

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 450 120**

51 Int. Cl.:

**B24B 57/02** (2006.01)

**B24B 31/00** (2006.01)

**B24B 37/00** (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2010 E 10749207 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2014 EP 2403686**

54 Título: **Sistemas de acabado magnetoreológico de un sustrato**

30 Prioridad:

**06.03.2009 US 158021 P**

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

**24.03.2014**

73 Titular/es:

**QED TECHNOLOGIES INTERNATIONAL, INC.  
(100.0%)  
870 North Commons Drive  
Aurora, IL 60504, US**

72 Inventor/es:

**KORDONSKI, WILLIAM**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 450 120 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**

Sistemas de acabado magnetoreológico de un sustrato

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a sistemas de pulido y acabado abrasivo a base de lodo de sustratos, y en particular, a tales sistemas que emplean fluidos magnetoreológicos e imanes adyacentes a una rueda portadora esférica para rigidizar magnéticamente el fluido en una zona de trabajo sobre la rueda; más en particular, a tales sistemas en los que los imanes de rigidización están dispuestos dentro de la propia rueda portadora; y más en particular a un sistema mejorado en el que el imán de rigidización es un conjunto de imán permanente de campo variable.

**Antecedentes de la invención**

10 El uso de fluidos magnetoreológicos rigidizados magnéticamente (MRF) para pulido y acabado abrasivo de sustrato es bien conocido. Tales fluidos, que contienen partículas abrasivas magnéticamente suave disperso en un portador líquido, exhiben un comportamiento plástico magnéticamente inducido en presencia de un campo magnético. La viscosidad aparente de los MRF puede ser aumentada de manera magnética por muchas órdenes de magnitudes, de manera que la consistencia de los MRF cambia de ser casi acuoso a ser una pasta muy rígida. Cuando tal pasta se dirige de manera apropiada contra una superficie de sustrato que se ha de conformar o pulir, por ejemplo un elemento óptico, se puede conseguir un nivel muy elevado de calidad de acabado, precisión y control.

La patente de los Estados Unidos nº 5.951.369, concedida el 14 de septiembre de 1999 a Kordonski et al., divulga procedimientos, fluidos, y aparatos para acabado magnetoreológicos determinísticos de sustratos. Esta patente que forma la base del preámbulo de la reivindicación 6 se denominará en el presente documento como "369".

20 En un sistema de acabado magnetoreológico típico tal como el que se divulga en la patente '369, una superficie de trabajo comprende una rueda amagnética orientada en vertical que tiene una llanta que es socavada simétricamente alrededor de un cubo. Piezas polares magnéticas de conformación especial se extienden hacia lados opuestos de la rueda bajo la llanta socavada para proporcionar una zona de trabajado magnética sobre la superficie de la rueda, preferiblemente en aproximadamente la posición de punto muerto superior. La superficie de la rueda es preferiblemente una sección ecuatorial de una esfera.

Montado encima de la zona de trabajo se encuentra un receptor de sustrato, tal como un mandril giratorio, para extender en la zona de trabajo un sustrato que ha de ser acabado. El mandril se puede manipular de manera programada en una pluralidad de modos de desplazamiento y está controlado preferiblemente por un controlador programable o un ordenador.

30 El MRF es extruido en un estado no magnetizado a partir de una boquilla de conformación como una cinta sobre la superficie de trabajo de la rueda giratoria, que lleva el fluido a la zona de trabajo donde se magnetiza con una consistencia pastosa. En la zona de trabajo, el MRF pastoso realiza un trabajo abrasivo, conocido como acabado o pulido magnetoreológico, sobre el sustrato. Al salir de la zona de trabajo, el fluido sobre la rueda se vuelve a magnético de nuevo y es rascado por un rascador desde la superficie de trabajo de la rueda para su recirculación y reutilización.

35 La distribución de fluido a, y la recuperación de, la rueda es gestionada por un sistema cerrado de distribución de fluido tal como se divulga en la referencia '390. El MRF es retirado del rascador por una bomba de aspiración y enviado a un depósito donde se mide su temperatura y se ajusta según el objetivo. Se puede conseguir la recirculación desde el depósito a la boquilla, y de este modo a través de la zona de trabajo, a un caudal especificado, por ejemplo, estableciendo la velocidad de rotación de una bomba de presurización, típicamente una bomba peristáltica o centrífuga.

40 Debido a que una bomba peristáltica exhibe un flujo pulsante, en un uso de este tipo se requiere un amortiguador de impulsos corriente abajo de la bomba.

El caudal de MRF suministrado a la zona de trabajo está muy controlado. Se proporciona un caudalímetro en línea en el sistema de recirculación de fluido, y se conecta mediante un controlador para regular la bomba.

45 Se dispone un viscómetro capilar en el sistema de distribución de fluido y la salida del mismo sobre la superficie de la rueda. Las señales de salida procedentes del caudalímetro y el viscómetro son enviadas a un algoritmo en un ordenador que calcula la viscosidad aparente de MRF que se está suministrando a la rueda y controla la velocidad de realimentación del fluido portador al MRF de recirculación (que pierde fluido portador por evaporación durante el uso) en una cámara de mezclado por delante del viscómetro, para ajustar la viscosidad aparente al objetivo.

50 La patente de los Estado Unidos nº 5.616.066, concedida el 1 de abril de 1997 a Jacobs et al. ('066), divulga un sistema de acabado magnetoreológico que comprende un imán anular permanente que tiene piezas polares anulares de hierro dulce norte y sur dispuestas de manera fija sobre un montaje amagnético dentro de un tambor amagnético que proporciona una superficie portadora sobre su superficie exterior.

Un inconveniente serio del sistema '066 es la incapacidad de de realiza un acabado de superficies cóncavas debido a la superficie cilíndrica de rueda portadora.

Un inconveniente adicional es que un imán permanente proporciona solo un valor de campo magnético, y de este modo no es posible el control de la velocidad de eliminación variando la intensidad del campo magnético.

Otro inconveniente adicional es que un campo magnético permanente dificulta la limpieza y el mantenimiento del sistema para el cambio de fluido.

- 5 La patente de los Estados Unidos nº 6.506.102, concedida el 30 de octubre de 2001 a Kordonski et al. ('102), que se incorpora al presente documento por referencia, mejora respecto del sistema '066 y divulga un sistema para acabado magnetoreológico que comprende una rueda portadora orientada en vertical que tiene un eje horizontal. La rueda portadora es preferiblemente una sección ecuatorial de una esfera, de manera que la superficie portadora es esférica. La rueda tiene forma general de cuenco, comprendiendo una placa circular conectada a medios motrices giratorios y
- 10 soportando la superficie esférica que se extiende lateralmente desde la placa. Un electroimán que tiene piezas polares planas norte y sur está dispuesto dentro de la rueda, dentro de la envoltura de la esfera, y preferiblemente dentro de la envoltura de la sección esférica que comprende la rueda. Los imanes se extienden por un ángulo de rueda central de aproximadamente 120° de manera que el MRF se mantiene en un estado parcialmente rigidizado claramente por delante de y claramente más allá de la zona de trabajo. Un rascador magnético elimina el MRF de la rueda a medida que la rigidización se relaja y vuelve a un sistema de distribución de fluido convencional para el acondicionamiento y la reextrusión sobre la rueda. La colocación de los imanes dentro de la rueda proporciona espacio libre de cada lado de la superficie portadora de manera que se pueden acomodar grandes sustratos cóncavos, que deben extenderse más allá de los bordes de la superficie de rueda durante el acabo. La extensión angular de los imanes hace que el MRF quede retenido sobre la rueda por un ángulo central extendido de la misma, permitiendo la orientación y el acabado en una zona
- 15 de trabajo en o cerca de la posición de punto muerto inferior de la rueda.

Una ventaja del sistema de la '012 es que el uso de un electroimán en lugar de un imán permanente permite que otro parámetro de control, es decir, la intensidad del campo magnético, sea variado variando el amperaje de corriente suministrado al electroimán.

- 25 Un inconveniente del sistema de la '102 es que la mayor dimensión de un electroimán (en comparación con un imán permanente de intensidad equivalente) impone limitaciones en la dimensión mínima de la rueda esférica, y de este modo limita le menor radio de curvatura de sustratos cóncavos que se han de acabar.

Lo que se necesita en la técnica es un sistema de MRF que tiene una rueda de acabado esférica de menor radio.

Un objeto principal de la presente invención es realizar el acabado de concavidades de menor radio de los que hasta ahora son posibles usando sistema de MRF de la técnica anterior.

- 30 Un objeto adicional de la invención es proporcionar un sistema para el acabado magnetoreológico de sustratos cóncavos en los que el radio de las concavidades de piezas de trabajo no está limitado por la dimensión del sistema magnético.

Otro objeto adicional de la invención es proporcionar un sistema que emplea imanes permanentes para realizar el acabado magnetoreológico de sustratos en el que el acabado puede ser realizado en cualquier intensidad de campo magnético deseada.

- 35 Otro objeto adicional de la invención es reducir los costes de mantenimiento y el consumo de energía eléctrica en el acabado magnetoreológico.

### Sumario de la invención

- Brevemente descrito, un sistema mejorado para acabado magnetoreológico de un sustrato según la invención comprende una rueda portadora esférica en forma de cuenco orientada en vertical que tiene un eje horizontal. La rueda comprende una placa circular conectada a un medio motriz giratorio y que soporta la superficie esférica que se extiende lateralmente desde la placa. Un sistema de imanes permanente de campo variable que tiene piezas polares norte y sur está dispuesto dentro de la rueda, preferiblemente en el interior de la envoltura de la sección esférica definida por la rueda. Las piezas polares de los imanes se extienden por un ángulo de rueda de aproximadamente 120°. Un rascador magnético elimina el MRF de la rueda. La dimensión relativamente pequeña del conjunto de imán permanente permite el
- 40 uso de una rueda de radio pequeño para proporcionar espacio libre en cada lado de la superficie portadora de manera que los sustratos de concavidad abrupta, que deben extenderse más allá de los bordes de la rueda durante desplazamientos de acabado, pueden acomodarse para el acabado. La extensión angular de las piezas polares hace que el MRF quede retenido sobre la rueda por un ángulo central extendido de la misma.

- El principio del funcionamiento del sistema magnético de imán permanente de campo variable consiste en la redistribución de flujo magnético generado por un imán permanente en un circuito magnético con entrehierros amagnéticos primario y secundario. El sistema de imanes de campo variable comprende dos piezas polares realizadas en un material magnéticamente suave tal como hierro, que define un cuerpo magnético, con una cavidad cilíndrica perforada por el centro. Las mitades de hierro están unidas juntas en los entrehierros primario y secundario por un material amagnético tal como latón, aluminio o plástico. Un imán permanente cilíndrico, formado, por ejemplo en samario-cobalto, neodimio-hierro-boro, cerámica o similar y magnetizado perpendicularmente al eje de cilindro se inserta en la
- 55 cavidad y se fija un actuador para permitir la rotación del imán alrededor de su eje longitudinal en cualquier ángulo

deseado. El hecho de la rotación cambia la distribución del flujo magnético en el circuito magnético a través de las piezas polares de hierro; de este modo, se puede controlar la intensidad de campo en los entrehierros girando y posicionando el imán permanente en cualquier ángulo que proporcione la intensidad de campo necesaria. Debido a que el campo en ambos entrehierros también está pasando de manera efectiva por encima de las piezas polares, un campo periférico en el entrehierro primario se extiende fuera de la rueda y a través de la capa de fluido MR en la superficie de rueda, variando de este modo la rigidez del fluido MR, como sería deseable para el control de acabado. La dimensión y la forma del entrehierro secundario, que está separado por 180° del entrehierro primario, influye sobre la intensidad del campo en el entrehierro primario.

### Breve descripción de los dibujos

10 La presente invención se describirá ahora, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos anexos, en los que:

La figura 1 es una vista en alzado y sección transversal generada por modelado magnético informatizado, tomada a través de un sistema de imán permanente de campo variable de acuerdo con la presente invención y que muestra campo magnético cero en los entrehierros primario y secundario cuando el campo magnético en el imán permanente cilíndrico está orientado en vertical.

15 La figura 2 es una vista en alzado y sección transversal como la mostrada en la figura 1, que muestra un campo magnético máximo en los entrehierros cuando el campo magnético en el imán permanente cilíndrico está orientado en vertical.

La figura 3 es una vista en alzado y sección transversal como la mostrada en las figuras 1 y 2, que muestra un campo magnético de intensidad intermedia en los entrehierros cuando el campo magnético en el imán permanente cilíndrico tiene una orientación de 45°.

20 La figura 4 es un gráfico que muestra intensidad de flujo magnético por encima de la rueda en el entrehierro primario para varias orientaciones de imán cilíndrico como una función de posición angular por encima de la rueda de acabado.

La figura 5 es una vista isométrica de un aparato MRF de acuerdo con la presente invención.

25 La figura 6 es una vista en sección transversal tomada a lo largo del plano 6-6 en la figura 5; y

La figura 7 es una vista en sección transversal tomada a lo largo del plano 7-7 en la figura 5.

Los caracteres de referencia correspondientes indican las partes correspondientes a través de las diversas vistas. La ejemplificación expuesta en el presente documento ilustra una realización preferida de la invención, de una forma, y tal ejemplificación no se ha de interpretar como que limita en modo alguno el ámbito de la invención.

### 30 Descripción de las realizaciones preferidas.

Con referencia a la figura 1, un sistema de imán permanente de campo variable 10 de acuerdo con la presente invención comprende dos polos 12, 14 realizados en un material magnéticamente suave, preferiblemente hierro, que define un cuerpo magnético 15 con una cavidad cilíndrica 16 perforada a través del centro. Las mitades de cuerpo 12, 14 están unidas juntas por un material amagnético tal como latón, aluminio o plástico definiendo un entrehierro primario 18 y un entrehierro magnético secundario 19 entre las mitades 12, 14. Un imán permanente cilíndrico 20 magnetizado perpendicularmente al eje de cilindro se inserta en la cavidad 16 y se fija un actuador 110 (mostrado en las figuras 5-7) para permitir la rotación del imán 20 alrededor del eje 22. Tal imán está disponible, por ejemplo en Dexter Magnetic Technologies, Elk Grove Village, Illinois, EE.UU. El hecho de la rotación cambia la distribución del flujo magnético 24 en el circuito magnético. Cuando el campo 26 del imán permanente está dirigido en vertical como se muestra en la figura 1, el flujo 24 se distribuye de manera regular entre dos mitades 12, 14 que actúan como derivaciones magnéticas. En este caso, no hay campo magnético neto en los entrehierros 18, 19 (posición de "sin campo").

Con referencia ahora a la figura 2, el campo 26 dentro del imán permanente 20 está dirigido en horizontal girando el imán 20 dentro de la cavidad 16 a una nueva posición de 90° respecto de la posición mostrada en la figura 1, haciendo que el flujo 24 atravesase ahora los entrehierros 18, 19 entre las piezas polares 12, 14. Se observa que esta posición del imán 20 produce la intensidad de campo máxima en los entrehierros 18, 19 (posición máxima).

Con referencia ahora a la figura 3, una posición de rotación intermedia a modo de ejemplo del imán permanente 20 (ángulo de campo = 45°) da como resultado intensidades de campo intermedias 30, 31 que dependen del ángulo al que está orientado el campo magnético 26. De este modo, se puede controlar la intensidad de los campos 30, 31 en los entrehierros 18, 19, respectivamente girando y posicionando el imán permanente 20 a cualquier ángulo que proporcione la intensidad necesaria del campo primario 30.

Debido a que el campo 30 está pasando también de manera efectiva por encima de las piezas polares 12, 14 (campo periférico 32), el campo variable 30 se extiende por una capa de fluido MR 112 en la rueda portadora (no mostrada pero visible en las figuras 5-7), variando de este modo de manera controlable la rigidez del fluido MR, como sería deseable para controlar la velocidad de acabado.

55 Cabe señalar que la geometría (dimensión y forma) del entrehierro secundario 19 afecta al campo magnético 30 en el entrehierro primario 18 y de este modo es un parámetro importante en la creación de una intensidad de campo deseada en el entrehierro primario 18. Preferiblemente, la anchura de trabajo del entrehierro secundario 19 es superior o igual a la

anchura del entrehierro primario 18.

5 Con referencia a la figura 4, las curvas representativas de intensidad magnética a lo largo de la circunferencia de rueda portadora se muestran para varios ángulos de campo 26 expresados como ángulos que salen de un plano 34 que contiene el eje 22 y paralelos a un plano 36 que atraviesa el entrehierro 18, como se muestra en la figura 1. De este modo, la curva 40 representa la orientación de 90° en la figura 1; la curva 42, la orientación de 0° en la figura 2; la curva 44, la orientación de 45° en la figura 3; y la curva 46, una orientación de 30°.

10 Con referencia a las figuras 5 a 7, un sistema mejorado 100 para acabado magnetoreológico de un sustrato 102 de acuerdo con la presente invención comprende una rueda portadora 105 orientada en vertical que tiene un eje horizontal. La rueda portadora 104 es preferiblemente una sección ecuatorial de una esfera, de manera que la superficie portadora 106 es esférica. La rueda 104 tiene en general forma de cuenco, comprendiendo una placa circular 108 conectada a medios motrices giratorios 110 y soportando la superficie esférica 106 que se extiende lateralmente desde la placa 108. Un sistema de imán permanente de campo variable 10 que tiene piezas polares norte y sur 12, 14 está dispuesto dentro de la rueda 104, dentro de la envoltura de la sección esférica definida por la rueda, preferiblemente encerrada por una placa de cobertura 105. Preferiblemente, las piezas polares 12, 14 se extienden por un ángulo de rueda central de aproximadamente 120°, de manera que el fluido magnetoreológico 112 se mantiene en un estado parcialmente rigidizado claramente por delante de y claramente más allá de la zona de trabajo 114 totalmente rigidizada. Un rascador magnético 116 elimina el RMF 112 de la rueda a medida que la rigidización se relaja y vuelve a un sistema de distribución de fluido convencional (no mostrado) para el acondicionamiento y la reextrusión sobre la rueda. La dimensión relativamente pequeña del imán permanente 20 permite que el uso de una rueda pequeña proporcione espacio libre en cada lado de la superficie portadora de manera que se pueden acomodar sustratos muy o profundamente cóncavos, que deben extenderse más allá de los bordes de la rueda para el acabado.

20 Como se ha descrito anteriormente, el principio de funcionamiento del sistema magnético de imán permanente de campo variable consiste en la redistribución de flujo magnético generado por el imán permanente 20 en un circuito magnético que incluye el entrehierro primario 18 y el entrehierro secundario 19. Se fija un actuador 118 para permitir la rotación del imán y su eje de magnetización al ángulo deseado. Se proporciona un sensor 120 (por ejemplo, potenciómetro de posicionamiento, codificador óptico, o similar) para permitir la medición del ángulo de imán. Preferiblemente, se instala un sensor de efecto Hall o alguna otra sonda apropiada (no mostrada) bien en el entrehierro primario 18 o bien en el entrehierro secundario 19 para medir la densidad de flujo magnético para el control del actuador 119 mediante un bucle de realimentación convencional incluyendo el sensor 120 mediante un medio de control programable convencional (no mostrado) para establecer la intensidad de campo deseada.

25 Aunque se ha descrito la invención por referencia a varias realizaciones específicas, se ha de entender que se pueden realizar numerosos cambios en el ámbito de los conceptos inventivos descritos. En consecuencia, se entiende que la invención no se limita a las realizaciones descritas, sino que tendrá un alcance pleno definido por la redacción de las siguientes reivindicaciones.

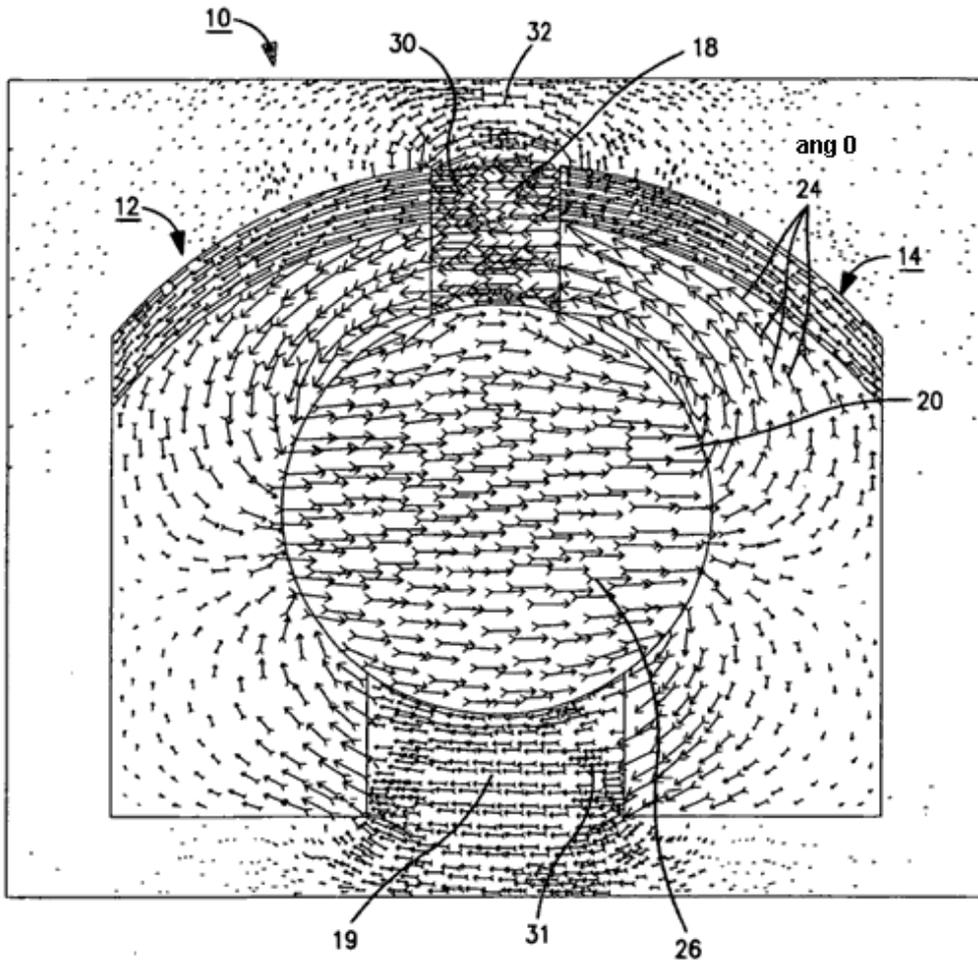
35

**REIVINDICACIONES**

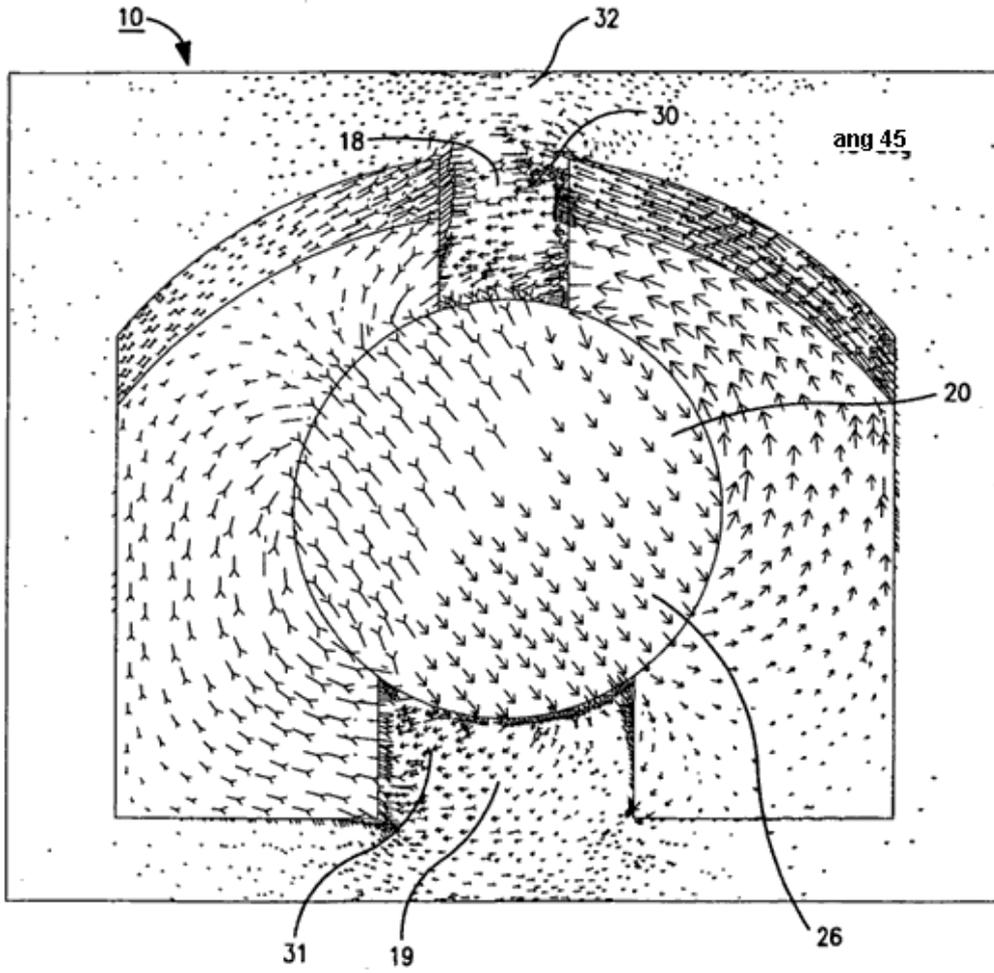
- 1.- Un sistema de imán permanente (10) para variar de manera controlable la intensidad de un campo magnético, que comprende:
- 5 a) una primera y una segunda piezas polares (12, 14) formadas por un material magnéticamente suave que define conjuntamente un cuerpo magnético (15), teniendo dicha primera y segunda piezas polares (12, 14) un entrehierro primario (18) y un entrehierro secundario (19) formados entre extremo opuestos de los mismos y con una cavidad cilíndrica (16) formada en dicho cuerpo magnético (15);
- 10 b) un imán permanente cilíndrico (20) magnetizado perpendicularmente a un eje longitudinal del mismo y dispuesto de manera giratoria endicha cavidad cilíndrica (16).
- 2.- Un sistema de imán permanente (10) de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicho material magnéticamente suave es hierro.
- 3.- Un sistema de imán permanente (10) de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicho imán permanente cilíndrico (20) está formado por un material que incluye un elemento de tierras raras.
- 15 4.- Un sistema de imán permanente (10) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que dicho imán permanente (20) incluye un material seleccionado a partir del grupo que consiste en samario, cobalto, neodimio, hierro, boro, y material cerámico.
- 5.- Un sistema de imán permanente (10) de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la anchura de dicho entrehierro secundario (19) entre dichos extremos de piezas polares opuestas es al menos igual a la anchura de dicho entrehierro primario (18).
- 20 6.- Un sistema (100) para acabado magnetoreológico de un sustrato (102) que comprende:
- a) una rueda portadora (104); y
- b) medios motrices (110) para accionar dicha rueda portadora (104); estando dicho sistema (100) **caracterizado por:**
- 25 c) una primera y una segunda piezas polares (12, 14) dispuestas adyacentes a dicha rueda portadora (104) y formadas por un material magnéticamente suave que define conjuntamente un cuerpo magnético (15), teniendo dichas primera y segunda piezas polares (12, 14) un entrehierro primario (18) y un entrehierro secundario (19) formados entre extremos opuestos de los mismos y con una cavidad cilíndrica (16) formada en dicho cuerpo magnético (15), y
- 30 d) un imán permanente cilíndrico (20) magnetizado perpendicularmente a un eje longitudinal del mismo y dispuesto de manera giratoria en dicha cavidad cilíndrica (16).
- 7.- Un sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 6 que comprende, además, medios actuadores (118) conectados operativamente a dicho imán permanente cilíndrico (20) para causar la rotación selectiva de dicho imán permanente cilíndrico (20) alrededor de dicho eje para variar la dirección y la intensidad del flujo magnético dentro de dichas primera y segunda piezas polares (12, 14) y, de este modo, variar la intensidad de campo magnético dentro de dichos entrehierros primario y secundario (18, 19).
- 35 8.- Un sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende, además:
- a) primeros medios de detección (120) para determinar la posición angular de dicho imán permanente cilíndrico (20) respecto de dichos entrehierros primario y secundario (18, 19); y
- 40 b) medios de control conectados a dichos medios actuadores (118) y que actúan en respuesta a señales de dichos primeros medios de detección (120).
- 9.- Un sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 8 que comprende, además segundos medios de detección conectados a dichos medios de control para determinar la intensidad de campo magnético en al menos uno de dichos entrehierros primario y secundario (18, 19).

45

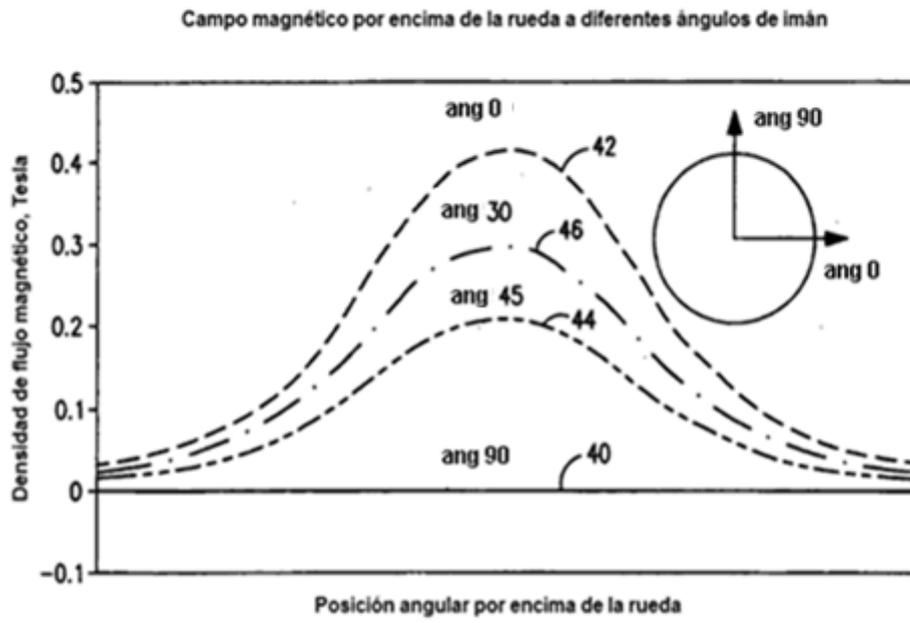




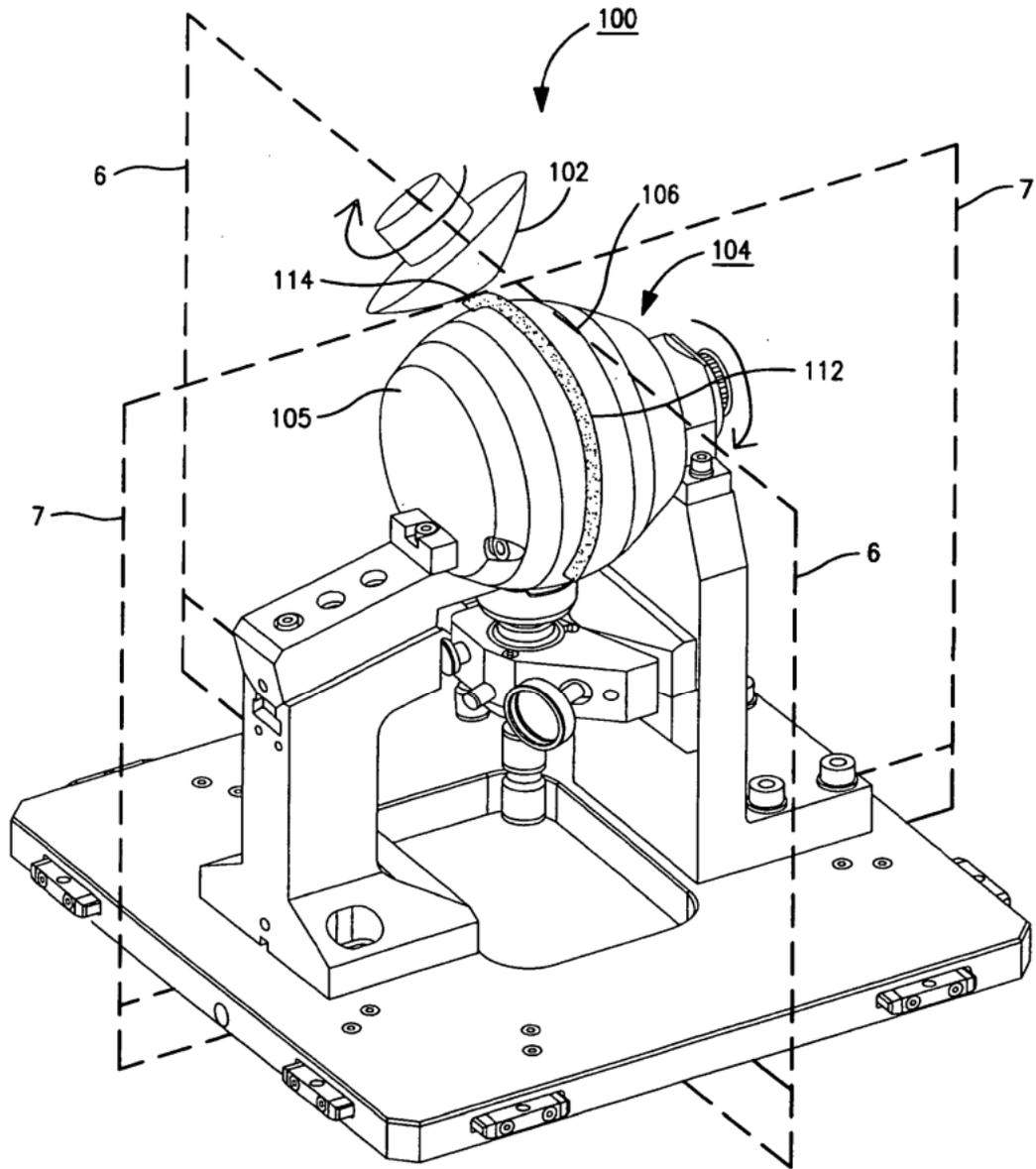
**FIG. 2**



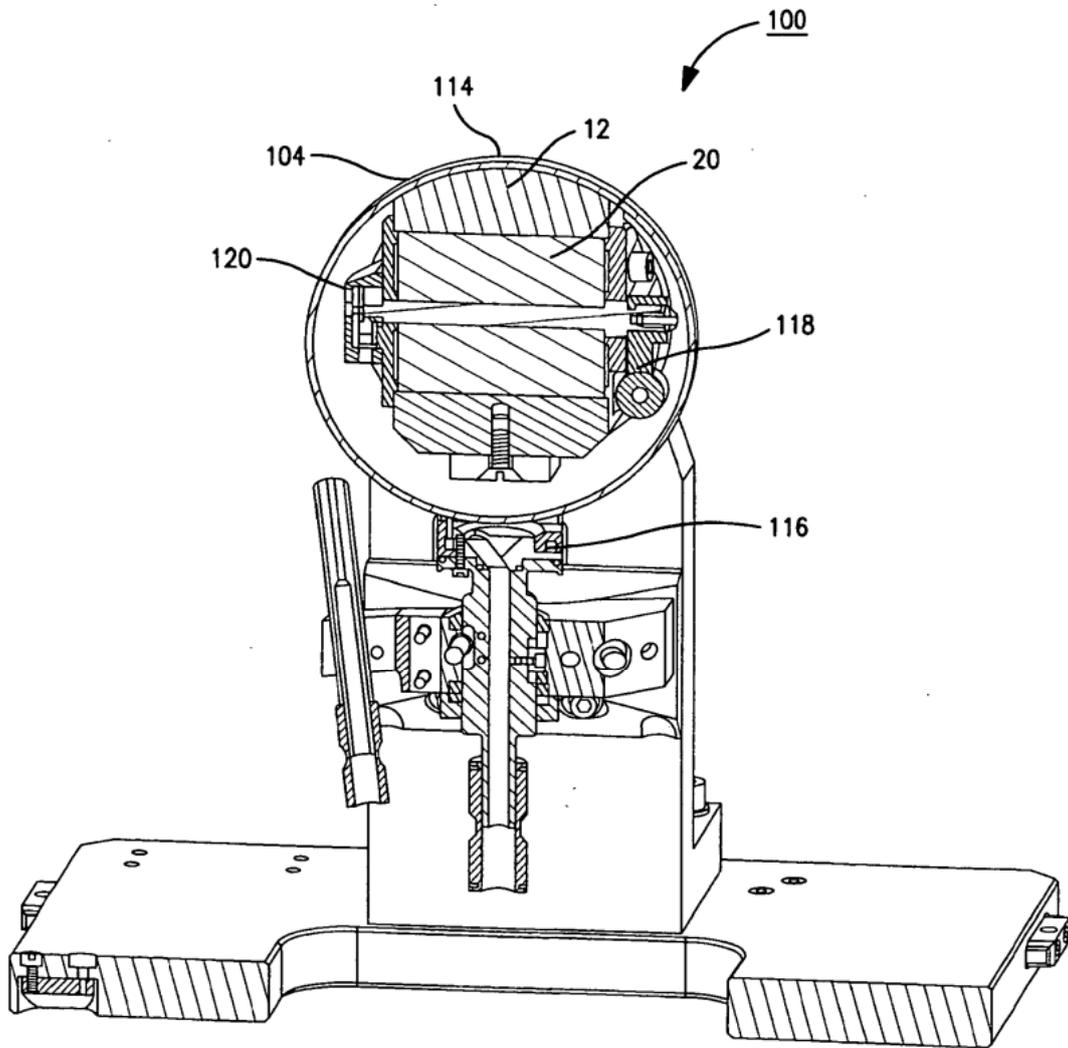
**FIG. 3**



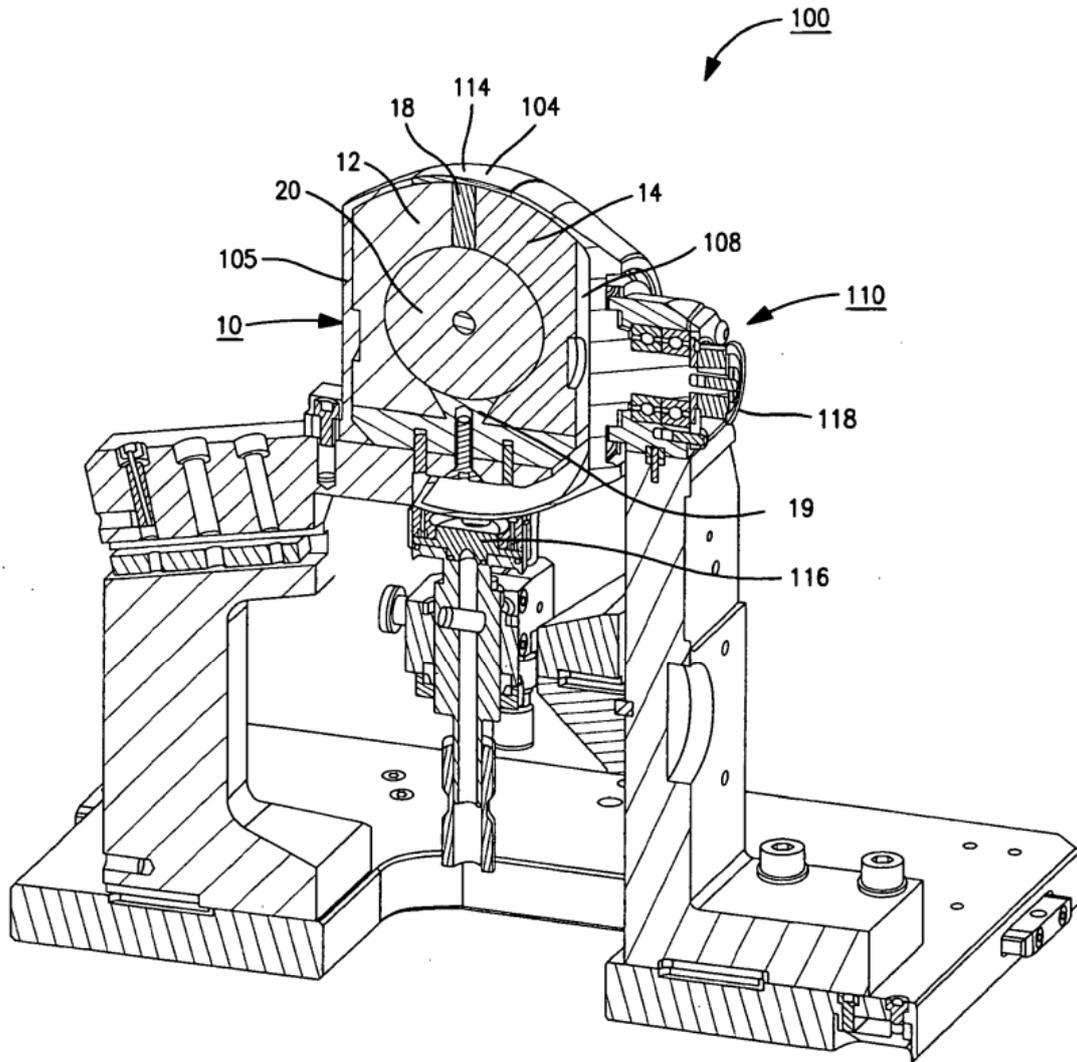
**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**



**FIG. 7**