50 Cuando se utilizan ocho bloques de sujeción, la fuerza se transmite a través de dieciséis superficies en ocho regiones de contacto sustancialmente lineal. Se conoce como dieciséis superficies porque tanto la clavija interior como los bloques exteriores están restringidos axialmente. Se puede hacer una versión del cierre en la que solo la punta interior, o los bloques externos, tengan restricción axial, pero no sería tan eficaz en la transmisión de fuerza.

55 Otra variante opcional es reemplazar la clavija circular en el interior con una forma poligonal o de estrella, o una forma circular con pequeños planos cortados en la misma. Por ejemplo, podría usarse un polígono irregular de 16 lados, con segmentos más cortos para cooperar con los bloques exteriores y segmentos más largos entre los bloques exteriores. Si la cantidad y el espaciado de los bloques fuera del mandril se ajustan adecuadamente, se podría usar un polígono regular, con todos los segmentos y ángulos interiores uniformes. Se podría utilizar una forma de estrella o de lengüeta, con lóbulos o planos que cooperen con los bloques exteriores. Todas estas son solo variantes menores de la invención.

65 La realización preferida tiene un eje circular dentro del mandril y bloques planos fuera del mandril. Estas formas fueron seleccionadas en gran parte por su facilidad de fabricación y operación. Las superficies fuera del mandril pueden ser planas o convexas, pero no deben ser cóncavas, o marcarían el mandril. Se recomienda una superficie plana porque esta forma es fácil de fabricar y garantiza que se maximice el ancho de la región de contacto

sustancialmente lineal. La superficie, o superficies, dentro del mandril puede ser convexa o plana, pero no debe ser cóncava, o marcaría el mandril. Se recomienda una superficie circular convexa porque esta forma es fácil de fabricar y garantiza que la desalineación angular entre los elementos dentro y fuera del mandril no dañará el cierre, ni el mandril, ni reducirá la fuerza de sujeción. El uso de superficies planas dentro y fuera del mandril puede ser tentador para aumentar el ancho de la región de contacto, convirtiéndolo en una línea más ancha, para transmitir una mayor fuerza. Si bien esto es ciertamente posible, tiene los siguientes inconvenientes. Primero, todas las partes deben estar alineadas con precisión para que cada par de superficies planas que cooperen sean paralelas; de lo contrario, el cierre o el mandril, o ambos, pueden dañarse y/o la fuerza de sujeción puede ser menor. En segundo lugar, cuanto más anchos sean los planos en la superficie interior, más cercanos deben estar al eje longitudinal del tubo para que la clavija se ajuste dentro del tubo, de modo que cuanto más lejos deben viajar los bloques en el exterior más se deberá de deformar la pared del mandril. En conclusión, las superficies planas lo suficientemente estrechas para no introducir otros problemas significativos se consideraron que no valen la pena por el coste y la complicación adicionales.

Para que el cierre lleve la carga completa, los bloques de sujeción 92 en el exterior del mandril deben cargarse de manera uniforme. Debido a que comparten un solo actuador, deben moverse sustancialmente al unísono o ser individualmente ajustables para que todos presionen la pared del tubo contra la clavija interior de manera sustancialmente simultánea. En la realización preferida, se proporcionan ajustes individuales de las cuñas 101 que mueven los bloques para permitir una configuración adecuada. Aunque los tubos de polímero extruido tienen tolerancias bastante grandes y, por lo tanto, pueden variar en ID, OD y espesor de pared de tubo a tubo y dentro de un tubo, se ha descubierto que, dentro de cualquier sección transversal dada, el OD tiene buena concentricidad con el ID. Sin embargo, si se observa que un tubo de mandril preferido carece de concentricidad, es decir, el espesor de pared no es sustancialmente uniforme en todo el perímetro, se puede hacer una provisión para que el cierre se adapte a esta circunstancia. Se puede añadir conformidad a los tornillos 106 que empujan las cuñas de accionamiento 101 hacia adelante, empujando los bloques de sujeción hacia abajo. Esta conformidad puede ser una arandela de poliuretano, un resorte de compresión o similar. La conformidad también se puede usar para compensar el desgaste desigual de las cuñas, si se observa que esto es un problema

La realización preferida del cierre no posee un medio para empujar el mandril hacia atrás. Se espera que un dispositivo externo, o un par de dispositivos, ayuden a extraer el mandril. Por ejemplo, después de que el cierre haya retirado la mayor parte de la longitud del mandril de una bobina, dos abrazaderas, una dispuesta más cerca del lado del operador y la otra más cerca del lado de la unidad, actuarán para apretar ligeramente el mandril. Las superficies se cubrirían con un material que proporciona resistencia contra el desplazamiento axial adicional del mandril, pero no prohíbe el desplazamiento axial adicional ni marca el mandril. Después de que el extremo del mandril se haya retirado del extremo de la bobina y de la placa frontal adyacente a la misma, estos dispositivos de sujeción evitarán que se caiga, manteniendo el mandril horizontal al suelo. En este punto, el cierre estaría cerca de su posición de parada. Antes de detenerse, el cierre se soltaría y se desplazaría un poco más lejos a baja velocidad hasta su posición de parada. La resistencia impuesta al mandril por las abrazaderas provocaría que el movimiento del mandril cesara antes del movimiento del cierre, sacando el mandril fuera del cierre. Las abrazaderas se soltarían simultáneamente, permitiendo que el mandril caiga en las guías de retorno o en un transportador. Una realización alternativa puede poseer un medio integrado para empujar el mandril hacia atrás fuera del cierre en lugar de utilizar un dispositivo o dispositivos externos.

Una realización alternativa es la implementación de un dispositivo accionado manualmente. Este dispositivo se puede sujetar con la mano y usar para extraer mandriles de bobinas enrolladas relativamente flojas, en las que las fuerzas de extracción son bajas. Debido a que las fuerzas son bajas, el dispositivo puede usar menos bloques en la periferia del mandril y más piezas de aluminio y plástico para mantenerlas livianas. Los bloques pueden cargarse con palancas de leva o cierres de palanca sobre el centro en lugar de cuñas para reducir aún más el peso, el coste y la complejidad. El cliente objetivo estaría en los mercados donde el coste de mano de obra es bajo en relación con el coste económico del equipo. (Aunque sería difícil hacerlo durante horas, es sumamente factible. La prueba de concepto de uso de mandriles de bobinado de HDPE de pared delgada se realizó en una máquina con extracción manual de mandril).

Una realización diferente que actúa de manera similar sería usar un anillo rígido fuera del mandril, con cuñas móviles, o bloques, en el interior. En lugar de que los segmentos de la pared del mandril entre los bloques sobresalgan hacia el exterior, se dispondrían más rectos, como cuerdas que discurren entre las coronas de los bloques. Los lóbulos (o crestas onduladas) estarían alineados con las cuñas, en lugar de estar entre ellas. La principal desventaja de este enfoque, en relación con la realización preferida, es que no funciona con mandriles de diámetro pequeño. Incluso para los mandriles de diámetro moderado, los mecanismos dentro del tubo tendrían que ser relativamente complejos para adaptarse.

Tener elementos móviles tanto dentro como fuera del mandril tiene la limitación de diámetro de mandril pequeño descrita anteriormente, y tampoco es bueno para mantener la concentricidad del cierre al mandril. Además, es mucho más complejo. Tampoco es necesario. Si funcionara perfectamente, el mandril no se deformaría en absoluto. La deformación de la pared del mandril en lóbulos entre los bloques (debido a que los bloques externos se desplazan en exceso) o la deformación de la pared del mandril en cuerdas entre los bloques (porque los bloques

internos se desplazan en exceso) estarían dentro del alcance de la presente invención.

En el caso de que se use un mandril con extremos radialmente rígidos, tal como un mandril sólido axialmente elástico 61, un mandril axialmente elástico con tapas de extremo rígidas, un mandril de aleación metálica, o similares, se omite la clavija interior 90 y la porción de sujeción del cierre puede funcionar como una pinza de sujeción exterior convencional. Sus otras ventajas, tales como tamaño pequeño, peso ligero, gran fuerza de sujeción y que la fuerza de tracción en la correa de distribución sea colineal con el eje longitudinal del mandril, se mantienen.

#### Extracción del mandril

La Figura 18 ilustra cómo se ejerce una fuerza de tracción axial sobre el cierre 69 y el mandril 60 para extraer el mandril de la bobina. El cierre 69 se monta de manera deslizante en un par de carriles de guía 115 que están montados en el bastidor F del conjunto extractor del mandril. El extremo 82 de la correa de distribución flexible 83 (véanse también las Figuras 14 y 15) está alineado axialmente con la línea central o el eje CL del mandril. La correa dentada se extiende alrededor de rodillos tensores 116 y 117 que están montados en ubicaciones fijas en el bastidor F y alrededor de un accionador de correa convencional o actuador 118 que está montado en el bastidor. El otro extremo 85 de la correa dentada está unido a la parte superior del soporte 80. El accionamiento del accionador de correa 118 hace que el extremo 82 de la correa dentada y el cierre 69 se muevan hacia la derecha, ejerciendo así una fuerza de tracción axial sobre el mandril.

Las Figuras 19-28 ilustran los pasos del procedimiento preferido para extraer un mandril elástico 60 de una bobina 66 cuando se emplea el modo de estirar el mandril dentro de la bobina tirando de ambos extremos. Cuando se utiliza el modo de tracción simple para estirar y retirar el mandril, el cierre izquierdo y el motor pueden reemplazarse con un simple actuador lineal, tal como un cilindro neumático, para empujar la cara de extremo de la bobina contra las placas de restricción 123 y 124. Cuando resulta adecuado, tiene la ventaja de menor coste y complejidad. Cuando se utiliza el procedimiento de empujar y tirar para estirar y retirar el mandril, el cierre izquierdo no tira del mandril, sino que solo lo empuja, y se puede colocar con un dispositivo no accionador más sencillo. El servo control de movimiento sigue siendo recomendado para una adecuada sincronización. Cuando es adecuado, tiene las ventajas de un coste algo menor y una velocidad de ciclo potencialmente más alta.

Con referencia, en primer lugar, a la Figura 19, la bobina es soportada en un canal de soporte de bobinas 120 sobre el bastidor. Una restricción de bobina periférica inferior 121 se monta sobre el canal. Una restricción de bobina periférica superior 122 sobre la bobina se coloca para enganchar la parte superior de la bobina.

Un cierre derecho (o del lado del operador) 69R está posicionado para enganchar el extremo derecho del mandril 60, y un cierre izquierdo (o del lado de accionamiento) 69L está posicionado para enganchar el extremo izquierdo del mandril. Las placas de retención de la cara de extremo de la bobina 123 y 124 están posicionadas para enganchar la cara derecha de la bobina.

En la Figura 20, el cierre izquierdo 69L se ha movido para enganchar el extremo izquierdo del mandril. Las placas de restricción de la cara de extremo de la bobina 123 y 124 se han cerrado alrededor del extremo derecho del mandril. El cierre derecho 69R se está moviendo para enganchar el extremo derecho del mandril.

En la Figura 21, el cierre izquierdo 69L se ha movido hacia la derecha para empujar la bobina contra las placas de restricción de la cara de extremo de la bobina 123 y 1224. El cierre se detiene mediante un detector o un límite de par. El cierre derecho 69R se mueve para enganchar el extremo derecho del mandril y es detenido por un detector o un límite de par.

En la Figura 22, mientras la bobina está estacionaria, el cierre izquierdo 69L sujeta el extremo izquierdo del mandril, el cierre derecho 69R sujeta el extremo derecho del mandril, la restricción de bobina periférica superior 122 engancha la parte superior de la bobina, y la restricción de bobina periférica inferior 121 se engancha en la parte inferior de la bobina.

En la Figura 23, el cierre derecho (lado del operador) 69R se mueve lentamente hacia la derecha para estirar el mandril, lo que induce una ruptura localizada del mandril de la bobina, y para asegurar que la cara del lado del operador de la bobina permanezca contra las placas de restricción de la cara de extremo de la bobina 123 y 124. El cierre izquierdo (lado de accionamiento) 69L se mueve más rápido y más hacia la izquierda para realizar la mayor parte del estiramiento del mandril.

En la Figura 24, el cierre derecho 69R acelera. El cierre izquierdo 69L disminuye la velocidad, se invierte y acelera en la misma dirección que el cierre derecho. El mandril 60 se mueve ahora en relación con la bobina 66, por lo que el cierre izquierdo suelta el mandril.

En la Figura 25, el cierre izquierdo 69L se detiene, y el cierre derecho 69R continúa acelerando, retirando rápidamente el mandril 60 de la bobina 66.

En la Figura 26, cuando el mandril 60 está casi retirado de la bobina 66, el cierre izquierdo 69L se aleja del extremo izquierdo de la bobina. La restricción de bobina periférica superior 122 se desengancha, la restricción de bobina periférica inferior 121 se desengancha, y las dos abrazaderas 127 y 128 del mandril giran hacia arriba para sujetar ligeramente el mandril, proporcionando así una resistencia axial sobre el mandril.

En la Figura 27, el extremo izquierdo del mandril 60 se retira completamente del extremo derecho de la bobina 66. El cierre derecho 69R se desengancha del mandril y continúa moviéndose hacia la derecha, pero más lentamente. El arrastre axial proporcionado por las abrazaderas 127 y 128 hace que el mandril deje de moverse, y el cierre derecho 69R se retira del mandril. Las abrazaderas 127 y 128 sostienen el mandril en posición horizontal.

En la Figura 28, la bobina se descarga desde el canal 120 para que pueda entrar la siguiente bobina. Las abrazaderas 127 y 128 dejan caer el mandril 60 en las guías de retorno 129 para la recirculación a la máquina bobinadora, o el mandril podría depositarse directamente en un transportador para la recirculación a la máquina bobinadora. El cierre derecho 69R comienza a regresar a la izquierda puesto que la siguiente bobina después del mandril se ha retirado del camino.

La Figura 29 es una vista de extremo de la bobina 66, la restricción periférica superior 122, el canal de soporte de bobina 120 y la restricción periférica inferior 121. Las restricciones periféricas están desacopladas de la bobina. La restricción superior 122 incluye una cubierta generalmente en forma de V 131 que se eleva y baja mediante un actuador 132. Los lados inclinados de la cubierta 131 que se acoplan a la bobina están provistos de una superficie áspera 133. El canal 120 tiene una superficie lisa que se acopla a la bobina y está provisto de un espacio 134 que se extiende axialmente en el que se monta la restricción inferior 121. La restricción inferior tiene una superficie áspera para enganchar la bobina y se eleva y baja mediante un actuador 135.

En la Figura 30, las restricciones superior e inferior se empujan contra la bobina 66 para impedir que la bobina se mueva axialmente mientras se extrae el mandril. La fuerza ejercida por las restricciones en la bobina no es suficiente para dañar la superficie de la bobina.

La Figura 31 es una vista similar a la Figura 30, pero también muestra las placas de retención de la cara de extremo 123 y 124 y la correa de distribución 83 que es colineal con la línea central del mandril 60, de modo que la fuerza de extracción en la correa de distribución está alineada axialmente con el mandril.

La Figura 32 ilustra una trayectoria de recirculación para los mandriles que se han extraído de las bobinas y que se recirculan para su reutilización en nuevas bobinas de enrollado. Un mandril 60A es introducido por un transportador de alimentación 137 en una rebobinadora convencional 138 para enrollar una bobina alrededor del mandril tal como se describió anteriormente. Las bobinas enrolladas se descargan de la rebobinadora y se envían a un sellador de cola 139 convencional para sellar el extremo o la cola de la banda de papel que se enrolla para formar la bobina. Las bobinas selladas se entregan a un conjunto de extractor de mandril 140 del tipo que se ha descrito con referencia a las Figuras 19-28. Un mandril extraído 60B se entrega a un transportador 141 para transportar el mandril 60B con los mandriles extraídos previamente 60C de vuelta a la rebobinadora 138.

La Figura 33 es una vista de extremo de la trayectoria de recirculación de los mandriles. El transportador 141 entrega los mandriles 60C a una tolva 142 que incluye un conducto de descarga 143. Los mandriles son alimentados por el conducto de descarga al transportador de alimentación 137.

#### Expansión presurizada del mandril durante el devanado

Si para un formato de producto dado, la fuerza de extracción es demasiado grande como para usar un mandril de paredes delgadas que cumpla con la normativa radial, incluso cuando el mandril se alarga durante la extracción para minimizar la fuerza de separación, el mandril puede fabricarse con paredes más gruesas, o incluso sólido. Sin embargo, esta acción perdería numerosas ventajas del mandril de pared delgada.

En cambio, su novedosa construcción monocasco permite la alternativa de inflar el mandril mientras se enrolla la bobina, luego eliminar la presión fluidica interna más tarde en el procedimiento de devanado, o después de que se complete el devanado, lo que permite que el mandril se desinfe y regrese casi a su tamaño original, antes de empujar la bobina o extraer el mandril. Este procedimiento puede emplearse en lugar de estirar el mandril dentro de la bobina, tirando de ambos extremos durante la extracción. Sin embargo, dado que el primero funciona durante el devanado y el segundo durante la extracción, no se excluyen mutuamente y ambos pueden emplearse para lograr una mayor reducción de la fuerza de extracción máxima en conjunto que cualquiera de los dos por separado.

Los extractos parafraseados de la explicación de monocasco en Wikipedia se comparten a continuación. Están disponibles en el siguiente sitio web.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Monocoque>

El monocasco es una técnica de construcción que soporta la carga estructural mediante el uso de la piel exterior de un objeto, en lugar de usar un bastidor o armazón interno que luego se cubre con una piel o carrocería sin carga. El término también se utiliza para indicar una forma de construcción de vehículo en la que el cuerpo y el chasis forman

una sola unidad.

La palabra monocasco viene del griego para single (mono) y francés para shell (coque). La técnica también se puede llamar piel estructural o piel estresada. Un semimonocasco se diferencia en tener largueros y alargadores. La mayoría de las carrocerías de automóviles no son verdaderos monocascos, en lugar de eso, los automóviles modernos usan una construcción unitaria, que también se conoce como construcción de carrocería unitaria, de una sola pieza o *Body Frame Integral*. Esta utiliza un sistema de secciones de caja, mamparos y tubos para proporcionar la mayor parte de la resistencia del vehículo, al cual la piel estresada agrega relativamente poca resistencia o rigidez.

Las mismas características del HDPE que producen un gran alargamiento axial y una reducción diametral significativa cuando se aplica una fuerza axial modesta también sirven para producir un gran aumento diametral cuando se aplica una presión interna moderada. Una presión interna moderada induce tensiones muy por debajo del límite de elasticidad del material para que el mandril recupere su tamaño original dentro de un período de tiempo razonable. Una vez más, los atributos que significan que estas características requeridas están presentes incluyen temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura de servicio y un gran valor del límite de elasticidad dividido por el módulo de elasticidad.

Se han usado mandriles mecánicamente expansibles para lograr un efecto similar en las rebobinadoras sin núcleo, pero invariablemente son conjuntos complejos compuestos por muchas partes complejas en las que las partes en expansión que entran en contacto con el interior del producto son esencialmente una cubierta alrededor de los elementos dentro del mandril que soportan las cargas axiales y de flexión. El resultado es un dispositivo costoso y pesado que no se puede utilizar como mandril de recirculación en una rebobinadora de superficie sin núcleo.

Se han usado mandriles inflables de manera fluida para lograr este efecto en rebobinadoras sin núcleo, pero invariablemente también son conjuntos complejos compuestos de muchas partes en las que la porción inflada que hace contacto con el interior del producto es una piel envuelta alrededor o un juego de neumáticos. Sobre, los elementos dentro del mandril que soportan las cargas axiales y de flexión. Aquí también el resultado es un dispositivo caro y pesado que no se puede usar bien como mandril de recirculación en una rebobinadora de superficie sin núcleo.

Por el contrario, el diseño monocasco de la presente invención mantiene todas las ventajas del mandril axialmente elástico de paredes delgadas, radialmente elástico, debido a que el inflado se realiza forzando la misma carcasa que soporta todas las cargas. Es de menor coste, menor masa, menor inercia polar, provoca menos daños durante choques a alta velocidad, etc.

Otras ventajas incluyen las siguientes. No hay costuras que marquen ni se enganchen en el diámetro interno del producto, como tienen los mandriles mecánicamente expansibles. El inflado es uniforme para toda la longitud del mandril, a diferencia de las unidades con pieles elásticas que se abultan más en los puntos medios y menos en los extremos. Además, el diseño monocasco conservará la misma concetricidad entre OD e ID cuando se infla que cuando se desinfla. Esto sucede naturalmente con el diseño monocasco, pero sería un desafío extremo si se utilizara un mandril rígido con piel inflable en una rebobinadora de superficie de ancho de producción.

La Figura 41 ilustra una bobina 66 que se enrolla en un mandril tubular 60 mientras que el interior del mandril es presurizado con gas o fluido como lo indica la flecha 181. El otro extremo del mandril puede cerrarse como lo indica la tapa o placa 182 o también puede ser presurizado. El fluido, preferiblemente neumático, se puede suministrar al interior del mandril elástico por medios similares a los que se enseñan en la patente de Estados Unidos n.º 2.520.826. El fluido se puede suministrar y ventilar desde ambos extremos del mandril cuando se requiere una rápida presurización y/o despresurización.

El objetivo de la patente de Estados Unidos n.º 2.520.826 es aumentar temporalmente la rigidez radial de los núcleos, para que no sean aplastados por los rodillos de jaula, lo que puede aplicar una alta fuerza de compresión. El medio es presurizar los núcleos de bobinado. No hace mención de retirar estos núcleos o de lo contrario producir un producto sin núcleo. Tampoco menciona un aumento en el diámetro del núcleo debido a la presurización.

Debido a que la pared del mandril es delgada en relación con el diámetro del mandril, la tensión circunferencial dentro de la pared se puede calcular con la fórmula de Barlow. La explicación de la fórmula de Barlow que se proporciona a continuación se tomó de *HDPE Physical Properties* de Marley Pipe Systems. Se puede encontrar en el siguiente sitio web.

[http://www.marlevpipesvstems.co.za/iinages/dovvnloads/hdpe tubo de presi3n / HDPE phy sical-properties v002.pdf](http://www.marlevpipesvstems.co.za/iinages/dovvnloads/hdpe%20tubo%20de%20presi3n%20/%20HDPE%20phy%20sical-properties%20v002.pdf)  
El procedimiento aceptado internacionalmente para calcular la tensión circunferencial se deriva de la fórmula de Barlow y es el siguiente:

$$\sigma = p(d - t)/2t$$

donde:

- p = presión interna (MPa)
- t = espesor mínimo de pared (mm)
- d = diámetro externo medio (mm)
- $\sigma$  = tensión circunferencial en la pared de la tubería (MPa)

Se proporcionará un ejemplo de presurización de un mandril de HDPE con un grosor de pared de 4,32 cm (1,700 pulgadas) de diámetro exterior x 0,09 cm (0,036 pulgadas) de espesor de pared para ilustrar la magnitud del cambio de diámetro que se puede lograr y que es significativo para el procedimiento.

La presión interna de 0,42 MPa (61 psig) induce una tensión circunferencial de 9,7 MPa (1.410 psi). Este nivel de tensión está muy por debajo del límite elástico del material de 27,6 MPa (4.000 psi). La cantidad de aumento de diámetro que corresponde a este nivel de tensión depende del módulo de elasticidad y de la curva de tensión-deformación. La relación lineal de la Ley de Hooke indica que el aumento del diámetro será de 0,04 cm (0,016 pulgadas). Debido a la no linealidad de la curva de tensión-tensión de HDPE y al efecto de la duración de la carga (fluencia lenta), es probable que el aumento del diámetro sea aproximadamente un 50 % mayor que esto, o aproximadamente 0,06 cm (0,024 pulgadas).

La presión interna de 0,52 MPa (76 psig) induce una tensión circunferencial de 12,1 MPa (1.756 psi). Este nivel de tensión aún está muy por debajo del límite de elasticidad del material de 27,6 MPa (4.000 psi). La relación lineal de la Ley de Hooke indica que el aumento del diámetro será de 0,05 cm (0.020 pulgadas). Debido a la no linealidad de la curva de tensión-deformación de HDPE y al efecto de la duración de la carga, es probable que el aumento del diámetro sea aproximadamente un 50 % mayor que esto, o aproximadamente 0,08 cm (0.030 pulgadas).

La cantidad de aumento de diámetro cuando se aplica la presión es aproximadamente igual a la disminución de la cantidad de diámetro después de que se elimina la presión. Las reducciones de diámetro de estas magnitudes, desde el devanado de bobinas hasta la extracción del mandril, pueden reducir significativamente las fuerzas de extracción.

Es deseable inflar el mandril muy temprano en el bobinado, antes de que se coloquen muchas vueltas de papel en el mandril, porque las vueltas de papel pueden restringir el inflado del mandril. Si se realiza el inflado antes de que el rodillo de deslizamiento entre en contacto, las vueltas de la banda son relativamente pocas y no muy apretadas, por lo que el mandril puede aumentar de diámetro y las vueltas de la banda pueden estirarse ligeramente, si es necesario. Ciertamente, el inflado se puede realizar después del contacto con el rodillo de deslizamiento, pero puede producir un menor crecimiento del diámetro del mandril.

Hay un efecto secundario de inflar el mandril elástico con presión interna: si los extremos no están sujetos en la dirección axial, el mandril se acorta. Esto se debe al efecto de Poisson y se puede cuantificar utilizando el coeficiente de Poisson. Si se presuriza a 0,42 MPa (61 psig), el mandril de HDPE examinado anteriormente sufrirá una deformación axial de -0,4 % (Ley de Hooke) a -0,6 % (1,5 x Ley de Hooke). Si se presuriza a 0,52 MPa (76 psig), se someterá a una deformación axial de -0,5 % (Ley de Hooke) a -0,75 % (1,5 x Ley de Hooke). Para un mandril de 279 cm (110 pulgadas) de largo, estos valores de deformación corresponden a una reducción de longitud de 1,1, 1,7, 1,4 y 2,1 cm (0,44, 0,66, 0,55 y 0,83 pulgadas), respectivamente.

Esta reducción en la longitud del mandril dentro de la bobina no debería plantear un problema para el procedimiento, siempre que la longitud adecuada sobresalga de los extremos de la bobina para la extracción. Incluso puede ser beneficioso, ya que el mandril comenzará a alargarse por su propia voluntad una vez que se elimine la presión interna, ayudando así a la ruptura progresiva entre el mandril y la bobina que minimiza la fuerza de extracción máxima.

Pero, ¿qué pasa si los extremos están restringidos axialmente, por lo que el mandril no puede acortarse, o no puede acortarse tanto? La fuerza de tracción, y por lo tanto la tensión de tracción, se desarrolla dentro de la pared del mandril. Como se enseñó en las patentes de Estados Unidos n.º 7.293.736 y n.º 7.775.476, tener una fuerza de tracción que actúa dentro del núcleo largo y delgado, puede ayudar a controlar la vibración lateral dentro de la bobina. La fuerza de tracción también puede ser eficaz a este respecto cuando el artículo largo y delgado es un mandril elástico en lugar de un núcleo de cartón. Una diferencia significativa es que, en lugar de las pinzas de sujeción que tiran del tubo, como en la técnica anterior, el mandril elástico inflado tira de las pinzas de sujeción.

Por supuesto, si está restringido axialmente, el mandril elástico no puede inflarse en un diámetro tan grande. Sin embargo, esto se controla mediante una presión variable de fluido (neumática), que es fácil de regular y, por lo tanto, simple de experimentar y optimizar.

Los medios descritos en el documento US 2.520.826 para el acoplamiento a los extremos del núcleo pueden modificarse para asegurar el sellado en los diámetros mínimo e inflado, y también para mantener su agarre en los extremos del mandril a fin de oponerse a la fuerza de tracción axial desarrollada dentro del mandril.

Dependiendo de cómo se enganchan los extremos del mandril, la presión dentro del mandril puede tender a hacer que el mandril sufra un acortamiento o alargamiento axial. Dependiendo de cómo estén restringidos los extremos del mandril, la tendencia del mandril a acortarse o alargarse axialmente puede inducir esfuerzos o tensiones de compresión dentro del mandril. Existen numerosas combinaciones de formas de enganchar los extremos del mandril (para presurización) y restringir los extremos del mandril (para el control) para producir varios efectos.

La interacción entre el ID de la bobina y el OD del mandril también influye en si el mandril realmente cambia de longitud y en qué medida lo hace. Por ejemplo, las bobinas más fuertemente enrolladas con mayor presión entre capas ofrecen una mayor resistencia al movimiento axial del mandril dentro de la bobina.

#### Adhesivos de transferencia

La patente de Estados Unidos n.º 6.752.345 describe en las líneas 26-42 de la columna 2 varias formas de transferir la banda a los mandriles de bobinado sin usar pegamento de transferencia de alta adherencia generalmente usado con núcleos. Estos procedimientos se emplean porque el pegamento de alta adherencia dificulta la extracción del mandril de la bobina. Las líneas 43-48 de la columna 2 explican que estos procedimientos simplemente no son lo suficientemente fiables para funcionar a alta velocidad. La transferencia de vacío y el plegado de banda también se pueden agregar a la lista de procedimientos comparativamente deficientes, por los motivos descritos en la sección de antecedentes de este documento.

Otros beneficios de usar pegamento de transferencia son los siguientes:

- Los pegamentos de transferencia de viscosidad baja y moderada penetran en la banda y sellan la cola interior a la vuelta de banda adyacente. Esto evita que la cola interior se desenrede durante la manipulación y el tránsito, un problema importante de calidad, ya que el rollo no se puede montar en un dispensador estándar si se ha desenrollado internamente, cerrando el orificio.
- Una máquina que puede cambiar rápida y fácilmente entre la producción con núcleos y sin núcleos es mucho más práctica si se utiliza pegamento de transferencia para ambos. Proporcionar medios de transferencia alternativos para la producción sin núcleo tiene un mayor coste y mayor complejidad y requiere más mantenimiento y un mayor número de componentes, lo que dificulta el trabajo.
- Se puede poner perfume en el pegamento de transferencia. Es muy común en algunos mercados perfumar el papel higiénico. Generalmente se hace rociando o haciendo gotear perfume en los núcleos. Esto no se puede hacer con productos sin núcleo. Una alternativa atractiva es poner el perfume en el pegamento de transferencia. No se requiere ningún equipo de aplicación adicional.
- Un beneficio secundario es que se puede usar menos perfume, en relación con el funcionamiento con núcleos, lo que supone un ahorro de costes. El perfume generalmente se coloca en el diámetro externo de los núcleos, por lo que se envuelve en el interior del producto terminado. El perfume en el pegamento de transferencia del producto sin núcleo estaría expuesto a la atmósfera, por lo que una cantidad reducida de perfume puede producir el mismo aroma.

Con los mandriles elásticos se pueden usar formulaciones de pegamentos de transferencia (recogida) disponibles en el mercado. Y estos pegamentos se pueden aplicar con los procedimientos de aplicación existentes. Esto no es ninguna sorpresa, porque es el mismo pegamento que se usaba en el pasado aplicado a los mandriles que se comportan de manera muy parecida a un núcleo. Otra posibilidad es utilizar un adhesivo de amarre de cola de menor adherencia en húmedo. Por supuesto, también se pueden desarrollar formulaciones especiales específicamente diseñadas para la producción sin núcleo.

Todos los pegamentos que se analizan a continuación se pueden aplicar a los mandriles elásticos con un sistema de aplicación por extrusión. El sistema de aplicación por extrusión se puede ajustar para que funcione con pegamento de mayor o menor viscosidad. Funciona mejor con pegamento que tiene una viscosidad en el rango de 3 a 18 Pa•s (3.,000 a 18.000 cps).

Diversas y numerosas opciones están disponibles con respecto al pegamento de transferencia. La siguiente información se proporciona para demostrar la viabilidad de este enfoque. Los ejemplos son específicos, pero debe entenderse que no son limitantes.

Los adhesivos pueden clasificarse en tres categorías generales: limpios, cerosos y gomosos.

#### A. Adhesivos limpios

Algunos ejemplos son Henkel Seal 118T y Henkel Seal 3415. Ambos son adhesivos de amarre de cola, utilizados para sellar la cola exterior de una bobina de papel tisú o toalla terminada. Los adhesivos de amarre de cola tienen muy buena humectación y penetración, por lo que son excelentes para sellar la cola interior cuando se usan como pegamento de transferencia. También son excelentes para la transferencia de papel higiénico, debido a su alta absorbencia, a altas velocidades de banda.

Seal 118T tiene una viscosidad en la placa de características de 4,5 Pa\*s (4.500 cps). Seal 3415 tiene una viscosidad en la placa de características de 6 Pa\*s (6.000 cps).

Lo más notable sobre el uso de estos pegamentos en los mandriles de HDPE es cómo emergen los mandriles cuando se extraen de la bobina. Son prístinos, sin una indicación de que el pegamento de transferencia haya estado alguna vez en los mismos. Si el pegamento aún está húmedo cuando emerge el mandril, es simplemente una película muy fina y delgada que desaparece rápidamente sin dejar rastro cuando se expone a la atmósfera. El interior de la bobina no sufre daños y el adhesivo no aumenta sustancialmente la magnitud de la fuerza de extracción.

Estos adhesivos no requieren medidas especiales, ni lavado, para mantener los mandriles limpios en la recirculación.

#### B. Adhesivos cerosos

Algunos ejemplos son Henkel Tack 3338 y Henkel Tack 5511MH. Ambos son adhesivos de alta adherencia (transferencia de banda) que se usan con frecuencia al transferir bandas de papel higiénico o papel de cocina en los núcleos. Puede ser deseable usarlos para lograr velocidades de transferencia más altas y fiables, especialmente para sustratos más pesados y/o menos absorbentes.

Tack 3338 tiene una viscosidad en la placa de características de 9 Pa\*s (9.000 cps). Tack 5511MH tiene una viscosidad en la placa de características 18 Pa\*s (18.000 cps).

Cuando se usan estos pegamentos, se deja una pequeña cantidad de residuos en los mandriles de HDPE extraídos. La cantidad de residuo es menor con el pegamento de menor viscosidad y mayor con el pegamento de mayor viscosidad. Si el pegamento aún está húmedo cuando emerge el mandril, se seca bastante rápido cuando se expone a la atmósfera, mientras que el pegamento de menor viscosidad se seca más rápido y el pegamento de mayor viscosidad requiere más tiempo. Con ambos, el residuo seco es ceroso y no posee pegajosidad. Se puede limpiar fácilmente con un paño seco o un pañuelo de papel seco. De hecho, si fuera posible extraerlo dos veces de la bobina, la segunda pasada eliminaría todo el residuo.

Estos pegamentos no se han probado en producción extendida, por lo que no se sabe si la pequeña cantidad de residuo ceroso de pegajosidad cero que queda en los mandriles es un problema para la recirculación. Si no ensucia la máquina, es aceptable. Cualquier residuo que quede de una bobina se eliminará cuando el mandril se extraiga de su siguiente bobina, por lo que el residuo en los mandriles alcanzará inmediatamente un nivel de equilibrio, no continuará escalando. Sin embargo, los depósitos de contaminación en el sistema de recirculación y el rebobinado podrían continuar aumentando. Si esto supone un problema, se puede instalar un dispositivo de limpieza o de limpieza en seco automatizado dentro de la trayectoria de recirculación. El hecho de que el residuo se pueda limpiar sin agua u otro disolvente hace que esta combinación de material de mandril y pegamento sea muy atractiva en relación con la técnica anterior.

Al igual que con los adhesivos limpios de amarre de cola, el interior de la bobina no sufre daños. Estos adhesivos aumentan la magnitud de la fuerza de extracción en una cantidad menor.

#### C. Adhesivos Gomosos

Un ejemplo es Henkel Tack 6K74. Este es un adhesivo de alta adherencia utilizado frecuentemente cuando se transfieren bandas de papel higiénico o papel de cocina a los núcleos. Fue formulado para tener un tiempo abierto largo, lo que significa que permanece pegajoso durante mucho tiempo, incluso mientras se seca. Algunos pegamentos que tienen largos tiempos abiertos permanecen pegajosos por un tiempo indefinido cuando se colocan sobre una superficie dura que no tiene absorbencia. No se conoce ninguna ventaja significativa que ofrezcan estos pegamentos con respecto a la categoría de pegamentos cerosos que se secan y también tienen una alta adherencia.

Cuando se usa este pegamento, se deja una pequeña cantidad de residuo en los mandriles de HDPE extraídos. La cantidad de residuo que queda depende en gran medida de la cantidad de pegamento aplicado. En todos los ensayos, el pegamento aún estaba húmedo cuando emergió el mandril. Todavía estaba pegajoso y no se secaba rápidamente. De hecho, generalmente permaneció pegajoso, con una sensación gomosa, durante un tiempo relativamente largo (más de 10 minutos en un ensayo).

Aunque este pegamento no se ha probado en producción extendida y, por tanto, no se sabe con certeza que la pequeña cantidad de residuo gomoso que queda en los mandriles ensuciaría la máquina, se espera que cause problemas, por lo que se debe hacer algo al respecto. Debido a que el pegamento permanece pegajoso durante un tiempo relativamente largo, no se puede limpiar con un paño seco o con un pañuelo de papel seco. Sin embargo, debido a que es soluble en agua, se puede limpiar muy fácilmente con un paño húmedo o una toallita húmeda. El residuo se puede lavar manualmente. O la limpieza podría automatizarse mediante la instalación de arandelas

dentro de la trayectoria de recirculación.

Que el interior de la bobina sufra daños menores o ningún daño depende en gran medida de la resistencia o debilidad del sustrato en sí. En la mayoría de los casos, las bobinas no sufrirán daños cuando están asegurados por la cara de extremo y la periferia, tal como se describe en la sección sobre restricción de bobinas. Este adhesivo aumenta la magnitud de la fuerza de extracción en una cantidad mayor que los adhesivos que se secan cerosos.

#### Extracción de mandril limpia

El mercado desea un sistema sin núcleo simple y de bajo coste que muestre una buena higiene del pegamento. Lo ideal sería un sistema en el que la propia bobina limpie el mandril y no se requiera una limpieza automática ni manual.

Tal como se explicó en la sección anterior, cuando se utilizan adhesivos de amarre de cola limpios en los mandriles de HDPE, la fuerza de extracción es relativamente baja, ni la bobina ni el mandril sufren ningún daño, y el mandril permanece completamente limpio. Es una solución sobresaliente a lo que había sido un problema complejo y espinoso.

Sin embargo, puede ser ventajoso para algunos productos o sustratos, o tal vez los convertidores insisten en ello debido a sus propias preferencias, usar otros adhesivos que pueden ser cerosos, gomosos o de otro tipo no tan limpios. Los procedimientos que se enseñan a continuación se desarrollaron para hacer frente a esta situación y, por lo tanto, aumentar la selección de pegamentos que funcionan con una buena higiene de mandriles limpios, extractor limpio, sistema de recirculación limpio y rebobinador limpio. Aunque los procedimientos se desarrollaron principalmente para adaptarse al uso de pegamentos de transferencia "problemáticos", ciertamente se pueden emplear con cualquier pegamento de transferencia.

La mayoría de las devanadoras de superficie modernas tienen una línea de pegamento de transferencia a lo largo del núcleo, paralela al eje longitudinal del núcleo, no anillos de pegamento de transferencia alrededor de la circunferencia del núcleo. Esta disposición es beneficiosa para usar menos pegamento por núcleo, tener menos contaminación de pegamento en la máquina y tener transferencias de banda más fiables y de mayor calidad. La línea puede ser continua o estar interrumpida por huecos. Los procedimientos para aplicar tales líneas de pegamento se enseñan en las patentes de Estados Unidos n.º 5.040.738 y n.º 6.422.501. Las líneas 26 a 44 en la columna 4 del documento US 5.040.738 explican algunas ventajas de la línea de pegamento simple.

La Figura 34 es una vista en sección transversal de una bobina 66 o 67 que se enrolla en un mandril tubular 60 o en un mandril sólido 61. Se aplica una línea axial de adhesivo 145 al mandril antes del devanado. La bobina está formada por una pluralidad de capas o vueltas 147 de papel, y solo se ilustran algunas de las capas. El adhesivo 145 asegura la primera capa de papel al mandril.

Es preferible que los mandriles para la producción sin núcleo utilicen esta misma línea de pegamento longitudinal para conservar sus numerosas ventajas. Sin embargo, cuando el mandril se extrae (o se empuja hacia afuera) en la dirección longitudinal, la disposición del pegamento de transferencia en una sola línea paralela al eje longitudinal del mandril hace que el pegamento que permanece en la interfaz entre el mandril y la bobina, puesto que no ha sido absorbido por la banda, se esparza, ya que el pegamento libre y la banda encolada se mueven en la misma dirección. Si, por el contrario, alguna banda seca sin pegar pasara sobre el pegamento libre en la línea para dispersarlo, el pegamento se extendería más fino y sería absorbido en gran parte por la banda o transferido a la banda, en lugar de simplemente esparcirse a lo largo del mandril.

El procedimiento consiste en rotar el mandril dentro de la bobina antes de extraerlo o según se extrae. La rotación relativa esparce el pegamento libre y la banda encolada alrededor de la circunferencia del OD del mandril y del ID de la bobina en lugar de axialmente a lo largo de la longitud del mandril. Esta acción transfiere más pegamento libre a la bobina, promueve la absorción de más pegamento libre por parte de la banda y dispersa la línea de pegamento libre para que cualquier pegamento residual en el mandril constituya una película extremadamente delgada que no se transfiera como contaminación a los elementos de la máquina en el extractor, en el sistema de recirculación, en la rebobinadora, etc.

Esta rotación relativa se puede ejecutar en cualquier momento después de que se complete la transferencia de banda. Se puede lograr sosteniendo la bobina y rotando el mandril, o sujetando el mandril y rotando la bobina. En la práctica, sostener el mandril y rotar la bobina debería ser más fácil de implementar, si se realiza después de que se complete el devanado de la bobina.

Las Figuras 37-40 ilustran un aparato para hacer rotar una bobina en relación con el mandril antes de extraer el mandril a fin de esparcir o dispersar la línea axial de adhesivo alrededor de la circunferencia del mandril. Una bobina 66 o 67 con un mandril 60 o 61 está soportada por un par de rodillos inferiores 170 y 171 que se montan de manera giratoria en los rodamientos de rodillos 172 que están montados en un bastidor 173. Un rodillo superior 174 se monta de manera similar en un par de rodamientos de rodillos 172 que están montados en una porción móvil 173a

del bastidor. Una polea de distribución 175 se monta en el lado izquierdo o de accionamiento de cada uno de los rodillos superior e inferior para hacer girar los rodillos por medio de una correa de distribución accionada.

5 Los cierres de mandril derecho e izquierdo 69R y 69L se montan de manera deslizante en guías lineales 176 que están montadas en el bastidor. Cada uno de los cierres se puede mover axialmente con relación a la bobina por medio de un actuador 177.

10 Una bobina se mueve sobre los dos rodillos inferiores 170 y 171 haciendo rodar una mesa de alimentación 178 (Figura 40). El rodillo superior 174 luego se mueve hacia abajo para acoplarse con la bobina y los cierres derecho e izquierdo 69R y 69L se mueven para acoplarse con el mandril 60, 61 tal como se muestra en la Figura 39. El mandril 60 o 61 se mantiene estacionario por medio de los cierres, mientras que la bobina es girada por los rodillos superior e inferior accionados 171, 172 y 174. El par de torsión necesario para iniciar la rotación relativa puede reducirse haciendo que los cierres 69L y 69R estiren el mandril. Si se hace esto, los actuadores 177 pueden reubicarse en línea con el mandril 60,61 para minimizar la carga de momento en las guías lineales 176.

15 Después de que la bobina se gire lo suficiente como para esparcir el adhesivo alrededor de la superficie del mandril, los cierres y el rodillo superior se desenganchan, y la bobina se enrolla hacia abajo en una mesa de descarga 179 (Figura 40). La bobina se puede descargar girando el rodillo izquierdo 171, con una porción de la mesa de alimentación 178a, alrededor del rodillo derecho 170.

20 De manera alternativa, la rotación relativa del mandril con respecto a la bobina se puede lograr mientras la bobina todavía está en el nido de bobinado, forzando al mandril a girar más rápido o más lento que la bobina provoque que el mandril gire basándose en el hecho de que la bobina es accionada únicamente por los rollos de su periferia.

25 Las ventajas de ejecutar la rotación relativa en el nido de bobinado se enumeran a continuación.

- El pegamento de transferencia ha tenido menos tiempo de secado, por lo que la rotación relativa es más fácil de iniciar.
- Debido a que la rotación relativa es más fácil de iniciar, hay menos posibilidades de dañar el producto y el mandril.
- Se puede lograr agregando frenos o motores a las guías de posición del núcleo, que pueden suministrarse de todas formas por otras razones, tales como controlar el plegado de la bobina, por lo que su implementación puede ser mucho menos costosa.
- Puede utilizarse para influir en el devanado de la bobina, tal como se explica a continuación.

35 Las ventajas de iniciar la rotación relativa al principio del ciclo, si se ejecuta en el nido de bobinado, se enumeran a continuación.

- El pegamento de transferencia ha tenido el menor tiempo de secado, por lo que la rotación relativa es más fácil de iniciar.
- La presión de contacto entre la bobina y el mandril es menor, debido a que hay menos vueltas de banda alrededor del mandril, por lo que es más fácil iniciar la rotación relativa.
- Debido a que la rotación relativa es más fácil de iniciar, hay menos posibilidades de dañar el producto y el mandril.
- Como se explicó anteriormente en el presente documento, una vez que se ha iniciado el movimiento relativo, se requiere menos fuerza (o par de torsión) para mantenerlo, por lo que es mejor iniciar en el momento que resulte más fácil.

50 La rotación relativa puede ser breve, o continuada durante gran parte de la duración del ciclo de bobinado. Algunas razones por las que puede ser preferible mantenerla breve se enumeran a continuación.

- La rotación relativa puede ejecutarse temprano en el bobinado, durante un breve periodo, antes de presurizar el mandril, y así aumentar su diámetro, lo que aumenta la presión de contacto entre la bobina y el mandril.
- La rotación relativa se puede ejecutar al final del bobinado, durante un breve periodo, después de que el mandril se haya despresurizado y, por lo tanto, haya disminuido su diámetro, reduciendo la presión de contacto entre la bobina y el mandril.
- La rotación relativa puede ejecutarse solo para una porción, o porciones, del ciclo de bobinado si la fricción del movimiento relativo genera un calor excesivo y amenaza con debilitar o dañar el mandril.

60 Una razón para continuar durante la mayor parte del periodo del ciclo de bobinado es que luego se puede usar para influir en las características de la bobina, ayudando a hacer el bobinado más suave o más flojo.

65 Cuando el mandril se gira con respecto a la bobina, transmite un par de torsión al interior de la bobina, debido a la fricción entre el mandril y el diámetro interior de la bobina. Si se hace que el mandril gire más lento de lo que lo haría la bobina, el mandril se desliza hacia atrás y suministra un par de torsión negativo al interior de la bobina. Si se hace

que el mandril gire más rápido de lo que lo haría la bobina, el mandril se desliza hacia adelante y proporciona un par de torsión positivo al interior de la bobina. El par positivo tendería a ayudar a enrollar la bobina de manera más firme y más pequeña, el par negativo tendería a ayudar a enrollar la bobina de manera más suelta y más grande.

5 Esto es efectivamente una devanadora de superficie central con el accionamiento central funcionando en modo de par de torsión a través de una forma de embrague deslizante. Como tal, no es del todo nueva. Pero, el hecho de que el deslizamiento ocurra entre una superficie del mandril y una superficie de la bobina, específicamente el OD del mandril y el ID de la bobina, es novedoso.

10 Los devanadores de centro-superficie tienen uno o más tambores accionados y un accionador para el núcleo, o mandril, donde el accionamiento central puede ser directamente hacia el núcleo, o hacia el núcleo a través de un mandril dentro del núcleo. Las patentes de Estados Unidos n.º 1.437.398 (Cameron), n.º 2.090.130 (Kittel), n.º 2.385.692 (Corbin), n.º 5.639.045 (Dorfel), n.º 6.199.789 (Celli), n.º 7.293.736 (Recami), n.º 7.775.476 (Recami), y n.º 7.942.363 (Gelli) divulgan el devanado de centro-superficie.

15 Cameron '398 tiene dos realizaciones. La primera, que llaman "rebobinado de centro", se describe en las líneas 30 a 43 de la página 2. Hoy en día se lo conoce comúnmente como un devanador de superficie-centro de un solo tambor. El segundo, que llaman un "rebobinado de superficie", se describe en las líneas 47 a 54 de la página 2. Hoy en día se lo conoce comúnmente como un devanador de superficie-centro de 2 tambores. La rebobinadora funciona con un mandril dentro de una fila de núcleos coaxiales adyacentes. El problema que pretenden resolver está presente en la técnica anterior de ambos tipos, aunque afirman en varios lugares que, según su experiencia, es peor en devanadoras de superficie-centro de un solo tambor.

20 La máquina está diseñada para bobinar rollos firmes compuestos de papel de bajo volumen. Los rollos enrollados sin apretar se consideran defectuosos porque las capas pueden desplazarse internamente y pueden colapsarse durante el manejo una vez que se completa el devanado; y, son operativamente problemáticos, debido al entretreído de las tiras de corte.

25 Los rollos enrollados de forma suelta se producen cuando el eje de enrollamiento accionado gira demasiado lentamente, en relación con los tambores de accionamiento de superficie, para un calibre de papel determinado. Esto puede suceder en las rebobinadoras de corte longitudinal debido a que las tiras de banda en áreas de calibre más delgado hacen que los rodillos tengan un diámetro menor que los rodillos adyacentes, pero los núcleos de todos los rodillos comparten la misma velocidad angular porque están montados en un eje común. Esto se explica en las líneas 64 - 80 de la página 1.

30 Una distinción importante es que, aunque estos rollos son más pequeños que sus hermanos en el mismo mandril, son más grandes (más voluminosos) de lo que deberían ser porque están enrollados demasiado sueltos. Y la razón por la que están enrollados demasiado sueltos es que sus núcleos están siendo accionados a una velocidad más lenta de lo que deberían. De una manera indirecta, esto enseña que el par de torsión negativo aplicado al centro de la bobina ayuda a enrollar una bobina más suelta y más grande.

35 Su invención es un mandril que permite que cada núcleo se deslice con relación al mandril. Es como que cada núcleo tiene su propio embrague de fricción para que puedan girar a diferentes velocidades que el mandril y entre sí. Por lo tanto, cada rollo gira a una velocidad angular única, de modo que la velocidad periférica de todos los rollos es uniforme y se ajusta a la velocidad de avance de la banda. Esto es efectivamente un recorte automático de la velocidad de accionamiento central para lograr una firmeza y compactación uniformes entre los rodillos.

40 Un aspecto importante de la solución es que la invención hace que los núcleos de los rollos antes enrollados sueltos giren a una velocidad angular más alta que sus hermanos en el mismo mandril, lo que hace que los rollos sean más fuertes y más pequeños (más compactos). De una manera indirecta, esto enseña que el par de torsión positivo aplicado al centro de la bobina ayuda a enrollar una bobina más apretada y más pequeña.

45 La rotación del mandril opera bajo el control de par de torsión por medio del tren de accionamiento a través de un embrague deslizante y los núcleos individuales operan bajo un control de par de torsión adicional (secundario), a través de su propio deslizamiento individual. Los mecanismos que permiten el deslizamiento de los núcleos en relación con el mandril se describen en las líneas 7 a 78 de la página 3. Los elementos de deslizamiento en la transmisión de torsión desde el accionamiento central a los rodillos de enrollamiento son superficies planas transversales al eje longitudinal del mandril y los núcleos. El deslizamiento entre el OD del núcleo y el ID de la bobina no se enseña, ni es lógico. Además, no hay mención al rebobinado sin núcleo.

50 Kittel '130 describe una devanadora de centro-superficie de 2 tambores. Un objeto especial declarado de la invención es producir "rollos de compactación sustancialmente uniforme" (líneas 7 - 8 de la página 1). La reivindicación 4 de la página 2 resume la velocidad correcta del accionamiento central para lograr esto, definiendo lo que se puede denominar una velocidad combinada que no aplica un par de torsión positivo ni negativo al bobinado, sino solo el par de accionamiento necesario para rotar el rodillo:

55 "Una devanadora de centro y superficie combinada que comprende rodillos de respaldo, un rodillo de recogida

5 montado en dichos rodillos de respaldo y que tiene un eje de transmisión central, engranaje de transmisión de velocidad de superficie constante a dichos rodillos de respaldo y engranaje de transmisión de velocidad variable a dicho eje de centro, incluyendo engranaje de compensación para impulsar automáticamente dicho eje central a una velocidad para mantener constante la velocidad de la superficie del rodillo de recogida en los puntos de conexión de conducción con los rodillos de respaldo".

No se menciona el deslizamiento entre el mandril y los rollos de producto ni el deslizamiento entre el OD del núcleo y el ID del producto. Además, no hay mención al rebobinado sin núcleo.

10 Corbin '692 describe una máquina que funciona como una devanadora de centro-superficie de 3 tambores hasta que los rodillos de jaula se retiran, después de lo cual funciona como una devanadora de centro-superficie de un solo tambor. Es la combinación una devanadora de superficie y una devanadora de torreta sin mandriles. Los núcleos son soportados y conducidos a través de mandriles en cada extremo. Cada par de mandriles tiene un embrague de deslizamiento (elementos 88 y 89, Figura 11) como elemento de deslizamiento en la transmisión de par desde la  
15 unidad central a los rodillos de devanado. El deslizamiento entre el OD del núcleo y el ID de la bobina no se enseña, ni es lógico.

Hay una mención casual de rebobinado sin núcleo en las líneas 23 – 28 de la columna A en la página 1. Dice, "en ausencia de un núcleo [los rollos se enrollarían] directamente sobre un mandril adecuado que se puede retirar posteriormente del rollo terminado ". Sin embargo, nada se enseña con respecto a este mandril adecuado. No se proporcionan comentarios sobre su geometría, composición del material, ni cómo se usaría. Además, no se menciona ninguno de los desafíos desalentadores para el rebobinado sin núcleo con éxito, ni se dan instrucciones sobre cómo pueden superarse.

25 Dörfel '045 describe una devanadora de centro-superficie de 3 tambores. Al menos uno de los mandriles está opcionalmente accionado por rotación, como se explica en las líneas 9 a 15 de la columna 5. Enseña un beneficio del devanado de centro-superficie en las líneas 4 a 8 de la columna 5:  
"Un accionamiento central de este tipo reduce el par que se debe transferir a la bobina 13 por medio de los rodillos 11 y 12. Esta medida en particular hace posible una estructura mejorada de la bobina, es decir, una  
30 predeterminación superior de la densidad de la bobina".

No se menciona el deslizamiento entre el mandril y los rollos de producto ni el deslizamiento entre el OD del núcleo y el ID del producto. Además, no hay mención al rebobinado sin núcleo.

35 Celli '789 describe devanadora de centro-superficie de 3 tambores. La rebobinadora funciona con un mandril dentro de un solo núcleo, o una fila de núcleos coaxiales adyacentes si la banda está cortada en tiras. No se menciona el deslizamiento entre el mandril y los rollos del producto, ni el deslizamiento entre el OD del núcleo y el ID del producto. Las líneas 15 - 16 de la columna 2 indican que "el mandril de bobinado es preferiblemente expansible, de una manera conocida *per se*". Es casi seguro que se trata de un mandril mecánicamente expansible del tipo que es  
40 un conjunto complejo compuesto por muchas partes complejas, pero su naturaleza no se establece explícitamente. Las líneas 7 a 11 de la columna 2 indican "porque solo hay un mandril y no se recicla alrededor de la máquina, como ocurre en algunas rebobinadoras que se usan actualmente, el tamaño y el peso del mandril pueden ser considerables para aumentar su resistencia". Esto es lo opuesto al mandril elástico ligero de la presente invención.

45 Hay una mención casual al rebobinado sin núcleo en las líneas 34 - 36 de la columna 2. Dice: "En teoría, la máquina podría realizar el devanado directamente en el mandril axial, que luego se extrae de la bobina terminada para que la bobina terminada no tenga un núcleo de devanado". Sin embargo, nada se enseña con respecto a los detalles del mandril. No se proporcionan observaciones sobre su geometría, ni la composición del material. Además, no se menciona ninguno de los desafíos desalentadores para el rebobinado sin núcleo con éxito, ni se dan instrucciones sobre cómo pueden superarse.  
50

Recami '736 y '476 describe una devanadora de centro-superficie de 2 tambores. Los núcleos son soportados y conducidos a través de mandriles en cada extremo. Cada mandril es accionado por un motor. El deslizamiento entre el OD del núcleo y el ID de la bobina no se enseña, ni es lógico. Además, no hay mención al rebobinado sin núcleo.

55 Gelli '363 describe una devanadora de centro-superficie de 3 tambores. Los núcleos son soportados y conducidos a través de mandriles en cada extremo. Cada mandril es accionado por un motor. El deslizamiento entre el OD del núcleo y el ID de la bobina no se enseña, ni es lógico. Además, no hay mención al rebobinado sin núcleo.

60 Por último, la presente invención es diferente de toda la técnica anterior en que el propósito principal de la rotación relativa es dispersar el pegamento de transferencia para que se pueda extraer un mandril limpio de la bobina. Un propósito secundario puede ser influir en la estructura de devanado de la bobina, aumentando o disminuyendo su estanqueidad, y esto es diferente de toda de la técnica anterior porque el procedimiento de aplicar un par positivo o negativo al interior de la bobina es la fricción de deslizamiento entre el OD del mandril y el ID de la bobina, que es  
65 novedoso.

Los frenos son adecuados para hacer que el mandril vaya más lento (fase en retroceso en relación con la bobina) y pueden ser más fáciles de implementar, debido a su peso ligero y tamaño pequeño. Los motores son necesarios para hacer que el mandril vaya más rápido (fase en avance en relación con la bobina) también se pueden utilizar para hacer que vaya más lento, al igual que pueden hacer los frenos.

5 Es poco probable que este procedimiento sea necesario para los adhesivos de transferencia "limpios", pero se puede utilizar de todos modos, y en realidad puede ser ventajoso para algunos sustratos, algunos formatos de productos o si se aplica una cantidad especialmente grande de pegamento de transferencia. Este procedimiento hace que la mayoría o todos los adhesivos de transferencia "cerosos" sean aceptables. Cuando se dispersa en una película tan delgada, la pequeña cantidad de residuo no se transferirá a otros componentes de la máquina como contaminación.

15 No se sabe cuán efectivo puede ser para los adhesivos de transferencia "gomosos". Ciertamente, puede ayudar, aunque para algunos formatos de producto y sustratos puede dañar la bobina al alterar el perfil de bobinado adversamente, o incluso rasgar la lámina, ya que el pegamento siempre pegajoso resiste el cizallamiento y la dispersión. No obstante, el hecho de que este procedimiento haga que los pegamentos "cerosos" puedan utilizarse sin el lavado del mandril es una gran ventaja. Los pegamentos "cerosos" de alta adherencia son tan pegajosas y eficaces para la transferencia bandas pesadas y/o de baja absorbencia como los pegamentos "gomosos" de alta adherencia, por lo que puede adaptarse el espectro de productos, incluso si el espectro de pegamentos utilizados con núcleos no puede.

Cualquiera de los mecanismos de accionamiento central de la técnica anterior que se han analizado se puede usar para girar el mandril en relación con la bobina para proporcionar una extracción limpia del mandril.

#### 25 Electricidad estática

El HDPE y otros polímeros poseen una alta resistividad eléctrica. Los mandriles de bobinado hechos de estos materiales desarrollan y retienen cargas eléctricas estáticas. Las cargas atraen el polvo con fuerza. Para la mayoría de las rebobinadoras, este es un problema menor, porque el polvo generado en los procedimientos de conversión está en casi todas partes. Sin embargo, si el adhesivo de transferencia se aplica por extrusión, el polvo debe tratarse en la extrusora, o el aplicador (que toca el mandril) eliminará el polvo. Con cada ciclo, puede acumularse un poco más de polvo hasta que el aplicador se bloquee parcial o totalmente, por lo que se requerirá una limpieza frecuente.

35 Se puede evitar que el polvo se acumule en el extrusor soplando el polvo de la superficie del mandril en línea con el extrusor, justo corriente arriba del extrusor. Esto se puede hacer de manera eficaz con una corriente de aire de alta velocidad. El uso de aire seco para este propósito es la realización preferida porque es eficaz y también muy simple.

40 De manera alternativa, se podría usar un cepillo o limpiador seco o similar. El cepillo o limpiador puede ser metálico o de otro material eléctricamente conductor y conectado a tierra para ayudar a eliminar temporalmente la carga estática. Este dispositivo se puede combinar con la corriente de aire para disipar el polvo y mantener el dispositivo limpio. Alternativamente, se puede combinar con un sistema de succión o sistema de vacío, en ambientes extremadamente polvorientos.

45 De manera alternativa, se puede aplicar un fluido conductor eléctrico al mandril, aguas arriba del aplicador de pegamento. Esto puede atomizarse y suministrarse a través de una corriente de aire, o aplicarse a través de un cepillo, un limpiador o similar. Los inconvenientes, en relación con un sistema seco, son una mayor complejidad del sistema, un líquido consumible agregado al procedimiento y el hecho de que el líquido pueda humedecer las superficies cercanas que luego acumularán polvo ambiental, empeorando las cosas. El fluido no debe ser corrosivo para que no se oxiden las superficies cercanas. No debe ser tóxico en absoluto y, preferiblemente, aprobado por la FDA para el contacto con alimentos, ya que se dejarán pequeñas cantidades en el producto terminado. Por último, debe dispersarse fácilmente para no ensuciar el mandril o los componentes de la máquina en el sistema de recirculación. Los inconvenientes son desalentadores y numerosos. Una posible justificación para seguir este curso sería, de todos modos, si dicho fluido también ayuda a transferir el pegamento residual en el mandril al diámetro interior de la bobina durante la rotación y/o extracción relativas, reduciendo la resistencia al cizallamiento de la adherencia del pegamento de transferencia al mandril.

60 Las Figuras 35 y 36 ilustran un aparato para eliminar el polvo del mandril y aplicar una línea axial de adhesivo al mandril. Representan la realización preferida de una corriente de aire de alta velocidad. El mandril 60 o 61 se alimenta a través de un canal de entrada 150 y se hace avanzar por pares superiores e inferiores de las ruedas de alimentación accionadas 151 y 152. Las ruedas de alimentación están montadas en pares superiores e inferiores de los ejes 153 y 154, y las poleas superior e inferior 155 y 156 están montados en los otros extremos de los ejes. Las poleas giran mediante una correa de distribución 157 que es accionada por un motor 158. Los componentes anteriores están montados sobre el bastidor 160 del dispositivo para alimentar los mandriles a una rebobinadora.

65 Una boquilla de aire 161 se monta en el bastidor y está conectada a la línea de aire 162 para suministrar aire a presión a la boquilla. Un aplicador de adhesivo 163 se monta en el bastidor aguas abajo de la boquilla de aire y se

conecta a una línea de pegamento 164 para suministrar pegamento o adhesivo al aplicador. Una guía de mandril 165 garantiza que el extremo anterior del mandril entre en contacto suavemente con el aplicador 163. A medida que el mandril avanza por medio de las ruedas de alimentación, la boquilla de aire 161 expulsa el polvo y otros residuos del mandril antes de que el adhesivo sea aplicado por el aplicador 163.

5

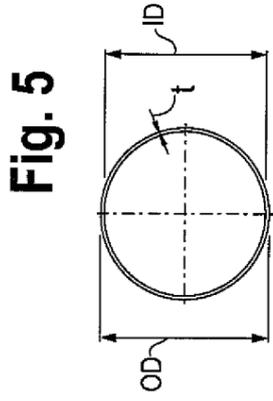
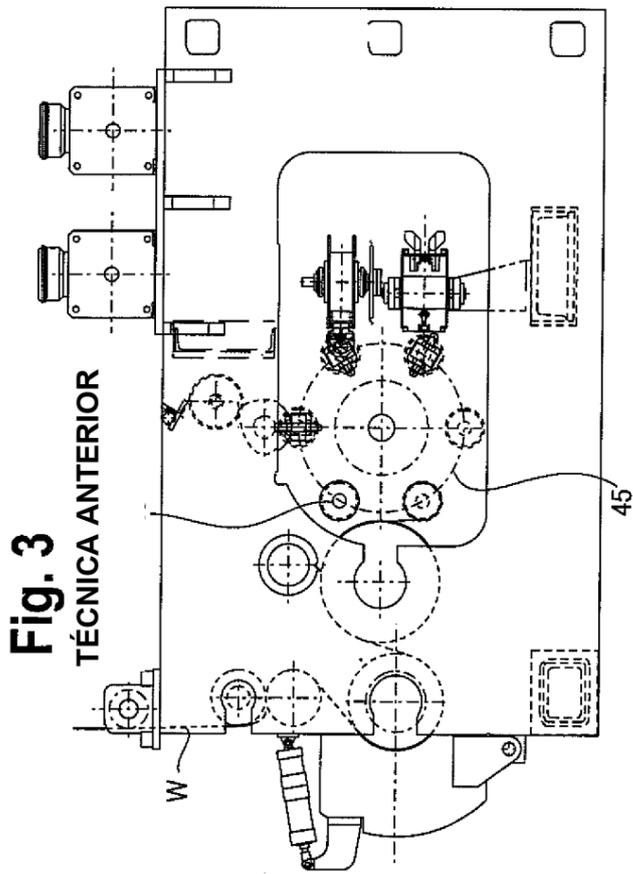
**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Rollo de material de banda devanado que comprende un mandril alargado y una banda enrollada de manera convolutiva alrededor del mandril, caracterizado porque dicho mandril es axialmente elástico y porque el material del mandril es flexible y elástico, teniendo dicho material flexible y elástico un límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad superior al 2,0 %.
- 10 2. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque el mandril es tubular.
3. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque el mandril es sólido.
4. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque el mandril tiene una sección transversal sustancialmente uniforme en toda su longitud.
- 15 5. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque el mandril es radialmente elástico.
6. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque el material enrollado de manera convolutiva incluye una primera capa (147) que rodea el núcleo y que está fijada de manera adhesiva (145) al mandril.
- 20 7. Rollo de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado además porque el adhesivo (145) tiene una viscosidad dentro del intervalo de 3 a 18 Pas (3000 a 18.000 cps).
- 25 8. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico es termoplástico.
9. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico es HDPE.
- 30 10. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1 o 9 caracterizado además porque la banda es de papel higiénico.
11. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1 o 9 caracterizado además porque la banda es de papel de cocina.
- 35 12. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico tiene un límite de elasticidad a la tracción dividido por el módulo de elasticidad superior al 2,5 %.
13. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico tiene una temperatura de transición vítrea inferior a 4,4 °C (40 °F).
- 40 14. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico tiene una densidad de masa (g/cm<sup>3</sup>) inferior a 1,25.
15. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico tiene un módulo de elasticidad a la tracción inferior a 6894,7 MPa (1.000.000 psi).
- 45 16. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico tiene un límite de elasticidad a la tracción inferior a 172,4 MPa (25.000 psi).
- 50 17. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico tiene una estructura (% de cristalinidad) superior a 50.
18. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico tiene un coeficiente de Poisson superior a 0,35.
- 55 19. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque el mandril tiene una rigidez radial sustancialmente uniforme en toda su longitud.
20. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico soporta las cargas impuestas por dicha banda enrollada sobre dicho mandril.
- 60 21. Rollo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado además porque dicho material flexible y elástico tiene al menos una de las siguientes propiedades:
- 65 a) una temperatura de transición vítrea inferior a 15.6 °C (60 °F);  
 b) una densidad de masa (g/cm<sup>3</sup>) inferior a 1,50;  
 c) un módulo de elasticidad a la tracción inferior a 13789,5 MPa (2.000.000 psi);  
 d) un límite de elasticidad a la tracción inferior a 344,7 MPa (50.000 psi);

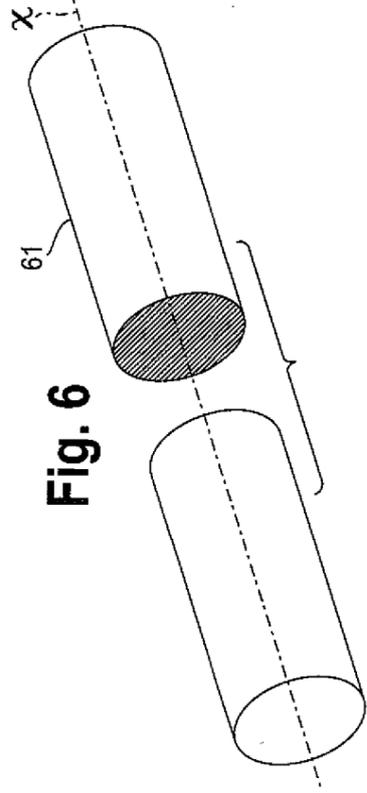
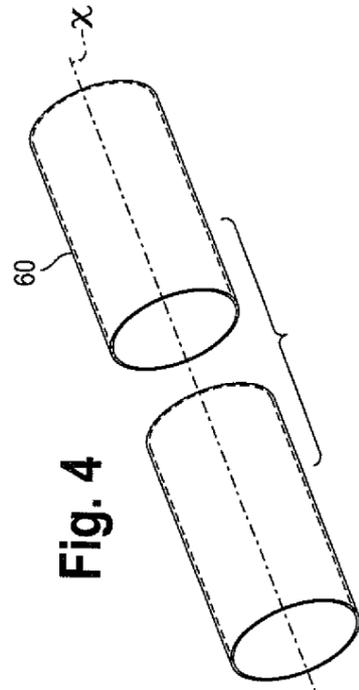
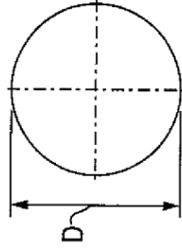
- e) una estructura (% de cristalinidad) superior a 25;
- f) un coeficiente de Poisson superior a 0,30.

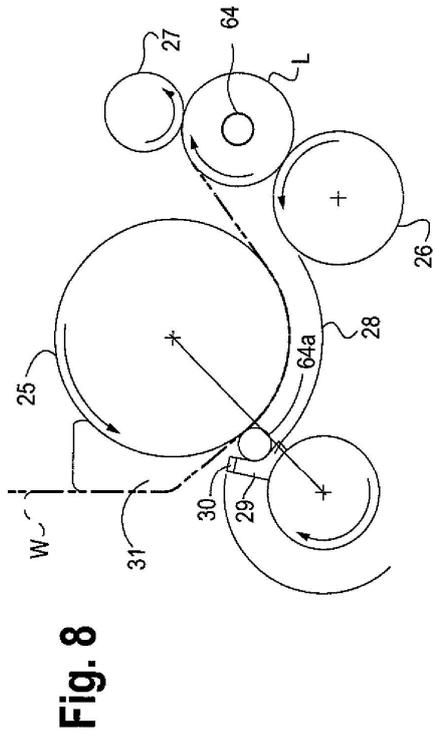
- 5 22. Procedimiento de formación de un rollo de material de banda devanado de manera convolutiva enrollando una banda (W, N) alrededor de un mandril alargado (60, 61, 64) para formar un rollo (66, 67) de material de banda devanado de manera convolutiva.
- 10 caracterizado por los pasos de tirar del mandril longitudinalmente, restringir la periferia exterior del rollo para evitar que se mueva axialmente cuando se tira del mandril longitudinalmente, y
- 15 retirar el mandril del rollo, en el que dicho mandril se define por una de las reivindicaciones 1 - 19, o 21.
23. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 22, caracterizado además porque se tira del mandril longitudinalmente aplicando una fuerza que está sustancialmente alineada con el eje del mandril.
- 20 24. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 22 o 23, caracterizado además por los pasos de aplicar adhesivo al mandril antes del paso de enrollar la banda alrededor del mandril, y después formar el rollo de material de banda devanado en parte o en su totalidad, girando el mandril en relación con el rollo para esparcir el adhesivo en una dirección circunferencial alrededor del mandril.
- 25 25. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 24, en el que el paso de girar el mandril con relación al rollo se realiza antes del paso de tirar del mandril longitudinalmente.
26. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 24, en el que el paso de girar el mandril con relación al rollo se realiza durante el paso de tirar del mandril longitudinalmente.
- 30 27. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 24, en el que el paso de girar el mandril con relación al rollo se realiza antes del paso de retirar el mandril del rollo.
28. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 24, en el que el paso de rotar el mandril con relación al rollo se realiza durante el paso de retirar el mandril del rollo.
- 35 29. Procedimiento de formación de un rollo de material de banda devanado de manera convolutiva caracterizado por los pasos de presurizar un mandril tubular (60, 64) para expandir el mandril radialmente y, si sus extremos no están restringidos, dando lugar a una disminución de su longitud, enrollar una banda (W, N) alrededor del mandril para formar un rollo (66, 67) de material de banda devanado de manera convolutiva,
- 40 aliviar la presión en el mandril para permitir que el mandril se contraiga radialmente, lo que provoca un aumento de su longitud, y retirar el mandril del rollo, en el que dicho mandril se define por una de las reivindicaciones 1, 2, 4 - 19, o 21.
- 45 30. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 29, que incluye el paso de restringir axialmente los extremos del mandril durante el paso de presurizar el mandril.



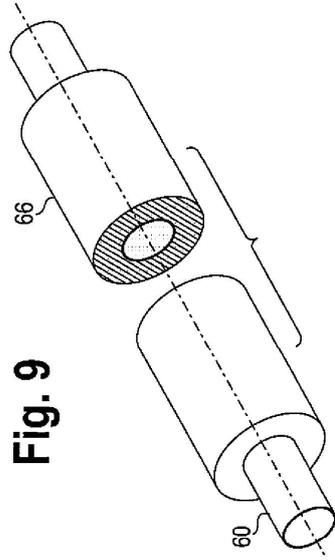


**Fig. 7**

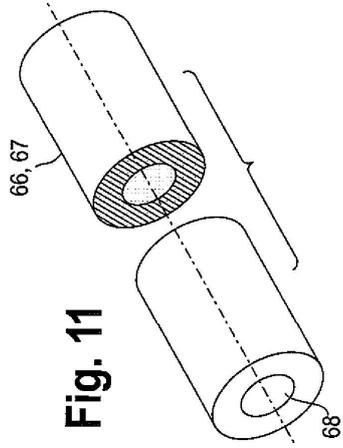




**Fig. 9**



**Fig. 11**



**Fig. 10**

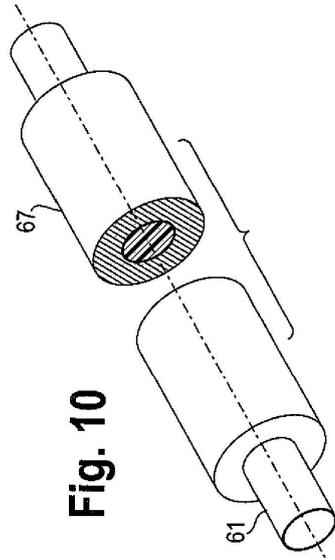


Fig. 12

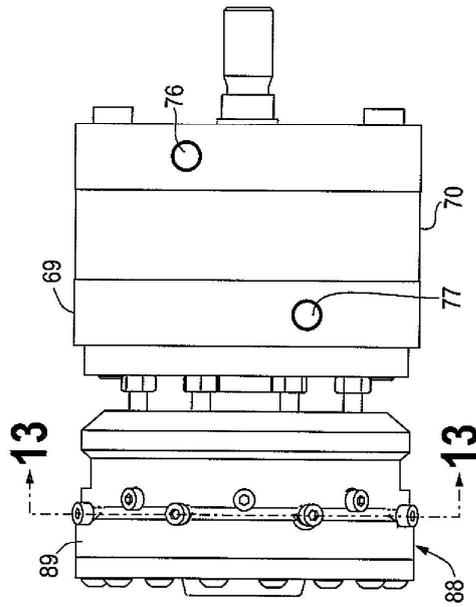


Fig. 13

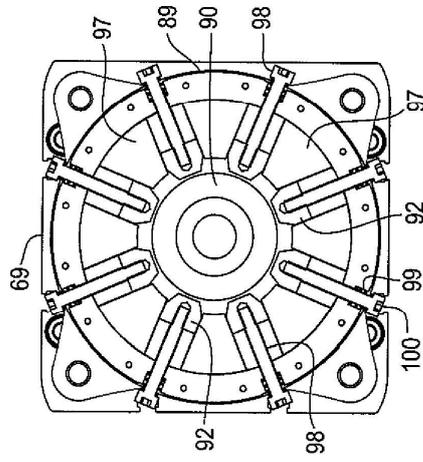
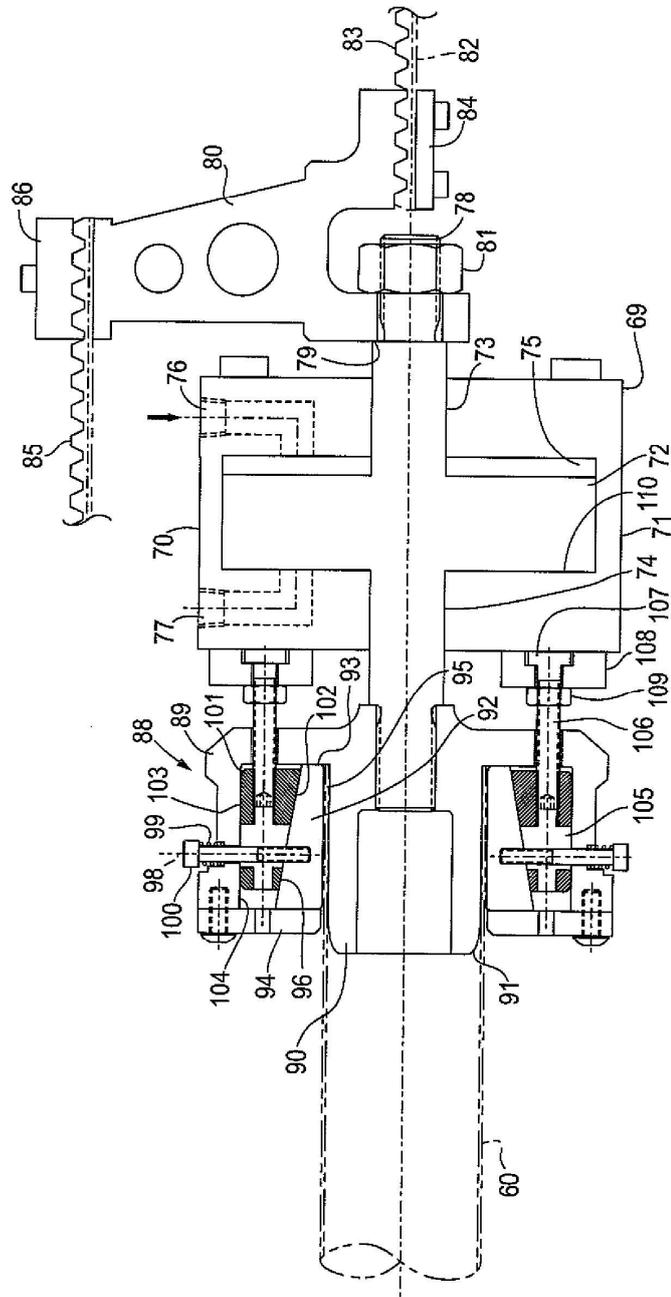


Fig. 14





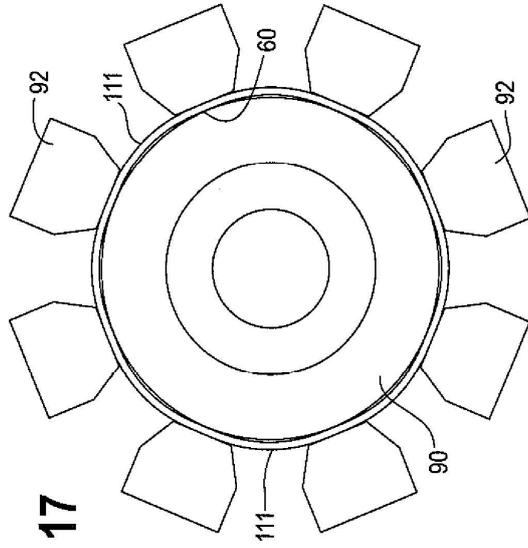


Fig. 17

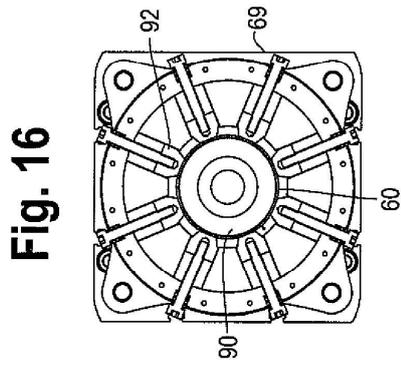


Fig. 16

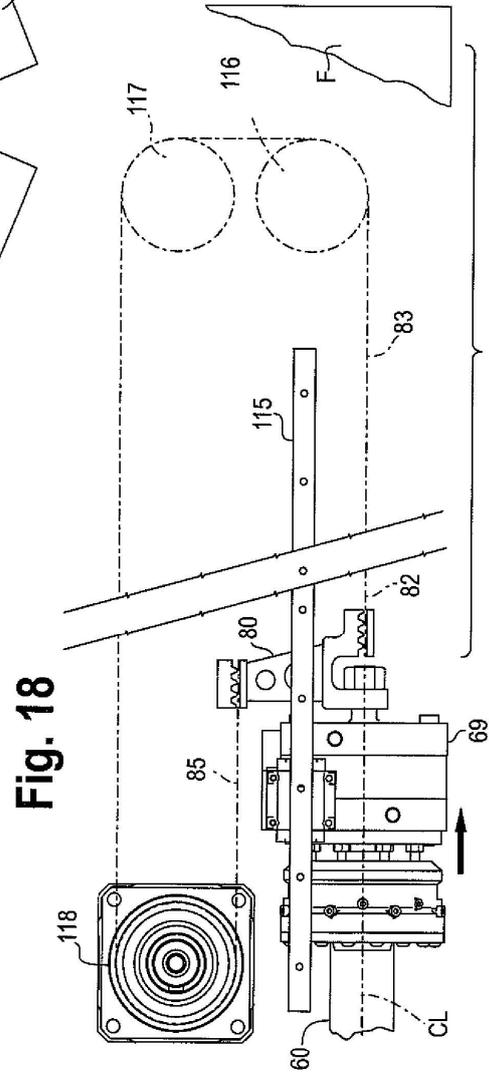
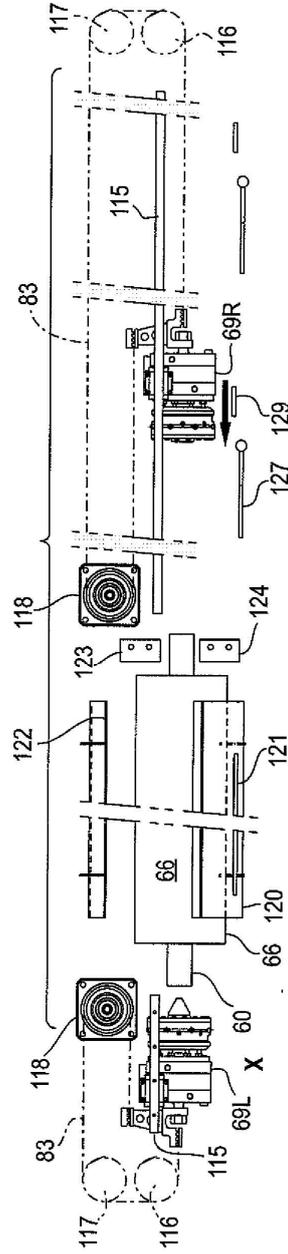


Fig. 18

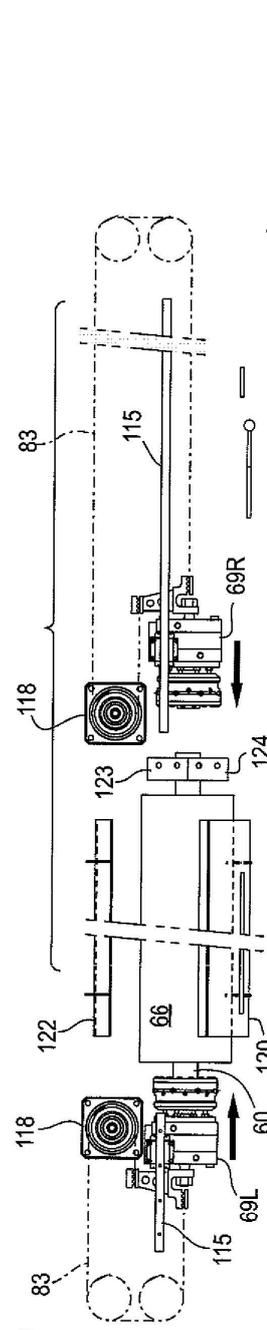
**Fig. 19**



BOBINA DEPOSITADA EN EL CANAL.  
MANDRIL QUE SOBRESALE DE CADA EXTREMO.

LA FLECHA INDICA LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO  
X INDICA ESTACIONARIO (SIN MOVIMIENTO)

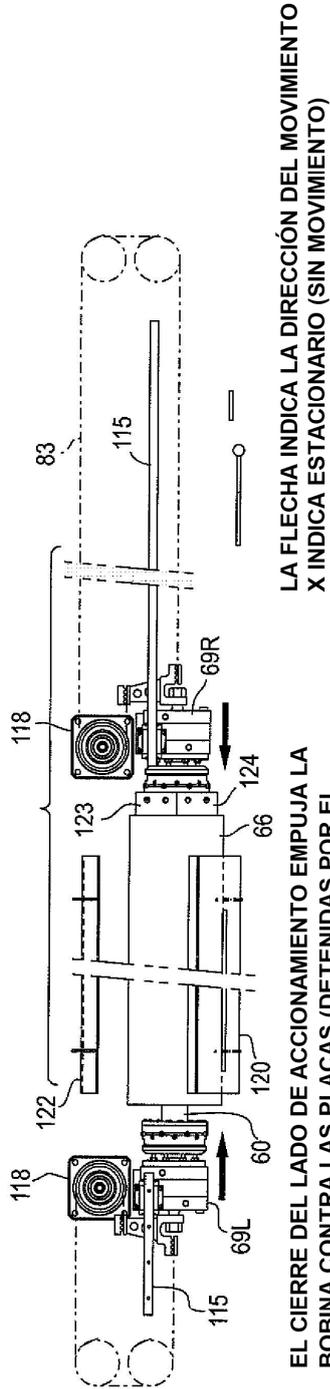
**Fig. 20**



LAS PLACAS DEL LADO DEL OPERADOR PARA LA  
RESTRICCIÓN DE LA CARA DE EXTREMO DE LA BOBINA  
SE CIERRAN. EL CIERRE DEL LADO DE ACCIONAMIENTO  
SE MUEVE HACIA EL MANDRIL Y HACE CONTACTO CON  
EL EXTREMO DEL MANDRIL.

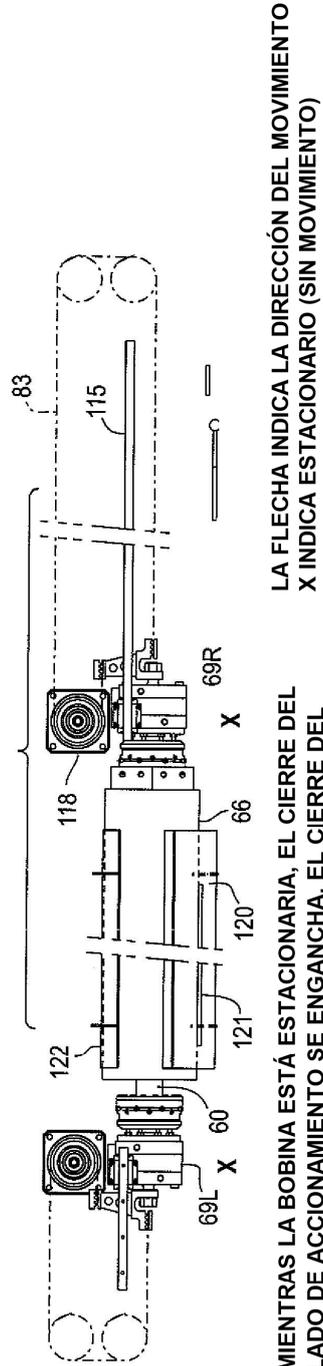
LA FLECHA INDICA LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO  
X INDICA ESTACIONARIO (SIN MOVIMIENTO)

**Fig. 21**



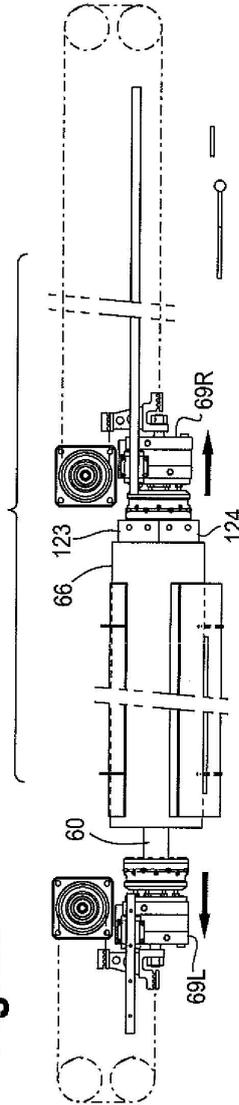
EL CIERRE DEL LADO DE ACCIONAMIENTO EMPUJA LA BOBINA CONTRA LAS PLACAS (DETENIDAS POR EL DETECTOR O LÍMITE DE PAR). EL CIERRE DEL LADO DEL OPERADOR SE MUEVE HACIA EL MANDRIL Y SE DETIENE (POR EL DETECTOR O EL LÍMITE DE PAR).

**Fig. 22**



MIENTRAS LA BOBINA ESTÁ ESTACIONARIA, EL CIERRE DEL LADO DE ACCIONAMIENTO SE ENGANCHAN, EL CIERRE DEL LADO DEL OPERADOR SE ENGANCHAN Y LA RESTRICCIÓN PERIFÉRICA DE LA BOBINA SE ENGANCHAN.

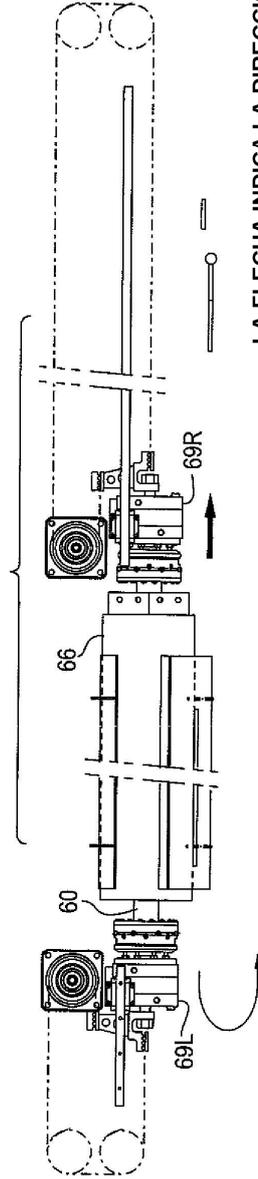
**Fig. 23**



EL CIERRE DEL LADO DE ACCIONAMIENTO SE MUEVE LENTAMENTE PARA ESTIRAR EL MANDRIL, INDUCIENDO SEPARACION LOCALIZADA, Y ASEGURAR QUE LA CARA DEL LADO DEL OPERADOR DE LA BOBINA PERMANECE CONTRA LAS PLACAS. EL CIERRE DEL LADO DE ACCIONAMIENTO SE MUEVE MÁS RÁPIDO Y MÁS LEJOS PARA REALIZAR LA MAYOR PARTE DEL ESTIRAMIENTO.

LA FLECHA INDICA LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO  
X INDICA ESTACIONARIO (SIN MOVIMIENTO)

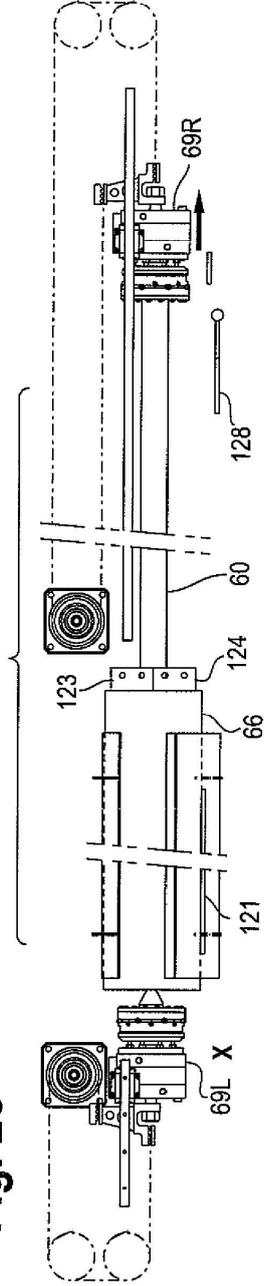
**Fig. 24**



LA FLECHA INDICA LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO  
X INDICA ESTACIONARIO (SIN MOVIMIENTO)

EL CIERRE DEL LADO DEL OPERADOR SE ACELERA, EL CIERRE DEL LADO DE ACCIONAMIENTO SE RALENTIZA, SE INVIERTE Y ACELERA EN LA MISMA DIRECCIÓN QUE EL CIERRE DEL LADO DEL OPERADOR, EL MANDRIL SE MUEVE AHORA EN RELACIÓN CON LA BOBINA, POR LO QUE EL CIERRE DEL LADO DE ACCIONAMIENTO SE SUELTA.

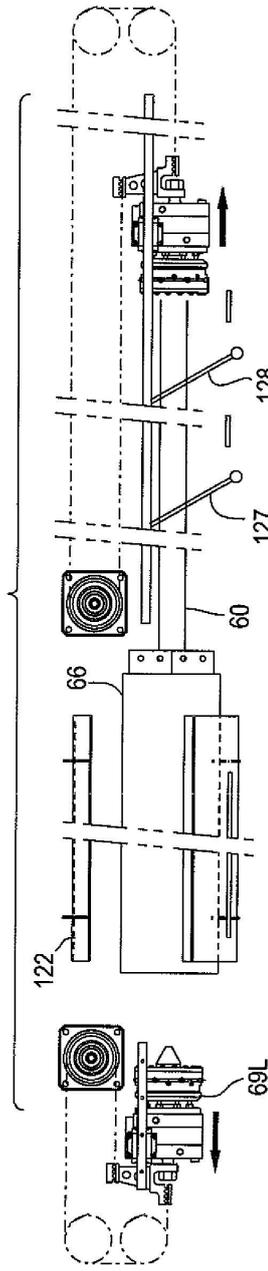
**Fig. 25**



EL CIERRE DEL LADO DE ACCIONAMIENTO SE DETIENE,  
EL CIERRE DEL LADO DEL OPERADOR CONTINÚA  
ACCELERANDO, RETIRANDO RÁPIDAMENTE EL MANDRIL  
DE LA BOBINA.

LA FLECHA INDICA LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO  
X INDICA ESTACIONARIO (SIN MOVIMIENTO)

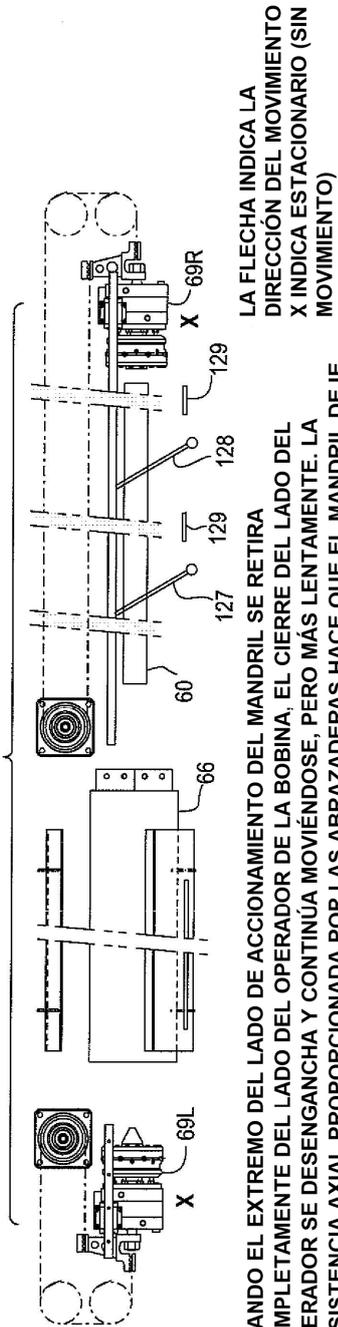
**Fig. 26**



CUANDO EL MANDRIL ESTÁ A PUNTO DE SER RETIRADO, EL CIERRE  
DEL LADO DE ACCIONAMIENTO SE ALEJA DEL EXTREMO DE LA  
BOBINA. LA RESTRICCIÓN PERIFÉRICA DE LA BOBINA SE  
DESENGANCHA Y DOS ABRAZADERAS ACTÚAN PARA APRETAR  
LIGERAMENTE EL MANDRIL. LAS ABRAZADERAS PROPORCIONAN  
RESISTENCIA AXIAL.

LA FLECHA INDICA LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO  
X INDICA ESTACIONARIO (SIN MOVIMIENTO)

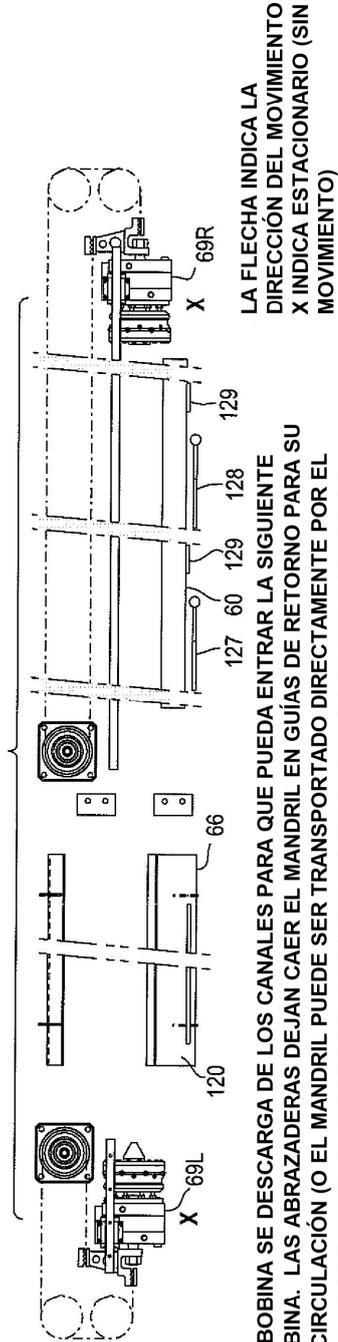
**Fig. 27**



LA FLECHA INDICA LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO X INDICA ESTACIONARIO (SIN MOVIMIENTO)

CUANDO EL EXTREMO DEL LADO DE ACCIONAMIENTO DEL MANDRIL SE RETIRA COMPLETAMENTE DEL LADO DEL OPERADOR DE LA BOBINA, EL CIERRE DEL LADO DEL OPERADOR SE DESENGANCHA Y CONTINUA MOVIÉNDOSE, PERO MÁS LENTAMENTE. LA RESISTENCIA AXIAL PROPORCIONADA POR LAS ABRAZADERAS HACE QUE EL MANDRIL DEJE DE MOVERSE Y EL CIERRE DEL LADO DEL OPERADOR SE RETIRE DE SU EXTREMO. EL PAR DE ABRAZADERAS MANTIENE EL MANDRIL EN POSICIÓN HORIZONTAL.

**Fig. 28**



LA FLECHA INDICA LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO X INDICA ESTACIONARIO (SIN MOVIMIENTO)

LA BOBINA SE DESCARGA DE LOS CANALES PARA QUE PUEDA ENTRAR LA SIGUIENTE BOBINA. LAS ABRAZADERAS DEJAN CAER EL MANDRIL EN GUÍAS DE RETORNO PARA SU RECIRCULACIÓN (O EL MANDRIL PUEDE SER TRANSPORTADO DIRECTAMENTE POR EL TRANSPORTADOR). EL CIERRE DEL LADO DEL OPERADOR INICIA EL MOVIMIENTO DE RETORNO PARA LA SIGUIENTE BOBINA DESPUÉS DE QUE EL MANDRIL SE HAYA APARTADO DEL CAMINO.

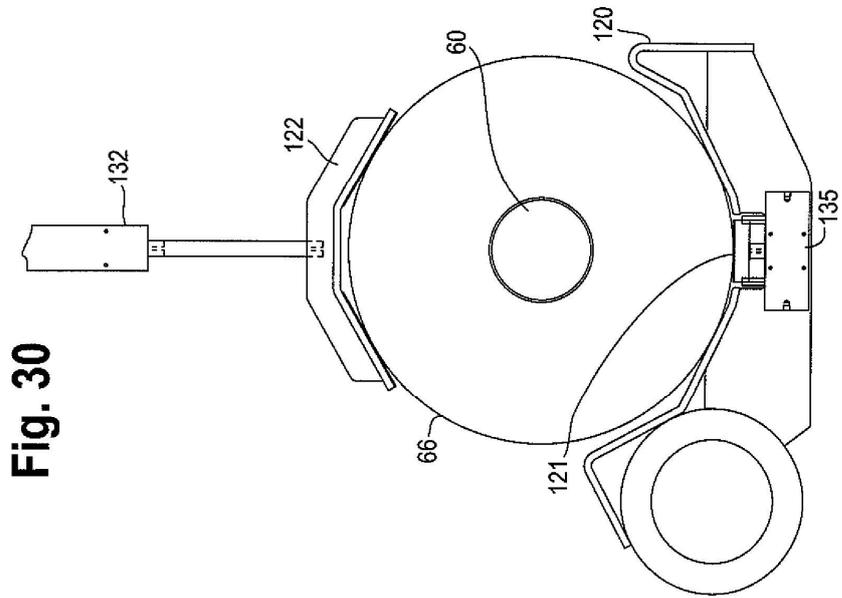


Fig. 30

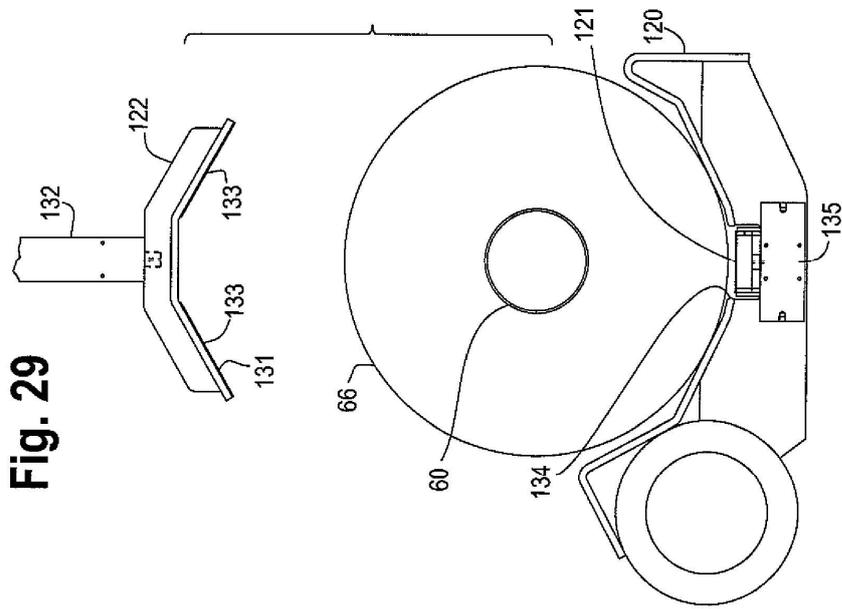


Fig. 29

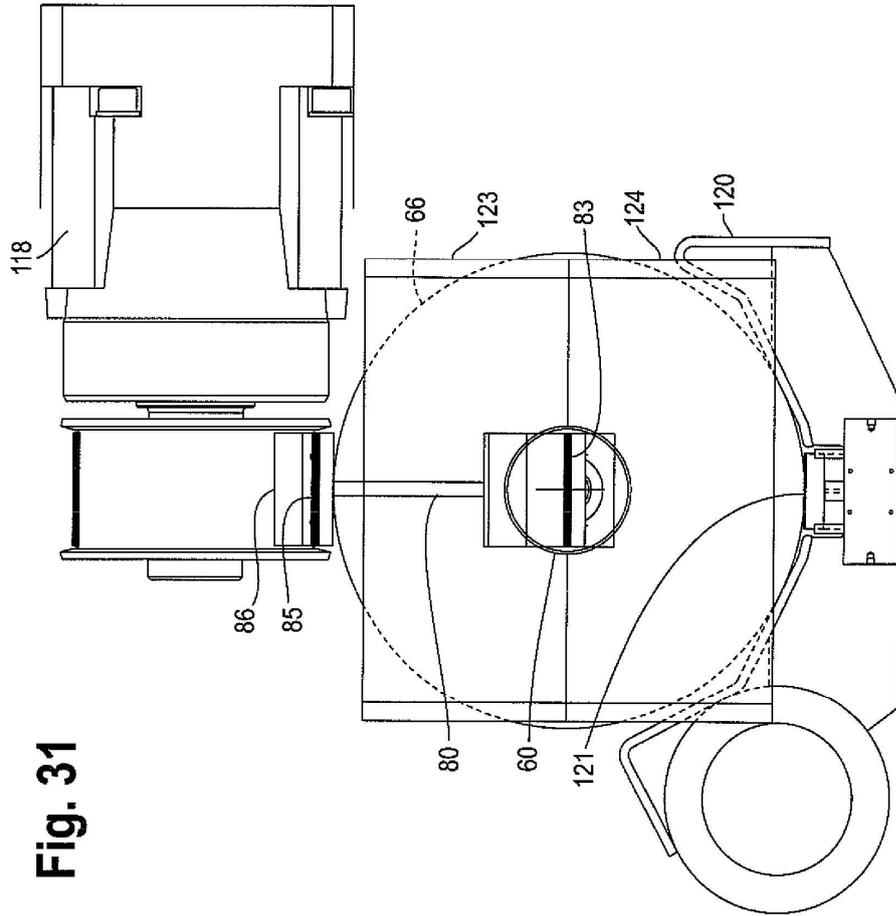
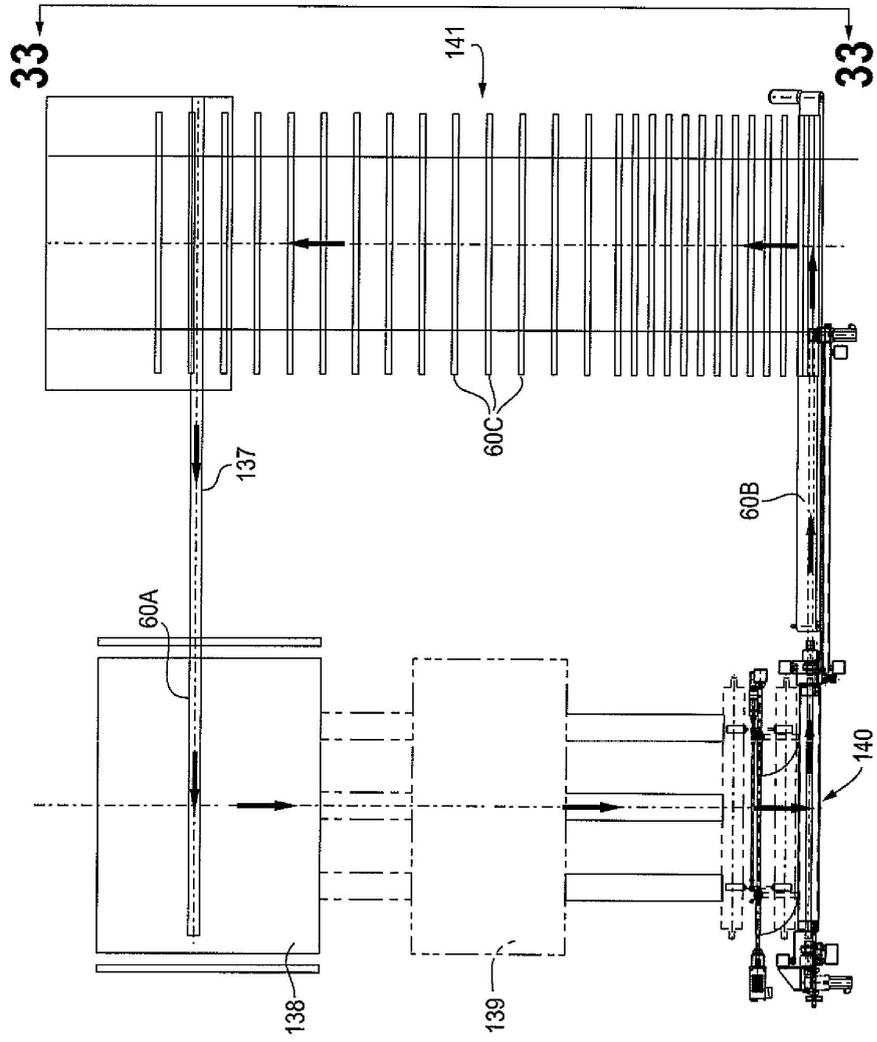


Fig. 31

Fig. 32



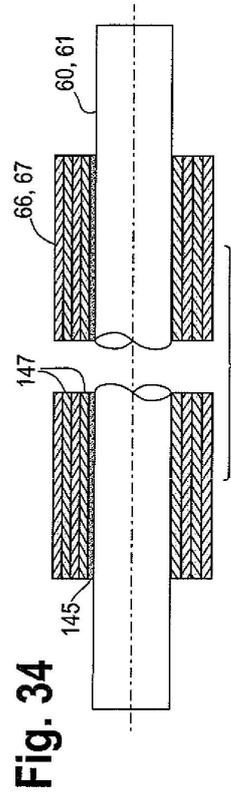
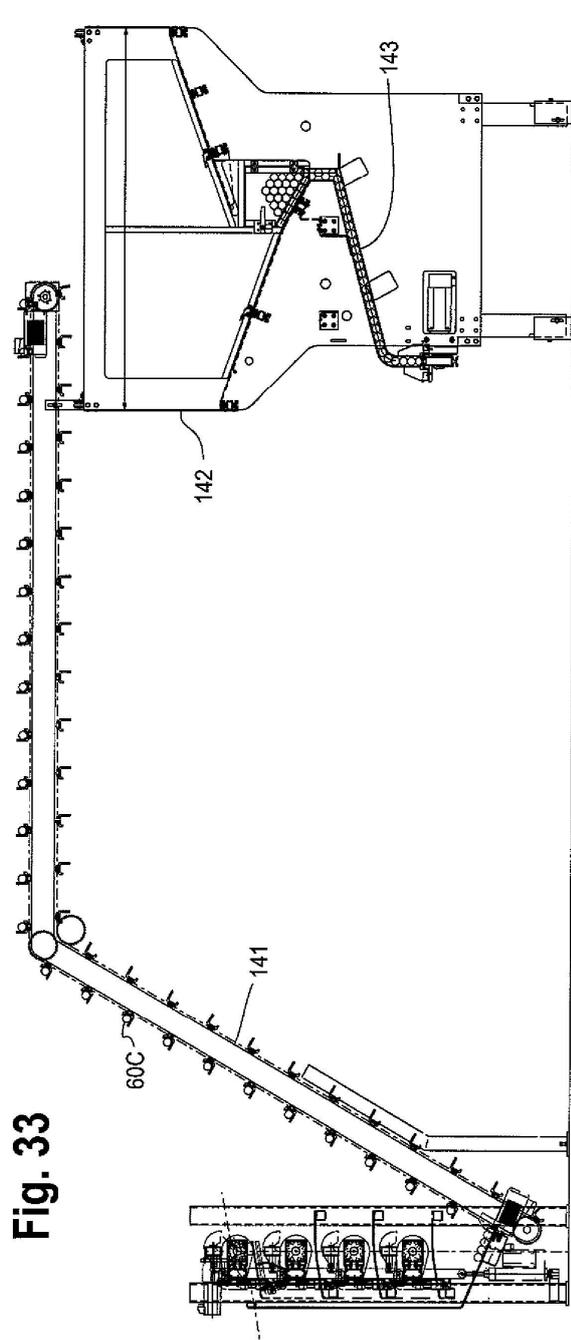


Fig. 35

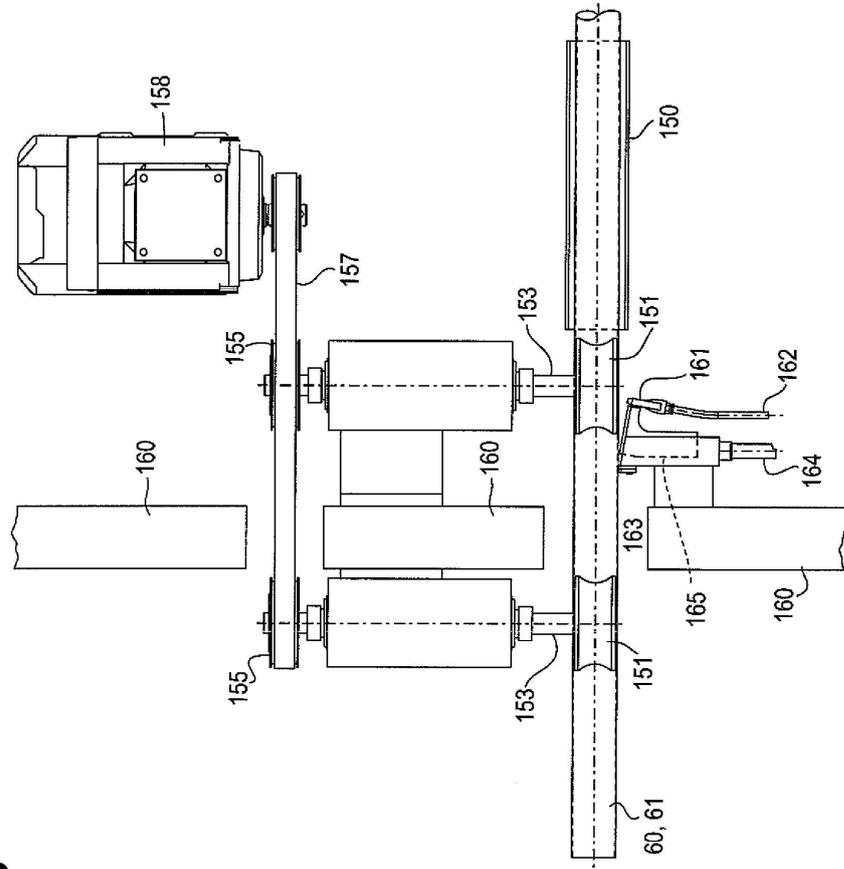


Fig. 36

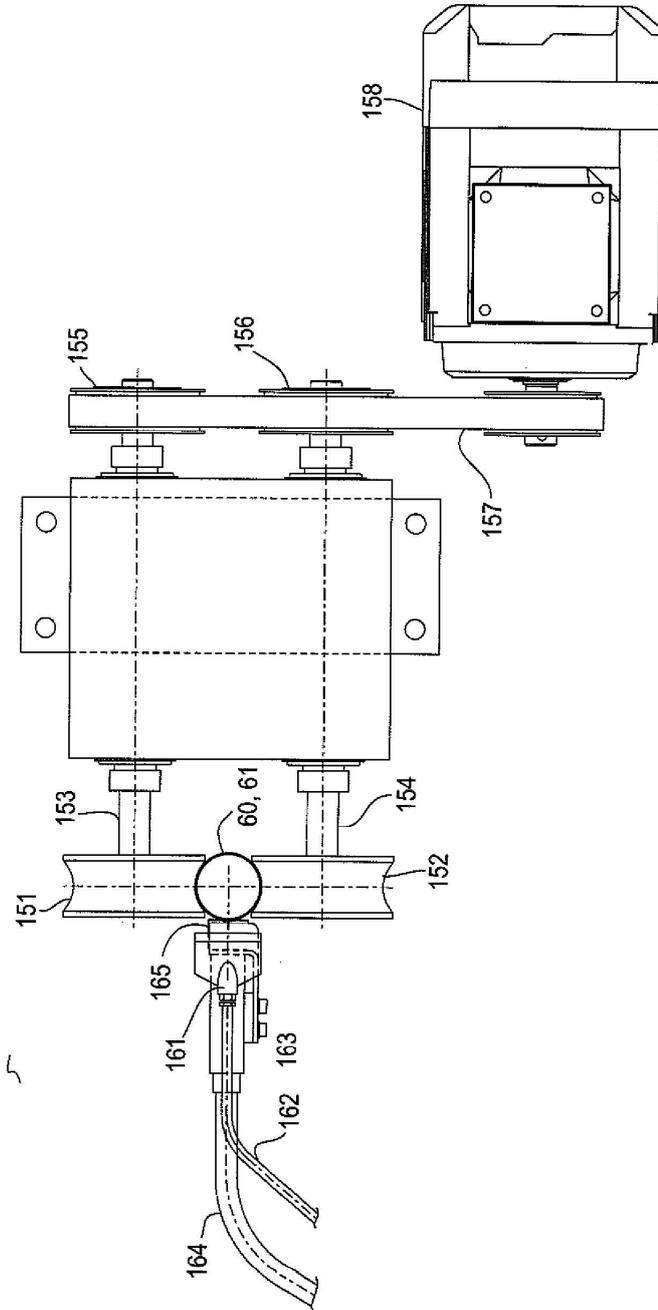


Fig. 37

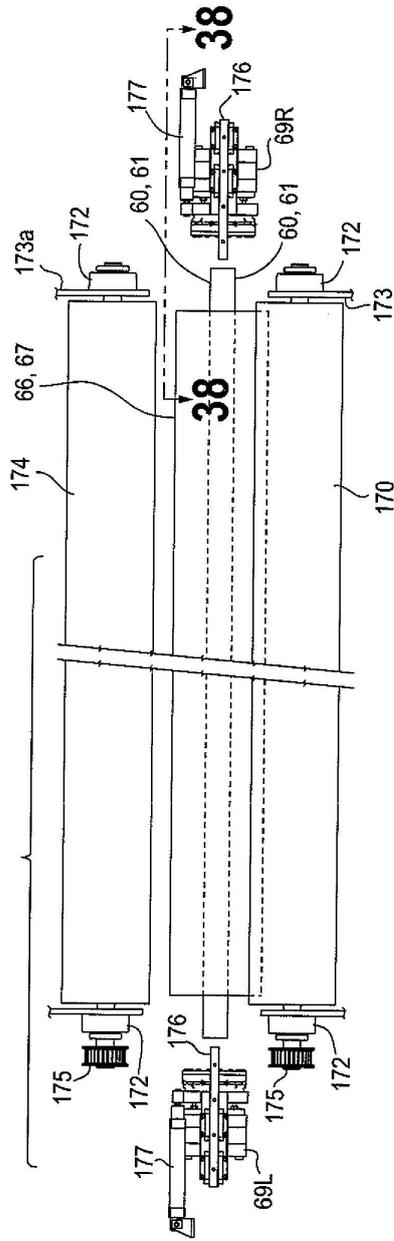
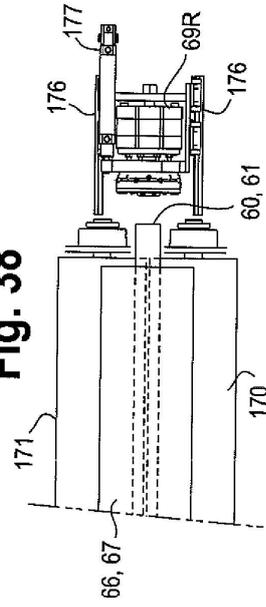
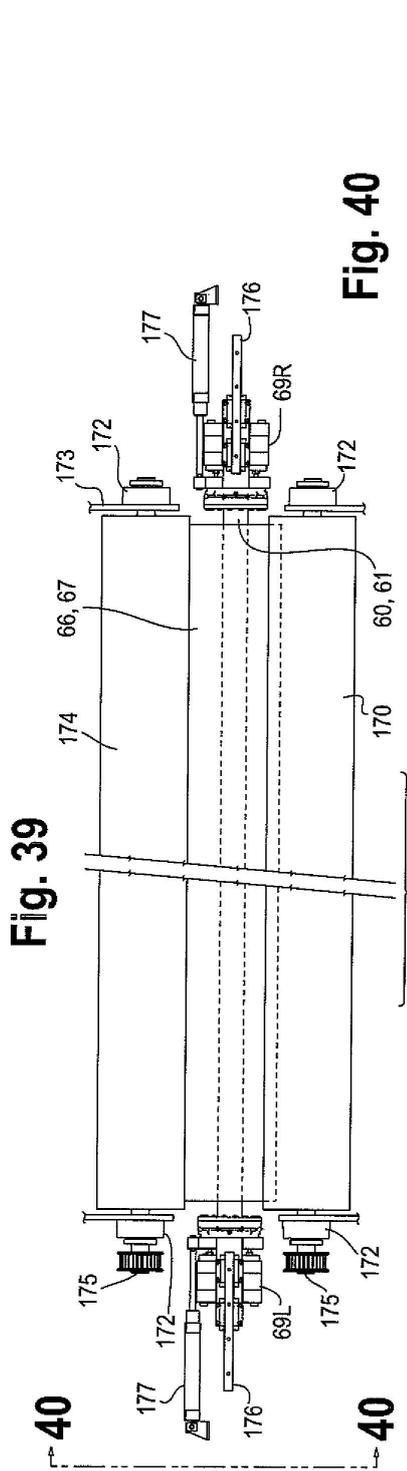
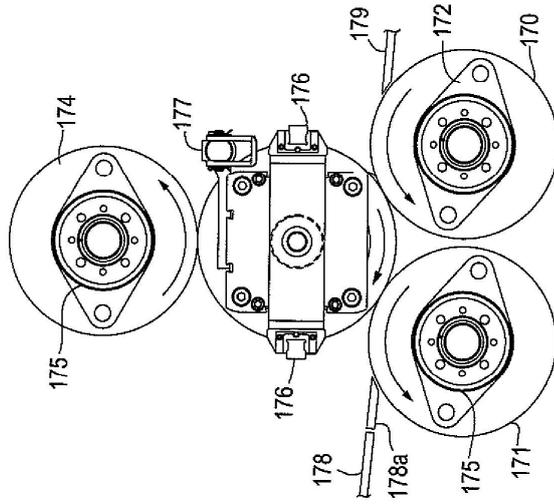


Fig. 38

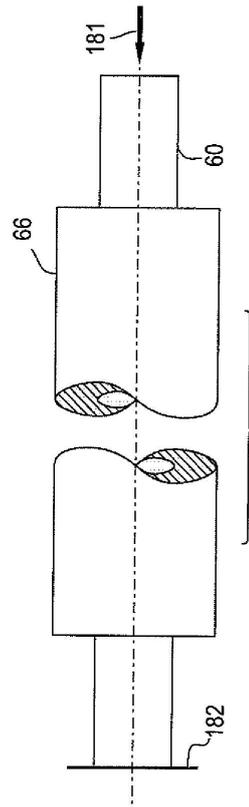




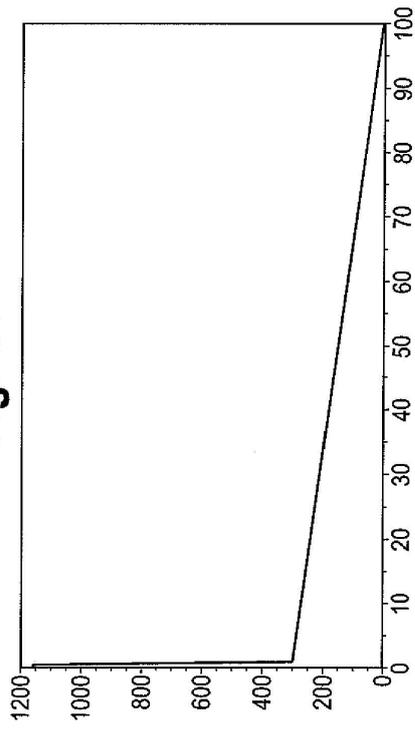
**Fig. 40**



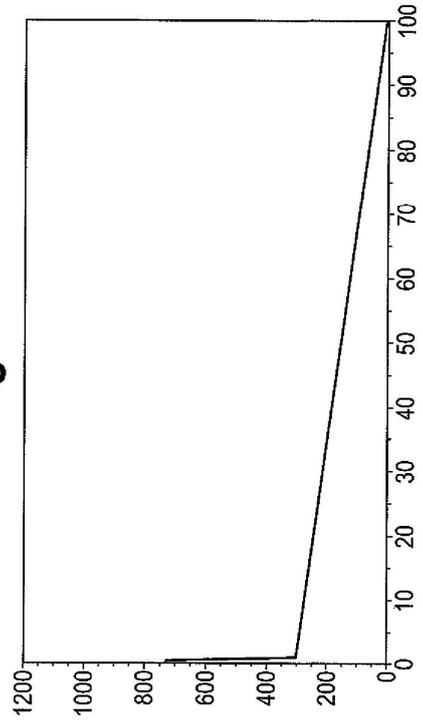
**Fig. 41**



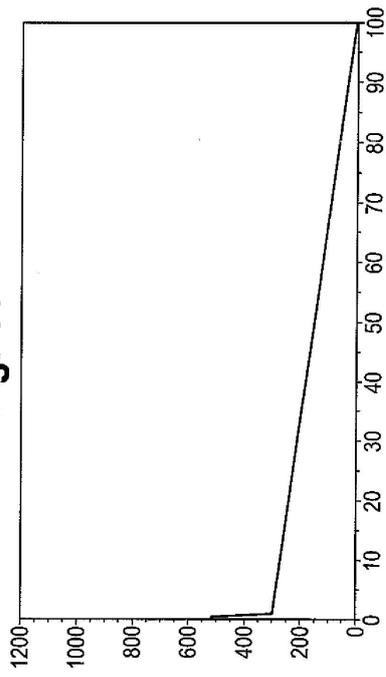
**Fig. 42**



**Fig. 43**



**Fig. 44**



**Fig. 45**

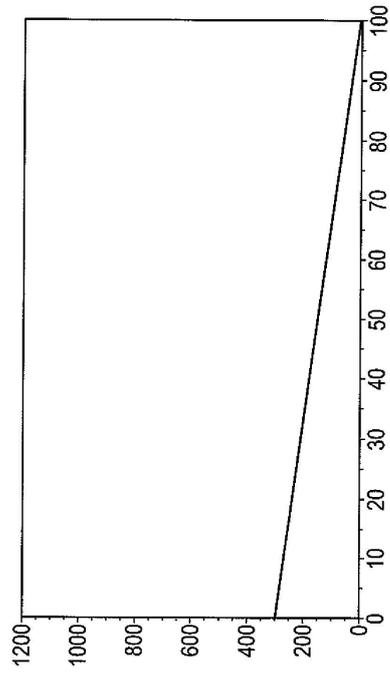


Fig. 46

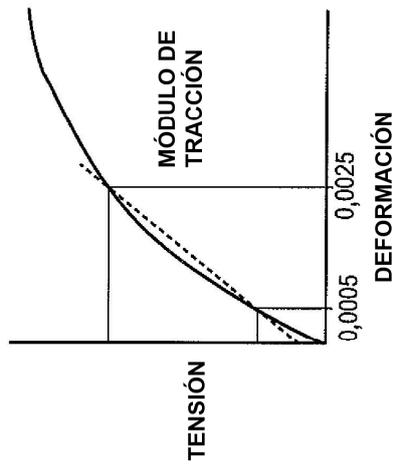


Fig. 47

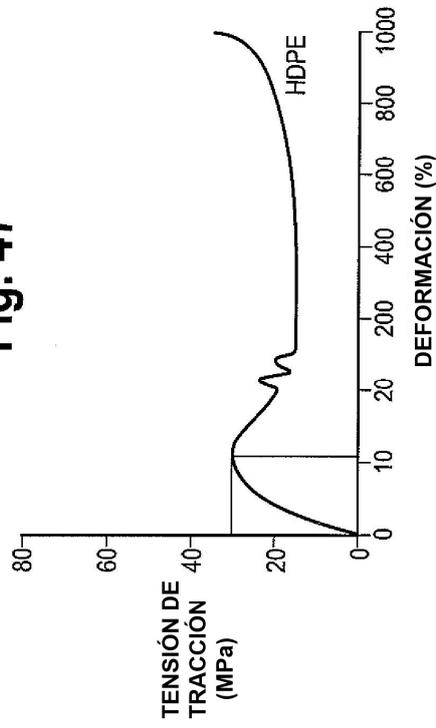


Fig. 48

