

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 765 713**

51 Int. Cl.:

**B21B 37/48** (2006.01)

**B21B 38/06** (2006.01)

**B21B 39/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.07.2015 PCT/US2015/040561**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2016 WO16011148**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2015 E 15745650 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019 EP 3169460**

54 Título: **Amortiguación de proceso de vibración de laminador de tercera octava autoexcitable**

30 Prioridad:

**15.07.2014 US 201462024517 P**

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

**10.06.2020**

73 Titular/es:

**NOVELIS INC. (100.0%)  
3560 Lenox Road, Suite 2000  
Atlanta, GA 30326, US**

72 Inventor/es:

**BROWN, RODGER;  
SEIBERT, MATTHEW;  
MILLER, DONALD L.;  
FAIRLIE, MATTHEW y  
GAENSBAUER, DAVID**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 765 713 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

Amortiguación de proceso de vibración de laminador de tercera octava autoexcitable

### 5 **Campo Técnico**

La presente divulgación se refiere a la metalurgia generalmente y más específicamente a controlar las vibraciones en laminadores de alta velocidad.

### 10 **Antecedentes**

El laminado de metal, como el laminado de alta velocidad, es un proceso de metalurgia utilizado para la producción de bandas metálicas. Las bandas metálicas resultantes pueden bobinarse, cortarse, mecanizarse, prensarse o formarse de otro modo en productos adicionales, como latas de bebidas, piezas de automóviles o muchos otros productos metálicos. El laminado de metal implica hacer pasar metal (por ejemplo, una banda metálica) a través de una o más cajas de laminador, que tiene cada una uno o más rollos de trabajo que comprimen la banda metálica para reducir el grosor de la banda metálica. Cada rollo de trabajo puede soportarse por un rollo de respaldo.

20 Durante el laminado de metal, como el laminado de metal de alta velocidad, las vibraciones autoexcitables pueden producirse en las frecuencias de resonancia del laminador. Específicamente, cada caja de laminador puede vibrar en su propia vibración autoexcitable. La vibración autoexcitable puede ser muy predominante en o alrededor del intervalo de aproximadamente 100 Hz a aproximadamente 300 Hz. Este tipo de vibración autoexcitable puede conocerse como vibración de "tercera octava" porque la banda de frecuencia de la vibración del laminador coincide con la tercera octava musical (de 128 Hz a 256 Hz). Esta vibración autoexcitable de tercera octava es una vibración autosostenida producida por la interacción entre las fuerzas de propagación de los rollos y la tensión de banda de entrada (por ejemplo, tensión de la banda en la dirección de laminación cuando la banda entra en la caja de laminador). La vibración autoexcitable de tercera octava no requiere que se entregue energía a la frecuencia resonante con el fin de excitar la resonancia natural de la caja de laminador.

30 La vibración autoexcitable de tercera octava puede provocar diversos problemas en un laminador. Si se deja sin comprobar, la vibración autoexcitable de tercera octava puede dañar la propia caja de laminador, incluyendo los rollos, así como dañar cualquier metal que está laminándose, haciendo que el metal sea inutilizable, y por lo tanto se deseché. Se han hecho intentos de contrarrestar la vibración autoexcitable de tercera octava disminuyendo la velocidad de rodadura en el momento en que se detecta la vibración autoexcitable de tercera octava. Tales enfoques aún pueden provocar desgaste en la caja de laminador y daños a la banda metálica que se lamina en pequeñas cantidades, y pueden ralentizar significativamente el proceso de laminación de la banda metálica, reduciendo la posible producción del laminador.

40 El documento JP S59 183 924 A da a conocer un método de uso de una célula de carga en lugar de un medidor de tensión para medir las fluctuaciones de tensión durante el laminado de metal.

El documento JP H04 182019 A se refiere a un dispositivo de ajuste de tensión para un laminador, dando a conocer el preámbulo de la reivindicación 1.

### 45 **Sumario**

El término realización y términos similares están destinados a referirse ampliamente a todas las materias objeto de esta divulgación y a las reivindicaciones a continuación. Debe entenderse que las declaraciones que contienen estos términos no limitan la materia objeto descrita en el presente documento o no limitan el significado o alcance de las reivindicaciones a continuación. Las realizaciones de la presente divulgación cubiertas en el presente documento se definen por las reivindicaciones a continuación, no por este sumario. Este sumario es una visión general de alto nivel de diversos aspectos de la divulgación e introduce algunos de los conceptos que se describen adicionalmente en la sección Descripción detallada a continuación. Este sumario no pretende identificar rasgos clave o esenciales de la materia objeto reivindicada, ni pretende que se use aisladamente para determinar el alcance de la materia objeto reivindicada. La materia objeto debe entenderse por referencia a partes apropiadas de toda la memoria descriptiva de esta divulgación, cualquiera o todos los dibujos y cada reivindicación.

60 El objetivo de la invención es controlar vibraciones de tercera octava autoexcitables dentro de los laminadores. El objetivo se logra mediante un sistema según la reivindicación 1. Algunos aspectos de la presente divulgación comprenden un laminador en frío en tándem de dos (o más) cajas que comprende entre cajas un dispositivo de ajuste de tensión seleccionado del grupo que consiste en un rollo tensor central, un rollo de deflexión accionado, un deflector de hoja hidráulica, o una escurridor de lámina accionado, y un sistema de control diseñado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión de banda entre cajas que se producen a una frecuencia de aproximadamente 90-300 hercios. En otros casos, los presentes conceptos comprenden un solo laminador de caja que comprende una desbobinadora situada aguas arriba de la caja de laminador, un dispositivo de ajuste de tensión seleccionado del grupo que consiste en un rollo tensor central,

un rollo de deflexión accionado, o un escurridor de lámina accionado y un sistema de control diseñado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión entre la desbobinadora y la caja de laminador.

5 En algunos casos, el sistema de control comprende al menos dos cilindros hidráulicos ubicados próximos a cada extremo del dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de posición y un bucle de tensión rápido, en el que el bucle de tensión rápido se configura para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-150 hercios, y el bucle de control de posición se configura para mantener la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a frecuencias más bajas.

15 En otros casos, el sistema de control comprende al menos dos cilindros hidráulicos ubicados próximos a cada extremo del dispositivo de ajuste de tensión, una pluralidad de actuadores piezoeléctricos situados entre cada uno de los al menos dos cilindros hidráulicos y el dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de posición y un controlador independiente, en el que el controlador independiente está configurado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios, y el bucle de control de posición está configurado para mantener la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a frecuencias más bajas. La frecuencia de la resonancia de caja de laminador de tercera octava puede encontrarse, además, en el intervalo de aproximadamente 90-200 hercios.

25 En determinados casos, el sistema de control comprende al menos dos bloques piezoeléctricos ubicados próximos a cada extremo del dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle control de tensión de banda configurado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios. La frecuencia de la resonancia de caja de laminador de tercera octava puede encontrarse, además, en el intervalo de aproximadamente 90-200 hercios.

30 En algunos casos, el sistema de control comprende al menos dos bloques piezoeléctricos, estando ubicado cada bloque piezoeléctrico en una superficie superior de un elemento de detención de extremo ajustable en cada lado de un armazón central que soporta el dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de tensión de banda configurado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios. La frecuencia de la resonancia de caja de laminador de tercera octava puede encontrarse, además, en el intervalo de aproximadamente 90-200 hercios.

40 Los aspectos de la presente divulgación pueden aplicarse para corregir la vibración autoexcitable de tercera octava en laminadores en tándem que tienen más de dos cajas y en un solo laminador de caja que tiene una zona de tensión entre otra pieza de equipo, como una desbobinadora, y la caja de laminador y que, dependiendo de la configuración del laminador, el conjunto de rollo tensor podría sustituirse por un solo rollo de deflexión accionado o dispositivo similar como escurridor de lámina que actúe de la misma manera para ajustar la tensión en la lámina que entra en el laminador. Además, los mismos conceptos podrían aplicarse para corregir otras perturbaciones de tensión que se producen en frecuencias fuera del intervalo de la frecuencia de vibración de laminador de tercera octavo.

**Breve descripción de los dibujos**

50 La memoria descriptiva hace referencia a las siguientes figuras adjuntas, en las que el uso de números de referencia similares en diferentes figuras se pretende que ilustre componentes similares o análogos.

La figura 1 es una vista lateral esquemática de un laminador en tándem de dos cajas según determinados aspectos de la presente divulgación.

55 La figura 2 es un diagrama esquemático que representa un laminador que tiene múltiples ajustadores de tensión de alta velocidad para controlar vibraciones de tercera octava según determinados aspectos de la presente divulgación.

60 La figura 3 es un diagrama isométrico que representa un sistema de control de vibración de tercera octava con un tensor controlado por yema según determinados aspectos de la presente divulgación.

La figura 4 es un diagrama isométrico que representa un sistema de control de vibración de tercera octava con tensor controlado por extremo según determinados aspectos de la presente divulgación.

65 La figura 5 es una vista en corte parcial de un actuador lineal que incluye un actuador hidráulico con un elemento de apoyo piezoeléctrico según determinados aspectos de la presente divulgación.

La figura 6 es una vista isométrica en corte parcial de un ajustador de tensión de alta velocidad con actuadores piezoeléctricos según determinados aspectos de la presente divulgación.

5 La figura 7 es un diagrama de flujo que representa un proceso para controlar la vibración en un laminador según determinados aspectos de la presente divulgación.

La figura 8 es una vista en sección transversal de un actuador hidráulico con elementos de apoyo piezoeléctricos en un estado extendido según determinados aspectos de la presente divulgación.

10 La figura 9 es una vista en sección transversal del actuador hidráulico de la figura 8 con elementos de apoyo piezoeléctricos en un estado retraído según determinados aspectos de la presente divulgación.

### Descripción detallada

15 La materia objeto de realizaciones de la presente divulgación se describe en el presente documento con especificidad para cumplir con los requisitos legales, pero no se pretende necesariamente que esta descripción limite el alcance de las reivindicaciones. La materia objeto reivindicada puede llevarse a cabo de otras maneras, puede incluir diferentes elementos o etapas, y puede utilizarse conjuntamente con otras tecnologías existentes o  
20 futuras. Esta descripción no debe interpretarse en el sentido de que implique un orden o disposición particular entre las distintas etapas o elementos, salvo cuando se describa explícitamente el orden de etapas individuales o la disposición de elementos.

Determinados aspectos y rasgos de la presente divulgación se refieren a controlar la vibración de tercera octava autoexcitable en un laminador metálico realizando ajustes a la tensión de la banda metálica a medida que entran en una caja. La vibración de tercera octava autoexcitable puede detectarse y/o medirse por uno o más sensores. Un  
25 ajustador de tensión de alta velocidad puede ajustar rápidamente la tensión de entrada de la banda metálica (por ejemplo, a medida que la banda metálica entra en una caja de laminador) para compensar la vibración de tercera octava autoexcitable detectada. Los ajustadores de tensión de alta velocidad pueden incluir cualquier combinación  
30 de actuadores hidráulicos o piezoeléctricos acoplados al rollo central de un rollo tensor para elevar o bajar rápidamente el rollo y por tanto inducir ajustes rápidos de tensión en la banda. Pueden utilizarse otros ajustadores de tensión de alta velocidad.

Diversos aspectos y rasgos de la presente divulgación pueden utilizarse para controlar la vibración autoexcitable de  
35 tercera octava. La vibración de tercera octava autoexcitable puede incluir vibraciones autoexcitables en o alrededor de 90-300 hercios. Los diversos aspectos y rasgos de la presente divulgación pueden utilizarse para controlar vibración de tercera octava autoexcitable en el intervalo de aproximadamente 90-200 Hz, 90-150 Hz, o cualquier intervalo adecuado dentro de los intervalos mencionados anteriormente. Los diversos aspectos y rasgos de la presente divulgación también pueden utilizarse para controlar perturbaciones de tensión en otras frecuencias.

40 La vibración de tercera octava autoexcitable puede producirse en cualquier laminador donde la tensión de la banda entrante a el hueco de rollo no se controla con precisión y la velocidad de banda es suficientemente alta (por ejemplo, velocidad de laminación suficientemente rápida). Los conceptos dados a conocer en el presente documento se refieren al control de tensión de banda a medida que la banda entra en una caja de laminador. Como tal, los  
45 conceptos dados a conocer en el presente documento pueden aplicarse a una banda metálica que entra en una caja de laminador desde otro equipo, como una desbobinadora. Además, los conceptos pueden aplicarse a una banda metálica que se desplaza entre las cajas de laminador de un laminador de múltiples cajas (por ejemplo, un laminador en frío en tándem de dos, tres o más cajas).

50 Por ejemplo, un laminador en frío en tándem de dos cajas puede incluir una zona de tensión de la longitud de la banda metálica en la región entre cajas. La tensión puede crearse por la diferencia de velocidad entre la velocidad de entrada de la banda al interior de y la velocidad de salida de la zona de tensión. La velocidad de la banda que entra en la zona puede establecerse mediante la velocidad de rollo de la caja anterior. La velocidad de salida de la banda de la zona se determina por la velocidad de rollo de la caja aguas abajo y el hueco de rollo de la caja de  
55 laminador aguas abajo. En un laminador en tándem de dos cajas, puede controlarse el hueco aguas abajo para lograr el grosor de lámina requerido.

La tensión entre cajas puede controlarse ajustando la diferencia entre las velocidades de rollo de las dos cajas y ajustando el hueco de rollo de la caja aguas abajo. Puede ser difícil, si no imposible, usar cualquiera de estos dos  
60 ajustes para controlar la tensión entre cajas en la frecuencia de vibración del laminador (por ejemplo, la frecuencia para vibración de tercera octava autoexcitable). El ajuste de las velocidades de rollo y el hueco de rollo puede requerir el movimiento de grandes masas y pueden requerir cantidades significativas de energía para mitigar la vibración. Puede ser poco práctico y/o económicamente prohibitivo mitigar la vibración de tercera octava autoexcitable usando estos ajustes.

65 Como ejemplo, puede considerarse y modelarse un laminador en tándem de dos cajas. En este laminador, la

segunda caja puede experimentar vibración de tercera octava autoexcitable, en el que el movimiento vertical del segundo bloque (x) como función de la fuerza de separación del rollo (F<sub>s</sub>) puede describirse en el dominio Laplace como se ve en la ecuación 1, a continuación, donde K<sub>1</sub> representa la constante de resorte que produce una fuerza de separación resultante de un cambio en el movimiento de bloque (por ejemplo, la constante de resorte del laminador), K<sub>2</sub> representa la constante de resorte que produce una fuerza de separación impulsada por tensión de entrada resultante de un cambio en el movimiento de bloque (por ejemplo, rigidez de la zona entre cajas), s representa el operador de Laplace, M representa la masa de los componentes de bloque que se están moviendo (por ejemplo, el rollo de respaldo superior y el rollo de trabajo superior, el rollo de trabajo inferior y el rollo de respaldo inferior pueden ser estacionarios), D representa el coeficiente de amortiguación natural del bloque y tiene un valor positivo, y T<sub>t</sub> representa el tiempo de tránsito que tarda la banda en desplazarse entre cajas (por ejemplo, tiempo para transitar la zona de tensión entre cajas).

Ecuación 1

$$\frac{x}{F_s} = \frac{K_1(1 + T_t s)}{(K_1 + K_2)M(1 + T_2 s)(s^2 + \left(\frac{D}{M} - \frac{K_2}{K_1 T_t}\right)s + \frac{K_1}{M})}$$

La parte clave de la ecuación es el término cuadrático en el denominador:  $(s^2 + \left(\frac{D}{M} - \frac{K_2}{K_1 T_t}\right)s + \frac{K_1}{M})$ . Este término representa el movimiento de un sistema de masa-resorte con amortiguación de la forma:  $(s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2)$ .

La frecuencia natural  $\omega_n$  se determina por la masa y el resorte del sistema como  $\sqrt{\frac{K_1}{M}}$  y la amortiguación del sistema depende de la relación,  $\delta$ . En este caso, el valor de la relación de amortiguación,  $\delta$ , está relacionado con el valor de  $\left(\frac{D}{M} - \frac{K_2}{K_1 T_t}\right)$ .

Por tanto, el movimiento vertical del bloque puede entrar en oscilaciones sostenidas (por ejemplo, vibración de tercera octava autoexcitable) cuando el valor de amortiguación,  $\left(\frac{D}{M} - \frac{K_2}{K_1 T_t}\right)$ , pasa a ser negativo. Por tanto, puede ser deseable garantizar que el valor de amortiguación siga siendo positivo.

La variable de tiempo de tránsito (T<sub>t</sub>) demuestra por qué la vibración de laminador puede asociarse con la velocidad de banda. A medida que aumenta la velocidad del laminador, la amortiguación disminuye y puede pasar a ser un valor negativo. Una vez que la amortiguación pasa a ser negativa, la vibración puede aumentar exponencialmente, asumiendo un sistema lineal después de que comience la vibración, hasta que la banda se rompa.

La eliminación de una frecuencia de vibración resonante de un laminador puede no ser posible o requerida. La estructura mecánica de cada caja de laminador determina la frecuencia resonante de la caja. Por tanto, puede ser deseable limitar y/o evitar cualquier cambio en la amortiguación natural del laminador.

Existen varias posibilidades para mantener un nivel positivo de amortiguación a medida que aumenta la velocidad entre cajas. Algunas posibilidades están relacionadas con cambios de proceso que no afectan al producto, mientras que otras intentan romper el bucle de retroalimentación entre el movimiento vertical del rollo de trabajo y la tensión entre cajas.

Con respecto a las opciones relacionadas con el proceso, el valor de K<sub>2</sub> puede reducirse de varias maneras. La reducción de K<sub>2</sub> puede lograrse mediante (1) la reducción del grosor entre cajas para disminuir el valor de K<sub>2</sub> disminuyendo el impacto de la tensión entre cajas sobre la fuerza de separación, lo que también puede tener el efecto de endurecer la banda antes de que entre en la segunda caja; (2) la disminución de la tensión entre cajas para aumentar la fuerza de rollo de la segunda caja, lo que puede reducir la ganancia entre la fuerza de separación y el grosor de salida, reduciendo además el valor de K<sub>2</sub>; y/o (3) el aumento de la fricción en la entrada de la segunda caja aumentando la rugosidad de superficie y/o cambiando la lubricidad del refrigerante.

Otros métodos para mantener un nivel positivo de amortiguación a medida que aumenta la velocidad entre cajas incluyen aumentar el valor de K<sub>1</sub>, tal como acortando la extensión del cilindro de fuerza de rollo. La rigidez del cilindro puede ser mayor en cada extremo de su carrera. Dependiendo de la disposición, el uso de paquetes de suplemento de ajuste puede ser útil. Estos métodos también incluyen aumentar la longitud de la banda entre cajas. Aumentar la longitud aumentará el tiempo de tránsito mínimo (aumentará T<sub>t</sub>). Algunas de estas soluciones pueden ser poco prácticas o económicamente prohibitivas de implementar.

Los métodos alternativos activos para mantener la amortiguación positiva incluyen el aumento de la elasticidad de la

banda en función de la frecuencia. Si la banda parece ser muy flexible en el intervalo de frecuencias de tercera octava, un cambio en el hueco de la caja aguas abajo puede producir un cambio más pequeño en la tensión con un cambio correspondiente más pequeño en la fuerza de rollo. En efecto, el valor de  $K_2$  se reduce, aumentando de ese modo el margen de estabilidad.

5 Algunas soluciones pueden controlar activamente la vibración de laminador midiendo la vibración de laminador y cambiando directamente el hueco de rollo en fase opuesta a la vibración. El rendimiento de estos sistemas puede depender en gran medida de la identificación precisa del inicio de la vibración de tercera octava, que puede no lograrse fácilmente y puede ser inherentemente propenso al error dado el gran número de diferentes fuentes de vibración de laminador en la caja de laminador. Estas soluciones también implican modificaciones mecánicas costosas e intrusivas con respecto al regulador de hueco de laminador.

15 Otra alternativa activa para mantener la amortiguación positiva comprende rechazar las perturbaciones de tensión que se producen como resultado de un cambio de hueco. Los bucles de control activos existentes empleados para mantener la tensión de banda constante tienen un intervalo de frecuencias limitado y permiten que pasen a su través las perturbaciones de tensión en la tercera octava. Pueden utilizarse aspectos de la presente divulgación para impedir perturbaciones de tensión en el intervalo de tercera octava. Impedir tales perturbaciones de tensión puede ser equivalente a forzar el valor de  $K_2$  a cero. Al mantener la tensión de entrada en su valor objetivo, independientemente de las variaciones de velocidad de banda de entrada de laminador en la frecuencia de vibración, la autoexcitación de la frecuencia resonante del bloque de laminador mediante el bucle de retroalimentación de tensión de entrada puede mitigarse, si no eliminarse por completo.

25 Este enfoque puede ser ventajoso sobre el control del hueco de rollo para cancelar la vibración de tercera octava autoexcitable. Por ejemplo, un controlador utilizado para tales enfoques puede ser una extensión de alta frecuencia de un regulador de tensión existente, por lo que puede no implicar la necesidad de identificación de proceso con sus errores concomitantes. Además, estos enfoques pueden no implicar modificaciones de laminador costosas e intrusivas. Por ejemplo, un regulador de tensión de alta frecuencia puede utilizar un actuador de menor coste fuera de la caja de laminador en el lado de entrada del hueco de rollo, como un conjunto de rollo tensor modificado.

30 Determinados aspectos de la presente divulgación se refieren a un laminador en frío en tándem de dos cajas que comprende un rollo tensor central y un sistema de control diseñado para variar la colocación vertical del rollo tensor en respuesta a perturbaciones de tensión de banda entre cajas que se producen a una frecuencia de aproximadamente 90-300 hercios, a una frecuencia de aproximadamente 90-200 hercios, o a una frecuencia de aproximadamente 90-150 hercios. Además, los mismos conceptos podrían aplicarse para corregir otras perturbaciones de tensión que se producen a frecuencias fuera de la vibración de laminador de tercera octava.

35 La presencia de un tensor de entrada en la entrada de una caja ofrece un actuador para ajustar la tensión de la banda a medida que entra en la caja. Por ejemplo, un segundo tensor de entrada de caja puede utilizarse como mecanismo de almacenamiento de banda de alta velocidad (por ejemplo, puede almacenar una longitud de banda alrededor del rollo tensor central, que puede soltarse o subirse según sea necesario para mantener la tensión constante) que puede dar cabida a pequeños cambios en la velocidad de entrada de banda de la caja aguas abajo. Un mecanismo de almacenamiento de este tipo puede tener mucha menos masa (por ejemplo, menos de una tonelada) que un rollo de respaldo (por ejemplo, a o por encima de 60 toneladas) y puede requerir mucha menos energía para controlar la vibración. Un tensor de entrada puede utilizarse conjuntamente con otros equipos o procesos para mantener la tensión a frecuencias fuera de las vibraciones de tercera octava autoexcitables (por ejemplo, a bajas frecuencias, tales como por debajo de 90 hercios o por debajo de 60 hercios).

50 Los ajustadores de tensión de alta velocidad, como el tensor propuesto con rollo central ajustable, pueden proporcionar pequeños cambios de longitud a una velocidad muy alta (por ejemplo, a o por encima de 60 hercios o a o por encima de 90 hercios). Aunque estos ajustadores de tensión de alta velocidad pueden no ser capaces de adaptarse a cambios significativos de longitud, es importante que sean capaces de adaptarse a pequeños cambios de longitud a sus altas velocidades. Este compromiso, velocidad frente a distancia, es digno de mención. En frecuencias de vibración, los requisitos de almacenamiento de banda no son altos, ya que el almacenamiento está vinculado a la integral de la velocidad. En algunos casos, pueden utilizarse otros ajustadores de tensión de alta velocidad, tales como rollos de sujeción, palas de escurridor, planos hidráulicos, ajustadores de tensión magnéticos. Por ejemplo, un ajustador de tensión magnético puede incluir una matriz que rota rápidamente de imanes permanentes con los imanes alineados de manera que impartan una fuerza a la frecuencia de la vibración de tercera octava, y en la dirección para reducir la amplitud de la variación de tensión. Por ejemplo, un rotor de 900 rpm con ocho filas axiales de imanes podría generar impulsos de tensión a 120 Hz.

60 Los ajustadores de tensión de alta velocidad pueden controlarse mediante controladores. Los controladores pueden ser cualquier procesador o sistema adecuado que pueda aceptar la entrada de un sensor y determinar los ajustes necesarios para los ajustadores de tensión de alta velocidad. Puede utilizarse cualquier sensor adecuado que pueda detectar la aparición de vibración de tercera octava autoexcitable. Sensores de ejemplo incluyen uno o más rollos de sensor (por ejemplo, rollos con transductores de fuerza incluidos en el mismo o acoplados a los mismos), sensores montados en caja (por ejemplo, acelerómetros), o sensores montados en rollo de trabajo o rollo de respaldo (por

ejemplo, acelerómetros). Pueden utilizarse otros sensores. Las vibraciones detectadas en el sensor pueden utilizarse por el controlador para determinar el ajuste necesario para los ajustadores de tensión de alta velocidad de manera que la vibración de tercera octava autoexcitable se cancela, se reduce, se detiene o se evita.

5 Estos ejemplos ilustrativos se dan para introducir al lector a la materia objeto general comentada aquí y no están destinados a limitar el alcance de los conceptos dados a conocer. En las secciones siguientes se describen diversos rasgos adicionales y ejemplos con referencia a los dibujos en los que números similares indican elementos similares, y se utilizan descripciones direccionales para describir las realizaciones ilustrativas, pero, al igual que las realizaciones ilustrativas, no deben utilizarse para limitar la presente divulgación. Los elementos incluidos en las ilustraciones en el presente documento pueden estar dibujados a escala.

15 La figura 1 es una vista lateral esquemática de un laminador en tándem de dos cajas 100 según determinados aspectos de la presente divulgación. El laminador 100 incluye una primera caja 102 y una segunda caja 104 separadas por un espacio entre cajas 106. Una banda 108 pasa a través de la primera caja 102, espacio entre cajas 106, y la segunda caja 104 en la dirección 110. La banda 108 puede ser una banda metálica, como una banda de aluminio. A medida que la banda 108 pasa a través de la primera caja 102, la primera caja 102 lamina la banda 108 a un grosor más pequeño. A medida que la banda 108 pasa a través de la segunda caja 104, la segunda caja 104 lamina la banda 108 a un grosor aún más pequeño. La parte de prelaminado 112 es la parte de la banda 108 que aún no ha pasado a través de la primera caja 102. La parte de interlaminado 114 es la parte de la banda 108 que ha pasado a través de la primera caja 102, pero aún no ha pasado a través de la segunda caja 104. La parte de prelaminado 112 es más gruesa que la parte de interlaminado 114, que es más gruesa que una parte de poslaminado (por ejemplo, parte de la banda después de pasar por la segunda caja 104).

25 La primera caja 102 de una caja de cuatro alturas puede incluir rollos de trabajo opuestos 118, 120 a través de los cuales pasa la banda 108. Puede aplicarse fuerza 126, 128 a los respectivos rollos de trabajo 118, 120, en una dirección hacia la banda 108, por rollos de respaldo 122, 124, respectivamente. La fuerza 126, 128 puede controlarse por un controlador de calibre. La fuerza 138, 140 se aplica a los respectivos rollos de trabajo 130, 132, en una dirección hacia la banda 108, por rollos de respaldo 134, 136, respectivamente. La fuerza 138, 140 puede controlarse por un controlador de calibre. Los rollos de respaldo proporcionan un soporte rígido a los rollos de trabajo. En algunos casos, la fuerza puede aplicarse directamente a un rollo de trabajo, en lugar de a través de un rollo de respaldo. En algunos casos, pueden usarse otros números de rollos, como rollos de trabajo y/o rollos de respaldo. En algunos casos, pueden utilizarse más o menos de dos cajas.

35 El laminador 100 en la figura 1 representa múltiples mecanismos para controlar vibraciones autoexcitables de tercera octava, incluyendo un mecanismo basado en rollo tensor 144 para controlar vibraciones de tercera octava autoexcitables en la primera caja 102 y un mecanismo basado en plano hidráulico 160 para controlar vibraciones de tercera octava autoexcitables en la segunda caja 104. Puede utilizarse cualquier número o combinación de mecanismos para controlar vibraciones de tercera octava autoexcitables.

40 Como se ve en la figura 1, la banda 108 puede pasar a través de un tensor 144 antes de entrar en la primera caja 102. En algunos casos, la banda 108 puede desenrollarse en una desbobinadora antes de pasar a través del tensor 144. El tensor 144 puede ayudar a mantener la tensión ajustando la tensión de la banda 108 en respuesta a fluctuaciones en la tensión de banda. El tensor 144 puede incluir un rollo central 148 que se acopla a un actuador lineal de alta velocidad 150. El actuador lineal de alta velocidad 150 puede ser cualquier actuador de alta velocidad adecuado, como los descritos en el presente documento, capaz de manipular el rollo central 148 a velocidades suficientes para controlar las vibraciones de tercera octava autoexcitables. El actuador lineal de alta velocidad 150 puede manipular directamente el rollo central 148 (por ejemplo, dos actuadores lineales de alta velocidad pueden manipular el rollo central 148 en cada extremo del rollo central) o el actuador lineal de alta velocidad 150 puede manipular indirectamente el rollo central 148 manipulando una yema que soporta el rollo central 148. Puede utilizarse cualquier número de actuadores lineales de alta velocidad 150.

55 Dado que la vibración de tercera octava se detecta por un sensor (por ejemplo, un sensor 154 montado en rollo de trabajo o un sensor montado en rollo de respaldo 152, u otro sensor), un controlador puede provocar que el actuador de alta velocidad 150 realice ajustes en el rollo central 148 para compensar aumentos o disminuciones a alta velocidad (por ejemplo, en el intervalo de vibración de tercera octava) en la tensión de banda debido a la vibración de tercera octava en la primera caja 102. Estos ajustes pueden mantener la tensión de banda en la parte de prelaminado 112 relativamente constante, al menos en el intervalo de vibración de tercera octava, para mitigar las vibraciones de tercera octava autoexcitables.

60 Además, o alternativamente, una hoja hidráulica 160 puede ayudar a mantener la tensión ajustando la tensión de la banda 108 en respuesta a fluctuaciones en la tensión de banda. La hoja hidráulica 160 puede ser de forma semicircular o adoptar otras formas. Una hoja hidráulica 160 mantiene una barrera de lubricación (por ejemplo, con agua o lubricante) entre la hoja hidráulica 160 y la banda 108, permitiendo que la hoja hidráulica 160 ejerza fuerza sobre la banda 108 sin que rote la hoja hidráulica 160. Dado que la hoja hidráulica 160 no necesita rotar, puede fabricarse con un material mínimo y una masa mínima. Por ejemplo, una hoja hidráulica 160 puede tener una forma semicircular o semiovoide, en lugar de una forma totalmente circular de un rollo. La hoja hidráulica 160 puede

5 acoplarse a uno o más actuadores lineales de alta velocidad 162, tal como de manera similar a un rollo tensor central se acopla a uno o más actuadores lineales de alta velocidad (por ejemplo, directamente o a través de una yema). La forma única de la hoja hidráulica 160 puede permitir que uno o más actuadores lineales de alta velocidad 162 se acoplen de otras maneras, como en cualquier parte a lo largo de la anchura de la hoja hidráulica 160 (por ejemplo, en lugar de justo en los extremos).

10 Dado que la vibración de tercera octava se detecta por un sensor (por ejemplo, un sensor montado en rollo de trabajo 158 o un sensor montado en rollo de respaldo 156, u otro sensor), un controlador puede provocar que el actuador de alta velocidad 162 realice ajustes en el hoja hidráulica 160 para compensar la alta velocidad (por ejemplo, en el intervalo de vibración de tercera octava) aumenta o disminuye en la tensión de banda debido a la vibración de tercera octava en la segunda caja 104. Estos ajustes pueden mantener la tensión de banda en la parte de interlaminado 114 relativamente constante, al menos en el intervalo de vibración de tercera octava, para mitigar las vibraciones de tercera octava autoexcitables.

15 En algunos casos alternos, el hueco de rollo de la primera caja 102 puede utilizarse para controlar la tensión en la parte de interlaminado 114 en respuesta a la vibración de tercera octava detectada por un sensor asociado a la segunda caja 104 (por ejemplo, sensores 156, 158). En tales casos, los rollos de la primera caja 102 no tendrían que moverse para corregir vibraciones en la primera caja 102, sino que los rollos se ajustarían para mantener una tensión constante entre la primera caja 102 y la segunda caja 104.

20 La figura 1 representa los sensores 152, 154 y el sensor 156, 158 en los rollos de trabajo y rollos de respaldo de la primera caja 102 y la segunda caja 104, respectivamente. Sin embargo, los sensores pueden situarse en los rollos de trabajo inferiores, rollos de respaldo inferiores, en la propia caja, o externos respecto a la caja. Por ejemplo, un sensor puede colocarse entre el tensor 144 y la primera caja 102. Un sensor de este tipo puede ser un rollo de sensor (por ejemplo, un rollo soportado por un par de transductores de fuerza para medir cambios de alta velocidad en tensión de banda). En algunos casos, pueden utilizarse otros sensores, como ultrasonidos, láser u otros sensores capaces de detectar vibraciones de tercera octava.

25 En algunos casos, el tercer rollo 164 del tensor 144 puede actuar como un sensor. El tercer rollo 164 puede incluir sensores de fuerza internos. En algunos casos, el tercer rollo 164 puede acoplarse a las una o más celdas de carga 166. Por ejemplo, un par de celdas de carga 166 puede colocarse en extremos opuestos del tercer rollo 164. Las celdas de carga 166 pueden detectar fluctuaciones de tensión en el intervalo de la tercera octava.

30 La figura 2 es un diagrama esquemático que representa un laminador 200 que tiene múltiples ajustadores de tensión 204, 212 para controlar vibraciones de tercera octava según determinados aspectos de la presente divulgación. Una banda metálica 224 puede pasar a través de diversas partes de izquierda a derecha, como se ve en la figura 2. Los elementos a la izquierda pueden considerarse proximales o aguas arriba de los elementos adicionales a la derecha. Por ejemplo, la primera caja 208 puede considerarse proximal a o aguas arriba de la segunda caja 216.

35 La banda metálica 224 puede desenrollarse en una desbobinadora 202. La banda metálica 224 puede pasar a través de una primera caja 208 y una segunda caja 216. Aunque se muestran dos cajas en la figura 2, puede utilizarse cualquier número de cajas, incluyendo una caja o más de dos cajas. Los ajustes realizados entre la primera caja 208 y la segunda caja 216 pueden utilizarse entre cualquiera de las dos cajas de un laminador de múltiples cajas (por ejemplo, entre una segunda y una tercera caja). Los ajustes realizados entre la desbobinadora 202 y la primera caja 208 pueden utilizarse en un laminador de caja única.

40 A medida que la banda metálica 224 se mueve desde la desbobinadora 202 hasta la primera caja 208, puede pasar a través de un ajustador de tensión de alta velocidad 204. El ajustador de tensión de alta velocidad 204 puede ser cualquier ajustador como se describe en el presente documento, incluyendo un tensor con rollo central móvil, una hoja hidráulica, un escurridor o un sistema magnético. Pueden utilizarse otros ajustadores de tensión de alta velocidad. El ajustador de tensión de alta velocidad 204 puede recibir señales de ajuste de un controlador 220 basándose en vibraciones detectadas en la banda 224 entre el ajustador de tensión de alta velocidad 204 y la primera caja 208 o en la primera caja 208. El controlador 220 puede recibir señales de un sensor, como el sensor 206 o el sensor 210. El sensor 206 puede ser un sensor situado en línea entre el ajustador de tensión de alta velocidad 204 y la primera caja 208. El sensor 206 puede ser cualquier sensor adecuado, como, por ejemplo, un rollo de deflexión (por ejemplo, rollo de aplanamiento) acoplado a una o más celdas de carga. El sensor 210 puede ser un sensor, tal como pero no limitado a un acelerómetro, acoplado a la primera caja 208, como en un rollo de trabajo, rollo de respaldo, una ampuesa o caja en sí misma. Cuando el sensor 210 es un acelerómetro, puede ajustarse para detectar solamente el movimiento vertical de los rollos. En algunos casos, el sensor 210 puede incluir múltiples sensores (por ejemplo, situados en los rollos de trabajo superiores e inferiores) configurados para detectar el movimiento vertical del rollo de trabajo superior con respecto al rollo de trabajo inferior. Pueden utilizarse otros sensores.

45 Tras recibir señales indicativas de vibraciones de tercera octava, el controlador 220 puede inducir ajuste de tensión de alta velocidad usando el ajustador de tensión de alta velocidad 204. Los ajustes de tensión pueden calcularse para desplazamiento o cancelar la vibración detectada o esperada en la primera caja 208. En algunos casos,

pueden inducirse ajustes de tensión aleatorios.

En algunos casos, un controlador 220 puede ser un procesador o cualquier tipo de circuito analógico y/o digital. En algunos casos, un controlador 220 puede ser una colección de conductos, cámaras y actuadores hidráulicos diseñados para funcionar como se describe en el presente documento.

El ajustador de tensión de alta velocidad 204 puede resistir perturbaciones de alta frecuencia (por ejemplo, tercera octava) de tensión de banda. Por lo tanto, el ajustador de tensión de alta velocidad 204 debe ser capaz de moverse a un ritmo lo suficientemente rápido como para almacenar la banda acumulada 224 por cada ciclo de vibración. La altura de un rollo de trabajo en una caja (por ejemplo, la primera caja 208) puede regularse estrechamente a bajas frecuencias (por ejemplo, muy por debajo de las frecuencias de tercera octava) y la tensión general puede controlarse por otros mecanismos, como, por ejemplo, controlando la diferencia de velocidad entre una primera caja y una segunda caja, así como el hueco de la primera caja. En las frecuencias de vibración, sin embargo, la altura de rollo promedio (por ejemplo, distancia entre el rollo de trabajo superior y el rollo de trabajo inferior) puede desviarse. El controlador 220 puede centrarse en controlar las perturbaciones en la banda de frecuencias correspondientes a vibración de tercera octava autoexcitable. Para garantizar que el controlador 220 tenga suficiente intervalo de acción, las perturbaciones de tensión fuera de este intervalo de frecuencia pueden rechazarse desde la señal utilizada para accionar el ajustador de tensión de alta velocidad 204, tal como usando alguna combinación de filtro de señal.

A medida que la banda metálica 224 pasa de la primera caja 208 a la segunda caja 216, su tensión puede ajustarse para rechazar la vibración de tercera octava en la segunda caja 216. Un controlador 222 puede recibir señales, similares al controlador 220, de uno o más sensores, como el sensor 214 y el sensor 218. El sensor 214 puede ser similar al sensor 206, pero situado entre la primera caja 208 y la segunda caja 216. El sensor 218 puede ser similar al sensor 210, pero situado en la segunda caja 216. Pueden utilizarse otros sensores. De manera similar al ajustador de tensión de alta velocidad 204, el ajustador de tensión de alta velocidad 212 puede situarse entre la primera caja 208 y la segunda caja 216 para controlar la tensión en el intervalo de tercera octava basándose en señales del controlador 222. En algunos casos, sin embargo, el controlador 222 puede enviar señales a la primera caja 208 para controlar el hueco de rollo en la primera caja 208, controlando por tanto de manera efectiva la velocidad con la que la banda 224 entra en la región entre cajas, controlando por tanto la tensión efectiva de la banda 224 en la región entre cajas. En algunos casos, el controlador 222 puede enviar señales a cualquier combinación de una o más de la primera caja 208 y el ajustador de tensión de alta velocidad 212. En algunos casos, las funciones del controlador 222 y el controlador 220 se realizan por un solo controlador.

Los ajustadores de tensión de alta velocidad 204, 212 pueden almacenar y liberar longitudes de banda 224 para mantener la tensión constante a pesar de la vibración de tercera octava en la primera caja 208 o la segunda caja 216. La frecuencia de vibración determina la cantidad de almacenamiento de banda necesaria para evitar la retroalimentación debido a la fluctuación de tensión de banda. Por ejemplo, dada una velocidad de banda en función del tiempo,  $V_{banda} = A \sin 2\pi f_c t$ , donde  $f_c$  es la frecuencia de vibración en hercios y A es la amplitud de variación de velocidad, se muestra entonces el almacenamiento máximo requerido a continuación en la ecuación 2.

Ecuación 2

$$\text{Almacenamiento de banda}_{m\acute{a}x} = \frac{A}{\pi f_c}$$

Los laminadores generalmente vibran en las proximidades de los 90-300 hercios, y más particularmente en las proximidades de los 90-200 hercios o 90-150 Hz. Dado que una frecuencia más baja requiere más almacenamiento, este valor (por ejemplo, 90 Hz) puede utilizarse para calcular la mayor cantidad de longitud de almacenamiento de banda que se necesitaría. Tal valor puede utilizarse para establecer la longitud de almacenamiento de banda en un ajustador de tensión de alta velocidad 204, 212. Por el contrario, las frecuencias más altas deben hacerse funcionar más rápido y por tanto puede utilizarse el límite superior (por ejemplo, 150 Hz, 200 Hz o 300 Hz) para calcular lo más rápido que sería necesario hacer funcionar un ajustador de tensión de alta velocidad 204, 212. Tal valor puede ser útil para determinar los caudales hidráulicos, como cuando se utilizan actuadores lineales hidráulicos, ya que los caudales hidráulicos pueden ser un factor limitante en los ajustes de alta velocidad.

Una vez establecido el intervalo de frecuencias de tercera octava, es necesario definir el valor de 'A' para determinar la longitud máxima de almacenamiento de banda. El valor de A depende de la cantidad de variación de calibre que es aceptable en una banda laminada. En un ejemplo, en algunas circunstancias, si la vibración provoca una variación de calibre de aproximadamente el 1%, el daño resultante puede provocar que la banda sea rechazada como chatarra. Pueden utilizarse otros porcentajes de variación de calibre, dependiendo de las necesidades de la banda laminada y otros factores. A efectos de este ejemplo, la variación de velocidad máxima de entrada de banda será del 1%. Para una laminación de laminador en tándem de dos cajas de existencias de bebidas en lata (CBS) a 2000 metros por minuto (MPM), la velocidad entre cajas no puede ser superior a aproximadamente 1000 MPM. El valor de 'A' puede entonces ser de 10 MPM (una variación de calibre provocará un cambio de velocidad del 1%,

## ES 2 765 713 T3

conservación del flujo másico a través del hueco) o 0,16666 metros por segundo (MPS). La cantidad de almacenamiento requerida a 90 hercios para este ejemplo puede ser, por tanto, aproximadamente de 0,60 mm,

porque Almacenamiento de banda $_{m\acute{a}x} = \frac{0,16666 \text{ MPS}}{\pi * 90 \text{ Hz}} = 0,000589 \text{ M} = 0,58 \text{ mm}$ . Por tanto, en este ejemplo, un ajustador de tensión de alta velocidad adecuado 204 debe ser capaz de desplazarse aproximadamente 0,60 mm a una velocidad de 90 Hz.

Los cálculos anteriores pueden ajustarse según sea necesario para otros ejemplos. Los cálculos anteriores también pueden aprovecharse por un controlador para accionar un ajustador de tensión de alta velocidad según sea necesario.

La figura 3 es un diagrama isométrico que representa un sistema de control de vibración de tercera octava 300 con un tensor controlado por yema 304 según determinados aspectos de la presente divulgación. Una banda metálica 302 pasa a través de un tensor 304 y al interior de una caja de laminador 308 que tiene un rollo de trabajo superior 310 y un rollo de trabajo inferior 312. El rollo central 306 del tensor 304 actúa como un ajustador de tensión de alta velocidad. A medida que el rollo central 306 se manipula hacia abajo y hacia arriba, la banda metálica 302 se almacena o se libera, respectivamente, desde alrededor de una parte de la circunferencia del rollo central 306. El rollo central 306 puede soportarse por una yema 314. El movimiento hacia arriba o hacia abajo del rollo central 306 puede lograrse mediante la manipulación de un actuador lineal 316 acoplado a la yema 314. En algunos casos, más de un actuador lineal 316 puede acoplarse a la yema 314. Cualquier actuador lineal 316 puede utilizarse, como un cilindro hidráulico y/o un actuador piezoeléctrico. La profundidad de inmersión del rollo central 306 puede ajustarse mediante un elemento de detención móvil en un cilindro hidráulico principal. Los uno o más actuadores lineales 316 pueden ajustar el elemento de detención móvil del cilindro hidráulico principal, ajustando de ese modo la profundidad de inmersión del rollo central 306.

El rollo central 306 del tensor puede, por tanto, alterar la trayectoria de la banda metálica 302 antes de que entre en una caja 308. Cambiar la rigidez de este mecanismo de anidación (por ejemplo, ajustes con respecto al elemento de detención móvil del cilindro hidráulico principal) a altas frecuencias (por ejemplo, vibraciones de tercera octava) puede mitigar cualquier variación de tensión resultante del movimiento de separación de la caja aguas abajo.

En casos en los que un actuador lineal manipula la yema 314 (por ejemplo, manipula la yema 314 en sí misma o ajusta los elementos de detención de extremo de la yema 314), puede no ser necesario ningún bucle de control de inclinación diferencial, ya que el movimiento de la yema 314 puede limitarse por un conjunto de cremallera y piñón que mantiene la elevación lateral de la yema 314.

La figura 4 es un diagrama isométrico que representa un sistema de control de vibración de tercera octava 400 con un tensor controlada por extremo 404 según determinados aspectos de la presente divulgación. Una banda metálica 402 pasa a través de un tensor 404 y al interior de una caja de laminador 408 que tiene un rollo de trabajo superior 410 y un rollo de trabajo inferior 412. El rollo central 406 del tensor 404 actúa como un ajustador de tensión de alta velocidad. A medida que el rollo central 406 se manipula hacia abajo y hacia arriba, la banda metálica 402 se almacena o se libera, respectivamente, desde alrededor de una parte de la circunferencia del rollo central 406. El rollo central 406 puede soportarse por un par de actuadores lineales 416, 418. El par de actuadores lineales 416, 418 puede controlar el movimiento hacia arriba y hacia abajo del rollo central 406. Puede utilizarse cualquier actuador lineal adecuado 416, 418. Por ejemplo, los actuadores lineales 416, 418 pueden incluir cilindros hidráulicos y/o actuadores piezoeléctricos o cualquier otro actuador adecuado.

En algunos casos, tales actuadores lineales montados en extremo 416, 418 pueden utilizarse con una yema 414, que puede accionarse por otro actuador lineal. En tales casos, los actuadores lineales 416, 418 permiten que el rollo central 406 se mueva verticalmente de manera independiente del mecanismo de anidamiento (por ejemplo, la yema 414). El uso de tales actuadores lineales montados en extremo 416, 418 retira la masa del mecanismo que conduce el rollo central 406 (por ejemplo, la yema 414 y el equipo de conducción asociado) de la masa total necesaria que va a manipularse con el fin de controlar la vibración. El uso de actuadores lineales montados en extremo 416, 418 puede introducir la posibilidad de inclinar la banda 406. En algunos casos, pueden utilizarse sensores y un bucle de control para minimizar, si no eliminar, la inclinación.

Como se describió anteriormente con referencia a las figuras 3-4, pueden manipularse los rollos centrales 306, 406 usando actuadores lineales 316, 416, 418. Como se describe en el presente documento, otros mecanismos, como hojas hidráulicas, pueden utilizarse en lugar de los rollos centrales 306, 406 para almacenar longitud de banda. Además, los actuadores lineales 316, 416, 418 pueden ser cualquier combinación de actuadores hidráulicos, piezoeléctricos u otros actuadores lineales capaces de producir un accionamiento lineal suficiente a velocidades suficientes (por ejemplo, de aproximadamente 90 Hz a aproximadamente 150 Hz, 200 Hz o 300 Hz). Aunque se muestra como generalmente rectangular en las figuras 3-4, los actuadores lineales 316, 416, 418 pueden ser cilíndricos u de otras formas.

En algunos casos, la tensión puede medirse mediante celdas de carga que soportan el tercer rollo de tensor 320, 420 (más cercano al agarre de laminador). La tensión puede medirse por otros sensores, como se describe en otra

parte en el presente documento.

5 Cuando se utiliza un actuador lineal hidráulico, la perforación del actuador lineal hidráulico puede determinarse basándose en diversos factores, incluyendo la carga máxima necesaria para mantener la tensión de banda y el flujo de fluido hidráulico minimizado (por ejemplo, aceite). En un ejemplo, una banda que tiene un área en sección transversal de aproximadamente 1600 mm<sup>2</sup>, con una tensión de aproximadamente 20 N/mm<sup>2</sup> (20 MPa), con una geometría de 2:1 (por ejemplo, ángulo de envoltura del rollo central de 180°, la cantidad de banda almacenada en el tensor para el desplazamiento de los rollos de trabajo), la carga máxima necesaria para mantener la tensión de banda puede ser  $F_{cyl} = 2 * 20 * 1600 = 64$  KN. Para minimizar el flujo de fluido hidráulico, la presión de suministro puede definirse para ser aproximadamente 27,5 MPa. Al permitir una presión de perforación de 14 N/mm<sup>2</sup>, el área de cilindro requerida puede ser  $A_{cyl} = 64000/14 = 4600$  mm<sup>2</sup>. En este ejemplo, dos actuadores lineales hidráulicos pueden ubicarse en cada extremo del rollo para soportar la posición vertical del rollo (por ejemplo, como se ve en la figura 4). Se supone que el ángulo de ajuste en el primer rollo del tensor es de aproximadamente 90° ya que la trayectoria de la banda va de horizontal a vertical y pasa por debajo del rollo central. Utilizando un ángulo de envoltura de aproximadamente 180° alrededor del rollo central del tensor, la fuerza vertical máxima puede ser de aproximadamente 64 KN. De nuevo, la presión máxima de perforación puede ser la mitad de la presión de suministro, dando un área de cilindro de 4600 mm<sup>2</sup>. En este caso, sin embargo, el área se divide entre dos cilindros. El tamaño de perforación requerido de cada uno es aproximadamente de 54 mm. Puede ser deseable redondear hasta 60 mm (2827 mm<sup>2</sup>) para proporcionar un margen adicional de seguridad. Pueden hacerse cálculos similares para un solo actuador lineal 316 o para otras circunstancias (por ejemplo, otros tamaños y tipos de lámina de metal).

La longitud de carrera de un actuador lineal hidráulico puede determinarse basándose en diversos factores. Cada carrera de cilindro puede ajustarse para permitir el máximo almacenamiento por ciclo. En un ejemplo, dado un ángulo de envoltura de aproximadamente 180° y un requisito de almacenamiento de banda de aproximadamente 0,60 mm, la carrera de cilindro puede reducirse a aproximadamente 0,30 mm. Al añadir un margen de error, puede requerirse una carrera mínima de 2 mm.

El actuador hidráulico lineal puede accionarse por una servoválvula. En tales casos, la servoválvula necesaria para el actuador lineal hidráulico puede determinarse basándose en varios factores. Por ejemplo, la servoválvula puede seleccionarse para poder controlar la altura del rollo central a 30 hercios (otros actuadores controlan perturbaciones de tensión de baja frecuencia) mientras permite que el rollo se mueva a las frecuencias más altas de vibración. El peor caudal puede ser a la frecuencia más alta de vibración (por ejemplo, de aproximadamente 150 hercios o 200 Hz o 300 Hz). En algunos casos, la servoválvula puede tener la velocidad para mantener la tensión de banda objetivo a medida que cambia la longitud de banda entre la caja y un dispositivo anterior (por ejemplo, caja anterior o una desbobinadora). En tal ejemplo, el cambio de longitud a la frecuencia vibración puede utilizarse como guía. Suponiendo una variación de calibre aceptable de aproximadamente el 1% a 90 hercios, el recorrido de cilindro objetivo puede ajustarse a aproximadamente 0,33 mm. Por tanto, a 150 hercios, se requerirá un caudal de 48 lpm ( $Q_v = 2827 \text{ mm} * 0,33 \text{ mm} * 2 \pi * 150 * 60/1e6 = 48$  lpm. La servoválvula requerida puede seleccionarse de esta manera. Un ejemplo de servoválvula adecuada para un ajustador de tensión de alta velocidad basado en cilindros hidráulicos puede ser una válvula MoogTM tipo D765 HR/38 lpm que puede suministrar un 40% (15,2 lpm) a una frecuencia de aproximadamente 150 hercios. Si la caída de presión se mantiene a aproximadamente 14 MPa, el caudal es de aproximadamente 21,43 lpm. Este diseño puede utilizar dos válvulas en cada actuador hidráulico lineal para satisfacer los requisitos de flujo.

Un ajustador de tensión de alta velocidad puede controlarse de diversas maneras. En un ejemplo, la estrategia de control puede ser crear un bucle de control de posición alrededor de un bucle de tensión rápido. El bucle de posición puede fijar la extensión promedio del actuador hidráulico a la mitad de la extensión máxima del actuador hidráulico (por ejemplo, aproximadamente 1 mm). La respuesta del bucle de posición que mantiene la posición del actuador hidráulico fija es de aproximadamente 30 hercios, lo que hace que el actuador hidráulico sea muy rígido hasta aproximadamente 30 hercios. El controlador de posición proporciona al bucle de presión una referencia de presión. Por tanto, la referencia de tensión es una función de la carga aplicada al rollo.

El bucle de tensión interno puede tener una respuesta mucho mayor, como de aproximadamente 150 hercios. Su propósito puede ser permitir que el rollo se mueva verticalmente a medida que varía la carga aplicada de la banda. A medida que la tensión varía debido a los cambios de carga, el controlador de tensión añade y resta pequeñas cantidades de fluido para mantener la referencia de presión suministrada por el controlador de posición.

60 Cuando el actuador lineal es un actuador hidráulico lineal, los componentes hidráulicos pueden ubicarse por debajo de la banda 302, lo que puede ser ventajoso para alimentar la banda 302 durante el enhebrado. Cuando se utilizan actuadores lineales 416, 418, un bucle de control de inclinación (por ejemplo, que tiene la misma respuesta del bucle de presión) puede utilizarse para eliminar la inclinación del rollo como fuente de error. En algunos casos, los enlaces mecánicos pueden no requerirse, ya que el actuador hidráulico puede actuar directamente sobre el árbol que soporta el rollo central. En algunos casos, un acoplamiento estrecho entre el actuador hidráulico y la válvula puede utilizarse para evitar el retraso. En algunos casos, un controlador rápido en tiempo real puede utilizarse para el bucle de tensión. En algunos casos, el actuador puede tener un amplio intervalo de movimiento, pero puede estar en el borde del control con respecto a las capacidades de respuesta de frecuencia del actuador seleccionado. En algunos

casos, aunque se utilice un servomecanismo que no puede mantener un caudal suficiente para permitir que se logre la respuesta completa de 150 hercios en determinadas condiciones, todavía puede haber una reducción significativa de rigidez.

5 En algunos casos, uno o más actuadores piezoeléctricos pueden utilizarse para ajustar la altura de una yema 314 (por ejemplo, un armazón). Específicamente, el actuador piezoeléctrico puede situarse para variar la altura del elemento de detención de extremo ajustable del armazón de rollo de tensor central. La colocación del elemento de detención de extremo puede establecer la profundidad de inmersión del rollo central 306. En algunos casos, un actuador piezoeléctrico capaz de mover el armazón puede ubicarse en la parte superior del conjunto de elemento de detención de extremo de cada lado. El movimiento vertical del armazón del rollo central (por ejemplo, la yema 314) puede utilizarse para mantener una tensión de banda constante. En tales casos, en lugar de mover directamente el rollo central 306 (por ejemplo, como se ve en la figura 4), los actuadores piezoeléctricos mueven todo el rollo central 306 moviendo la yema 314. Los actuadores piezoeléctricos pueden ser los mismos, pero pueden requerir dos o más unidades en paralelo para manejar la fuerza de compresión suministrada por el cilindro. En algunos casos, el mantenimiento de tensión de banda puede requerir una fuerza de actuador igual a la fuerza de tensión aplicada, así como la fuerza necesaria para acelerar el armazón verticalmente. Por ejemplo, suponiendo que el peso del conjunto del rollo y el armazón es aproximadamente 1500 Kgf y una tasa de aceleración de aproximadamente  $139 \text{ mm/sec}^2$  ( $180 \mu\text{m}$  a 140 hercios), esta fuerza de aceleración es aproximadamente 21,3 KN.

20 En algunos casos, los componentes pueden montarse en una posición fija y ubicarse lejos de la banda.

La figura 5 es una vista en corte parcial de un actuador lineal 500 que incluye un actuador hidráulico 502 con un elemento de apoyo piezoeléctrico 504 según determinados aspectos de la presente divulgación. El actuador lineal 500 puede utilizarse para cualquiera de los actuadores lineales dados a conocer en el presente documento, como los actuadores lineales 316, 416, 418 de las figuras 3-4. El actuador lineal 500 incluye un actuador hidráulico 502 que consiste en un cuerpo principal que soporta un pistón 512 en el mismo. El cuerpo principal incluye una cavidad de conducción 516 en la que puede hacerse circular fluido hidráulico para manipular el pistón 512.

30 El elemento de apoyo piezoeléctrico 504 puede incluir un cuerpo de asistencia 510 acoplado al actuador hidráulico 502 por un canal 514. El cuerpo de asistencia 510 puede incluir uno o más dispositivos piezoeléctricos 506 acoplados a un diafragma 508. A medida que se aplica una corriente eléctrica a los uno o más dispositivos piezoeléctricos 506, cada dispositivo piezoeléctrico 506 puede deformarse para empujar el diafragma 508 en la dirección 518. El diafragma 508 puede, por tanto, empujar el fluido hidráulico al interior de la cavidad de conducción 516 a través del canal 514, forzando de ese modo el pistón 512 en la dirección 520. La retirada de la corriente eléctrica o la aplicación de una corriente inversa puede provocar que cada dispositivo piezoeléctrico 506 se deforme en una dirección opuesta, tirando del diafragma 508, lo que provoca que el pistón 512 se mueva en una dirección opuesta a la dirección 520.

40 Debido a que los dispositivos piezoeléctricos 506 pueden hacerse funcionar a frecuencias muy altas, el elemento de apoyo piezoeléctrico 504 puede aumentar la velocidad con la que puede funcionar un actuador hidráulico 502. Un solo actuador hidráulico 502 puede incluir uno o más elementos de apoyo piezoeléctricos 504.

45 En un ejemplo, con dos actuadores hidráulicos situados en los extremos de un rollo central (por ejemplo, como se ve en la figura 4), cada actuador hidráulico puede ser un cilindro hidráulico que tiene un diámetro de 60 mm con una carrera de cilindro mínima de 2 mm. Similar a cuando no se utiliza elemento de apoyo piezoeléctrico, la servoválvula debe ser capaz de controlar la altura del rollo central a 30 hercios, permitiendo que el rollo se mueva a la frecuencia de vibración. Sin embargo, a diferencia de cuando no se utiliza elemento de apoyo piezoeléctrico, en este ejemplo, este requisito se limita a frecuencias de hasta 30 hercios.

50 En este ejemplo, el cambio de longitud a la frecuencia vibración puede utilizarse como guía, con una variación de calibre del 1% a 30 hercios dando un almacenamiento objetivo de banda de 1,76 mm. Si el ángulo de envoltura del rollo es de aproximadamente  $180^\circ$ , puede reducirse el movimiento vertical a 0,88 mm. A 30 hercios, se requiere un caudal de aproximadamente 23 lpm (por ejemplo,  $Q_v = 2827 \text{ mm} * 0,88 \text{ mm} * 2\pi * 30 * 60/1e6 = 28 \text{ lpm}$ ). En este ejemplo, puede seleccionarse una servoválvula capaz de suministrar el caudal adecuado. Por ejemplo, una válvula MoogTM tipo D765 HR/38 lpm puede suministrar el 100% a una frecuencia de 30 hercios. En este ejemplo, la válvula no tiene la tarea de controlar el flujo de fluido a la frecuencia de vibración. Las variaciones de carga de alta frecuencia pueden dejarse al actuador piezoeléctrico.

60 El actuador hidráulico puede utilizarse para mantener la altura promedio del rollo central a un nivel constante a mitad de carrera del cilindro hidráulico. Las variaciones de fuerza en la frecuencia vibración no tendrán ningún efecto dado que la rigidez de los dos cilindros se combina para ser mucho mayor que la de la banda.

65 Para adaptarse a perturbaciones de tensión de alta frecuencia, el actuador piezoeléctrico puede colocarse entre la válvula y el cilindro. El elemento de apoyo piezoeléctrico puede cambiar el volumen del fluido hidráulico en función de la presión del fluido hidráulico. La longitud del dispositivo piezoeléctrico cambia a medida que la presión varía.

Dado que los actuadores piezoeléctricos cambian de longitud solamente en aproximadamente un 0,1%, insertar dicho dispositivo en línea con el cilindro puede ser poco práctico. Un piezoeléctrico de 50 mm de largo se moverá aproximadamente 0,05 mm. En su lugar, el dispositivo piezoeléctrico puede alojarse en un cilindro con un área más grande. En un ejemplo, el cilindro que aloja el dispositivo piezoeléctrico puede tener un área de aproximadamente 5 veces el área del cilindro hidráulico (por ejemplo, 14,135 mm<sup>2</sup>) capaz de contener varios dispositivos piezoeléctricos (por ejemplo, dispositivos piezoeléctricos de 50 mm de largo). En un ejemplo, usando varios dispositivos piezoeléctricos de este tipo que tienen una superficie de aproximadamente 15.000 mm cuadrados, para cambiar el volumen de aceite en 706 mm<sup>3</sup>, el cambio resultante en la longitud del cilindro de trabajo es de aproximadamente (706 mm<sup>3</sup>/2827mm<sup>2</sup>), o 0,25 mm.

El actuador lineal 500 con elemento de apoyo piezoeléctrico 504 puede controlarse usando cualquier estrategia adecuada. En un ejemplo de estrategia de control, se crea un bucle de control de posición de un grado de libertad simple. El bucle de posición puede fijar la extensión media del cilindro hidráulico a la mitad de la extensión máxima del cilindro hidráulico (por ejemplo, aproximadamente 1 mm). La respuesta del bucle de posición puede ser de 30 hercios, lo que puede hacer que el cilindro sea muy rígido hasta 30 hercios.

Mientras que el bucle de control de posición impulsa indirectamente la presión promedio del cilindro para mantener una extensión objetivo, un controlador independiente puede controlar la tensión en el intervalo de frecuencias asociado con la vibración (por ejemplo, vibraciones de tercera octava, como 90-300 Hz). El controlador independiente puede permitir que el rollo se mueva verticalmente a medida que varía la carga aplicada de la banda. A medida que la presión combinada de ambos cilindros hidráulicos varía debido a las variaciones de carga, el controlador puede utilizar el/los actuador(es) piezoeléctrico(s) para cambiar el volumen total de aceite en el conjunto. En un ejemplo, esta acción puede crear un movimiento de 0,25 mm, que puede ser lo suficientemente grande para manejar un cambio en la velocidad de banda de entrada.

En algunos casos, el uso de un elemento de apoyo piezoeléctrico puede eliminar cualquier necesidad de un bucle de control de inclinación rápido e independiente. En algunos casos, puede haber menos dependencia del rendimiento de la servoválvula dado que el intervalo de frecuencias del dispositivo piezoeléctrico a menudo excede el rendimiento de flujo de la servoválvula. En algunos casos, puede utilizarse un circuito hidráulico para mantener un diferencial de presión en el lado piezoeléctrico del diafragma. En algunos casos, la tensión de banda puede utilizarse como variable de retroalimentación. En determinadas condiciones, la presión del fluido por sí sola podría producir algún error debido a la fuerza de aceleración requerida para mover el rollo central.

La figura 6 es una vista isométrica en corte parcial de un ajustador de tensión de alta velocidad 600 con actuadores piezoeléctricos 604 según determinados aspectos de la presente divulgación. Una ampuesa de rollo 606 puede soportar un rollo central 602 de un tensor. En algunos casos, se utiliza un dispositivo de deflexión diferente en lugar de un rollo central 602, como un plano hidráulico o escurridor.

Un actuador piezoeléctrico 604 puede acoplar la ampuesa de rollo 606 a un soporte 608. En algunos casos, el soporte 608 puede ser una yema que soporta todo el rollo central 602. La corriente eléctrica aplicada al actuador piezoeléctrico 604 puede provocar que el actuador piezoeléctrico 604 se deforme extendiendo o retrayendo, moviendo de ese modo el rollo central 602 hacia arriba o hacia abajo. Como se ve en la figura 6, el rollo central 602 puede soportarse por dos actuadores piezoeléctricos 604, uno en cada lado. Cada actuador piezoeléctrico 604 puede incluir uno o más dispositivos piezoeléctricos individuales dispuestos mecánicamente en paralelo o en serie entre sí para producir el movimiento deseado en el rollo central 602. El movimiento vertical del rollo central 602 se utiliza para mantener una tensión de banda constante.

En algunos casos, un solo dispositivo piezoeléctrico es capaz de cambiar la longitud en aproximadamente del 0,1% al 0,15% a voltaje completo y puede generar una fuerza en el intervalo de 30MPa por mm<sup>2</sup>. Por ejemplo, un bloque piezoeléctrico estándar comercialmente disponible que tiene un diámetro de aproximadamente 56 mm y una longitud de aproximadamente 154 mm puede producir una fuerza de bloqueo de aproximadamente 79KN y un cambio en la longitud de aproximadamente 180 μm.

El mantenimiento de la tensión de banda puede requerir una fuerza de actuador igual a la fuerza de tensión aplicada, así como la fuerza necesaria para acelerar el rollo central 602 verticalmente (por ejemplo, puede reducirse usando una hoja hidráulica u otro deflector que tiene una masa menor que un rollo central 602). Por ejemplo, suponiendo que el peso del conjunto del rollo central 602 es de aproximadamente 500 Kgf y una tasa de aceleración de aproximadamente 139 mm/s<sup>2</sup> (180 μm a 140 hercios), esta fuerza de aceleración es aproximadamente 7,1 KN.

En algunos casos, la longitud del actuador piezoeléctrico 604 se maximiza para ofrecer el mayor cambio de longitud disponible.

El control de los actuadores piezoeléctricos 604 puede hacerse de cualquier manera adecuada. En un ejemplo, la estrategia de control incluye la creación de un bucle de control de tensión de banda. La retroalimentación total de tensión de banda se mide mediante sensores (por ejemplo, celdas de carga montadas en cada extremo de un rollo de tensor adyacente, como el rollo más cercano a los rollos de trabajo). Un controlador puede conducir los

actuadores piezoeléctricos 604 para mantener la tensión de banda objetivo. Un bucle de control diferencial puede mantener la tensión diferencial (de lado a lado) lo más cerca posible de cero.

5 En algunos casos, puede utilizarse un controlador con unas tasas de ejecución rápida (por ejemplo, en o alrededor de 100  $\mu$ s o más rápido). Puede utilizarse una combinación de un control digital y analógico. En algunos casos, puede utilizarse un controlador de alta corriente. En algunos casos, pueden seleccionarse dispositivos piezoeléctricos que ofrezcan al menos un cambio de longitud del 0,15%.

10 El uso de solamente actuadores piezoeléctricos 604 en un ajustador de tensión de alta velocidad puede eliminar la necesidad de muchas partes móviles y partes hidráulicas.

15 La figura 7 es un diagrama de flujo que representa un proceso 700 para controlar la vibración en un laminador según determinados aspectos de la presente divulgación. En el bloque 702, se detectan fluctuaciones de tensión. Las fluctuaciones de tensión pueden detectarse por cualquier sensor adecuado, como los sensores 152, 154, 156, 158 en la figura 1; célula de carga 166 en la figura 1; o cualquier otro sensor adecuado. Estas fluctuaciones de tensión detectadas pueden enviarse a un controlador en forma de una señal de fluctuaciones medidas.

20 En el bloque opcional 704, la señal de fluctuaciones medidas puede filtrarse para retirar cualquier fluctuación de tensión detectada fuera del intervalo de tercera octava (por ejemplo, fuera del intervalo de 90-300 Hz, 90-200 Hz o 90-150 Hz). En algunos casos, pueden utilizarse otros intervalos además de la tercera octava.

25 En el bloque 706, puede determinarse el ajuste de tensión. El ajuste de tensión puede basarse en un bucle de control de retroalimentación simple basado en la señal de fluctuaciones medidas o la señal filtrada. En algunos casos, el ajuste de tensión puede calcularse para maximizar la interferencia del ajuste de tensión aplicado con las fluctuaciones medidas de tensión de banda. El ajuste de tensión resultante puede transmitirse como una señal de ajuste de tensión.

30 En el bloque 708, el ajuste de tensión puede aplicarse usando la señal de ajuste de tensión. La señal de ajuste de tensión puede enviarse a los elementos de acción o directamente a los actuadores lineales de un ajustador de tensión de alta velocidad. Los ajustes de tensión realizados por el/los ajustador(es) de tensión de alta velocidad pueden ayudar a mantener constante la tensión de banda y pueden reducir las vibraciones de tercera octava en una banda metálica y/o en una caja de laminador.

35 El uso del proceso 700 puede inyectar perturbaciones de tensión para reducir la vibración autoexcitable, como en el intervalo de tercera octava. El proceso 700 puede realizarse usando cualquiera de los diversos sistemas y conjuntos descritos en el presente documento, incluyendo en las figuras 1-6. El proceso 700 puede aplicarse antes de que una banda entre en una caja de laminador o entre cajas de laminador. En algunos casos, el uso del proceso 700 puede permitir que las cajas de laminador laminen a una velocidad mayor que sin el proceso 700. Además, sin la preocupación de las vibraciones de tercera octava autoexcitables, los laminadores pueden hacerse funcionar cada vez más rápido con menos chatarra (por ejemplo, chatarra debido a vibraciones de tercera octava autoexcitables). Puede lograrse un ahorro significativo de tiempo, dinero y recursos usando el proceso 700.

45 La figura 8 es una vista en sección transversal de un actuador hidráulico 800 con elementos de apoyo piezoeléctricos 814 en un estado extendido según determinados aspectos de la presente divulgación. El actuador hidráulico 800 puede ser cualquier actuador hidráulico, como los dados a conocer en el presente documento con referencia a las figuras 1, 3 y 4. El actuador hidráulico 800 puede incluir un cuerpo de cilindro 802 que soporta un pistón 804 en el mismo. El cuerpo del cilindro 802 incluye una cavidad de conducción 808 (por ejemplo, cámara de fluido) en la que puede hacerse circular fluido hidráulico 806 para manipular el pistón 804. El fluido hidráulico 806 puede hacerse circular por un elemento de accionamiento hidráulico 826 (por ejemplo, servoválvulas y/u otras partes) controlable por el controlador 824 (por ejemplo, como controladores 220, 222 de la figura 2). El fluido hidráulico 806 puede hacerse circular a través de los orificios de cilindro 810, 812 con el fin de elevar o bajar el pistón 804.

50 El pistón 804 puede incluir una cabeza de pistón 828 que tiene uno o más rebajes 830. Los elementos de asistencia piezoeléctricos 814 pueden ubicarse dentro de cada rebaje 830. En algunos casos, múltiples rebajes 830 pueden extenderse por toda la cabeza de pistón 828 con el fin de maximizar una cantidad de superficie accionable por los elementos de apoyo piezoeléctricos 814. En casos alternativos, los elementos de apoyo piezoeléctricos pueden ubicarse en otro lugar aparte de la cabeza de pistón, siempre y cuando el elemento de apoyo piezoeléctrico pueda cambiar el volumen de la cavidad de conducción 808.

60 Como se ve en la figura 8, cada elemento de apoyo piezoeléctrico 814 incluye un dispositivo piezoeléctrico 832 (por ejemplo, un bloque piezoeléctrico) acoplado a un subpistón 816. El subpistón 816 actúa como un pistón dentro del rebaje 830, moviéndose axialmente para ajustar la posición de una placa de extremo 834. Múltiples subpistonos 816 pueden actuar sobre una sola placa de extremo 834 para proporcionar más fuerza de accionamiento. En algunos casos, no se utiliza ninguna placa de extremo 834 o se utilizan múltiples placas de extremo 834. El movimiento de los subpistonos 816 puede provocar un cambio en el volumen de la cavidad de conducción 808, como a través del

movimiento de una placa de extremo 834.

A medida que se aplica una corriente eléctrica a un dispositivo piezoeléctrico 832, el dispositivo piezoeléctrico 832 puede deformarse para extenderse o retraerse, tanto empujando o tirando de ese modo del subpistón 816, que entonces puede empujar o tirar de la placa de extremo 834. Puede aplicarse corriente eléctrica opuesta para deformar el dispositivo piezoeléctrico 832 en la dirección opuesta. Cuando los elementos de apoyo piezoeléctricos 815 están en un estado extendido, tienen reducido el volumen de la cavidad de conducción 808.

Un cableado 818 puede acoplar cada dispositivo piezoeléctrico 832 al controlador 824 a través de un orificio de cableado 820. Opcionalmente, un conductor piezoeléctrico puede conducir los dispositivos piezoeléctricos 832 y el elemento de accionamiento piezoeléctrico puede controlarse por el controlador 824. Un rebaje interno del pistón 804 puede cubrirse por una tapa de extremo 822, que está acoplada al pistón 804.

Debido a que los dispositivos piezoeléctricos 832 pueden hacerse funcionar a frecuencias muy altas, el elemento de apoyo piezoeléctrico 814 puede aumentar la velocidad con la que puede funcionar un actuador hidráulico 800. Un solo actuador hidráulico 800 puede incluir uno o más elementos de apoyo piezoeléctricos 814.

Para adaptarse a perturbaciones de tensión de alta frecuencia, el actuador piezoeléctrico puede colocarse entre la válvula y el cilindro. El elemento de apoyo piezoeléctrico puede cambiar el volumen del fluido hidráulico en función de la presión de fluido hidráulico. La longitud del dispositivo piezoeléctrico cambia a medida que varía la presión.

La figura 9 es una vista en sección transversal del actuador hidráulico 800 de la figura 8 con elementos de apoyo piezoeléctricos 814 en un estado retraído según determinados aspectos de la presente divulgación. La activación de los dispositivos piezoeléctricos 832 dentro de los elementos de apoyo piezoeléctricos 814 puede forzar a los subpistones 816 a plegarse en el interior de los rebajes 830 de la cabeza de pistón 828, reduciendo de ese modo el volumen efectivo de la cavidad de conducción 808. Cuando se utiliza una placa de extremo 834, la retracción de los subpistones 816 provoca la retracción de la placa de extremo 834, reduciendo de ese modo el volumen efectivo de la cavidad de conducción 808.

Cuando los subpistones 816 se retraen para reducir el volumen efectivo de la cavidad de conducción 808, el pistón 804 y la tapa de extremo 822 deben moverse hacia el interior con respecto al cuerpo de cilindro 802 (por ejemplo, hacia arriba en las figuras 8-9), especialmente cuando el fluido hidráulico 806 es incompresible. Puede permitirse que el fluido hidráulico 806 fluya entre los orificios de cilindro 810, 812 del cuerpo de cilindro 802. El controlador 824 puede continuar para controlar el controlador hidráulico 826 y puede controlar los dispositivos piezoeléctricos 832 por medio del cableado 818 a través del orificio eléctrico 820.

Estas pequeñas cantidades de movimiento lineal logradas a través de activación de los elementos de apoyo piezoeléctricos 814, como entre un estado extendido (por ejemplo, la figura 8) y un estado retraído (por ejemplo, la figura 9) pueden producirse a velocidades extremadamente rápidas (por ejemplo, a o por encima de aproximadamente 90 hercios). Debido a que los elementos de apoyo piezoeléctricos 814 están situados entre el fluido hidráulico 806 y el pistón 804, el movimiento del fluido hidráulico 806 es mínimo para efectuar el movimiento del pistón 804.

Son posibles diferentes disposiciones de los componentes representados en los dibujos o descritos anteriormente, así como componentes y etapas no mostrados o descritos. De manera similar, algunos rasgos y subcombinaciones son útiles y pueden emplearse sin referencia a otros rasgos y subcombinaciones.

La descripción anterior de las realizaciones, incluyendo las realizaciones ilustradas, se ha presentado solamente con fines ilustrativos y descriptivos y no se pretende que sea exhaustiva o limitativa a las formas precisas dadas a conocer. Numerosas modificaciones, adaptaciones y usos de las mismas serán evidentes para los expertos en la técnica.

Como se utiliza a continuación, cualquier referencia a una serie de ejemplos debe entenderse como una referencia a cada uno de esos ejemplos disyuntivamente (por ejemplo, "Ejemplos 1-4" debe entenderse como "ejemplos 1, 2, 3 o 4").

El ejemplo 1 es un laminador en frío en tándem de dos (o más) cajas que comprende entre cajas: un dispositivo de ajuste de tensión seleccionado del grupo que consiste en un rollo de tensor central, un rollo de deflexión accionado o un escurridor de lámina accionado; y un sistema de control diseñado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión de banda que se producen a una frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios.

El ejemplo 2 es el laminador del ejemplo 1, en el que el sistema de control comprende al menos dos cilindros hidráulicos ubicados próximos a cada extremo del dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de posición y un bucle de tensión rápido, en el que el bucle de tensión rápido se configura para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se

producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-150 hercios, y el bucle de control de posición se configura para mantener la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión ocurridas a frecuencias más bajas.

5 El ejemplo 3 es el laminador del ejemplo 1, en el que el sistema de control comprende al menos dos cilindros hidráulicos ubicados próximos a cada extremo del dispositivo de ajuste de tensión, una pluralidad de actuadores piezoeléctricos situada entre cada uno de los al menos dos cilindros hidráulicos y el dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de posición y un controlador independiente, en el que el controlador independiente se configura para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios, y el bucle de control de posición se configura para mantener la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a frecuencias más bajas.

15 El ejemplo 4 es el laminador del ejemplo 3, en el que la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava está normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-200 hercios.

El ejemplo 5 es el laminador del ejemplo 1, en el que el sistema de control comprende al menos dos bloques piezoeléctricos situados próximos a cada extremo del dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de tensión de banda configurado para variar vertical colocación del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios.

25 El ejemplo 6 es el laminador del ejemplo 5, en el que la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava está normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-200 hercios.

El ejemplo 7 es el laminador del ejemplo 1, en el que el sistema de control comprende al menos dos bloques piezoeléctricos, estando ubicado cada bloque piezoeléctrico en una superficie superior de un elemento de detención de extremo ajustable en cada lado de un armazón central que soporta el dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de tensión de banda configurado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios.

35 El ejemplo 8 es el laminador del ejemplo 7, en el que la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava está normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-200 hercios.

El ejemplo 9 es un laminador de caja único que comprende: una desbobinadora situada aguas arriba de la caja de laminador; un dispositivo de ajuste de tensión seleccionado del grupo que consiste en un rollo de tensor central, un rollo de deflexión accionado o un escurridor de lámina accionado; y un sistema de control diseñado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión entre la desbobinadora y la caja de laminador.

45 El ejemplo 10 es el laminador del ejemplo 9, en el que el sistema de control comprende al menos dos cilindros hidráulicos ubicados próximos a cada extremo del dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de posición y un bucle de tensión rápido, en el que el bucle de tensión rápido se configura para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-150 hercios, y el bucle de control de posición se configura para mantener la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión ocurridas a frecuencias más bajas.

50 El ejemplo 11 es el laminador del ejemplo 9, en el que el sistema de control comprende al menos dos cilindros hidráulicos ubicados próximos a cada extremo del dispositivo de ajuste de tensión, una pluralidad de piezoeléctricos situada entre cada uno de los al menos dos cilindros hidráulicos y el dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de posición y un controlador independiente, en el que el controlador independiente se configura para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen en la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios, y el bucle de control de posición se configura para mantener la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a frecuencias más bajas.

60 El ejemplo 12 es el laminador del ejemplo 11, en el que la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava está normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-200 hercios.

65 El ejemplo 14 es el laminador del ejemplo 9, en el que el sistema de control comprende al menos dos bloques piezoeléctricos situados próximos a cada extremo del dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de tensión de banda configurado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de

tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios.

5 El ejemplo 14 es el laminador del ejemplo 13, en el que la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava está normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-200 hercios.

10 El ejemplo 15 es el laminador del ejemplo 9, en el que el sistema de control comprende al menos dos bloques piezoeléctricos, estando ubicado cada bloque piezoeléctrico en una superficie superior de un elemento de detención de extremo ajustable en cada lado de un armazón central que soporta el dispositivo de ajuste de tensión, y un controlador que tiene un bucle de control de tensión de banda configurado para variar la colocación vertical del dispositivo de ajuste de tensión en respuesta a perturbaciones de tensión que se producen a la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-300 hercios.

15 El ejemplo 16 es el laminador del ejemplo 15, en el que la frecuencia de resonancia de caja de laminador de tercera octava está normalmente en el intervalo de aproximadamente 90-200 hercios.

20 El ejemplo 17 es un sistema, que comprende un ajustador de tensión que puede colocarse proximal a una entrada de una caja de laminador para ajustar la tensión de una banda metálica que entra en el caja de laminador; un sensor para medir fluctuaciones de tensión a o por encima de 90 hercios de la banda metálica que entra en el caja de laminador; y un controlador acoplado al sensor y el ajustador de tensión para el accionamiento del ajustador de tensión para ajustar la tensión de la banda metálica en respuesta a las fluctuaciones de tensión medidas.

25 Según la invención, el ejemplo 18 es el sistema del ejemplo 17, en el que el ajustador de tensión incluye un dispositivo de deflexión capaz de almacenar una longitud de la banda metálica y al menos un actuador para manipular el dispositivo de deflexión para cambiar la longitud almacenada de banda metálica a velocidades a o por encima de aproximadamente 90 hercios.

30 El ejemplo 19 es el sistema del ejemplo 18, en el que se selecciona el dispositivo de deflexión del grupo que consiste en un rollo central de un tensor, un rollo de deflexión, un escurridor de lámina y un plano hidráulico.

El ejemplo 20 es el sistema de los ejemplos 18 o 19, en el que el al menos un accionador es un par de actuadores lineales situado en extremos opuestos del dispositivo de deflexión.

35 El ejemplo 21 es el sistema de los ejemplos 18 o 19, en el que el al menos un accionador se acopla al dispositivo de deflexión a través de una yema.

El ejemplo 22 es el sistema de los ejemplos 18 o 19, en el que cada uno de los al menos uno actuadores lineales es un actuador piezoeléctrico.

40 El ejemplo 23 es el sistema de los ejemplos 18 o 19, en el que cada uno de los al menos uno actuadores lineales es un actuador hidráulico.

45 El ejemplo 24 es el sistema del ejemplo 23, en el que cada uno de los al menos uno actuadores lineales comprende además un elemento de apoyo piezoeléctrico acoplado al actuador hidráulico.

Según la invención, el ejemplo 25 es el sistema de los ejemplos 17-24, en el que el sensor se acopla a la caja de laminador para detectar vibraciones indicativas de las fluctuaciones de tensión de la banda metálica.

50 El ejemplo 26 es el sistema de los ejemplos 17-24, en el que el sensor es al menos una célula de carga acoplada a un rollo que puede colocarse proximal a la caja de laminador.

55 El ejemplo 27 es un laminador de laminado en frío, que comprende una caja de laminador que tiene un rollo de trabajo superior y un rollo de trabajo inferior entre los que se puede pasar una banda metálica; un ajustador de tensión que puede colocarse aguas arriba de la caja de laminador para ajustar la tensión de la banda metálica a medida que la banda metálica entra en la caja de laminador; un sensor que puede colocarse en o adyacente a la caja de laminador para detectar vibraciones indicativas de vibración de tercera octava autoexcitable; y un controlador acoplado al sensor y el ajustador de tensión para inducir el ajuste de la tensión de la banda metálica en respuesta a la detección de las vibraciones indicativas de vibración de tercera octava autoexcitable.

60 El ejemplo 28 es el laminador del ejemplo 27, en el que el ajustador de tensión es una caja de laminador anterior, y en el que la caja de laminador anterior ajusta la tensión de la banda metálica ajustando el hueco de rollo de la caja de laminador anterior.

65 El ejemplo 29 es el laminador del ejemplo 27, en el que el ajustador de tensión comprende un dispositivo de deflexión capaz de almacenar una longitud de la banda metálica y al menos un actuador para manipular el dispositivo de deflexión para cambiar la longitud almacenada de banda metálica a velocidades a o por encima de

aproximadamente 90 hercios.

El ejemplo 30 es el laminador del ejemplo 29, en el que el menos un accionador comprende un dispositivo piezoeléctrico.

5 El ejemplo 31 es un método, que comprende laminar una banda metálica en una caja de laminador, en el que la banda metálica tiene una tensión de entrada; detectar fluctuaciones en la tensión de entrada a o por encima de aproximadamente 90 hercios; y ajustar la tensión de entrada de la banda metálica en respuesta a las fluctuaciones detectadas.

10 El ejemplo 32 es el método del ejemplo 31, en el que ajustar la tensión de entrada incluye ajustar una separación de rollo de una caja de laminador anterior ubicado aguas arriba de la caja de laminador.

15 El ejemplo 33 es el método del ejemplo 31, que comprende además almacenar una longitud de banda metálica en un dispositivo de deflexión, en el que ajustar la tensión de entrada incluye ajustar la longitud almacenada de banda metálica.

20 El ejemplo 34 es un método de los ejemplos 31-33, en el que ajustar la tensión de entrada incluye el accionamiento de un actuador piezoeléctrico.

El ejemplo 35 es el método de los ejemplos 31-34 que comprende, además, filtrar las fluctuaciones detectadas para excluir fluctuaciones por debajo de aproximadamente 90 hercios y por encima de aproximadamente 300 hercios.

25 El ejemplo 35 es el método de los ejemplos 31-35, en el que detectar fluctuaciones de la tensión de entrada incluye detectar cambios en una separación de rollo de la caja de laminador.

## REIVINDICACIONES

1. Sistema que comprende:
  - 5 un ajustador de tensión (204, 212) que puede colocarse proximal a una entrada de una caja de laminador (102, 104, 208, 216) para ajustar la tensión de una banda metálica (108, 302, 402) que entra en la caja de laminador (102, 104, 208, 216);
  - 10 un sensor (152, 154, 156, 158) para medir fluctuaciones de tensión a o por encima de 90 hercios de la banda metálica (108, 302, 402) que entran en la caja de laminador (102, 104, 208, 216); y
  - 15 un controlador (220, 222) acoplado al sensor (152, 154, 156, 158) y el ajustador de tensión (204, 212) para accionar el ajustador de tensión (204, 212) para ajustar la tensión de la banda metálica (108, 302, 402) en respuesta a las fluctuaciones de tensión medidas,
  - 20 en el que el ajustador de tensión (204, 212) incluye un dispositivo de deflexión (144, 114, 304, 404) capaz de almacenar una longitud de la banda metálica (108, 302, 402) y al menos un actuador (150, 162, 316, 416, 418, 500) para manipular el dispositivo de deflexión (144, 114, 304, 404) para cambiar la longitud almacenada de la banda metálica (108, 302, 402) a velocidades a o por encima de aproximadamente 90 hercios,
  - 25 caracterizado porque el sensor (152, 154, 156, 158) está acoplado a la caja de laminador (102, 104, 208, 216) para detectar vibraciones indicativas de las fluctuaciones de tensión de la banda metálica (108, 302, 402).
2. Sistema según la reivindicación 1, en el que se selecciona el dispositivo de deflexión (144, 114, 304, 404) del grupo que consiste en un rollo central (148, 306, 406) de un tensor (144, 304, 404), un rollo de deflexión, un escurridor de lámina y un plano hidráulico (160).
- 30 3. Sistema según la reivindicación 1 o 2, en el que el al menos un actuador (150, 162, 316, 416, 418, 500) es un par de actuadores lineales situados en extremos opuestos del dispositivo de deflexión (144, 114, 304, 404) o en el que el al menos un actuador (150, 162, 316, 416, 418, 500) está acoplado al dispositivo de deflexión (144, 114, 304, 404) a través de una yema (314, 414) o en el que cada uno de los al menos uno actuadores lineales (150, 162, 316, 416, 418, 500) es un actuador piezoeléctrico.
- 35 4. Sistema según la reivindicación 1 o 2, en el que cada uno de los al menos uno actuadores lineales (150, 162, 316, 416, 418, 500) es un actuador hidráulico (502, 800).
- 40 5. Sistema según la reivindicación 4, en el que cada uno de los al menos uno actuadores lineales (150, 162, 316, 416, 418, 500) comprende además un elemento de apoyo piezoeléctrico (504, 814) acoplado al actuador hidráulico (502, 800).
- 45 6. Laminador en frío (100) que incorpora el sistema según la reivindicación 1 para reducir la vibración autoexcitable de tercera octava dentro del laminador (100).
7. Laminador (100) según la reivindicación 6, en el que el ajustador de tensión (204, 212) es una caja de laminador anterior (102, 208), y en el que la caja de laminador anterior (102, 208) ajusta la tensión de la banda metálica (108, 302, 402) ajustando un hueco de rollo de la caja de laminador anterior (102, 208).
- 50 8. Laminador (100) según la reivindicación 6, en el que el ajustador de tensión (204, 212) comprende un dispositivo de deflexión (144, 114, 304, 404) capaz de almacenar una longitud de la banda metálica (108, 302, 402) y al menos un actuador (150, 162, 316, 416, 418, 500) para manipular el dispositivo de deflexión (144, 114, 304, 404) para cambiar la longitud almacenada de banda metálica (108, 302, 402) a velocidades a o por encima de aproximadamente 90 hercios.
- 55 9. Laminador (100) según la reivindicación 8, en el que el al menos un actuador (150, 162, 316, 416, 418, 500) comprende un dispositivo piezoeléctrico.
- 60 10. Método de uso del sistema según la reivindicación 1 para ajustar la tensión de la banda metálica (108, 302, 402) cuando la banda metálica (108, 302, 402) se lamina sobre la caja de laminador (102, 104; 208, 216), en el que la tensión ajustada es una tensión de entrada de la banda metálica (108, 302, 402).
- 65 11. Método según la reivindicación 10, en el que el ajuste de la tensión de entrada incluye ajustar un hueco de rollo de una caja de laminador anterior (102, 208) ubicada aguas arriba de la caja de laminador (104, 216).
12. Método según la reivindicación 10, que comprende además almacenar una longitud de la banda metálica

(108, 302, 402) en un dispositivo de deflexión (144, 114, 304, 404) en el que ajustar la tensión de entrada incluye ajustar la longitud almacenada de banda metálica (108, 302, 402), en particular, en el que ajustar la tensión de entrada incluye accionar un actuador piezoeléctrico (316; 416, 418).

- 5 13. Método según la reivindicación 10, que comprende además filtrar (704) las fluctuaciones detectadas (702) para excluir las fluctuaciones por debajo de aproximadamente 90 hercios y por encima de aproximadamente 300 hercios o en el que detectar fluctuaciones en la tensión de entrada incluye detectar cambios en un hueco de rolo de la caja de laminador (102, 104, 208, 216).

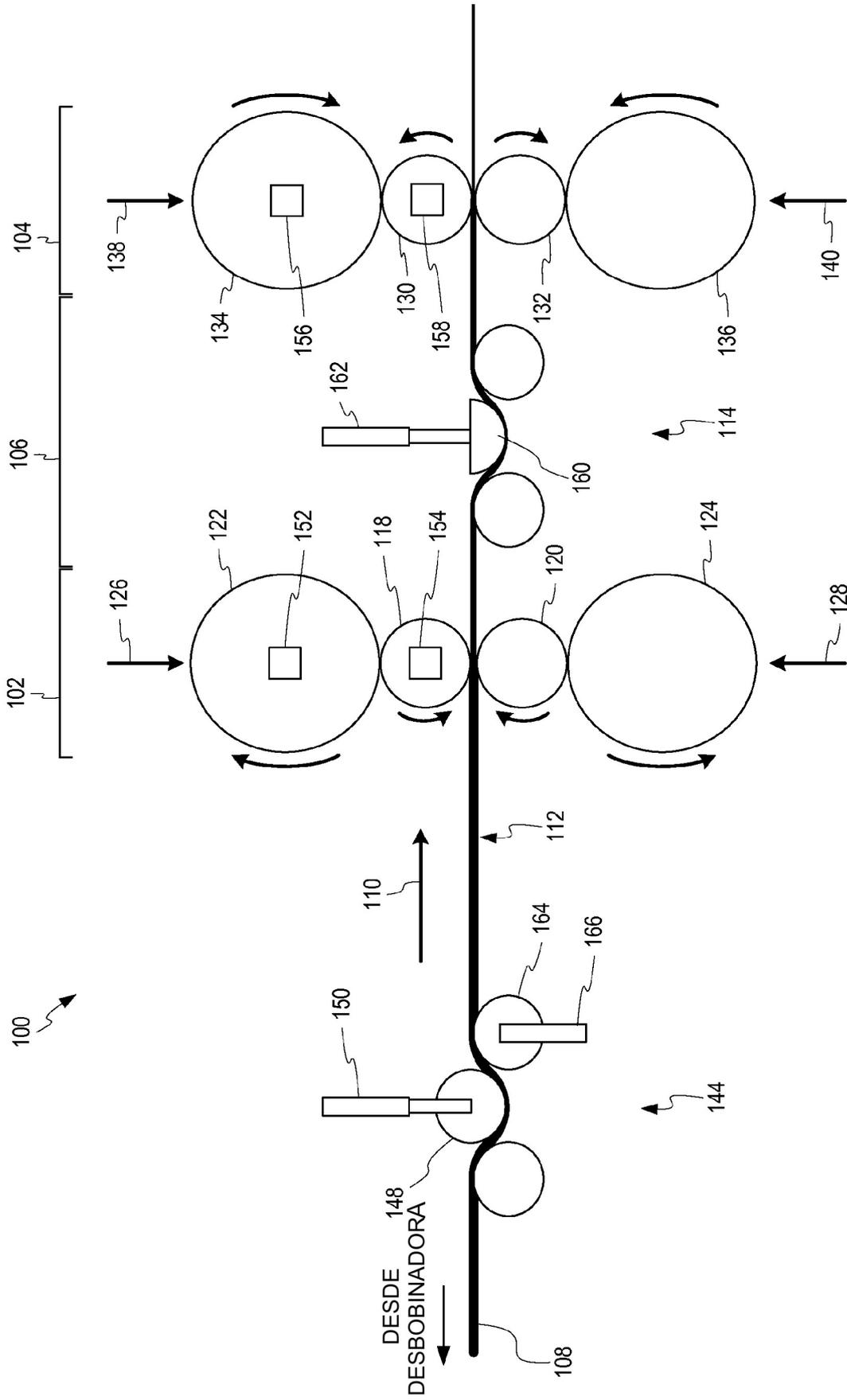


FIG. 1

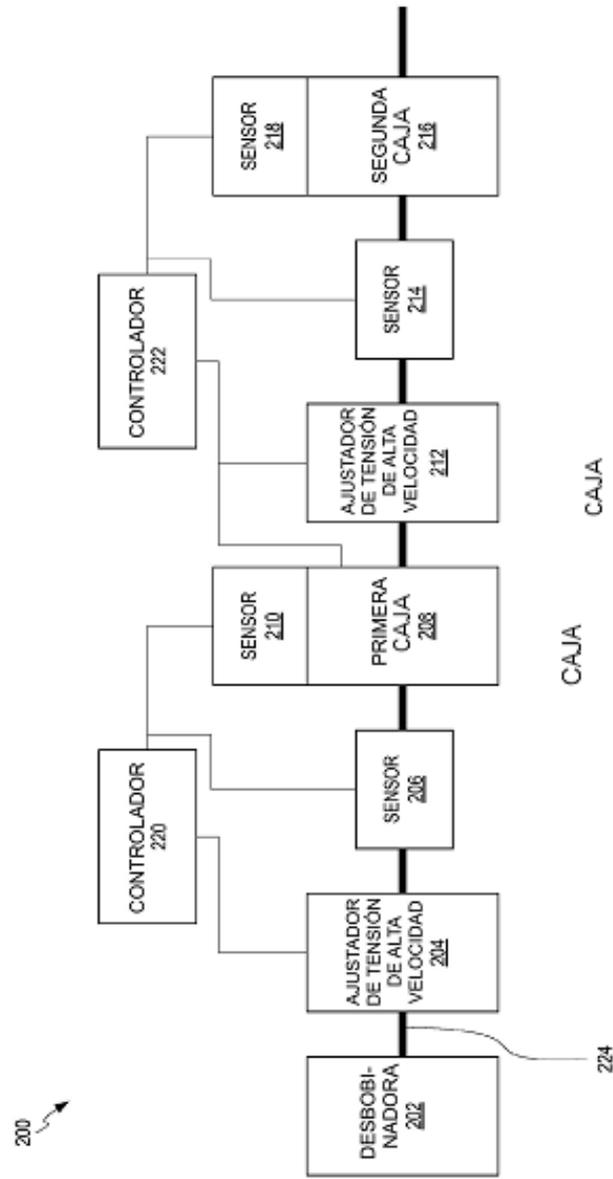
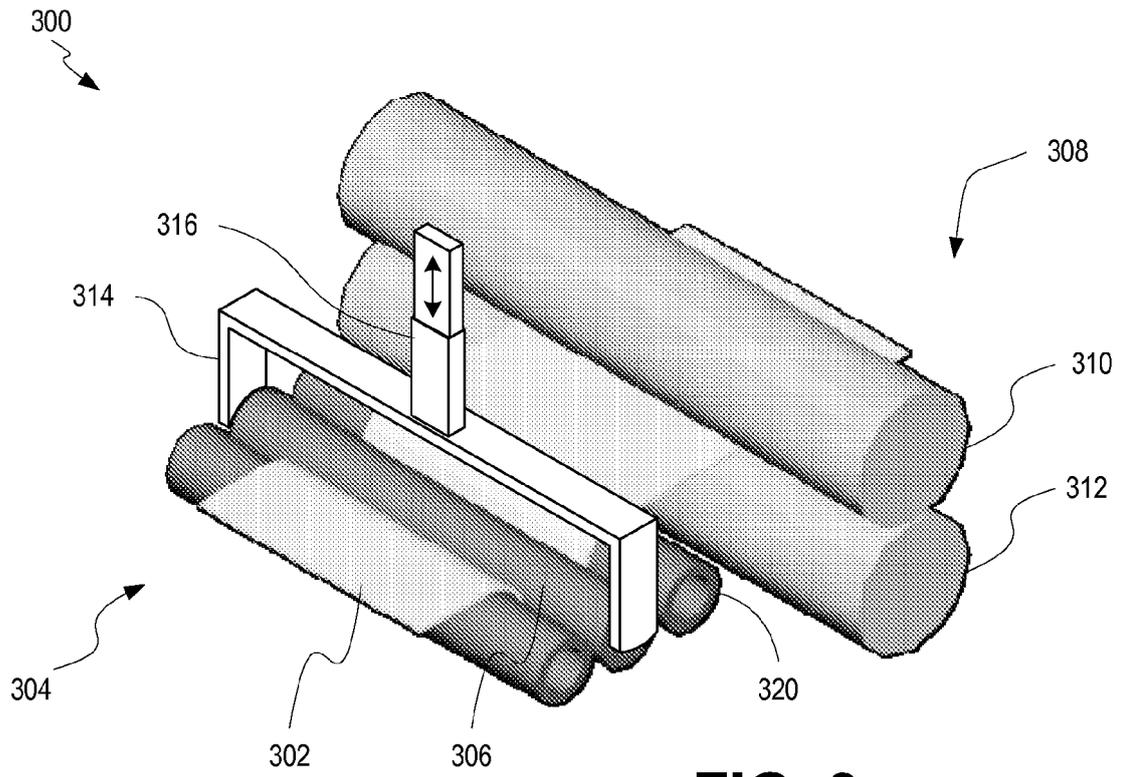
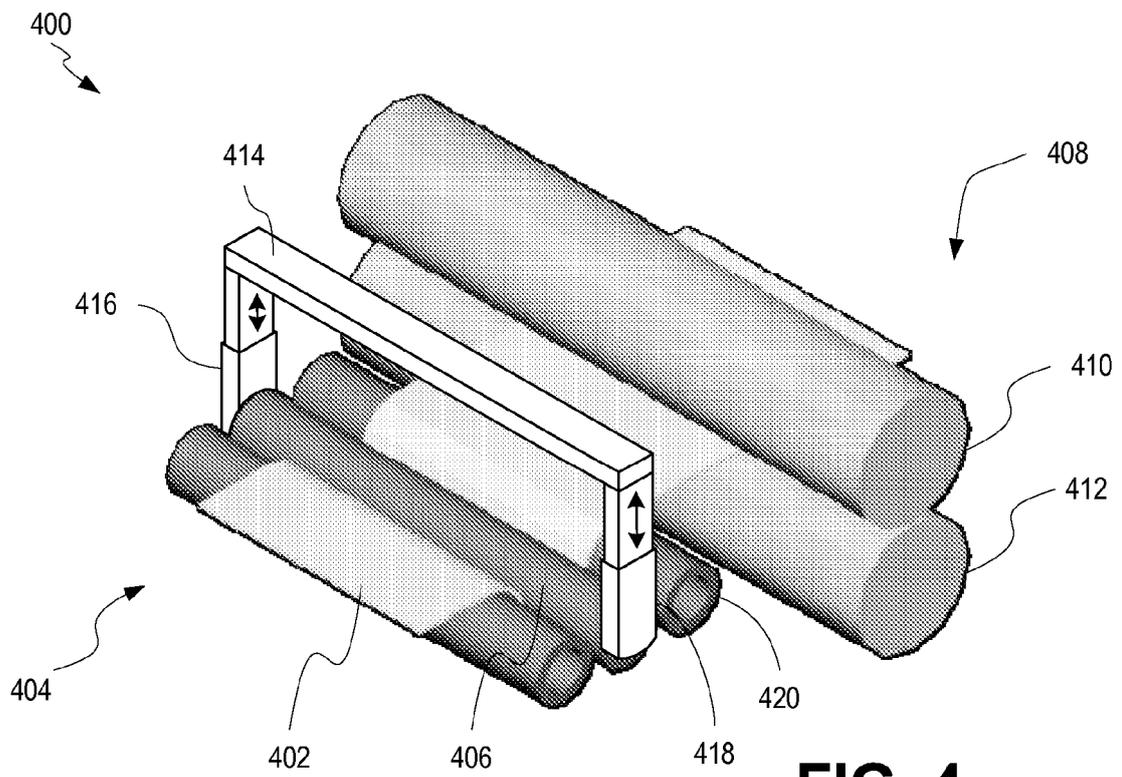


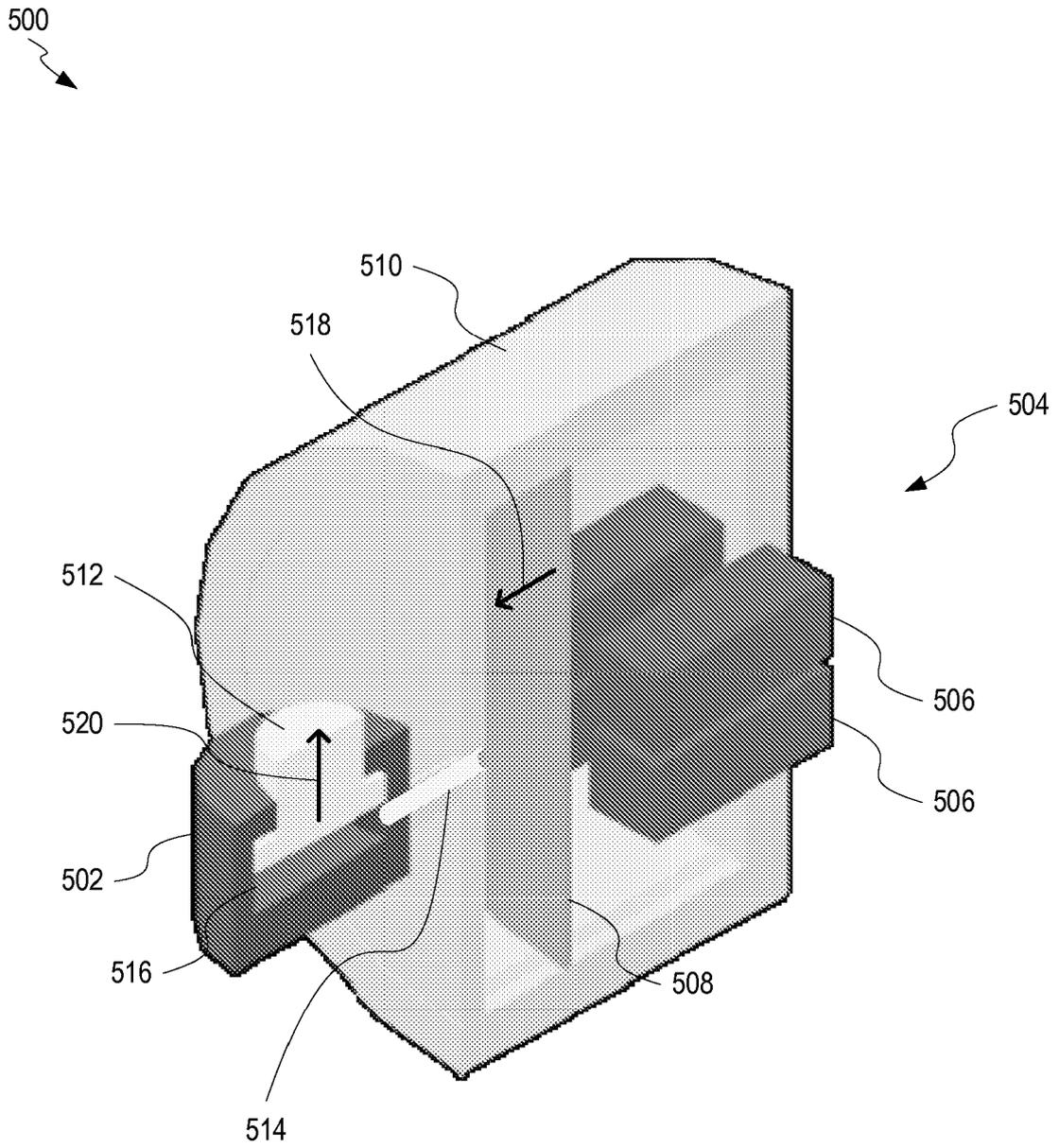
FIG. 2



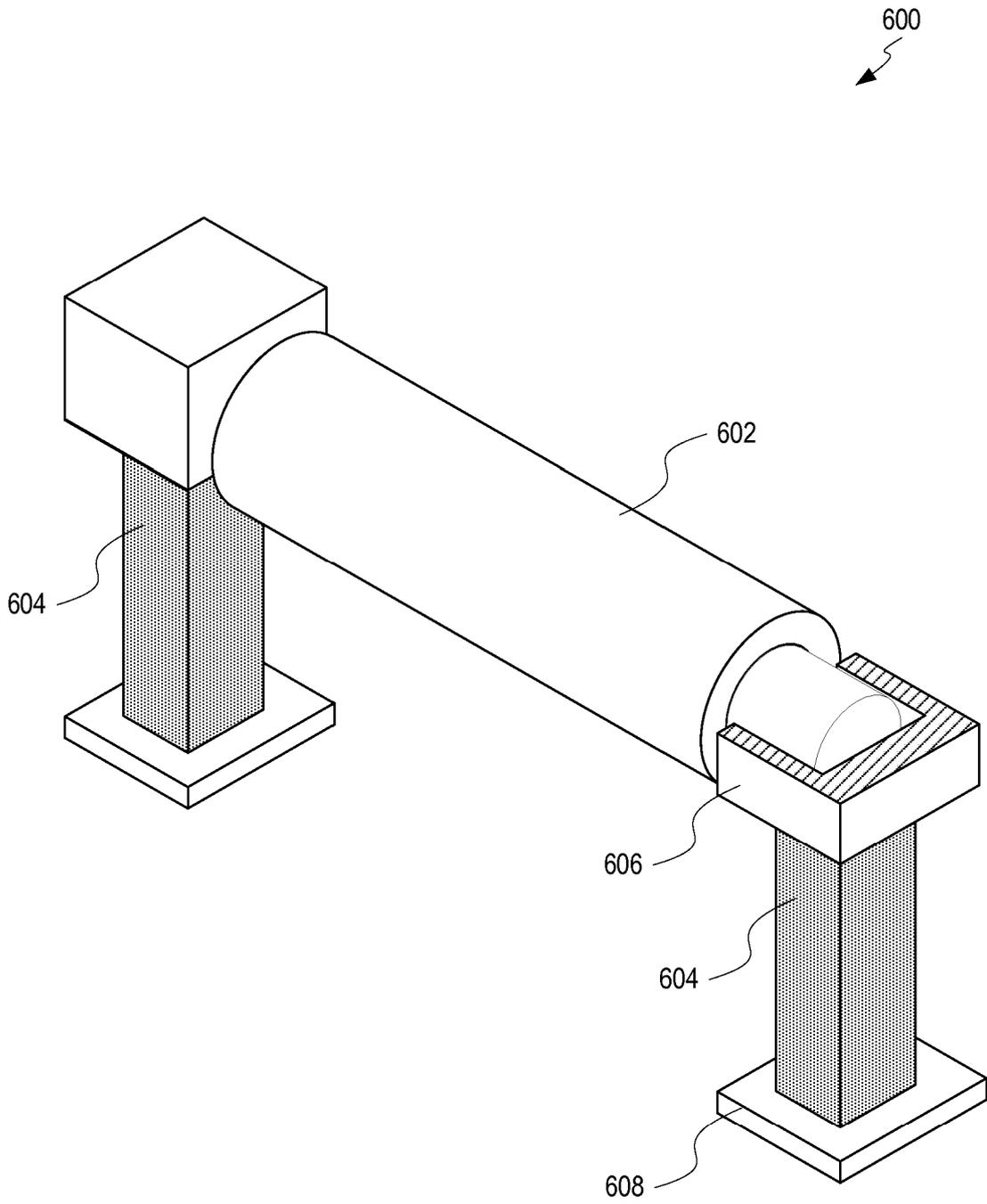
**FIG. 3**



**FIG. 4**

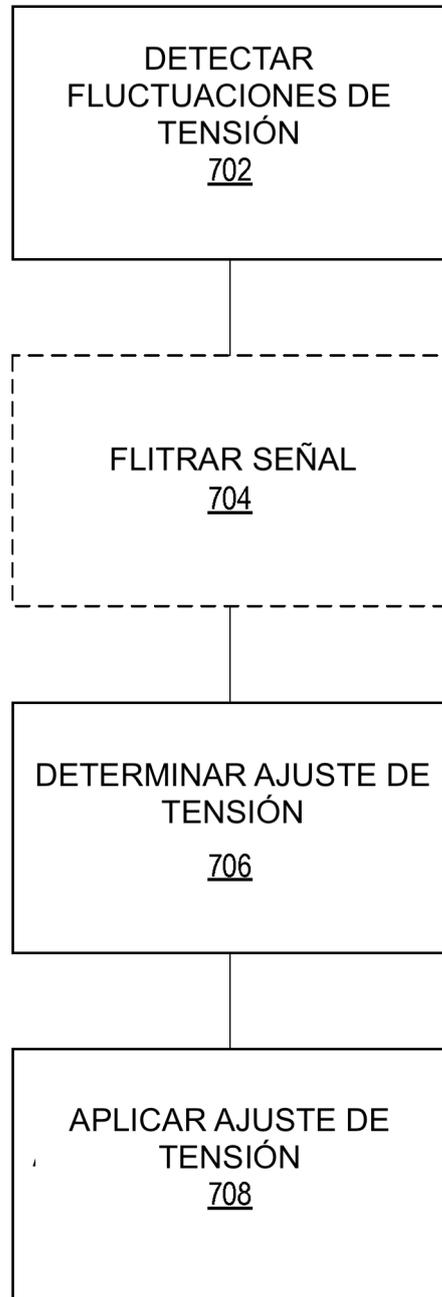


**FIG. 5**

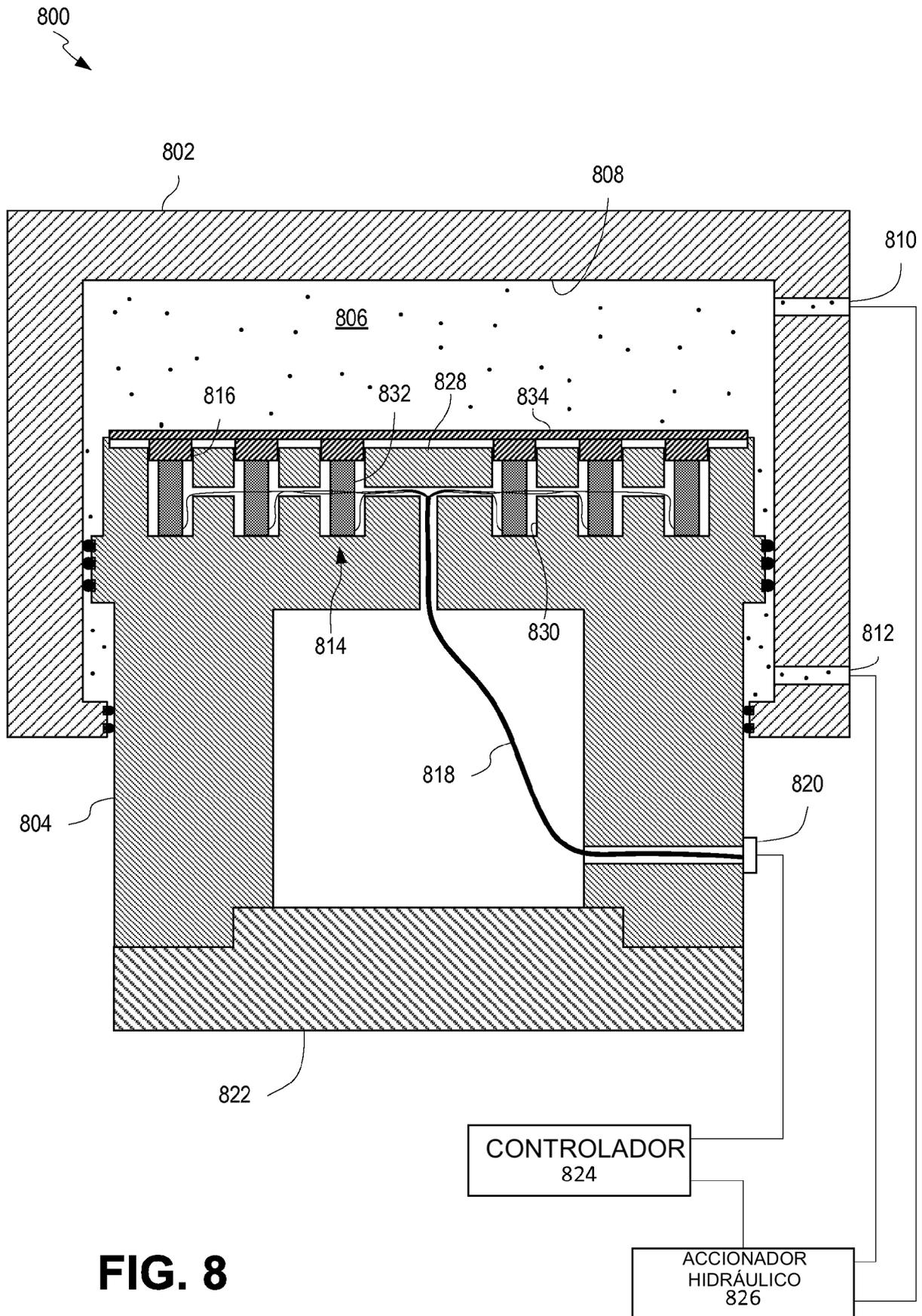


**FIG. 6**

700  
↙



**FIG. 7**



**FIG. 8**

