

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 728**

51 Int. Cl.:  
**F16F 15/305** (2006.01)  
**B29C 53/56** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **01307692 .2**  
96 Fecha de presentación: **11.09.2001**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1191253**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.03.2002**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de alta velocidad de volantes compuestos**

30 Prioridad:  
**11.09.2000 US 231653 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.03.2012**

73 Titular/es:  
**TORAY INDUSTRIES, INC.**  
**1-1, NIHONBASHI-MUROMACHI 2-CHOME CHUO-**  
**KU**  
**TOKYO 103-8666, JP**

72 Inventor/es:  
**Gabrys, Christopher W.**

74 Agente/Representante:  
**Ponti Sales, Adelaida**

ES 2 376 728 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 de fabricación de alta velocidad de volantes compuestos

Esta invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de llantas de volante compuestas y a llantas de volante hechas mediante el procedimiento, en particular, a un procedimiento de bobinado de filamento curado de producción in-situ para la fabricación de llantas de volante compuestas de bajo coste.

## Antecedentes de la invención

Los sistemas de volante han sido utilizados durante muchos años para el almacenamiento de energía en un sistema, y para luego liberar esa energía almacenada de nuevo en el sistema cuando sea necesario. Los sistemas de volante también proporcionan un efecto suavizante para el funcionamiento de motores de combustión interna y otros tipos de equipos de transmisión. Más recientemente, los sistemas de volante se utilizan en aplicaciones eléctricas para sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) mediante el almacenamiento y la liberación de energía. Los sistemas de almacenamiento de la energía de volante (FESSs), que incluye un rotor de volante y un motor/generador adjunto, convierten la energía eléctrica en energía mecánica mediante el uso del motor para acelerar el rotor del volante para que gire a alta velocidad. La energía se almacena cinéticamente en el movimiento del rotor del volante. Más tarde la energía mecánica se convierte de nuevo en energía eléctrica cuando sea necesario mediante el uso de la inercia de rotación del rotor de volante girando para conducir el generador. Utilizando FESSs en lugar de las baterías convencionales de electroquímica de almacenamiento de energía eléctrica ofrece las ventajas de la mayor fiabilidad potencial, mayor vida útil y mucha mayor capacidad de potencia si se desea.

Los rotores de volante contruidos de acero se utiliza en un sistema UPS de volante debido a la simplicidad en los primeros tiempos, sin embargo, el rendimiento de dichos volantes es bajo con puntas de velocidad por lo general limitadas a alrededor de 400-m/seg o menos. En comparación, un rotor de volante con una llanta de volante compuesto se puede operar a velocidades mucho más altas (700-1000 m/seg). El mayor rendimiento es el resultado de la relación entre la mayor resistencia y el peso mediante la aplicación y adaptación de vidrio de alta resistencia y fibra de carbono en los rotores del volante. Debido a que la energía almacenada para un determinado diseño de volante de inercia es proporcional al cuadrado de la velocidad punta, pero sólo es linealmente proporcional a la masa del rotor del volante (llanta y buje), los investigadores han seguido con fervor la mayor cantidad más alta velocidad de llantas de volante compuestos.

Para ser competitivo en la industria de la calidad de potencia y la fiabilidad de potencia, sistemas UPS basados en volantes deben competir con los sistemas UPS basados en baterías electroquímicas convencionales que tienen baja fiabilidad y vida útil, pero tienen un bajo costo. Para competir de forma eficaz, llantas de volante compuestos de alto rendimiento deben ser fabricadas a un ritmo alto y a un coste bajo. Entre los muchos procedimientos de fabricación de partes de compuestos, es generalmente aceptado que el bobinado del filamento ofrece el mayor potencial para llantas de volante compuestos. El bobinado del filamento puede ser un procedimiento altamente automatizado que es capaz de un alto índice de deposición de materiales y una muy alta calidad de las partes, que es intrínsecamente necesaria para llantas de volante altamente tensados. Las llantas de volante con bobinado del filamento están diseñadas normalmente como llantas compuestas principalmente bobinadas de aro, gruesos, que pueden girar a velocidades muy altas y por lo tanto son muy eficaces para el almacenamiento de energía. El bobinado de filamentos en húmedo, donde se impregnan de una resina termoestable en las fibras en bruto durante la operación de bobinado de filamentos, es el procedimiento preferido para la fabricación de una llanta compuesta. La calidad del compuesto para estructuras muy gruesas, tales como las llantas de volante también ha demostrado ser mucho mayor (menor contenido de vacíos y una mejor alineación de la fibra) mediante bobinado húmedo que por bobinado de filamento utilizando hebras preimpregnadas (previamente impregnadas y parcialmente gelificadas). La mayor calidad es el resultado de una viscosidad mucho más baja de las resinas bobinadas en mojado permitiendo que el aire atrapado sea expulsado de la pieza cuando la fibra se coloca sobre el molde, en lugar de resina preimpregnada de alta viscosidad que no está diseñado fluye tan libremente durante el procedimiento de bobinado.

El bobinado del filamentos de piezas de gran espesor que se ha hecho mediante el bobinado de la pieza en fases o bobinado en etapas, en el que la pieza es bobinada en capas anulares con un espesor radial de menos de aproximadamente 20 mm (3/4 de pulgada), dichas capas son curadas sucesivamente. Las capas posteriores se bobinan y se curan en repetidas ocasiones en la parte superior para permitir la fabricación de piezas de varios centímetros de espesor. El bobinado por etapas se ha hecho por varias razones que incluyen, la producción de la alineación de fibra recta y la prevención de la generación excesiva de calor durante la reacción exotérmica de resina que pueda dañar la pieza. La producción de alineación de la fibra recta, o la carencia de la misma es lo que se conoce como deformación de la fibra, se puede explicar de la siguiente manera. Durante el bobinado del filamento, las fibras son inicialmente enrolladas en el mandril con una cierta cantidad de tensión. Las sucesivas capas se bobinan encima, cada una aumentando el espesor de la pieza y también, por naturaleza, agregando un poco de compresión de las capas inferiores. Como pieza se vuelve mayor de aproximadamente 15 mm (1/2 pulgada) de espesor, la compresión superpuesta combinada de todas las capas exteriores causa que las capas internas pierdan tensión y realmente se compriman. Debido a los diámetros muy pequeños de las fibras individuales de carbono o de vidrio (5-20 micras), las fibras se deforma fácilmente bajo la compresión y la deformación se extiende radialmente hacia fuera, formando una banda curvada inaceptable en el compuesto curado. Las fibras deformadas u onduladas

reducen la fuerza del aro de la estructura y por lo tanto, reduciría la velocidad máxima y la capacidad de almacenamiento de energía de una llanta del volante.

5 Además de permitir la alineación de la fibra recta en partes enrolladas de filamento gruesas, el bobinado por etapas también se ha hecho para evitar la reacción exotérmica excesiva de la resina durante el curado. Si las partes se curaron de una vez con un grosor mayor de aproximadamente 15 mm (1/2 pulgada), el calor generado en el centro de la pieza se convierte en excesivamente alto debido a la reacción de una gran cantidad de resina de una sola vez, y la incapacidad para que el calor se disperse rápidamente debido a la mala conductividad térmica. El bobinado por etapas ha permitido la fabricación de piezas bobinadas de filamento gruesas de alta calidad.

10 El problema del bobinado en etapas es que el procedimiento es extremadamente lento y costoso. En muchos casos, una llanta de volante compuesto de filamento enrollado tiene un espesor radial de hasta 150 mm (6 pulgadas). Dichos llantas de volante tendrían que ser bobinados y curados en 12 etapas diferentes que tardan aproximadamente 12 días en caso del bobinado por etapas. Aumentando aún más el tiempo de fabricación está el requisito del bobinado por etapas de envolver la llanta con cinta porosa de liberación después de bobinar cada etapa para mejorar la adherencia con la siguiente etapa a bobinar después del curado. La cinta se retira y la llanta se lija y se recubre con resina húmeda antes del bobinado de la siguiente etapa. Teniendo en cuenta que los gastos por el tiempo de uso del equipo son uno de los mayores costos de fabricación de compuestos en muchos casos, el bobinado por etapas parece ser un procedimiento deseable para la fabricación de la llanta de volante compuesto.

15 El bobinado de filamento curado in-situ es un procedimiento relativamente nuevo que permite la fabricación de piezas de filamentos bobinados muy gruesas en menos tiempo mediante la curación de la pieza progresiva y continuamente mientras se está en procedimiento de bobinado de filamento, lo que reduce el tiempo de fabricación y los costos. El curado in-situ ha sido objeto de proyectos experimentales, pero se encuentra todavía en sus inicios y hasta ahora no se ha desarrollado en la medida en que podría ser considerado como un procedimiento sólido, confiable, industrialmente repetible.

20 Algunos investigadores han buscado procedimientos de fabricación del volante mediante el bobinado de filamentos con preimpregnados termoplásticos con consolidación in-situ mediante la adición de calor muy alto (> 200°C) en el punto de contacto de la fibra con la llanta. Sin embargo, utilizando una matriz termoplástica se exacerban aún más los problemas con el uso de preimpregnados por tener un costo aún mayor de materias primas y también una velocidad de producción muy lenta debido a la mucho más alta viscosidad de la resina que frena la consolidación. El enfriamiento de la llanta del volante desde la alta temperatura de fabricación también causa tensiones residuales térmicas inaceptablemente altas.

25 Los siguientes documentos que se refieren al diseño de volantes compuestos: "Composite Flywheel Energy Storage", de Charles E. Bakis, Design and Testing of Composite Flywheel Rotors por Christopher W Gabrys y Charles E. Bakis (XP00904D308), y

30 "Fabrication of Thick Filament Wound Carbon Epoxy Rings Using in-situ Curing: Manufacturing and Quality" por CW Gabrys y CE Bakis (XP009040307).

35 En particular, la referencia XP009040308 revela los procedimientos de bobinado de filamentos para la fabricación de llantas de volante compuestos. Ejemplos de procedimientos implican procedimientos de bobinado de filamentos húmedos con gelificación in-situ utilizando mandriles calentados a 121°C o 60°C. Después de la gelificación se emplea sobre la bobinadora de filamento una etapa de calentamiento poscurado. No hay enseñanza en materia de control de volumen de resina de hebras de fibra durante el procedimiento de bobinado de filamentos.

40 Esta invención trata de proporcionar un mejor procedimiento de bobinado de filamento curado in-situ para producir llantas de volante de alta calidad a bajo costo. En consecuencia, la presente invención proporciona un procedimiento de bobinado de filamentos para la fabricación de llantas de volante compuestos (31) con fibras de refuerzo incluidas en una matriz de resina termoestable, el procedimiento comprendiendo:

45 proporcionar fibras en forma de hebras de fibra, pasando las hebras de fibra a través de un baño de resina (42) donde la cantidad de resina es menos de 0,15 litros/hebra, eliminando el exceso de resina que el producto impregnado con resina de hebras de fibra (34) con un volumen de resina de entre 0,4 y 0,5, y

bobinar hebras de fibra impregnadas de resina húmedos (34) en un mandril (32) para producir una pieza cilíndrica que tiene una superficie de la pieza exterior,

50 en el que la pieza cilíndrica se calienta por radiación, convección o conducción a una temperatura predeterminada de bobinado de 55°C a 100°C durante el bobinado de las hebras de fibra impregnadas con resina húmedos (34) en la pieza, para facilitar la gelificación de la resina en una capa radial superficial en la pieza cilíndrica por debajo de la superficie exterior de la pieza, mientras que las hebras de fibra de refuerzo impregnadas con resina en húmedo (34) son enrolladas en la superficie de la pieza exterior.

55 El presente procedimiento utiliza el curado in-situ para curar continuamente la resina durante el procedimiento de bobinado de filamentos. De acuerdo con realizaciones del presente procedimiento se utiliza una temperatura del

procedimiento de bobinado más baja, junto con una temperatura de curado inferior y el sistema de resina epoxi inherentemente de mayor dureza permite que la llanta sea bobinado de forma continua. Varios tipos de fibras se pueden utilizar en una llanta para que sirva mejor a los requisitos de resistencia y rigidez de la estructura.

5 El montaje de ajuste a presión de llantas que contengan fibras de vidrio y carbono ya no es necesario ya que pueden ser bobinadas juntas sin hacer que la llanta se rompa con el estrés térmico. Esto se logra mediante el uso de epoxy curado a temperatura relativamente baja, junto con la utilización al mismo tiempo de una velocidad conservadora de deposición radial de aproximadamente 5 - 15 mm (1/4-1/2 pulgadas) por hora. La temperatura de bobinado se puede mantener a unos 60°C - 80°C, proporcionando bajas tensiones residuales térmicas. Agentes de curado de aminas alifáticas o aminas éter con resina epoxi en general funcionan bien para disminuir la temperatura del bobinado y 10 permitir baja viscosidad, pero otros sistemas de resina que ofrecen características similares pueden ser utilizados.

### Descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un esbozo de un tronco del rotor compuesto y un corte de rotor individual del tronco.

La Fig. 2 es un boceto de un aparato de bobinado de filamento preferido.

La Fig. 3 es un bosquejo de baño de resina preferido en el aparato que se muestra en la Fig. 2.

15 La Fig. 4 es un boceto de un rodamiento de orificio de "cambio rápido" preferido utilizado en el aparato de la Fig. 2.

La Fig. 5 es un boceto de un peine de fibra de "cambio rápido" preferido que se utiliza en el aparato que se muestra en la Fig. 2.

La Fig. 6 es un boceto de un sistema de gasto de fibra preferido utilizado en el aparato que se muestra en la Fig. 2.

20 La Fig. 7 es un dibujo de una cadena de fibra preferida para la plantilla utilizada para la cadena previa de la fibra para su uso en el aparato que se muestra en la Fig. 2.

La Fig. 8 es una vista en planta de la configuración de bobinado que se muestra en la Fig. 2.

### Descripción de la realización preferida

25 En el procedimiento de bobinado de filamentos con curado in-situ según la presente invención, la pieza que se hace es calentada a una temperatura determinada, mientras las fibras impregnadas con resina son bobinadas en ella. La temperatura del bobinado está determinada por la velocidad deseada de deposición de material en la pieza y la reactividad de la resina seleccionada. El procedimiento se basa en el hecho de que las resinas termoestables tienen una temperatura dependiente del tiempo del gel, que se define como el tiempo que tardan en gelificar o endurecer a esa temperatura. Dentro de ciertos límites, el tiempo de gelificación de resinas termoestables disminuye al aumentar la temperatura. Una regla aproximada para las resinas epoxi utilizadas para las llantas de volante compuestos de 30 esta invención, es que el tiempo de gel se reduce a la mitad por cada aumento de 10°C de temperatura. La temperatura de bobinado (la temperatura de superficie de la pieza durante el bobinado) y la velocidad de liquidación se determinan de modo que los geles de resina o endurecedores para mantener las fibras en su lugar antes de que la pieza se vuelve muy gruesa y las fibras tengan la oportunidad de hebillar. Preferiblemente, los parámetros del procedimiento, que se describen a continuación, son elegidos de forma que el espesor de la pieza no gelificada no exceda de aproximadamente 15-20 mm (1/2 - 3/4 de pulgada) en la superficie externa de la pieza antes de que la resina gelifique. Como la pieza es continuamente bobinada a una cierta velocidad de velocidad determinada a un 35 espesor de varias pulgadas, la resina gelifica de forma continua radialmente hacia el exterior a la misma velocidad, manteniendo así una zona de poca profundidad radial del material de gel debajo de la superficie de la parte húmeda.

40 Un control de temperatura 35a y el calentador 35 mantienen una temperatura constante de la pieza para mantener la velocidad de curación deseada. Debido a que la resina se cura en una capa delgada que progresa de forma continua mientras la pieza está en procedimiento de enrollado y porque el controlador de temperatura mantiene constante la temperatura, se evita el sobrecalentamiento exotérmico en el interior del compuesto. La pieza puede ser calentada por calentadores de mandril interno, un calentador de convección externa de horno de caja y/o 45 calentadores infrarrojos 35, apuntados a la superficie de la pieza. La temperatura de la pieza se mide mediante un sensor de temperatura por infrarrojos 36 dirigido a la superficie de la pieza. Debido a que la velocidad de deposición de material en una pieza por lo general es de alrededor de 25,5 mm (1/4 - 1) pulgada radial por hora, incluso a una alta velocidad de fabricación, la diferencia entre la temperatura de superficie de la llanta y la temperatura por debajo de la superficie en la zona de gelificación es pequeña e insignificante.

50 Después de que el bobinado se ha completado, la pieza se gira y se calienta durante al menos 1 hora adicional en la bobinadora de modo que la capa exterior gelifique completamente. La pieza puede ser trasladada a un horno y posteriormente curada durante varias horas a temperatura moderada, si se mejoran las propiedades mecánicas de la resina en particular.

El curado in situ produce llantas compuestas de mayor calidad que el bobinado en etapas convencional. La temperatura elevada de la pieza durante el bobinado reduce significativamente el contenido de vacíos en la llanta

debido a que la viscosidad de la resina se reduce drásticamente (por lo general menos de 100 cps) en la superficie compuesto mientras la fibra se va disponiendo. En cambio las burbujas de aire escapan con facilidad en lugar de ser atrapadas en el compuesto curado. Los contenidos de vacíos, medidos por ASTM D2584 se reducen del 3-4% típico a menos del 2%, o incluso a menos de 1%. La más baja viscosidad de la resina en la superficie de la pieza hace que sea posible aumentar la fracción de volumen de fibra a más del 60%, medida por ASTM 792, y facilita la fabricación de bobinado del filamento automatizada. En el bobinado de filamento convencional donde las piezas se bobinan a temperatura ambiente, se requiere un técnico para raspar el exceso de resina periódicamente de la superficie de la pieza con una escobilla de goma. Esta resina se vuelve aún más gruesa de lo normal (varios miles cps) debido al aire atrapado en la fibra continua que se dispone. Con el procedimiento de bobinado in-situ, por el contrario, la viscosidad de la resina en la superficie de la pieza calentada permanece baja y el exceso de resina gotea de forma automática de la pieza, lo que disminuye la fracción de volumen de resina y minimiza otra variable del procedimiento.

El bobinado del filamento curado in-situ también mejora la calidad de las piezas, permitiendo un nivel de alineación de la fibra recta que antes era inalcanzable con el bobinado convencional en etapas. La mejor alineación de la fibra es el resultado de la curación de la pieza en un procedimiento continuo. El espesor no gelificado de la superficie de la pieza se puede controlar mediante la velocidad de bobinado y mediante la temperatura del bobinado. Esto permite que la pieza se cure antes incluso de que 15 mm (1/2 pulgada) de compuesto no gelificado se enrolle en la pieza superior. Del mismo modo, una pieza curada in-situ es más uniforme y no contiene ninguna capa de resina que por lo general se forman entre las capas sucesivamente curadas en una pieza enrollada por etapas.

Para asegurar que la viscosidad de la resina sigue siendo lo suficientemente baja como durante la fabricación del bobinado curado in-situ de una gran pieza que por lo general puede durar horas, se seleccionó una resina de bisfenol A curada con amina ciclo alifática con una vida útil extremadamente larga, incluso a temperaturas de baño de resina elevadas hasta 65°C. La larga vida útil contribuye a prevenir que la resina se cure en el baño de resina durante el bobinado, y la resina de baja viscosidad es preferida para permitir que las altas velocidades de la hebra sin romper las fibras. Se pueden emplear otras resinas para los beneficios tanto de reducir el tiempo de fabricación mediante un curado más rápido (Bisfenol A curado con éter amina) o para cambiar las distribuciones de la tensión al impartir una flexibilidad extrema (por ejemplo, poliuretano). Con el curado in-situ, una velocidad adecuada de deposición radial para el bobinado del compuesto es de aproximadamente 5-20 mm (1/4 -3/4 pulgada) por hora. Con el espesor del compuesto deseado no gelificado también fijado en 5-20 mm (1/4 -3/4 pulgada) para evitar la deformación de la fibra, la temperatura del bobinado es configurada entonces para permitir un tiempo de gelificación de 1 hora. Resinas más reactivas podrían ser utilizadas para permitir velocidades de deposición radial de compuestos de hasta varios centímetros por hora a temperaturas de bobinado más altas.

Un sistema de curado de la resina a una temperatura más baja proporciona un entorno de reducción de estrés térmico para la llanta a curar. Dado que la pieza compuesto se enfría a temperatura ambiente después del bobinado, el cambio de temperatura en una pieza compuesto curada a 120°C es de 100 (= 120 -20)°C, mientras que el cambio de temperatura en una pieza compuesto curada a 60°C es de 40 (= 60 - 20)°C. Por lo tanto, las tensiones residuales térmicas se reducen en más de un factor de dos. El uso de la resina epoxi de curado a temperatura más baja también ayuda a prevenir la formación de grietas en la llanta con una dureza mucho mayor (K IC = 1,0 -2,2 MPa m<sup>1/2</sup> de aminas alifáticas y éter epoxi curado en comparación con 0,6-0,7 MPa m<sup>1/2</sup> de amina aromática epoxi). Epoxi curado anhídrido es típicamente aún más frágil. Se pueden añadir endurecedores a las resinas de amina aromática curada pero esto aumentaría en gran medida la viscosidad limitando la velocidad de fabricación a partir de la rotura de hebra, mientras que las tensiones residuales térmicas seguirían siendo altas. Los aceleradores se podrían agregar para reducir la temperatura del bobinado, pero la cantidad de acelerador necesitada puede afectar negativamente a las propiedades mecánicas. Del mismo modo, las resinas de temperatura de curado más altas podrían ser utilizadas a una baja temperatura de bobinado mediante la desaceleración del bobinado y la velocidad de deposición radial. Sin embargo, el tiempo necesario para la fabricación de llantas sería prohibitivamente largo dado que el tiempo de bobinado se duplica por cada 10°C de reducción de la temperatura.

Para reducir aún más el costo por la energía de los sistemas UPS del volante, es preferible aumentar la cantidad de almacenamiento de energía de la llanta por unidad de costo. El diseño del volante es determinado para maximizar el almacenamiento de energía por la llanta, manteniendo la construcción simple de bajo costo. Es deseable hacer las llantas de volante con un espesor radial considerable (ID/OD ≈ 0,5) de tal manera que almacenen cantidades considerables de energía. Sin embargo, dichas llantas de volante, ya sea hechos todos a partir de fibras de vidrio o todos de fibras de carbono, generan esfuerzos de tensiones radiales inaceptablemente altos cuando se giran. Las tensiones radiales en una llanta dado son inversamente proporcionales a la relación entre el diámetro interior y el diámetro exterior. Cuanto menor sea la proporción y más grueso la llanta, mayores las tensiones radiales. Debido a que las llantas de filamento bobinado carecen de fibra de refuerzo en la dirección radial, necesariamente tienen baja resistencia a la tracción en la dirección radial. Por lo tanto, llantas compuestas de fibra única están usualmente limitados a una dimensión radial muy delgada (ID/OD ≈ 0,8) para la velocidad máxima y la utilización de la fuerza de la llanta en el aro y las direcciones radiales. Para superar esta limitación, las llantas de volante son preferiblemente construidos con dos materiales diferentes, con distintos módulos de elasticidad y densidad. La combinación habitual es utilizar fibras de vidrio y de carbono en una llanta. De este modo, las fibras de vidrio que tiene un módulo de elasticidad más bajo y una mayor densidad, se colocan en el diámetro interno, y las fibras de carbono que tienen un mayor módulo de elasticidad y menor densidad, se utilizan en el diámetro externo. Cuando el rotor del volante se

hace girar a alta velocidad, el aro interior trata de crecer más que el aro exterior, debido a su menor módulo específico de elasticidad. La llanta compuesta por lo tanto genera la compresión radial en todas partes. Esta compresión radial auto-generada permite que el total de la llanta del volante se construya radialmente de forma mucho más gruesa ( $ID/OD \approx 0,5$ ) y logrando aún así una alta velocidad de rotación. El nivel de compresión radial para un determinado diseño de la llanta del volante puede ser reducido o limitado, si se desea, mediante la transición de forma gradual desde todas las fibras de vidrio a todas las de carbono mediante el uso de algunas capas intermedias de diferentes mezclas de las fibras. Esto disminuye la tensión de la gran compresión radial que de lo contrario se generaría en la interfaz de las dos fibras.

La construcción de bobinado de filamento curado in situ de llantas de volante compuestas utiliza dos o más tipos diferentes de fibras para aumentar el almacenamiento de energía ha encontrado problemas significativos en su desarrollo. Por ejemplo, los intentos de bobinar llantas de fibra múltiples continuamente mediante curado in-situ con fibras de vidrio y de carbono han encontrado grietas en las llantas durante la fabricación. El agrietamiento es el resultado de las mayores tensiones residuales impartidas debido a las diferentes propiedades mecánicas y termo-mecánicas de los dos materiales compuestos diferentes. Los diferentes coeficientes de expansión térmica y módulos de elasticidad de las fibras causan que los aros se contraigan de forma diferente durante el enfriamiento y la contracción de polimerización durante el curado. Un sistema de resina más flexible como el uretano, puede ser útil en dicha llanta para dar cabida al corte ligero que podría desarrollarse entre hebras de fibras adyacentes de diferentes propiedades mecánicas y termo-mecánicas. El procedimiento sustitutivo de post-montaje de las llantas bobinados y curados de forma individual no es una solución deseable. Este procedimiento agrega un gasto adicional significativo, porque cada uno de los aros necesita ser premeccanizado con tolerancias estrictas antes del montaje, las superficies deslizantes revestidas con un agente de unión epoxi, presionadas y luego mecanizados otra vez a las dimensiones finales.

En cuanto a los dibujos, en los que caracteres similares designan partes iguales o correspondientes, la figura 1 muestra un tronco 30 y la figura 1A muestra una llanta de volante individual 31 que se corta a partir del tronco después del bobinado/curado. El tiempo de fabricación y el costo por llanta son minimizados mediante el bobinado de una pieza compuesta como un largo tronco de múltiples llantas, más que como llantas individuales. Después del cierre y post-curado, el tronco se corta en llantas individuales que se mecanizan con la tolerancia estricta mediante amolado. Debido a que la velocidad de bobinado depende de la velocidad máxima de deposición radial aceptable, bobinar un único aro, lleva aproximadamente la misma cantidad de tiempo, como bobinando un tronco largo que podría ser cortado en llantas múltiples, por ejemplo, un tronco de 4,2 m (14 pies), que podría cortarse en 28 llantas de 0,15 m (6 pulgadas) de longitud.

Para bobinar un tronco largo a alta velocidad, el bobinado se realiza con hebras múltiples, por ejemplo, 20 a la vez, de modo que la velocidad de deposición radial puede mantenerse sin tener excesivas velocidades de las hebras. Por ejemplo, un tronco de 4,2 m (14 pies) con un espesor radial de 125 mm (5 pulgadas) de diámetro interior y 250 mm (10 pulgadas) puede ser bobinado con 20 hebras de fibra a la vez en aproximadamente 10 horas, mientras que se limita la velocidad de la hebra a menos de 100 m/minuto. La velocidad de la hebra (velocidad de la línea) es superior a la convencional, pero es posible utilizar una configuración especial del bobinador como se describe a continuación. Un aumento aún mayor de la productividad se logra mediante el uso de un bobinador de filamento de múltiples ejes de tal manera que más de un tronco es bobinado al mismo tiempo bobinadora. El mecanizado de las llantas a una tolerancia rigurosa se hace mediante amolado con una rueda de diamante. Este es el procedimiento de mecanizado más rápido y que no se arriesga a arrancar las fibras de los compuestos. La llanta se sella con un fino revestimiento de 0,03 a 0,3 mm (0,001 a 0,01") de epoxi.

El aro 31 se puede cortar desde el tronco 30, ya sea por rotación del tronco y presionando con una sierra giratoria o utilizando una sierra de cinta convencional. El procedimiento preferido por simplicidad es el uso de una hoja con punta de carburo en una sierra de cinta.

Para bobinar un tronco de preferencia horas cortas con resina de baja temperatura de curado/altamente reactiva, son necesarias técnicas especiales. Esas técnicas se centran en prevenir el tiempo de inactividad durante el bobinado. Debido a que la resina impregnada en la hebra de fibra es continuamente curada en la bobinadora, las detenciones en el procedimiento de bobinado deben mantenerse al mínimo y preferiblemente por debajo de 10 minutos en cualquier momento de detención. Una de las principales causas del tiempo de detención en el bobinado de filamentos es la rotura de la hebra de fibra. Este invento usa varias técnicas para reducir la rotura de la hebra a las velocidades comercialmente insignificantes. En muchas operaciones de bobinado de filamentos, las roturas de la hebra se producen en el baño de resina debido a la alta viscosidad de la resina y la flexión mecánica de los filamentos para promover la impregnación de la resina. Para reducir la rotura de la hebra, esta invención se utiliza un baño de resina extremadamente pequeño 42, donde se mantiene a la vez menos de 0,15 litros/hebra de resina en el baño. La cantidad de resina en los baños de resina para la operación de bobinado convencional de filamentos es mucho más que 1,5 litros/hebra. El pequeño tamaño del baño de la presente invención se asegura de que toda la resina en el baño que será rápidamente utilizada por las fibras que pasan a través debe ser rápidamente actualizada. Debido a que la resina fresca por lo general se queda en el baño por sólo 5-10 minutos, el baño de resina se puede calentar mucho más caliente que el caso de bobinados de filamento convencionales sin el riesgo de gelificación prematura. La temperatura más alta de la resina reduce drásticamente la viscosidad de la resina, lo que reduce en gran medida la ruptura de la hebra. El baño pequeño también permite el uso de las resinas de baja

temperatura que de otra manera se fraguarían rápidamente en un baño de resina de gran tamaño. El baño se calienta con calentadores de cartucho eléctrico desmontables para una respuesta mucho más rápida que las camisas de agua convencionales, por lo que la resina reactiva es también más fácil de controlar. Otras características del baño de resina 42 incluyen ejes fijos (no giratorios) 57 y 58. Los ejes fijos, en lugar de ejes giratorios, se utilizan en el baño para reducir la rotura de hebra de dos maneras. Los ejes fijos evitan que las fibras se bobinen a su alrededor y rompan las hebras individuales y múltiples. Los ejes fijos tampoco agitan aire en la resina, lo que aumenta la viscosidad. La viscosidad de la resina en el baño, utilizando epoxis curados por una amina alifática o éter de bisfenol A apropiados, se puede mantener muy baja, por debajo de 200 cps y en algunos casos por debajo de 100 cps.

La causa más significativa de tiempo de detención durante el bobinado de filamentos es el momento de recuperar las hebras de fibra rotas. El sistema de tensión en el aparato de la invención contribuye a reducir de forma significativa la ruptura de la hebra. La tensión aplicada a las fibras en la nasa es muy inferior de 0,45 a 1,81kg (1 - 4 lbs) que los valores convencionales de 2,27 a 2,72 kg/hebra (5 - 6 lbs/hebra). Esto reduce el daño causado a las fibras en el baño de la resina y la ruptura de la hebra. La tensión se incrementa en cierta medida en el baño por el uso de los ejes fijos y más tensión se añadió más tarde de manera segura por el sistema de pago que dispensa la fibra ya impregnada en el mandril. Para permitir la medición de la resina en las hebras de fibra, el baño de resina 42 utiliza los orificios fijos 60 en un soporte 59, que se muestra en la fig. 4, en lugar de una escobilla de goma, que se utiliza por lo general, presionándola contra las fibras. Esto tiene varias ventajas, incluyendo la reducción en gran medida de la rotura de la hebra porque no hay una presión directa sobre las fibras, la fracción de volumen de fibra húmeda puede ser medida mucho más cerca (55% frente al 30%) y la cantidad de resina en las hebras impregnadas no es una función de la velocidad de la hebra. No se necesita ajuste de operador y los orificios no se desgastan. Este baño de resina es también mejor que el otro tipo de baños convencionales, baños de tambor, ya que no agitan la resina incrementando la viscosidad y tiene una medición precisa y repetible. El resultado de estos cambios de configuración es la capacidad de bobinar las partes con roturas de hebra limitadas tan sólo a una ruptura de hebra por cada 100 bobinas.

Debido a que la resina en el baño debe ser reemplazada por completo cada pocos minutos, un sensor de nivel de resina 43 se une al baño de resina y señala a una bomba de mezclado-medición de la resina automatizada. La resina y el endurecedor son bombeados desde los tambores 48 y 49 (por lo general 210 litros, 55 galones) por separado a un colector mezclador en la bobinadora. Un tubo mezclador estático de plástico desechable 44 conectado al colector 54 mezcla la combinación y la dispensa la resina mezclada en el baño. Hay dos bidones de resina 48 y de endurecedor 49 en arreglo apilado de tal manera que los tambores superiores drenan en los inferiores que se bombean. Esto permite una operación continua, porque los tambores superiores pueden ser reemplazados sin interrupción y la resina y el endurecedor nunca se agotan.

Otra de las causas del tiempo de detención durante el bobinado de filamentos es el tiempo necesario para cambiar entre las hebras entre un tipo de fibra a otro o entre un conjunto de bobinas que se han vaciado y otra serie que se inicia. Con múltiples hebras más de 10 a la vez para cada eje de la bobina, el tiempo durante el bobinado con una configuración convencional es largo, a veces hasta una hora. Este tiempo de detención es una desventaja, ya que podría causar que una capa de resina se cure en la pieza en cada cambio de hebra y esto incrementaría significativamente el tiempo de fabricación y, posiblemente, sería perjudicial para el rendimiento de la llanta. Por ejemplo, un único tronco de 4,2 m (14 pies) descrito anteriormente puede tener más de ocho cambios de hebra con más de 160 rollos de fibra (6 kg/bobina). La presente invención utiliza componentes de "cambio rápido" en el circuito de fibra junto con un sistema de gasto de fibra especial para reducir el tiempo para el cambio de las fibras sin importar cuántas hebras a sólo 1-2 minutos. El sistema de "cambio rápido" tiene una plantilla de colgado de fibra 73, que se muestra en la figura 7, para montar soportes temporales 59 para los 60 orificios y los dos peines de fibra 41 y 41'. Después de encadenar las hebras de fibra a través de los orificios y los peines 41 y 41', están listos para ser reemplazados fácilmente en el baño de resina. Los peines de fibra 41 y se cierran por todos lados como se muestra en la fig. 5, y son fácilmente reemplazables. A diferencia de los peines convencionales en bobinadoras de filamentos que están abiertas por lo general en el lado superior para facilitar la colocación de fibra, estos peines 41 y 41' están cerrados por todos lados para que las fibras no pueden perder su posición después del colgado. Los dos peines de fibra 41, 41' y uno de los soportes del orificio 59 se colocan en la plantilla de colgado de fibra 73 y las fibras se insertan a través fácilmente en la posición correcta. Esto se hace antes del bobinado y las fibras para el siguiente conjunto en el bobinado también son colgadas en otro juego de peines 41, 41' y el soporte del orificio 59, mientras que el conjunto actual se está bobinando. Un nudo une a todas las fibras entre sí, una vez colgadas. Por lo tanto, cuando es tiempo de cambiar las hebras, los peines 41, 41' y el soporte del orificio 59 se cambian en el orden de unos pocos minutos, incluso con 20 o más hebras. El eje central 58 en el baño de resina 42 es accionado por resorte y es desmontable para un rápido tendido a través del baño de resina 42. La fibra es estirada a través del gasto 37, el nudo de hebras de fibra seca se corta, las hebras de fibra se atan a la pieza y el bobinado continúa.

El sistema de gasto 37, que se muestra en la fig. 6, facilita el cambio rápido con un diseño en voladizo de los rodillos 38-40. Todos los rodillos 38-40 son soportados en un extremo por lo que las fibras se entienden a través del cargo demora sólo unos segundos. El sistema de pago 37 está diseñado para reducir la rotura de hebra. El primer rodillo 40 es un rodillo de freno que utiliza un freno de partículas magnéticas para añadir tensión adicional a las fibras que normalmente se ha aplicado en la nasa. El segundo rodillo 39 es una celda de carga que mide la tensión de fibra y también tiene una ranura de muesca que se estabiliza el ancho de banda de las fibras. El último rodillo 38 dispensa

la fibra a la pieza. Debido a que los primeros rodillos 40 y los últimos 38 giran, el bobinado de la fibra es posible lo que se puede romper muchas hebras a la vez. Para evitar el bobinado de la fibra, raspadores cargados mediante un muelle novel 66 descansar contra los rodillos 38 y 40, y detener cualquier bobinado incipiente. Un segundo peine 41' también se utiliza antes que el sistema de carga para la configuración inicial del ancho de banda de las fibras. El ángulo de este peine es controlado y fijado por un posicionador motorizado 72. Al ajustar el ancho de banda inicialmente con el peine, el daño a las fibras que pasan sobre el rodillo de la célula de carga acanalado se reduce considerablemente.

Un problema en los procedimientos de la técnica anterior de fabricación de piezas de filamento bobinado es la contaminación de la pieza con bolas de pelusa de la fibra. Estas bolas de pelusa, que son más frecuentes en el bobinado con fibra de carbono, se desarrollan en los puntos de fricción a lo largo de la trayectoria de la fibra. Las bolas de pelusa crecen y son llevadas al azar a la pieza por las hebras de fibras que pasan. Por lo general, se asigna un técnico para verlos y para detener el bobinado y retirarlos de la superficie de la pieza antes de que la siguiente capa es bobinada encima. A 100 m/min velocidad de hebra y el uso de varios cientos de libras de fibra por hora, la captura de bolas de pelusa y la detención del carrete cada vez para eliminarlas es poco práctico y de un trabajo intensivo. En cambio, la invención elimina bolas de pelusa de la pieza final mediante el uso de una boquilla de aspiración 67 próxima a la trayectoria de la fibra en el gasto justo antes de que la fibra vaya a la pieza. La boquilla de aspiración 67 recoge las bolsas de pelusa en una trampa de vacío 68 dispuesta entre la boquilla 67 y una fuente de vacío 69.

El calentamiento de la pieza durante el bobinado se realiza mediante el precalentamiento del mandril de la temperatura del bobinado o ligeramente superior usando un horno antes del bobinado. Durante el bobinado, la temperatura de la pieza se mantiene mediante los calentadores infrarrojos 35 dirigidos hacia la pieza. Los calentadores están controlados por los controladores 35a utilizando termopares infrarrojos 36 dirigidos hacia la pieza.

La fig. 2 muestra un esquema de un aparato para llevar a cabo el procedimiento de bobinado. El mandril 32 es girado por un motor 33a, también controlado por el controlador 35a, mientras que las fibras impregnadas 34 son suministradas por un sistema de carga 37. El mandril 32 tiene preferiblemente paredes laterales 33 que impiden que las fibras 34 se salgan de los extremos del mandril 32. La pieza se calienta con los calentadores 35, tales como los calentadores infrarrojos dirigidos hacia la pieza durante el bobinado. Los calentadores 35 mantienen la temperatura de la pieza mediante el uso de sensores infrarrojos 36 dirigido a la pieza para informar al controlador 35a. El cargo 37 preferiblemente tiene un rodillo de freno 40, que aplica tensión a las fibras impregnadas 34 mediante un freno de partículas magnéticas. La tensión es preferentemente medida con un eje de célula de carga acanalado 39. El eje 39 preferiblemente es cambiado fácilmente de tal manera que ranuras de diferentes tamaños pueden ser utilizadas para el bobinado con diferentes tipos de fibras y el número de hebras. El cargo tiene un rodillo de carga de salida 38, que preferiblemente gira para evitar que la fibra se deslice y suministra la fibra hasta el mandril 32. Antes de entrar en el sistema de carga 37, la fibra pasa a través de un peine 41'. El peine 41' está fijado, pero es fácilmente reemplazable a un posicionador motorizado de ángulo 72 que establece el ángulo y el ancho de banda en bruto de las fibras 34. Un carro bobinador que se desplaza 53 soporta el cargo 37 y un baño de resina 42 que contiene un sensor de nivel de resina 43 que detecta el nivel de resina 65 y señaliza un controlador 35b de una bomba de resina medidora de mezcla automatizada 47. La bomba 47 bombea la resina y el endurecedor desde los tambores 48 y 49 (por lo general 210 litros, es decir 55 galones) de preferencia en una disposición apilada de tal manera que los tambores superiores pueden ser sustituidos sin necesidad de interrumpir el procedimiento de bobinado. Las mangueras de temperatura controlada de la resina y el endurecedor 45 y 46 conectan entre la bomba 47 y un colector mezclador 54 conectado con el carro bobinador 53. Un tubo mezclador estático desechable 44 se une al colector 54 para mezclar la resina y el endurecedor y suministrarlos al baño de resina 42. Una bobina fija 50 tiene los carretes de fibra 52 y aplica una pequeña cantidad de tensión. Preferiblemente, la bobina 50 aplica una tensión de menos de 0,91 kg/hebra (2 lbs/hebra) para reducir la rotura de fibras en el baño de resina 42. La salida de la bobina 50 utiliza rodillos de salida horizontal y vertical 51 para tener en cuenta el desplazamiento lateral del carro bobinador 53.

El baño de resina 42, la fig. 3, que se muestra es pequeño, con menos de 0,15 litros/hebra de resina en el mismo en cualquier momento. El baño 42 tiene un corte longitudinal en U o en V para eliminar una zona muerta de la resina. El baño 42 se monta utilizando patas fácilmente extraíbles 55. Para manipular la resina altamente reactiva en el caso poco probable de un tiempo de detención más largo, una válvula de bola de fuga de resina 56 es preferiblemente unida a la pieza inferior del baño 42. El baño 42 también puede ser drenado periódicamente si desea mantener la resina fresca. El baño 42 utiliza dos ejes fijos 57 junto con otro fijo pero cargado con un muelle, y eje central extraíble 58. El eje central 58 es desmontable para facilitar cambios rápidos de hebra. El baño 42 se calienta preferiblemente con calentadores eléctricos 61 insertados o conectados a la pieza inferior del baño. La temperatura del baño es medida y controlada por la información de un termopar 64 también insertado en la pieza inferior del baño. La fibra seca 63 entra en el baño 42 al pasar por un peine de fibra de "cambio rápido" encordada previamente 41 con clavijas separadoras de teflón 75 para una baja fricción de la fibra seca. La resina en exceso se elimina de las hebras utilizando los orificios 60 insertados en un soporte de orificios de "cambio rápido" 59. Los orificios 60 son preferentemente troqueles de estirado de cable de carburo y pela la resina en exceso de las hebras de fibra por lo que la fracción de volumen de fibra húmeda de la fibra impregnada 34 está preferiblemente entre 0,50 a 0,60. El nivel de resina en el baño 65 se mantiene el uso de sensores de nivel 43.

## ES 2 376 728 T3

El soporte de orificio de "cambio rápido" 59, que se muestra en la fig. 4, tiene orificios 60 que se muestran junto con las fibras peladas y sin pelar 34 y 63, respectivamente. El soporte de orificio individual 59 de preferencia mide la resina para todas las hebras 34 en procedimiento de bobinado una sola vez por cada eje. El número de hebras depende del tamaño del tronco y la hebra de fibra y que podría ser de 20 o más para el bobinado de alta velocidad.

- 5 Un peine de fibra de "cambio rápido" 41 se muestra en la fig. 5 tiene clavijas de peine 75, preferentemente equidistantes, para espaciar las fibras. Un peine 41 se utiliza antes de que el cargo 37 para ajustar el ancho de banda al ser girado en un ángulo ajustado. Un primer peine o de la entrada 41 se utiliza antes de entrar al baño de resina 42 para ordenar las fibras secas 63 en una disposición espaciada paralela, ya que pueden entrar en el baño 42.
- 10 El sistema de pago 37, que se muestra en la fig. 6, tiene hojas rascadoras de rodillo 66 que están cargadas por un muelle contra los rodillos de cargo y de freno 38 y 40. Es preferible que las rascadoras 66 utilicen cuchillas de afeitar desechables que pueden ser reemplazadas después de cada vuelta. El rodillo de ranura 39 para la estabilización de ancho de banda se muestra unido, pero fácilmente extraíble de la célula de carga 71, que mide la tensión en la fibra impregnada 34. Una boquilla de aspiración 67 elimina bolas de pelusa de la fibra impregnada con resina de fibra 34 antes de ser bobinada en la pieza. La boquilla 67 está conectada a una trampa de vacío 68 y un ventilador extractor de vacío 69 por mangueras de vacío 70. Es preferible mantener los tubos lo más cortos y de tan gran diámetro como sea posible para la mayor aspiración.

- 20 Una plantilla de colgado de fibra 73, que se muestra en la fig. 7, se utiliza para colgar de forma fácil y precisa las fibras secas 63 antes de su uso. La plantilla 73 soporta el soporte de orificio de "cambio rápido" 59 y los dos peines de fibra de "cambio rápido" 41. Cada uno sólo puede encajar en la plantilla 73 en un solo sentido de forma que se evita que las fibras se cuelguen y se crucen.

Las condiciones de bobinado incluyendo las temperaturas y las velocidades de las diferentes fibras, el número de fibras y sistemas de resina se calculan mediante las ecuaciones que figuran a continuación

Área de hebra en seco	$DTA = Tex/(100/pf)$
	DTA = área de hebra seca, cm <sup>2</sup>
	Tex = g/1000 m
	pf = densidad de fibra (g/cm <sup>3</sup> )
Área de hebra compuesta	$CTA = DTA/Vr$
	Vf = fracción de volumen de fibra, en pieza, (0,65 típico)
Tiempo de Gelificación	$\tau_2 = \tau_1 (0,5)^{((T_2-T_1)/\lambda)}$
	$\tau_2$ = tiempo de gelificación a temperatura nueva temperatura, minutos
	$\tau_1$ = tiempo de gelificación a la temperatura temperatura comprobada, minutos
	T2 = nueva temperatura, °C
	T1 = temperatura comprobada, °C
	$\lambda$ = tiempo de gelificación constante, 10°C para epox is

## ES 2 376 728 T3

Velocidad de deposición radial	$R = (60 \cdot UGT)/\tau$
	R = velocidad de deposición radial, cm/hr
	UGT = espesor no gelificado, cm
	$\tau$ = tiempo de gelificación a la temperatura del bobinado, minutos
RPM Mandril	$RPM = (100 \cdot R \cdot L)/(60 \text{ CTA } N)$
	RPM = revoluciones por minuto del mandril
	L = longitud de la pieza, m
	N = número de hebras
Velocidad máxima de hebra	$v = \pi \text{ RPM} \cdot D_o$
	v = velocidad máxima de hebra, m/minuto
	D <sub>o</sub> = diámetro exterior de pieza o de la capa, m
Velocidad de uso de la resina	$Q = 100 \pi N \cdot DTA \cdot D_i (1/V_{fwet} - 1)$
	Q = Velocidad de uso de la resina, cm <sup>3</sup> /minuto
	D <sub>i</sub> = diámetro interior de la pieza, m
	V <sub>fwet</sub> = fracción de volumen de fibra húmeda medida por el orificio, 0,5-0,6
Tiempo de uso del baño	$BUT = BS/Q$
	BUT = tiempo de uso del baño (máximo tiempo de resina es en el baño), minutos
	BS = baño de tamaño, cm <sup>3</sup>
Tamaño del orificio	$OS = (4 \cdot DTA / (\pi V_{fwet}))^{0,5}$
	OS = tamaño del orificio (diámetro del agujero), cm

El área de hebra seca se calcula en primer lugar. La zona húmeda de hebra se calcula a continuación mediante la introducción de la fracción de volumen de fibra deseada o esperada de la última pieza. La temperatura de la resina y del bobinado debe ser seleccionada. Una resina de baja temperatura de curado, de preferencia se puede seleccionar con un tiempo de gelificación de menos de 1 hora a una temperatura de 80°C o inferior. Esto permite el

- bobinado continuo de múltiples volantes de llantas de fibra de tronco sin agrietarse si se bobina a temperaturas de aproximadamente 80°C o menos. Llantas de volante más delgadas tienen menos tendencia a romperse que los más gruesos y también lo hacen los que tienen fibras de módulo más bajo, pero estos parámetros por lo general funcionan con casi todos los volantes. El tiempo de gelificación de la resina se mide a una temperatura mediante el precalentamiento de la resina y el endurecedor a la temperatura de ensayo en recipientes separados. Una pequeña cantidad de sistemas de resina, menos de 100 gramos, se mezcla y se deja en el horno en baño de agua. Se verifica periódicamente con un palo o un alambre para determinar el momento en que se produce la gelificación. Pueden aplicarse procedimientos más elegantes si es necesario. La temperatura del bobinado se determina de modo que el tiempo de gelificación se encuentra a unos 60 minutos o menos en la temperatura de prueba. La velocidad de deposición radial en que el compuesto se añade al volante durante el bobinado, se calcula utilizando el tiempo de gelificación y el espesor no gelificado deseado. Un valor conservador para este es de 5 a 15 mm/hora (1/4 de pulgada/hora a 1/2 pulgadas/hora). El espesor no gelificado se define como el espesor de la capa de compuesto húmedo en la superficie de la pieza, durante el bobinado. Es preferible utilizar un espesor no gelificado de entre 5 y 15 mm (1/4 de pulgada a 1/2 pulgada) para la buena alineación de la fibra y permitir más tiempo de parada (~ 10 minutos). Los espesores no gelificados de sólo 3 mm (1/8 de pulgada) se pueden utilizar para la alineación de la fibra aumentada, pero las capas de resina se pueden curar fácilmente en la pieza sólo con tiempos de detención muy cortos. Tiempos de detención más largos se pueden permitir con grosores no gelificados más gruesos pero se arriesga el pandeo de la fibra antes del curado. La velocidad de rotación del mandril se calcula utilizando la velocidad de deposición radial deseada, longitud de la pieza, el área de hebra compuesta y el número de hebras en procedimiento de bobinado de una vez. Las RPM del mandril pueden tener que ser limitadas debido a la velocidad de hebra. Velocidades de hebra de hasta 100 pulgadas/minuto se pueden usar cómodamente sin romper hebra con esta configuración. Velocidades superiores a éstas son posibles, sin embargo, el bobinado comienza a ser muy complicado cuando la resina empieza a ser expulsada del mandril y en muchas direcciones. Por interés, la velocidad de uso de resina se puede calcular como se muestra. Esto se puede combinar con el tamaño del baño de resina para calcular el tiempo de uso de baño o cuánto tiempo la resina se queda en el baño antes de ser utilizada. El tamaño del orificio a utilizar para la medición de la resina se calcula mediante el uso de la zona seca de hebra y la fracción de volumen deseada de fibra húmeda después del baño. Un rango típico de valores para la fracción de volumen de fibra húmeda es entre 0,50 y 0,60. La fracción de volumen de las fibras en la pieza curada será mayor debido a la consolidación y la resina que gotea de la pieza durante el bobinado.
- Son posibles modificaciones y variaciones de la realización preferida descrita. Para más detalles sobre las realizaciones de la invención se definen en las reivindicaciones adjuntas

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de bobinado de filamentos para la fabricación de llantas de volante compuestas (31) con fibras de refuerzo embebidas en una matriz de resina termoestable, el procedimiento que comprende:
- proporcionar fibras en forma de hebras de fibra,
- 5 pasar las hebras de fibra a través de un baño de resina (42) donde la cantidad de resina es menos de 0,15 litros/hebra,
- eliminar el exceso de resina para producir hebras de fibra impregnadas con resina (34) con un volumen de resina de entre 0,4 y 0,5, y
- 10 bobinar las hebras de fibra húmedas impregnadas de resina (34) en un mandril (32) para producir una pieza cilíndrica que tiene una superficie de pieza exterior,
- en el que la pieza cilíndrica se calienta por radiación, convección o conducción a una temperatura predeterminada de bobinado de 55°C a 100°C durante el bobinado de las hebras de fibra húmedas impregnadas con resina (34) en la pieza, para facilitar la gelificación de la resina en una capa superficial radial en la pieza cilíndrica por debajo de la superficie de la pieza exterior, mientras que las hebras de fibra húmedas impregnadas con resina de refuerzo (34) están en procedimiento de bobinado en la superficie de la pieza exterior.
- 15 2. Procedimiento de bobinado de filamentos según la reivindicación 1, en el que se aplica calor a la pieza a través de la radiación de un calentador de infrarrojos (35) dirigido a la pieza mientras que la pieza se encuentra en bobinado,
3. Procedimiento de bobinado de filamentos según la reivindicación 1 ó 2, en el que el calor se aplica también a la pieza a través de conducción desde un mandril calentado internamente.
- 20 4. Procedimiento de bobinado de filamentos según la reivindicación 3, que comprende además el mantenimiento de la pieza, el mandril o la temperatura del aire alrededor de la pieza a la temperatura deseada con uno o más controladores de procedimiento (35a).
5. Procedimiento de bobinado de filamentos según la reivindicación 4, que comprende controlar la aplicación de calor a la pieza mediante la medición de temperatura con sensores infrarrojos (36) dirigidos a la pieza.
- 25 6. Procedimiento de bobinado de filamentos según cualquier reivindicación anterior, que incluye continuar la aplicación de calor y la rotación de la pieza una hora después de terminar el bobinado de la fibra en la pieza para terminar la gelificación de la resina en la pieza.
7. Procedimiento de bobinado de filamentos según cualquier reivindicación anterior, en el que la resina se calienta en un baño (42) a una temperatura elevada suficiente para reducir la viscosidad de la resina a una viscosidad inferior a 300 cps.
- 30 8. Procedimiento de bobinado de filamentos según la reivindicación 7, en el que la etapa de impregnación de resina incluye pasar las hebras de fibras bajo un eje de baño sin rotación por debajo del nivel de resina en el baño de resina (42), y retirar el eje de baño sin rotación para el cambio de hebras.
9. Procedimiento de bobinado de filamentos según cualquier reivindicación anterior, en el que la resina tiene un tiempo de gelificación de entre 50 y 70 minutos a la temperatura del bobinado.
- 35 10. Procedimiento de bobinado de filamentos según cualquier reivindicación anterior, en el que las fibras se bobinan de forma simultánea en múltiples hebras.
11. Procedimiento de bobinado de filamentos según cualquier reivindicación anterior, en el que las fibras se enrollan de forma simultánea en una mezcla mezclada entre sí de más de un tipo de fibra.
- 40 12. Procedimiento de bobinado de filamento según cualquier reivindicación anterior, que emplea peines de fibra pre-colgado reemplazables o soportes de orificio para la sustitución de conjuntos de hebras de fibra rápidamente.
13. Procedimiento de bobinado de filamentos según la reivindicación 12, que comprende pasar la fibra a través de los espacios de fibra cerrados en los cuatro lados en los peines de fibra pre-colgado reemplazables en la entrada del baño de resina para mantener una distancia de hebra de fibra deseada.
- 45 14. Procedimiento de bobinado de filamentos según cualquier reivindicación anterior, que comprende el mantenimiento de una relación de mezcla entre la resina y el endurecedor y el nivel de resina en el baño (42) con un sensor de nivel de resina (43) y una bomba de medición de mezcla automática.
15. Procedimiento de bobinado de filamentos según la reivindicación 14, en el que la resina y el endurecedor se bombean a partir de dos o más recipientes conectados (48, 49) de cada componente.

16. Procedimiento de bobinado de filamentos según cualquier reivindicación anterior, en el que la limpieza y prevención del bobinado de fibra sobre los rodillos de rotación en la trayectoria de la fibra es asistido por el uso de raspadores (66) en contacto con los rodillos.
- 5 17. Procedimiento de bobinado de filamentos según cualquier reivindicación anterior, que comprende además la eliminación de bolas de pelusas de fibra antes de que puedan enrollarse en las partes utilizando una boquilla de aspiración colocada en la trayectoria de la fibra.
- 10 18. Procedimiento para la fabricación de llantas de volante compuestos, comprendiendo el procedimiento la producción una pieza cilíndrica alargada (30) mediante un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, curado de la resina, y posteriormente cortar cada llanta individual (31) a partir de la pieza cilíndrica alargada (30).
19. Procedimiento según la reivindicación 18, que comprende además el mecanizado de las llantas individuales hasta las dimensiones finales mediante amolado.
20. Procedimiento según la reivindicación 19, en el que las llantas de volante se mecanizan hasta las dimensiones finales con una rueda de amolado de diamante.
- 15 21. Procedimiento según la reivindicación 19, en el que las llantas de volante (31) cortadas de la pieza cilíndrica alargada (30) están recubiertas con epoxi para sellar el compuesto después del mecanizado.

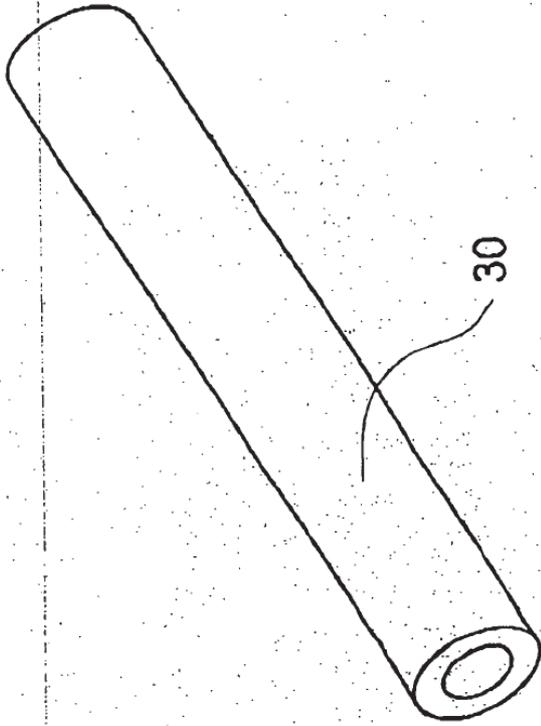


Fig. 1



Fig. 1A

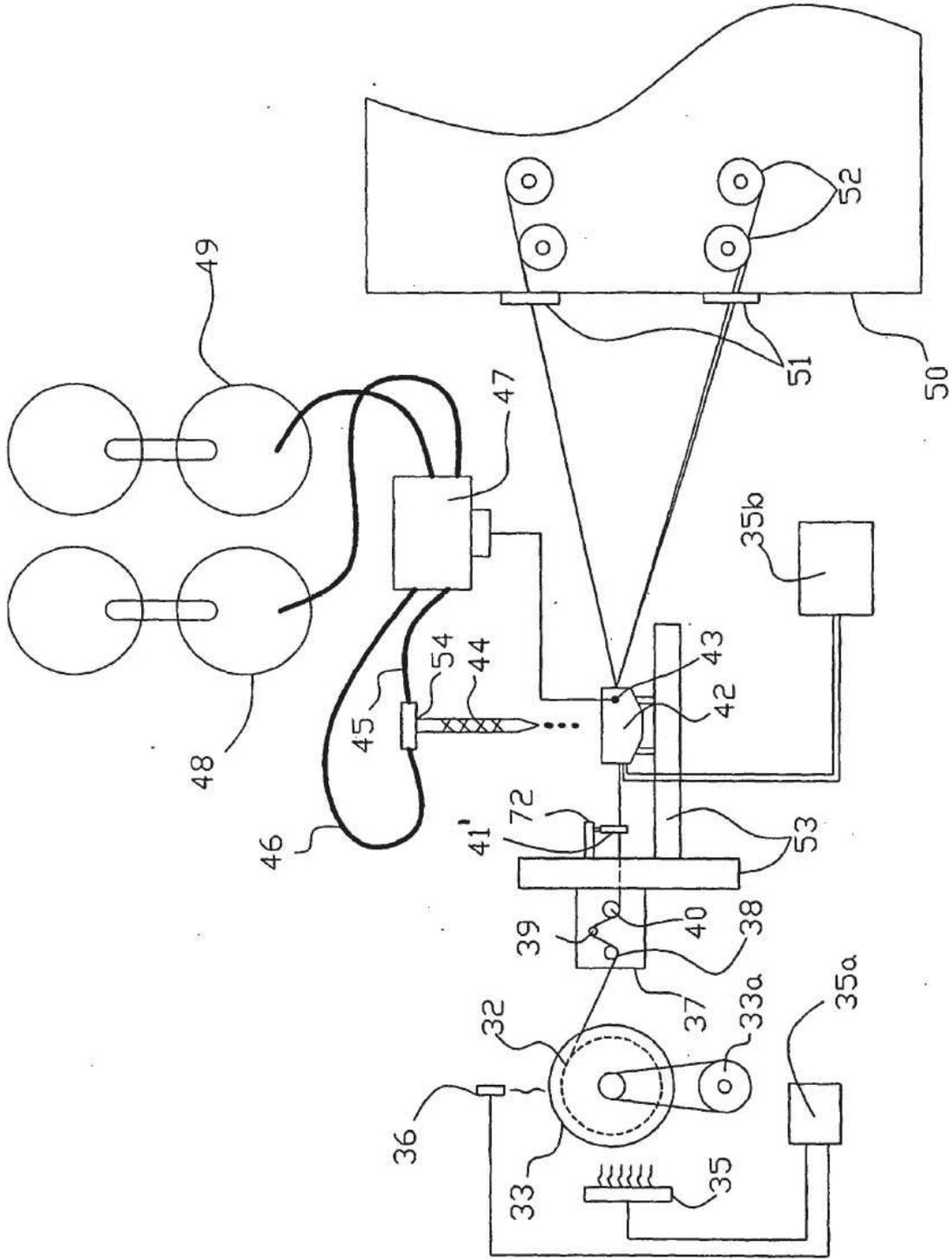


Figura 2

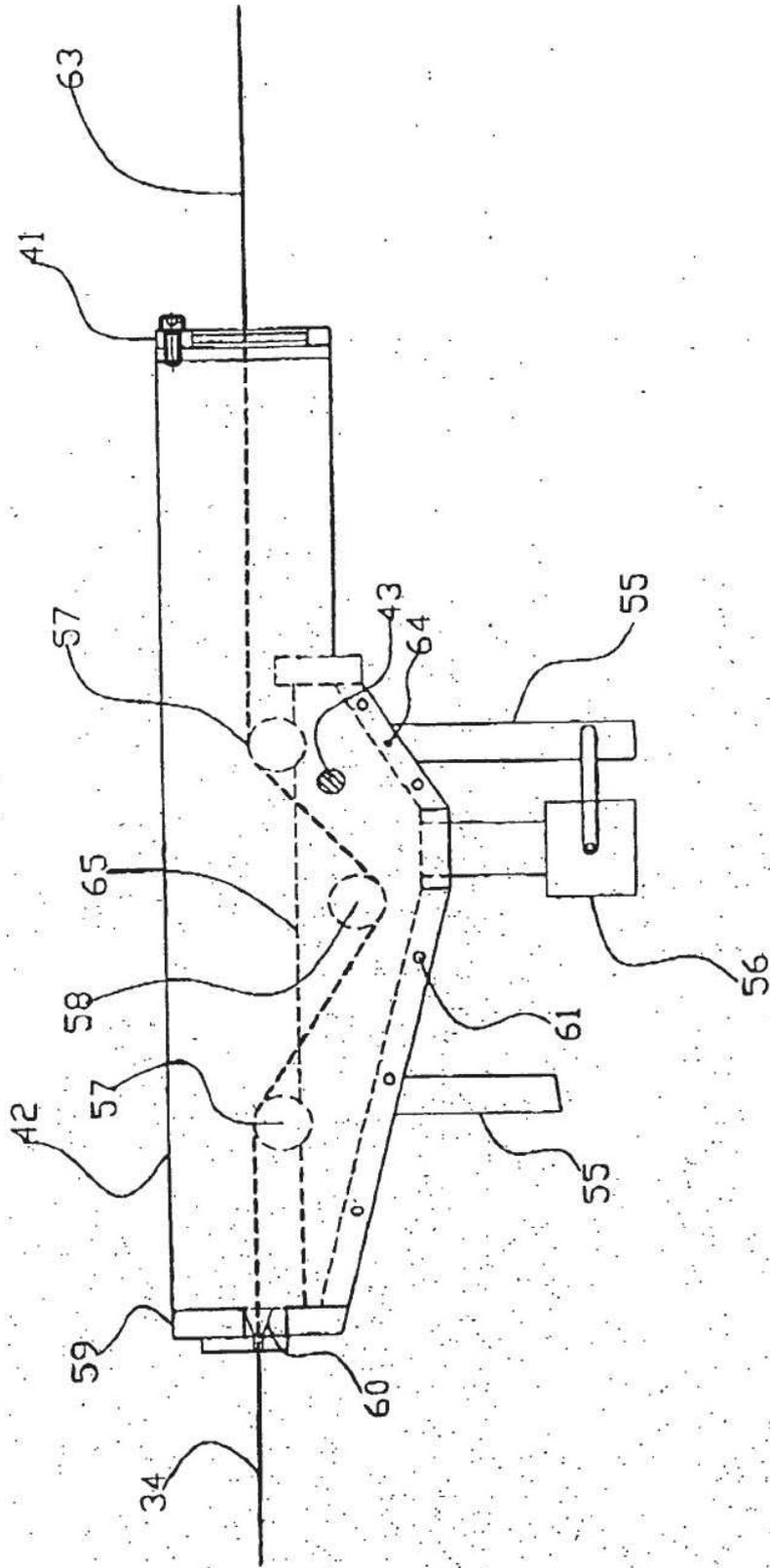


Figura 3

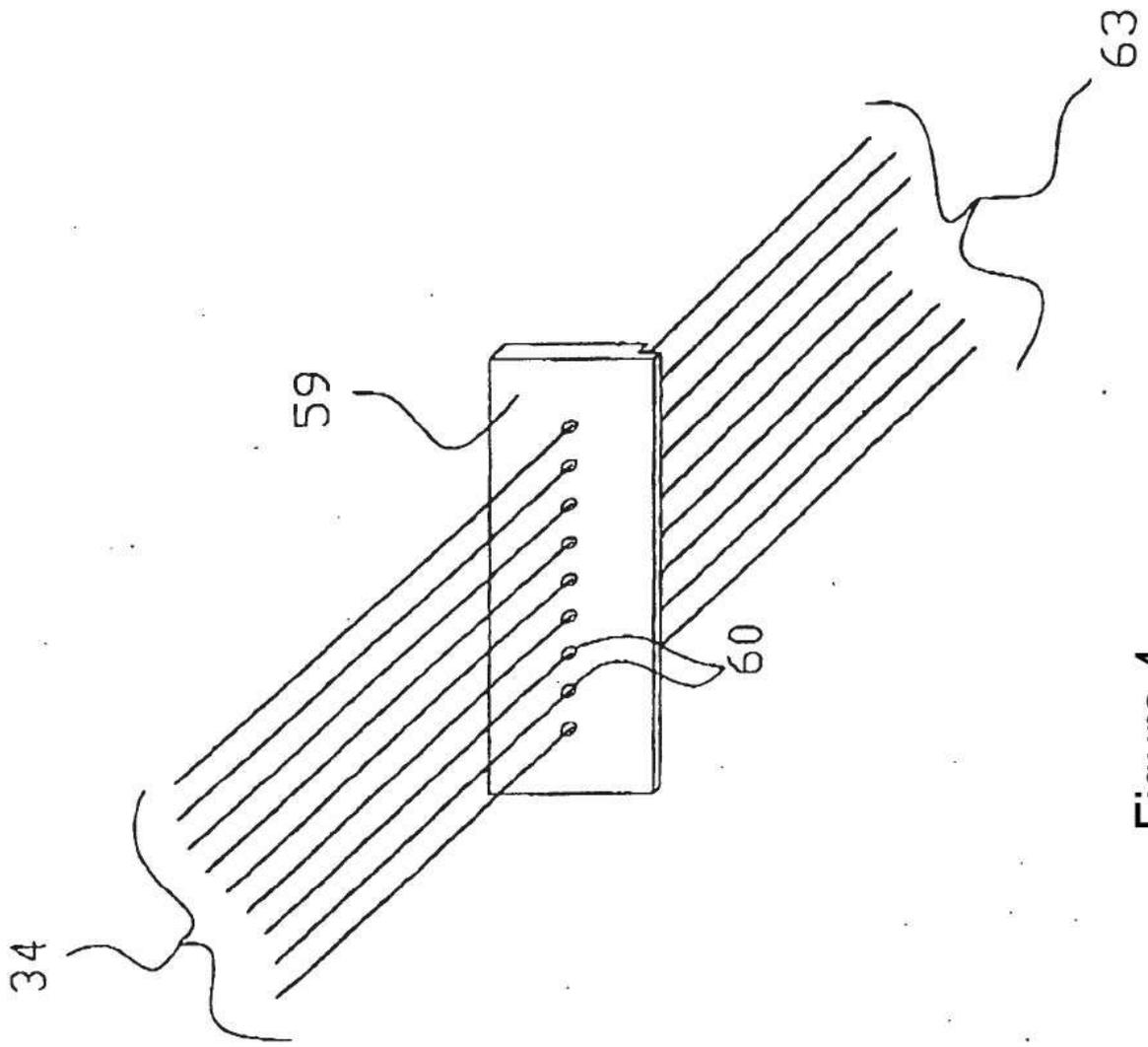


Figura 4

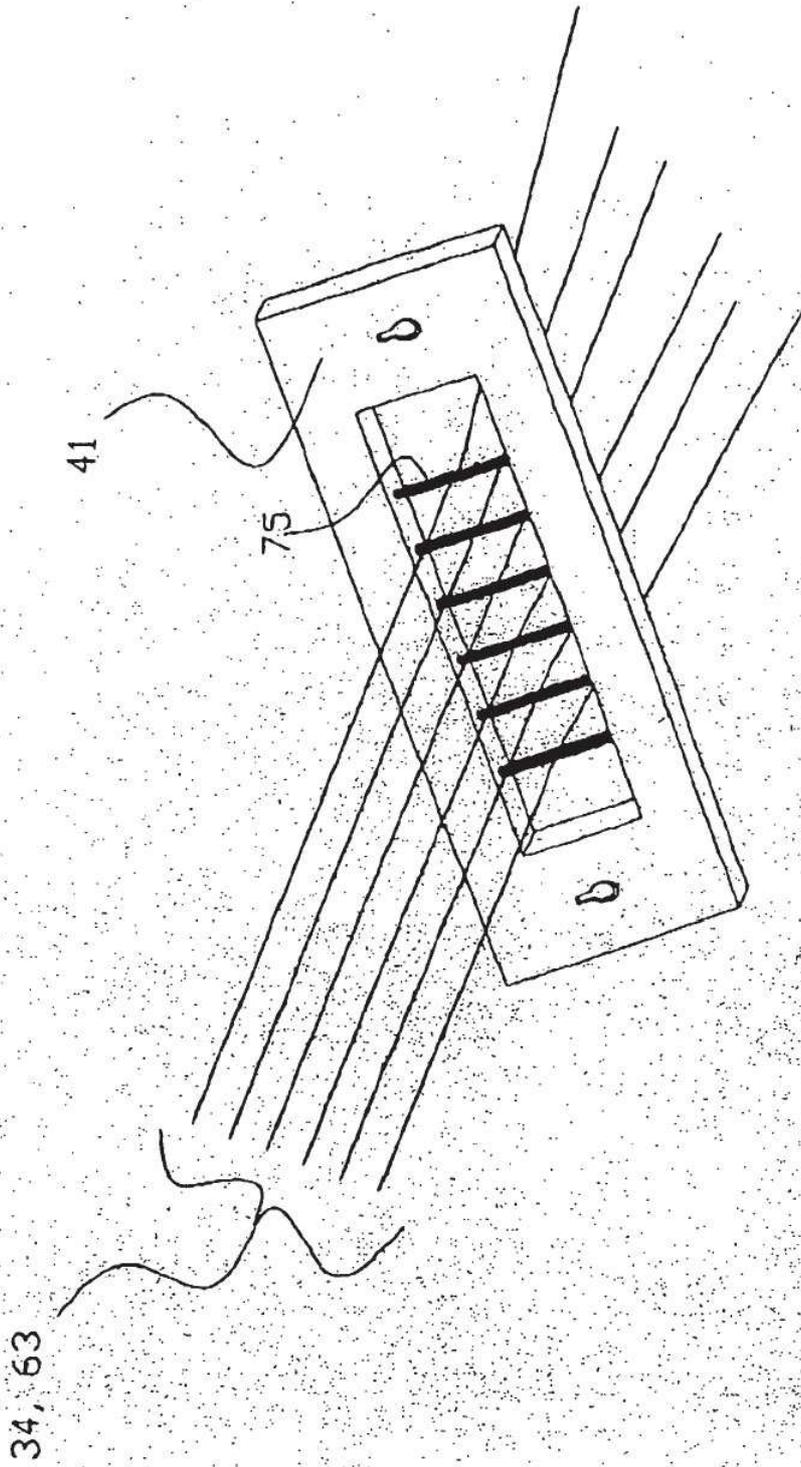


Figura 5

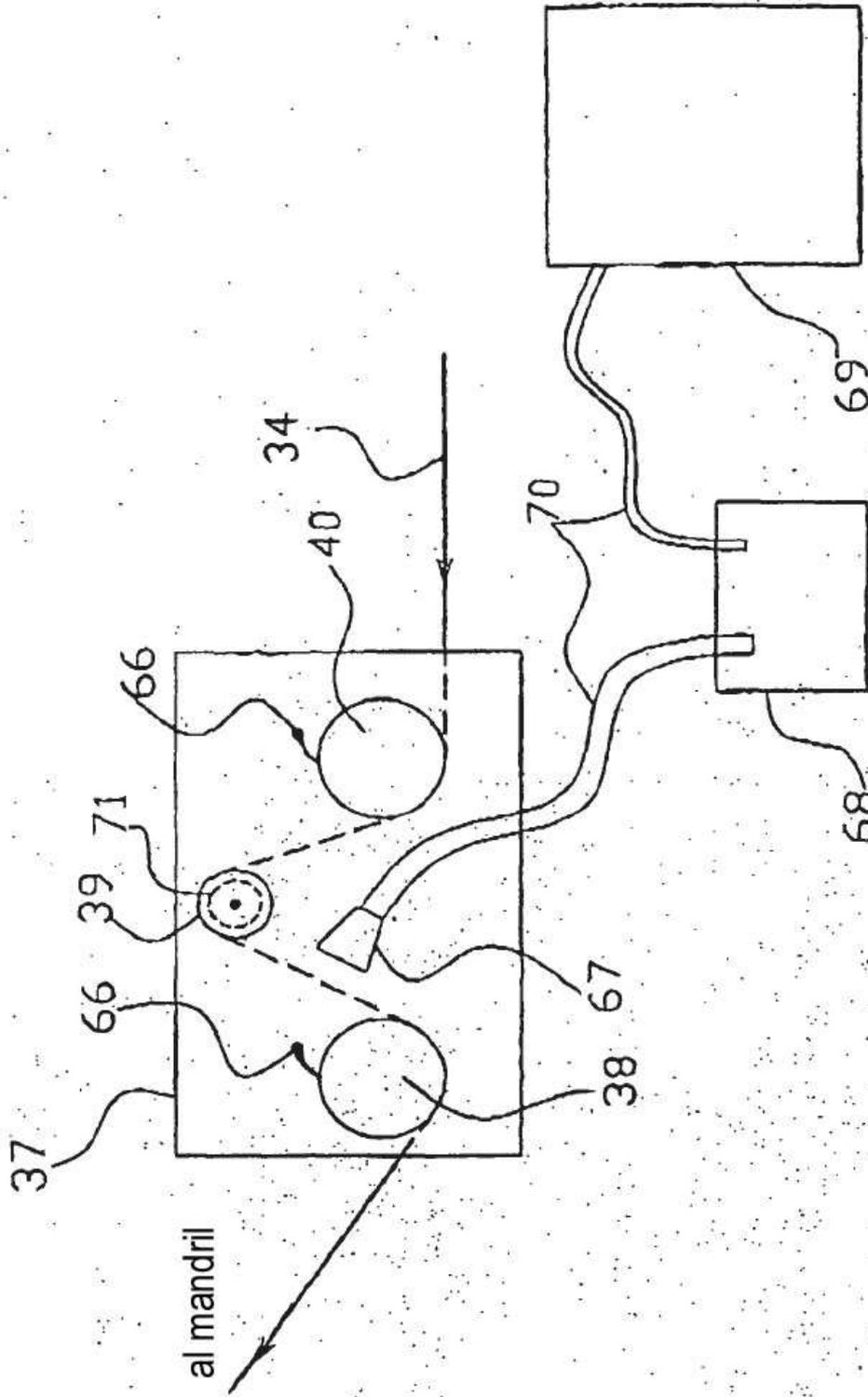


Figura 6

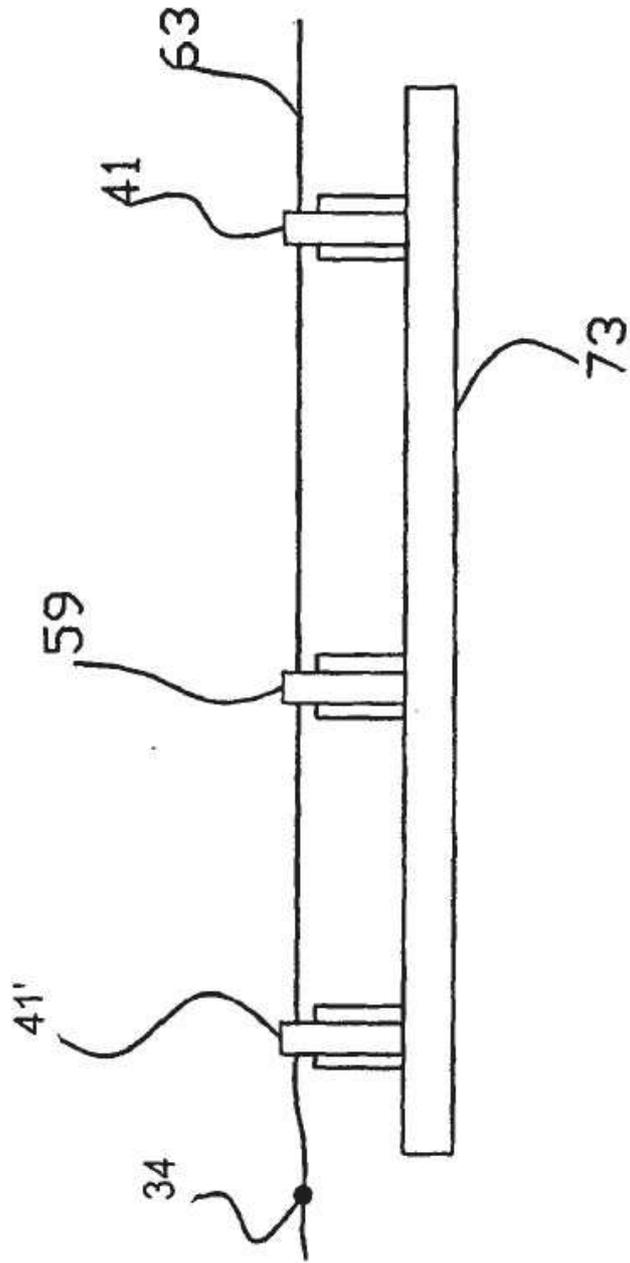


Figura 7

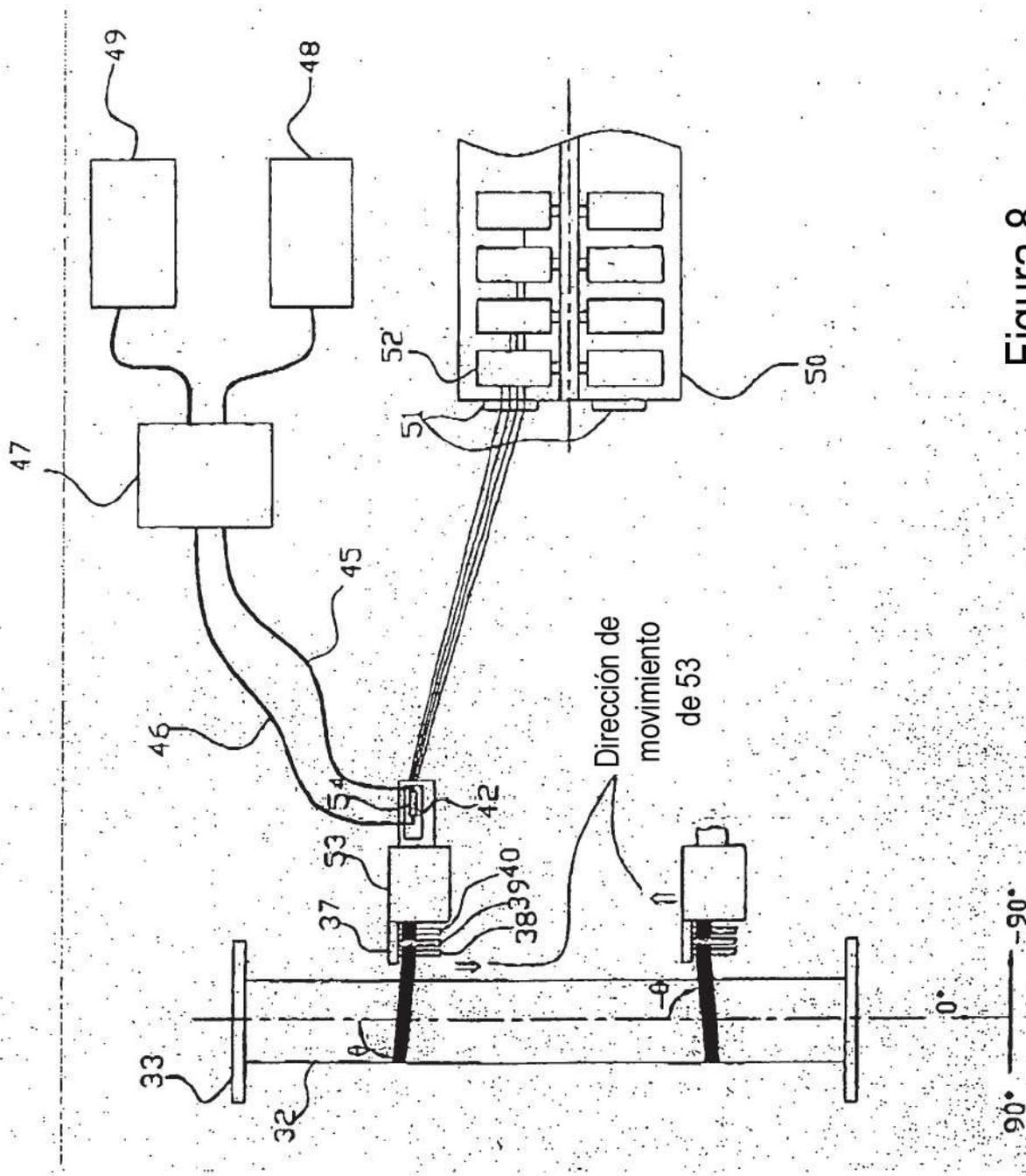


Figura 8