



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 307 548**

(51) Int. Cl.:
H02K 44/04 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **00986799 .5**

(96) Fecha de presentación : **20.10.2000**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1293028**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **19.03.2003**

(54) Título: **Método, sistema y aparato que emplea imanes permanentes que tienen campos magnéticos de largo alcance para transferir electromagnéticamente, frenar, y dosificar metales fundidos que se introducen en máquinas de fundición de metales.**

(30) Prioridad: **15.01.2000 US 483813**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.12.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.12.2008

(73) Titular/es: **Hazelett Strip-Casting Corporation**
Mallets Bay, 135 West Lakeshore Drive
Colchester, Vermont 05446, US

(72) Inventor/es: **Kagan, Valery, G.**

(74) Agente: **García-Cabrerizo y del Santo, Pedro María**

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

5 Método, sistema y aparato que emplea imanes permanentes que tienen campos magnéticos de largo alcance para transferir electromagnéticamente, frenar, y dosificar metales fundidos que se introducen en máquinas de fundición de metales.

Campo de la invención

10 La invención pertenece al campo de la fundición de metales, específicamente, la transferencia electromagnética de metales fundidos en la fabricación de artículos metálicos por moldeo, por ejemplo, por máquinas de fundición continua de metales. Y, por ejemplo, por la transferencia periódica de cantidades medidas, dosificadas, controladas y/o predeterminadas de metal fundido en aparatos de fundición que implica una sucesión de moldes idénticos para producir una secuencia o serie de piezas fundidas metálicas sustancialmente idénticas. Los nuevos métodos, sistema y aparato que abarca la invención emplean imanes permanentes que tienen campos magnéticos de largo alcance para transferir electromagnéticamente, frenar, medir y controlar el flujo de metal fundido.

Antecedentes de la invención

20 La necesidad de un flujo controlado de cantidades comerciales de metal fundido es crítica en la fundición de metales en diversos tipos de aparatos de fundición para evitar excesos de flujo o insuficiencias. Por ejemplo, un flujo continuo controlado es ventajoso para ajustar el caudal de metal fundido a la velocidad de un dispositivo o máquina de fundición de metales en que se está introduciendo el metal fundido en una base continua. En la técnica anterior, se usan hornos oscilantes caros, lavaderos, y vástagos de tapón servo-controlados. Sin embargo, la respuesta a señales de control en la técnica anterior ha sido relativamente lenta, y el mantenimiento puede ser costoso. Además, cada detención de una operación de fundición continua puede implicar el vaciado y refundido de mucho metal fundido.

30 Smith *et al.* en la Patente de Estados Unidos 5.377.961 describía un dispositivo para proyectar pequeñas gotas de soldadura sobre una placa de circuito. El dispositivo funcionaba según un principio que se remonta a Michael Faraday y André-Marie Ampère en los primeros años del siglo diecinueve. La regla de los tres dedos tridimensional de Faraday de fuerza electromotriz inducida se ejemplifica también en los bobinados de rotores electromecánicos. Este principio también se conoce como la ley de Ampère-Lorentz.

35 Las bombas de la técnica anterior de principio similar se han descrito en las siguientes publicaciones por:

1) L. R. **Blake**, titulado "Conduction and Induction Pumps for Liquid Metals", *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers* Volumen 104 (Julio 1956) pág. 49-67; y

40 2) D. A. **Watt**, titulado "The Design of Electromagnetic Pumps for Liquid Metals", *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, Volumen 106 (Diciembre 1958) pág. 761-781 (a partir de ahora "Watt").

45 Las bombas se usan para bombear sodio o potasio fundido como refrigerante a través de núcleos de reactores atómicos. En sus bombas, el electroimán era muy grande y caro y se usaba un flujo enorme de corriente eléctrica. Se requerían 100.000 amperios para bombear 7570,80 litros (2.000 galones) al minuto de dicho metal líquido muy ligero (Watt, pág. 98, 95).

50 Bykhovsky *et al.* en la Patente de Estados Unidos 5.009.399 usaba el principio de Faraday. Su zona de presurización era una cavidad cilíndrica circular, axialmente delgada, con forma de disco en la que el metal fundido se inducía a formar remolinos. Un "solenoid" electromagnético sin partes móviles era la fuente de magnetismo unidireccional a través de la dimensión delgada de la cavidad cilíndrica.

Los electroimanes y los imanes permanentes ordinarios están drásticamente disminuidos en su densidad de flujo magnético por un obstáculo de incluso un pequeño hueco no magnético colocado en su circuito magnético.

55 El documento GB 2317506 se refiere a una bomba de metal líquido que tiene electrodos desmontables aislados. El documento GB 2317506, sin embargo, es para su uso en el bombeo de estaño fundido y no emplea imanes-neo capaces de generar fuerzas magnéticas de largo alcance que pueden extenderse a través de un hueco no magnético relativamente grande.

60 El documento US 5209646 describe una bomba de inducción electromagnética para su uso con sistemas de refrigeración para equipos de rayos X y chips informáticos. La patente describe el bombeo de un metal líquido de temperatura muy baja para absorber calor. Dada la temperatura extremadamente baja del metal líquido, los imanes-neo permanentes se colocan en contacto directo con sistemas de tuberías enrollados. Dicha configuración es inadecuada para la mayoría de los metales fundidos ya que temperaturas más elevadas reducirían drásticamente la eficacia de dichos imanes volviéndolos inservibles.

Sumario de la descripción

Los métodos, sistema y aparato que abarca la presente invención son aplicables para impulsar electromagnéticamente, transferir, frenar, medir y/o controlar el flujo de cantidades sustanciales de metal fundido a través de un conducto de presurización. Dicho flujo de metal fundido puede ser hacia o al interior de cualquier aparato de fundición adecuado, por ejemplo, tal como un flujo continuo controlado en una máquina de fundición continua de metales como se muestra ilustrativamente en las Fig. 1 y 1A. Además, dicho flujo puede ser, por ejemplo, una transferencia periódica de cantidades medidas, dosificadas, controladas y/o predeterminadas de metal fundido en un aparato de fundición adecuado que implica una sucesión de moldes idénticos para producir una secuencia o serie de piezas fundidas metálicas idénticas.

Se emplea el principio de Faraday-Ampère, en el modo de motor, por el que la energía eléctrica se convierte en energía mecánica para su uso de la forma más característica como una bomba. El modo de funcionamiento es fácilmente reversible para que sirva como freno o regulador.

El coste prohibitivo y el enorme volumen de un electroimán para alcanzar la excitación magnética necesaria para superar un hueco grande en el circuito magnético se evita por el uso de “imanes-neo” permanentes, de elevada energía que constan de material magnético que comprende un elemento de tierras raras, por ejemplo, tal como neodimio. Se ha calculado que las propias bobinas, es decir, los bobinados de alambre de imán, de la configuración más eficaz de un electroimán de capacidad equivalente a la de imanes-neo permanentes de elevada energía que contienen tierras raras, ocuparían aproximadamente 130 veces el volumen que ocupan los imanes-neo. Además, los imanes-neo no generan calor residual, mientras que un electroimán generaría calor considerable, debido al paso de un gran amperaje a través de la resistencia eléctrica de sus bobinados.

La capacidad de “largo alcance” de los imanes-neo posicionados, orientados y dispuestos en ensamblajes específicamente configurados como se muestra y se describe posibilita, desde el primer momento, un control preciso, económicamente factible del flujo de cantidades comerciales de metales fundidos. Dicho control preciso hace posible el arranque o detención o ajuste de los flujos de metal fundido casi instantáneamente. No hay partes móviles. El área de flujo de metal fundido está encerrada, o está protegida por una atmósfera inerte y por tanto el flujo evita el contacto turbulento y corrosivo con la atmósfera.

El método, sistema y aparato opcionalmente incluyen un caudalímetro electromagnético. Este caudalímetro emplea el principio de Faraday en el modo de generación, por el que la energía mecánica se convierte en energía eléctrica. Por tanto, la salida de un detector eléctrico indica la velocidad de metal fundido y puede usarse para controlar la dinámica de bombeo.

El objeto de la invención se ha conseguido con un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, un sistema de acuerdo con la reivindicación 41 y un método de acuerdo con la reivindicación 42.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos, las flechas vacías marcadas con B representan un campo magnético intenso que tiene un eje de flujo magnético unidireccional. Las flechas vacías marcadas con I representan el eje de corriente continua mostrada fluyendo de “+” a “-” en varias Figuras. Las flechas vacías marcadas con M representan la dirección del flujo de metal fundido en el modo de bombeo; y flechas vacías P representan el recorrido de producto congelado.

Los números y letras de referencia correspondientes indican elementos, miembros y/o componentes correspondientes en diversas Figuras.

La Fig. 1 es una vista en alzado que muestra una bomba electromagnética que abarca la invención y dispuesta para bombear metal fundido hacia arriba desde un horno hasta una máquina de fundición de metales de correa sin fin como un ejemplo de un dispositivo de fundición que puede usarse para sacar provecho en cooperación con dicha bomba electromagnética.

La Fig. 1A es como la Fig. 1 excepto en que el conducto desde la bomba hasta la máquina de fundición continua está omitido en gran medida. En esta Fig. 1A, el metal fundido se muestra siendo impulsado hacia arriba en forma de una corriente desde una fuente de chorros de arco parabólico, ilimitada, libre que se mueve a través de una atmósfera inerte protectora.

La Fig. 2 es una vista en perspectiva de una bomba de metal fundido que abarca la presente invención. El aparato de bomba se observa desde el punto de vista mirando hacia abajo de forma oblicua desde arriba y corriente arriba. Principalmente en trazos discontinuos se muestran cuatro imanes-neo permanentes de elevada energía -- dos en un ordenamiento por pares encima y dos en un ordenamiento por pares debajo del flujo de metal fundido M, como se muestra más claramente en la Fig. 2A. Cada par de imanes se muestra ensamblado en las Fig. 2 y 2A con una pieza polar ahusada respectiva cuya superficie polar está enfocada hacia el flujo de metal fundido M.

La Fig. 2A es una vista en alzado frontal de la bomba mostrada en la Fig. 2. Para claridad de ilustración, la Fig. 2A muestra solamente los ensamblajes de imán-neo, con sus piezas polares retenidas en las carcasas o camisas no magnéticas y el tramo ferromagnético blando.

La Fig. 3 es una vista en perspectiva de un conducto de presurización y componentes asociados en el aparato de bomba de metal fundido de la Fig. 2 que se observa mirando hacia debajo de forma oblicua desde arriba y corriente arriba.

5 La Fig. 3A es una vista en perspectiva del despiece del conducto de presurización de la bomba de la Fig. 2 y componentes asociados que se observa de forma oblicua desde arriba y corriente arriba. Esta vista muestra elementos asociados con electrodos de bomba y con electrodos detectores de velocidad. Las líneas verticales del flujo magnético unidireccional B se indican por cruces pequeñas.

10 La Fig. 4 es una vista en perspectiva de una bomba de metal fundido de elevada densidad de flujo, de concentración, que abarca la presente invención, que se observa de forma oblicua desde arriba y mirando corriente abajo. Un corte parcial revela una célula de refrigeración superior y una parte adelgazada de un conducto de bombeo. Para claridad de ilustración, los ensamblajes superior e inferior de imanes-neo de elevada energía y sus piezas polares respectivas no están representados en esta vista.

15 La Fig. 5 es una vista en planta del conducto de presurización de la bomba de metal fundido mostrada en la Fig. 4. Las líneas verticales de flujo magnético unidireccional se observan generalmente en sección transversal y se indican por pequeñas cruces.

20 La Fig. 6 es una vista en perspectiva seccionada y de despiece del conducto de presurización de la bomba de metal fundido de elevada densidad de flujo, de concentración, mostrada en la Fig. 4, observada desde el mismo punto de vista que en la Fig. 4. Además, se muestran cuatro electrodos detectores de velocidad.

25 La Fig. 7 es una vista en perspectiva de un ensamblaje de imán-neo de elevada densidad de flujo, de concentración, quintuple, que se emplea en la bomba de metal fundido mostrada en las Fig. 4, 5 y 6. La Fig. 7 se observa desde el mismo punto de vista que en las Fig. 4 y 6. Para claridad de ilustración, se omiten los bloques de relleno inertes, que se muestran en las Fig. 9 y 10, de las Fig. 7 y 8.

30 La Fig. 8 es una vista en perspectiva del despiece del ensamblaje de imán-neo mostrado en la Fig. 7.

La Fig. 9 es una vista en perspectiva del ensamblaje de imán-neo de la Fig. 7 que muestra en trazo discontinuo bloques de relleno de soporte magnéticamente inertes que se incluyen en el ensamblaje mostrado en la Fig. 7, pero que se omitieron de la Fig. 7 para claridad de ilustración.

35 La Fig. 10 es una vista en perspectiva del despiece de los elementos en el ensamblaje mostrado en la Fig. 9.

La Fig. 11 es una vista en alzado seccional tomada a través del aparato de las Fig. 4, 6 y 12 a lo largo del plano 11-11.

40 La Fig. 12 es una vista seccional en planta tomada a lo largo del plano 12-12 en las Fig. 11 y 13 para mostrar una unidad de refrigeración laminada que protege los imanes-neo del calor.

La Fig. 13 es una vista lateral parcial de los elementos mostrados en la Fig. 12, que se observa desde la posición 13-13 en la Fig. 12.

45 La Fig. 13A es una vista en perspectiva de una pieza polar triangular con sus tres imanes alrededor. Su imán final se muestra en relación despiezada.

La Fig. 13B es una vista en perspectiva de una pieza polar hexagonal con sus seis imanes alrededor. Su imán final se muestra en relación despiezada.

La Fig. 13C es una vista en perspectiva de una pieza polar circular en su imán anular unitario y su imán final se muestra despiezado.

55 La Fig. 14 muestra los bucles de histéresis de la magnetización y desmagnetización de material magnético-neo permanente, de elevada energía, que contiene tierras raras en comparación con material magnético permanente alnico 5.

La Fig. 15 es una vista en alzado de un sistema de ensayo adecuado.

60 La Fig. 16 ilustra la capacidad de fuerza de atracción de largo alcance de imanes-neo “de largo alcance” ejercida a través de un hueco no magnético relativamente grande en comparación con la disminución rápida e indeseable de la fuerza de atracción ejercida por imanes alnico 5 a través del mismo hueco no magnético.

65 La Fig. 17 es una vista en perspectiva desde arriba de una configuración magnética de triple entrada larga. Los imanes finales se muestran en relación despiezada.

La Fig. 18 es una vista en perspectiva que muestra otra realización de la invención que incluye dos ensamblajes cúbicos de ocho imanes-neo cada uno. Se muestran el conducto de presurización y dos refrigeradores planos posicionados entre estos dos ensamblajes cúbicos de imanes-neo.

- 5 La Fig. 19 es una vista en alzado frontal de la realización de la Fig. 18. La Fig. 19 muestra un tramo ferromagnético rectangular asociado con los dos ensamblajes cúbicos de imanes-neo. Este tramo está omitido de la Fig. 18 para claridad de ilustración.

Descripción detallada de la realización preferida

10

El propósito de las bombas electromagnéticas descritas 32, 32G (Fig. 2, 4) es impulsar o retardar el flujo de metal fundido hacia, o al interior de, un molde o una máquina de fundición de metales.

15

Las realizaciones de la presente invención pueden, por ejemplo, usarse para sacar provecho en conexión con una máquina de fundición continua de metales de tipo correa 30 (Fig. 1) o 30' (Fig. 1A). Dichas máquinas se conocen en la técnica de fundición continua y utilizan una o más correas flexibles sin fin 22 o 22', 24 o 24' como una pared o paredes de una cavidad de molde en movimiento C. Dicha correa de moldeo es móvil, sin fin, delgada, flexible, conductora de calor, y está refrigerada por líquido, normalmente por agua. En una máquina que emplea dos correas, una correa de moldeo superior 22 o 22' gira alrededor de un carro superior U o U', y una correa de moldeo inferior 24 o 24' gira alrededor de un carro inferior L o L'. Las dos correas giran de forma unísona alrededor de trayectos ovales indicados por las flechas 34, mientras que el metal fundido se congela entre ellos en la cavidad de molde móvil C formada entre las dos correas de moldeo que giran para formar un producto moldeado emergente P.

25

Como se sabe en la técnica de máquinas de fundición continua, un par de damas laterales lateralmente espaciadas 25 (solamente se observa una en las Fig. 1 y 1A) también son giratorias (flecha 34) y están adecuadamente guiadas por rodillos de giro libre 23. Estas damas laterales definen lateralmente un par de lados espaciados de la cavidad de molde móvil C.

30

Como una realización ilustrativa, un suministro de metal fundido M en un horno de fusión u horno de mantenimiento 28 (Fig. 1, 1A) fluye al interior de una bomba electromagnética 32 (Fig. 1, 1A, 2, 3, 3A), opcionalmente provista de medios de auto-calentamiento (no mostrados). La bomba electromagnética 32 está a una elevación inferior con relación al nivel 29 de metal fundido para permitir que el horno 28 se drene a un nivel deseado sin necesidad de cebar la bomba. La tubería internamente aislada 36 transporta el metal M en dirección ascendente hacia la máquina de fundición 30. En la Fig. 1, el metal M se bombea en dirección ascendente en un embudo o distribuidor 38 para distribuir el flujo de metal en el extremo de entrada corriente arriba 42 de la máquina de fundición continua de metales 30.

40

Otra realización ilustrativa de la invención para suministrar metal fundido M a través de una bomba electromagnética 32 en una máquina de fundición 30' se muestra en la Fig. 1A, donde la tubería internamente aislada 36 de la Fig. 1 es corta y está curvada para formar una tubería de codo 36'. El metal fundido M bombeado en dirección ascendente se impulsa en dirección ascendente en uno (o más) trayectos parabólicos, no cerrados, libres en forma de una o más corrientes desde una fuente de chorros ilimitadas 27 que viajan a través de una atmósfera ambiental adecuadamente inerte 31. La corriente (o corrientes) 27 finalmente vierte en un depósito abierto 40 de metal fundido en una posición poco por debajo de un vértice V de su trayecto o trayectos parabólicos. En la Fig. 1A el depósito abierto 40 se proporciona posicionando el carro superior U' algo corriente abajo con relación al carro inferior L'. Este método de corriente desde una fuente de chorros de bombeo en dirección ascendente y vertido 27 (Fig. 1A) en un depósito abierto tiene la ventaja de evitar la contaminación en el caso de que el revestimiento refractario de la tubería 36 o 36' pueda llegar a ser frágil y colapsarse cuando se vierten los metales de elevada temperatura de fusión. Por tanto, se está eliminado una posible fuente de contaminación del metal fundido M en la cavidad de molde móvil C y en el producto P. Cualquier partícula o escama que se pueda colapsar del material refractario que pudiera comenzar a impulsarse en dirección ascendente por la corriente desde una fuente de chorros 27 está libre para desprenderse de, y separarse de, la corriente o corrientes ilimitadas antes de que la corriente o corrientes alcancen el vértice V.

55

Consideraciones de diseño generales. Este aparato 32 (Fig. 2) y 32G (Fig. 4) para impulsar o controlar el flujo de cantidades sustanciales de metal fundido funciona según el principio de Faraday-Ampère en su modo de motor, para convertir la energía eléctrica en energía cinética mecánica del metal fundido en un paso 43 de un conducto de presión 48 (Fig. 2) o 48G (Fig. 4). El aparato 32 ó 32G es más característicamente una bomba, pero es fácilmente reversible eléctricamente y por tanto puede usarse como un freno o regulador o para el bombeo en dirección inversa.

60

El hueco 44 o 44G debe hacerse lo más corto posible, tanto por la economía del material magnético como para minimizar la fuga magnética. Para los propósitos experimentales hasta la fecha, ha sido factible y satisfactorio un hueco 44 (Fig. 2A, 3 y 3A) y un hueco 44G (Fig. 11) de aproximadamente 38 mm (aproximadamente 1,5 pulgadas). Estos huecos 44 y 44G contienen material no magnético, y estos huecos se localizan entre un par de polos magnéticos que se describen posteriormente. Normalmente se necesitaría un inmenso electroimán para superar dicho hueco 44 en un circuito magnético de dos bucles, mostrado por líneas discontinuas en 61 (Fig. 2), o para superar dicho hueco 44G en un circuito magnético de un bucle mostrado por líneas discontinuas en 61G (Fig. 4). Dicho enorme electroimán se evita por el uso de imanes de "largo alcance" permanentes 56, que también se llaman "imanes-neo" (Fig. 2, 7, 8, 9, 10, 11, 17) dispuestos y ensamblados en diversas configuraciones potentes específicas como se muestra. Estos imanes

56 comprenden material magnético permanente que incluye un elemento químico de “tierras raras”, por ejemplo tal como neodimio o samario. Un elemento de “tierras raras” es un elemento de la serie de la familia de los lantánidos de elementos químicos de número 57 a 71. Las características preferidas deseables de dicho material de imán-neo permanente se describen con detalle adicionalmente a continuación.

En resumen, dichos imanes permanentes de “largo alcance”, en este documento también se llaman “imanes-neo”, son notables por la resistencia magnética que proporcionan y por su capacidad energética única de dirigir sus campos magnéticos B para alargarse a través de huecos de aire relativamente anchos, huecos de espacio, o huecos de materiales no magnéticos, es decir, materiales no ferromagnéticos, proporcionando al mismo tiempo un intenso campo magnético B que se extiende a través de dicho hueco. Su capacidad de largo alcance es bastante superior al comportamiento de imanes ordinarios en un circuito magnético que tiene uno o más huecos de material no magnético. (Los materiales paramagnéticos se tratan en este documento como no magnéticos.)

Posteriormente se proporcionan una descripción y definiciones adicionales de los imanes-neo actualmente preferidos.

Construcción de una primera realización de la invención. Una primera realización de la invención en forma de una bomba electromagnética 32 se muestra en las Fig. 2, 2A, 3 y 3A. Esta bomba es capaz de ejercer una densidad de flujo de aproximadamente 7.000 a 7.500 gauss (aproximadamente 0,7 a 0,75 tesla) en toda un área de aproximadamente 26 centímetros cuadrados (aproximadamente 4 pulgadas cuadradas) que se extiende a través de un hueco no magnético 44 de aproximadamente 38 mm (aproximadamente 1,5 pulgadas). Una parte central de la bomba 32 es un conducto de presurización de pared delgada, recto 48 que comprende un paso 43. Este conducto de presurización 48 preferiblemente es de pared relativamente delgada y aplanado, por ejemplo que tiene un paso de sección transversal estrecho, recto y sustancialmente constante 43 en toda su área de trabajo 50. El paso 43 se muestra teniendo una altura 67 (Fig. 3A) de aproximadamente 5,5 mm (aproximadamente 0,22 pulgadas) y anchura 66 (Fig. 3A) de aproximadamente 51 mm (aproximadamente 2 pulgadas). Por tanto, el paso 43 tiene un área de sección transversal de aproximadamente 2,8 centímetros cuadrados (aproximadamente 0,44 pulgadas cuadradas). El conducto de presurización 48 aquí está representado como horizontal, aunque es factible cualquier orientación del aparato 32, 50. El conducto 48 comprende material no magnético que resiste el calor, la corrosión y la erosión del metal fundido M que se mueve a través de la tubería 36 (Fig. 1). Para bombear metales de puntos de fusión inferiores, es adecuado el silicato de calcio; también un metal no magnético tal como acero inoxidable austenítico es adecuado para formar el conducto 48.

El conducto de presurización 48 tiene un paso de bombeo 43 posicionado en el trayecto de un campo magnético unidireccional de flujo 54 (Fig. 3A) que tiene una densidad de flujo B. Este campo magnético 54 está dirigido perpendicularmente a través de la dimensión estrecha (delgada) del área de trabajo aplanada 50. En esta bomba 32, el campo magnético lo aportan dos pares de imanes-neo 56, cada uno de los cuales en esta realización es un cubo por ejemplo que mide aproximadamente 51 mm (aproximadamente 2 pulgadas) a lo largo de cada arista. Se muestra un primer par de imanes 56 con la pieza polar 58 por encima de hueco 44 (Fig. 2A, 3 y 3A). Este hueco 44 se muestra medido en una dirección paralela al eje B del flujo magnético unidireccional 54 (Fig. 3A). Un segundo par de imanes-neo 56 con su pieza polar 58 está posicionado por debajo del hueco 44. Estas piezas polares ahusadas 58 están formadas de un material magnético blando, ferroso (ferromagnético), por ejemplo acero para maquinaria descrito con más detalle posteriormente. Cada par de imanes está retenido junto con su pieza polar 58 por una carcasa de cuatro lados o camisa 59 formado de material no magnético adecuado, por ejemplo, aluminio sujeto a un tramo 60 por tornillos 52 como en la Fig. 2A. Estas dos carcasas 59 están configuradas para abarcar cómodamente respectivamente el primer y segundo par de imanes-neo 56 junto con sus respectivas piezas polares ahusadas 58. La pendiente angular de cada lateral de la pieza polar 58 se mantiene a no más de un ángulo de aproximadamente 30° relativo al eje longitudinal de esta pieza polar, porque un ángulo mayor de convergencia causa un aumento indeseable en el flujo de filtración. Se muestra una convergencia de aproximadamente 30° sobre solamente dos laterales de la pieza polar 58 en la Fig. 2.

Un tramo magnético blando ferroso (ferromagnético) generalmente rectangular 60 rodea los ensamblajes de imanes-neo y establece un circuito magnético 61 que tiene dos bucles que se extienden ambos a través del hueco 44. El acero para maquinaria, por ejemplo que comprende aproximadamente un 0,2 por ciento de carbono en peso es magnéticamente “blando”, es decir, es ferromagnético y es adecuado para fabricar piezas polares 58 y el tramo 60. El acero para maquinaria, por ejemplo, también es adecuado para fabricar una pieza puente 62, que se incluye en un bucle del circuito magnético de dos bucles 61. La pieza puente 62 está sujeta de forma extraíble por pernos 64 para permitir el desensamblaje del aparato de bomba complejo 32 para posibilitar la retirada del conducto de presurización 48, 50.

Las piezas polares superior e inferior 58 tienen superficies polares magnéticas superior e inferior respectivas 87 (Fig. 2A). Estas superficies polares están posicionadas en relación paralela espaciada y definen el hueco no magnético 44. Estas superficies polares planas paralelas superior e inferior son cuadradas, que miden aproximadamente 51 mm (aproximadamente 2 pulgadas) a lo largo de cada lado, teniendo de este modo cada una un área de superficie polar de aproximadamente 27 centímetros cuadrados (aproximadamente 4 pulgadas cuadradas). Estas superficies polares están adaptadas niveladas y ajustadas contra las superficies planas paralelas superior e inferior del área de trabajo aplanada 50 (Fig. 3 y 3A) del conducto 48. La polaridad magnética de las superficies polares superior e inferior 87 son respectivamente Norte (N) y Sur (S).

Como se ha explicado anteriormente, el espaciado vertical entre estas superficies polares planas, paralelas establece el hueco no magnético 44 (Fig. 2A, 3 y 3A) en el circuito magnético de dos bucles 61. Este hueco de aproximadamente

ES 2 307 548 T3

38 mm (aproximadamente 1,5 pulgadas) es sustancialmente igual que la distancia vertical entre las superficies planas paralelas superior e inferior del área de trabajo 50.

Como se muestra en la Fig. 2, el tramo ferromagnético 60 incluye un miembro de apoyo alargado 60a sujeto de forma extraíble por pernos 63 a los miembros transversos superior e inferior 60b y 60c, respectivamente. Estos miembros transversos están sujetos de forma extraíble por otros pernos 63 a los miembros de apoyo superior e inferior 60' y 60'', respectivamente, con la pieza puente 62 atornillada a través del espacio entre ellos.

En la Fig. 3A las líneas de flujo de un campo magnético vertical B se indican en sección por múltiples cruces 54. Estas cruces indican el patrón (distribución) del flujo magnético 54.

Las cruces 55 indican márgenes débiles del patrón de flujo 54. Una corriente continua eléctrica I se dirige transversalmente a través del metal fundido a un bajo potencial. En la Fig. 3 esta corriente I fluye en una dirección indicada por grandes símbolos de polaridad más (+) y menos (-). Esta corriente continua I viaja a través del metal fundido en la parte aplanada eléctricamente no conductora 50 del conducto de presurización 48 y a través de su canal 43 en la dimensión vertical estrecha del canal 67 de aproximadamente 5,5 mm (aproximadamente 0,22 pulgadas) y a través de su dimensión ancha 66 de aproximadamente 51 mm (aproximadamente 2 pulgadas). La corriente I se transmite al metal fundido mediante dos electrodos alargados 68 (Fig. 3A) que tienen cada uno un borne de conexión eléctrica 51 (Fig. 3 y 3A).

La magnitud (amperaje) de esta corriente continua se controla adecuadamente controlando el caudal de bombeo. Aumentado la corriente I se aumenta el caudal impulsado, y viceversa. Inviertiendo la corriente I se invierte la dirección de bombeo y por tanto se invierte el flujo impulsado de metal fundido.

La corriente I atraviesa el metal fundido M en el interior del conducto de presurización 48 en ángulos rectos tanto a la dirección de flujo del metal M como a la dirección del campo magnético B. Las partes que contactan con el metal fundido de los electrodos 68 están insertadas en aberturas alargadas 57 en los lados estrechos opuestos del conducto 48. Las partes externas de los electrodos 68 están capturados en tomas de corriente alargadas 69 en dos portaelectrodos con forma de H extraíbles 47 que están montados en paredes laterales estrechas opuestas del conducto 48. Estos soportes 47 son no conductores y no magnéticos y están sujetos al conducto 48 por tornillos 49 que se acoplan en orificios roscados 49' en los soportes 47 y orificios de paso de tornillo 49'' en el conducto 48.

Los electrodos 68 preferiblemente están fabricados de un material carbonoso, por ejemplo tal como grafito. Electrodos 68 de metal que es químicamente diferente del metal fundido que se está bombeando probablemente se disolverán más rápidamente por la acción electrolítica. Electrodos del mismo metal que el metal bombeado no está tan sometidos a disolución electrolítica. Electrodos metálicos 68 que tienen pasos de refrigeración internos pueden refrigerarse por refrigerante en circulación tal como agua que fluye a través del sistema de tuberías 46 (Fig. 2) mostrado en trazo discontinuo y a través de boquillas 53 que comunican con dichos pasos internos. Esta refrigeración no solamente evita la fusión de los electrodos metálicos 68, sino que también produce una capa protectora solidificada a partir del metal fundido que se congela sobre la superficie expuesta de cada electrodo. Si el conducto de presurización 48 está formado de metal no magnético eléctricamente conductor adecuado, por ejemplo acero inoxidable austenítico, entonces puede usarse la misma fuente de corriente que aporta la contracorriente d.c. I para precalentar el conducto de presurización por acción de calentamiento de la resistencia eléctrica, evitando de este modo congelaciones al inicio. El empleo de dicho metal para el conducto de presurización 48 permite que los electrodos metálicos 68 se fundan o suelden al exterior de dicho conducto y ya no penetren en su pared.

En funcionamiento, hay una presión de bombeo continua a lo largo del canal del conducto de presurización 48, 50. Por inversión repentina de la corriente I, se invierte la dirección de presión, instantáneamente. Esta inversión es útil para frenar o detener repentinamente el flujo de metal, por ejemplo en el arranque y detención repetitivo del flujo de metal fundido para moldear una secuencia de objetos concretos idénticos en una sucesión de moldes móviles idénticos, que se posicionan secuencialmente de forma adecuada y después se mantienen estacionarios para recibir sus materiales de relleno respectivos de metal fundido.

Se muestra otra realización de la invención, por ejemplo en forma de una *bomba electromagnética aumentada*: Esta bomba aumentada 32G (Fig. 4) difiere de la bomba 32 en que emplea un ensamblaje x-y-z de imanes-neo permanentes 56 en una configuración magnética de concentración, quíntuple, 80N como se muestra en las Fig. 7 a 11. Posteriormente se describe otro ensamblaje de concentración, quíntuple, similar pero invertido 80S. Estos ensamblajes de concentración 80N y 80S intensifican la densidad del flujo magnético B' a aproximadamente el 100 por ciento por encima del de la bomba 32. De este modo ejercen una densidad de flujo aumentada B' de aproximadamente 14.000 a aproximadamente 15.000 gauss (aproximadamente 1,4 a aproximadamente 1,5 teslas) a través del hueco no magnético 44G (Fig. 11) en que está posicionado el conducto de presurización 48G que tiene un paso de bombeo 43G.

La parte central del conducto de presurización 48G (Fig. 4, 5, 6) comprende un área de trabajo aplanada 50G. Esta área de trabajo aplanada 50G es relativamente más larga que el área aplanada 50 (Fig. 3 y 3A) para permitir que los diez imanes-neo 56 cooperantes (cada cinco en sus respectivos ensamblajes de concentración 80N y 80S) con sus respectivas piezas polares 86 se posicionen adecuadamente cerca del conducto 48G en relación al área aplanada 50G. Este conducto tiene un paso estrecho 43 que es preferiblemente de pared relativamente delgada y aplanado, por ejemplo que tiene una forma de sección transversal sustancialmente constante, recta, estrecha de altura 67G (Fig. 4)

ES 2 307 548 T3

de aproximadamente 8 mm (aproximadamente 0,315 pulgadas) y anchura 66 (Fig. 4) de aproximadamente 51 mm (aproximadamente 2 pulgadas). Por tanto, el paso 43 tiene un área de sección transversal de aproximadamente 4 centímetros cuadrados (aproximadamente 0,63 pulgadas cuadradas). El conducto 48G aquí está representado como horizontal, aunque es factible cualquier orientación del aparato 32G, 48G. El flujo magnético aumentado 54G del campo B' está dirigido perpendicularmente a través de la dimensión delgada del área de trabajo aplanada 50G. En la Fig. 5 el patrón (distribución) de las líneas de flujo magnético 54G del campo B' está indicado en sección transversal por múltiples cruces pequeñas. Las cruces 55 indican márgenes débiles del flujo magnético 54G.

Previamente se ha explicado que el aparato que abarca la invención es factible con el paso 43 para metal fundido orientado en cualquier dirección adecuada relativa a la horizontal. Por conveniencia de ilustración, se muestra una orientación horizontal del paso de metal fundido 43 en los dibujos.

Las Fig. 7 a 10 ilustran el ensamblaje 80N de cinco imanes-neo permanentes cúbicos 56 dispuestos en una configuración de concentración junto con una pieza polar ferromagnética localizada de forma central 86. Se aprecia que la Fig. 7 muestra ejes mutuamente ortogonales x-x, y-y y z-z, estando el eje z-z orientado verticalmente para claridad ilustrativa. La pieza polar central 86 es casi cúbica, excepto en que está algo alargada en la dirección z-z para proporcionar un polo magnético de polaridad Norte 87 que se proyecta en dirección descendente desde el ensamblaje 80N. Por tanto, la superficie cuadrada de polaridad Norte 87 de esta pieza polar 86 está asentada nivelada y ajustada contra el área de trabajo 50G del conducto de presurización 48G. Hablando técnicamente, la pieza polar 86 es un paralelepípedo rectangular sólido que tiene superficies finales superior e inferior cuadradas y cuatro superficies laterales rectangulares. Un imán-neo cúbico superior 56 cuyo campo magnético está alineado con el eje z-z está asentado nivelado sobre la superficie final superior cuadrada de la pieza polar 86. Su superficie inferior del polo Norte cuadrado coincide en tamaño y forma con la superficie superior cuadrada contigua de la pieza polar 86.

Dos imanes-neo cúbicos 56 magnéticamente alineados con el eje x-x tienen sus superficies de polo Norte asentadas niveladas contra lados opuestos de la pieza polar 86. Sus respectivas superficies de polo Norte coinciden en anchura con las superficies laterales de la pieza polar 86, y sus superficies superiores están alineadas con la superficie superior de la pieza polar. Otros dos imanes-neo cúbicos 56 están alineados magnéticamente con el eje y-y. Sus superficies de polo Norte están asentadas niveladas contra los otros dos lados opuestos de la pieza polar 86. Sus respectivas superficies de polo Norte coinciden en anchura con las superficies laterales de la pieza polar 86, y sus superficies superiores están alineadas con la superficie superior de la pieza polar.

La mitad polar Norte de la fuerza magnetomotriz en esta construcción la aporta la serie de concentración quintuple ensamblada 80N de cinco imanes-neo 56 (Fig. 7 a 11, también 4). Este ensamblaje 80N está posicionado en un tramo C voladizo ferromagnético 60G (Fig. 4). Este tramo 60G está fabricado de acero para maquinaria magnéticamente blando, es decir, ferromagnético (aproximadamente un 0,2 por ciento en peso de contenido de carbono), y este tramo establece el circuito magnético 61G. El lado izquierdo del tramo C 60G en la Fig. 4 permanece abierto para permitir la fácil retirada del conducto de presurización 48G junto con sus componentes asociados.

Este tramo C 60G incluye un miembro alargado de apoyo 71 que tiene un bloque de resalto de ajuste 82 sujeto a su extremo superior. Un tornillo de ajuste de sujeción 83 que tiene una tuerca de bloqueo 78 está roscado a través de este bloque de resalto para mantener de forma extraíble el miembro de sujeción superior 82 firmemente hacia abajo contra una placa superior de un recipiente ferromagnético superior 88 a describir posteriormente. Un miembro de base alargado 81 sujeto a un extremo inferior del miembro de apoyo 71 se extiende debajo de una placa inferior de un recipiente ferromagnético inferior 88 descrito posteriormente.

La Fig. 7 muestra cinco imanes-neo 56 ensamblados con su pieza polar 86 como se ha descrito anteriormente. Se omiten los bloques de relleno inertes 84 (Fig. 9 y 10) de las Fig. 7 y 8 para claridad de ilustración. Estos bloques de relleno inertes son cubos del mismo tamaño que los imanes-neo 56 y, por ejemplo, están contruidos de aluminio (Al). Para una ilustración definida, los trazos de doce bloques de relleno 84 en las Fig. 8 y 10 se muestran por líneas de puntos.

A partir de la Fig. 9, se observa que este ensamblaje magnético de concentración 80N comprende sustancialmente dos capas. La capa superior contiene un cubo de imán-neo 56 rodeado por ocho cubos inertes 84. En la Fig. 10, se observa que la capa inferior contiene la pieza polar central 86 rodeada por cuatro cubos de imán-neo 56 y cuatro cubos inertes 84. Los imanes-neo son contiguos a las superficies de cuatro lados de la pieza polar 86 como se ha descrito anteriormente. Los cuatro cubos están adyacentes a las cuatro aristas verticales de la pieza polar. Por tanto, el ensamblaje 80N comprende dieciocho componentes.

La mita polar Sur de la fuerza magnetomotriz en esta construcción la aporta un ensamblaje magnético de concentración 80S, mostrado en la Fig. 11. El ensamblaje 80S es sustancialmente igual que el ensamblaje de polo Norte 80N, excepto en que el ensamblaje 80S está invertido del que se observa en la Fig. 11, de modo que su pieza polar 86 está en la capa superior del ensamblaje 80S proyectándose por encima de la capa superior para que su superficie de polaridad Sur 87 se asiente nivelada y ajustada contra la superficie de trabajo inferior 50G (Fig. 11) del conducto 48G. Además, los cinco imanes-neo en el ensamblaje 80S tienen sus superficies de polo Sur contiguas a la pieza polar de polaridad Sur 86.

Las series 80N y 80S están encerradas por sus respectivos recipientes ferrosos magnéticamente blandos superior e inferior o recintos o dispositivos de retención 88 (Fig. 4, 11), por ejemplo fabricados de placas de acero para maquinaria. Los recipientes 88 continúan el circuito magnético 61G desde el tramo 60G hasta las superficies exteriores de los cinco imanes-neo 56 en los ensamblajes de concentración. Los recipientes 88 contactan con las superficies polares de los imanes-neo 56 opuestas a sus superficies polares en contacto con su pieza polar 86. Además de proporcionar partes del circuito magnético 61G, los recipientes 88 retienen físicamente los imanes-neo contenidos contra su fuerte repulsión magnética mutua. Los recipientes 88 no tienen que estar cerrados en todas partes con la condición de que el flujo magnético esté adecuadamente canalizado.

Los electrodos alargados 68 capturados en tomas de corriente alargadas 69 en soportes 47 (Fig. 6) y sus conexiones refrigerantes 53 con el sistema de tuberías de refrigerante 46 (Fig. 4) son similares a los previamente descritos para la bomba 32. Una corriente continua eléctrica I está dirigida por esos electrodos opuestos 68 (solamente se observa uno en la Fig. 6) a través del metal fundido en la dirección indicada por los símbolos más y menos. La corriente I viaja a través de la dimensión ancha 66 (Fig. 4 y 6) del área de trabajo 50G del conducto de presurización no magnético 48G dentro de su dimensión vertical estrecha 67G de aproximadamente 8 mm (aproximadamente 0,315 pulgadas) (Fig. 4 y 11).

Una célula plana refrigerante, conductora del calor, no magnética 74 (Fig. 11, 12 y 13) por ejemplo fabricada de aluminio, está interpuesta entre la serie magnética 80N y el conducto de presurización 48G. Otra célula refrigerante 74 está interpuesta de forma similar con respecto a la serie magnética 80S. Cada célula refrigerante laminada 74 está alimentada con refrigerante líquido que fluye a través del sistema de tuberías 72 y boquillas 73 (Fig. 12) para proteger a los imanes-neo 56 del calor del metal fundido cercano en el paso 43G. El refrigerante tal como agua fluye a través de los pasos 76 cortados en cada placa 77 para mantener los imanes-neo de tierras raras 56 suficientemente fríos para conservar su magnetismo. Hay una placa delgada, conductora del calor, no magnética 75 para cubrir los pasos 76, por ejemplo fabricada de aluminio. Cada placa de cubierta 75 está cementada y sellada a su placa adyacente 77.

Material magnético-neo. El material magnético actualmente más preferido para imanes-neo 56 se basa en un compuesto tri-elemento (ternario) de hierro (Fe), neodimio (Nd), y boro (B), que se conoce genéricamente como neodimio-hierro-boro, Nd-Fe-B, habitualmente escrito NdFeB. Los imanes permanentes que contienen NdFeB están disponibles en el mercado. Estos imanes-neo de largo alcance permanentes que contienen NdFeB muestran un producto de energía máxima en un intervalo de aproximadamente 25 a aproximadamente 35 MGOe (Mega-Gauss-Oersted).

Se prevé que en el futuro puedan llegar a estar disponibles en el mercado otros materiales magnéticos permanentes de largo alcance, por ejemplo compuestos ternarios tales como hierro-samarium-nitrógeno y otros son materiales magnéticos permanentes de compuesto ternario aún desconocidos que tienen un producto de energía máxima MGOe en dicho intervalo y por encima de dicho intervalo y que también tienen características B-H similares a las mostradas en la Fig. 14 y que son adecuados para su uso en realizaciones de esta invención. Además, pueden llegar a estar disponibles en el mercado materiales magnéticos permanentes de cuatro elementos (cuaternarios) aún desconocidos que tienen un producto de energía máxima MGOe en o por encima de dicho intervalo con características B-H adecuados para su uso en realizaciones de esta invención.

En la Fig. 14, la altura del punto derecho extremo 102 del bucle 100 (en el cuadrante i) representa una saturación máxima B_s de un material magnético-neo adecuado para su uso en realizaciones de esta invención. Esta saturación máxima B_s se establece cuando un imán-neo 56 se magnetiza inicialmente por el fabricante. Cuando el imán-neo 56 se retira de un electroimán del fabricante, una fuerza magnetizante coercitiva previamente impuesta H en oersted (medida a lo largo de un eje horizontal) inmediatamente se hace cero. En estas condiciones de fuerza magnetizante cero, la densidad de flujo magnético residual (es decir, auto-mantenido) B_r en gauss se representa por un punto 104 a lo largo del eje B vertical, donde el bucle de histéresis del imán-neo 100 cruza el eje B. Este valor B_r se conoce como la inducción residual del imán-neo. Para propósitos de esta invención, la inducción residual B_r preferiblemente es igual a o mayor de (no menor de) una densidad de flujo residual en un intervalo de aproximadamente 8.000 a aproximadamente 10.000 gauss (aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,0 tesla). Este elevado valor e incluso valores mayores de inducción residual B_r se pueden alcanzar con material magnético-neo preferido a usar para construir realizaciones de la invención. Es más preferido usar imanes-neo que tienen una inducción residual B_r en un intervalo de aproximadamente 10.000 a aproximadamente 12.000 gauss (aproximadamente 1,0 a 1,2 tesla) y más preferiblemente que tienen un B_r por encima de aproximadamente 12.000 gauss (aproximadamente 1,2 tesla).

Se aprecia que también se puede alcanzar aproximadamente la misma elevada inducción residual con alnico 5, un material magnético permanente que ha estado disponible desde hace tiempo de forma barata y cuyo bucle de histéresis aproximado (curva B-H) se muestra en 120 en la Fig. 14. Este bucle alnico 5 fino cruza el eje B a una inducción residual B_r de aproximadamente 12.800 gauss (aproximadamente 1,28 tesla), medida a partir de un bucle de histéresis alnico 5 mostrado en la Figura 6-3 del libro de referencia titulado Permanent Magnet Design and Application Handbook, edición reimpressa (Malabar, Florida: Krieger Publishing Co., 1986), por Lester R. Moskowitz, incorporado en este documento por referencia. Esta inducción residual del material de imán alnico 5 no es muy diferente de la de materiales magnéticos-neo; sin embargo, los imanes alnico 5 no son prácticos ni adecuados para su uso en realizaciones de esta invención, como se explicará posteriormente.

La idoneidad de los imanes-neo, por ejemplo imanes-neo NdFeB, surge no solamente de su elevada inducción residual B_r (Fig. 14), sino más importante de su baja permeabilidad desmagnetizante diferencial como se muestra por

la baja pendiente $\Delta B/\Delta H$ de la parte 112 de su curva de desmagnetización 106. Esta parte 112 de la curva de desmagnetización 106 está localizada dentro del círculo 110 en el segundo cuadrante “ii” del gráfico B-H. Esta parte de la curva de desmagnetización 112 se extiende desde un primer punto 104 donde la curva de desmagnetización 106 cruza el eje +B en su valor sobre la escala del eje +B, hasta un segundo punto 108 donde esta curva de desmagnetización 106, cruza el eje -H (eje menos -H) en su valor sobre la escala del eje -H. La baja pendiente $\Delta B/\Delta H$ en este documento se define como la pendiente de la parte de la curva 112 medida en el punto medio a lo largo de esta curva entre sus dos puntos 104 y 108, concretamente, su “permeabilidad desmagnetizante diferencial media”, que se muestra en la Fig. 14 como aproximadamente 1,15.

Esta capacidad de largo alcance única de un imán-neo permanente de elevada energía 56 de dirigir un campo magnético intenso B a través de un hueco no magnético 44 (Fig. 3 y 3A) o 44G (Fig. 11) en un circuito magnético (por ejemplo como se muestra en 61 (Fig. 2) y como se muestra en 61G (Fig. 4)) puede entenderse considerando o pensando que dicho imán funciona internamente -incidental pero inherentemente- como su propio hueco no magnético, es decir, como un hueco que no contiene material ferromagnético. En otras palabras, dicho imán funciona como si comprendiera un hueco virtual interno que casi corresponde a la longitud acumulada del propio imán-neo 56 medida en la dirección del flujo magnético. Por tanto, la adición de un hueco no magnético físico, real, exterior algo comparable, por ejemplo tal como el hueco 44 o 44G, no causa mucha reducción del flujo 54 mostrado en sección transversal por múltiples cruces pequeñas en las Fig. 3A y 5 en el circuito magnético 61 (Fig. 2) o 61G (Fig. 4), es decir, no causa mucha reducción en la intensidad del campo magnético B que se dirige a través de dicho hueco relativamente largo en dicho circuito magnético.

Para los propósitos de esta invención, la pendiente en el punto medio 112 a lo largo de la curva de desmagnetización 106 es preferiblemente igual a o menor de aproximadamente 4 y más preferiblemente es menor de aproximadamente 1,2, mientras que la permeabilidad magnética de aire o vacío es la unidad por definición. En la Fig. 14, la pendiente en el punto 112 se muestra como aproximadamente 1,1, que según la experiencia la proporciona imanes-neo NdFeB disponibles en el mercado. Lo pequeño de esta pendiente refleja una “dureza” magnética, un magnetismo residual intrínseco, perdurable. Esta pendiente preferible relativamente cercana a la unidad se llama permeabilidad desmagnetizante diferencial medida en Δ gauss por Δ oersted.

Un parámetro adecuado práctico de un imán-neo 56 preferido es un parámetro que tiende a seguir la característica de largo alcance deseada que se llama producto de energía máxima; es el producto de la inducción residual B_r en el punto medio 112 multiplicada por una cantidad de oersted desmagnetizantes requeridos para lograr la inducción residual B_r de un imán-neo 56 desde el punto 104 en el eje B hasta el punto medio 112. Este producto se expresa como mega-gauss-oersted (MGOe), una designación comercial común. A escala en la Fig. 14, un imán-neo representado de ese modo tendría al menos aproximadamente 25 mega-gauss-oersted de producto de energía. Se prefiere usar imanes-neo que tienen los valores más elevados de MGOe que se pueden obtener de forma económicamente razonable, por ejemplo al menos aproximadamente 30 MGOe a aproximadamente 35 MGOe y mayor. En contraste, alnico 5 no es adecuado.

Una curva de desmagnetización 122 para alnico 5, mostrada dentro del círculo 110 (Fig. 14), baja casi verticalmente en una pendiente de aproximadamente 30 $\Delta B/\Delta H$, y esta curva de desmagnetización 122 cruza el eje H en un punto 126 que tiene un valor menor de aproximadamente 1.000 oersted. Un imán-neo adecuado, en contraste, tiene una curva de desmagnetización 106 que habitualmente es una línea relativamente recta 106 de mucha menos pendiente, que se extiende entre los puntos 104 y 108, cuya pendiente $\Delta B/\Delta H$ está relativamente cercana a la unidad.

En la Fig. 16, las dos curvas contrastan las densidades de flujo (eje y) obtenidas con alnico 5 e imanes-neo de largo alcance. La variable independiente (eje x) es el espesor o longitud del hueco no magnético en sus circuitos magnéticos respectivos. El efecto de un hueco dado es diferente por diferentes tamaños y configuraciones de ensamblajes magnéticos; aquí el hueco se muestra representado para que corresponda con el aparato descrito en este documento.

Los imanes disponibles en el mercado 56 que pueden usarse en realizaciones de la invención comprenden una mezcla de cobalto y samario (Co_5Sm) que tiene un producto de energía máxima de aproximadamente 20 MGOe y una inducción residual B_r de aproximadamente 9.000 gauss (0,9 tesla) y una permeabilidad desmagnetizante diferencial media casi unitaria de aproximadamente 1,08. Además, los imanes disponibles en el mercado que pueden usarse contienen material de cobalto-samarium ($\text{Co}_{17}\text{Sm}_2$) y tienen un producto de energía máxima de aproximadamente 22 a aproximadamente 28 MGOe y una inducción residual B_r en un intervalo de aproximadamente 9.000 gauss (aproximadamente 0,9 tesla) a aproximadamente 11.000 gauss (aproximadamente 1,1 tesla) y una permeabilidad desmagnetizante diferencial media casi unitaria en un intervalo de aproximadamente 1,15 a aproximadamente 1,0.

Una limitación en la densidad del flujo magnético que se puede alcanzar en el hueco no magnético 44G es la capacidad de la pieza polar 86 de transportarlo. Para hierro casi tan puro como el acero para maquinaria, se dice que la saturación magnética sucede a aproximadamente 2,1 tesla. Según el artículo de Douglas W. Dietrich, titulado “Magnetically Soft Materials”, en el Metals Handbook (10ª Edición, Volumen 2 (1990) pág. 761-781), incorporado en este documento por referencia, si se reemplaza aproximadamente una tercera parte del hierro por una parte aleada igual de cobalto, se dice que este límite se eleva a aproximadamente 2,4. Sin embargo, según la experiencia, estos límites no se alcanzan en el hueco no magnético 44G más que a aproximadamente el 70 por ciento a causa del flujo de filtración sustancial que sucede alrededor de los propios imanes-neo. Esta dispersión magnética se debe a la reluctancia magnética del hueco no magnético 44G.

La entrada a la pieza polar paralelepípedica puede proporcionarse también, por ejemplo, desde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 o más lados, estando cada lado de dicha pieza polar ajustadamente adyacente a la superficie polar de cada imán-neo 56 afectado. En general, cuantos más lados de una pieza polar reciba entrada magnética, mejor. Para el caso de una pieza polar 91 de tres lados simétricos más dos extremos, la pieza polar sería de sección transversal triangular (Fig. 13A).
 5 Puede añadirse un imán-neo de cápsula externa triangular 56', y el otro extremo de la pieza polar 91 es su superficie polar Norte 87. Para el caso de seis lados más dos extremos, la pieza polar 92 sería de sección transversal hexagonal (Fig. 13B). Puede añadirse un imán-neo de cápsula externa hexagonal 56''. El otro extremo 87 de la pieza polar 92 es su superficie polar de polaridad Norte.

10 Como un caso limitante, una pieza polar cilíndrica circular 93 (mostrada en media sección) está rodeada por un anillo magnético anular 94 magnetizado en la dirección a través de todo su espesor radial, como se muestra en la Fig. 13C. Una cápsula cilíndrica circular 97, magnetizada longitudinalmente en una dirección a lo largo de su eje cilíndrico completa este ensamblaje magnético. El otro extremo axial 87 de la pieza polar 93 es su superficie polar de polaridad Norte. Ninguna de las formas de sección transversal no cuadradas mostradas en las Fig. 13A, B y C dirige
 15 un campo magnético cuadrado a través del paso 43 ó 43G; por tanto, algunas bandas del campo magnético impuesto están fuera de la dimensión ancha 66 de paso 43 ó 43G, y algunas bandas están corriente arriba y corriente abajo de los electrodos. Sin embargo, este campo magnético no cuadrado no produce fugas en remolino del metal fundido en los bordes de la acción bombeante en el paso 43 ó 43G porque la corriente I que fluye entre los electrodos opuestos, paralelos, rectos cubre un área casi cuadrada o rectangular que se extiende a través de paso 43 ó 43G, con el resultado
 20 de una fuerza de bombeo uniforme a través del canal de flujo.

La Fig. 17 muestra un ensamblaje de dos piezas polares alargadas 95 cada una con cuatro laterales largos. Tres laterales de cada pieza polar están abastecidos de flujo magnético por tres imanes-neo largos 96, y el cuarto lateral es una superficie polar alargada 87. Dicha superficie polar larga 87 puede estar orientada de forma transversal relativa
 25 al flujo de metal para su uso, por ejemplo, con un paso de bombeo de dimensión extra-ancha 66. Pueden aplicarse pequeños imanes-neo 56, mostrados en relación despiezada, a los extremos de cada pieza polar alargada 95 para componer un total de 5 imanes-neo para cada pieza polar si se desea, salvo que pueda ignorarse la dispersión de flujo magnético en los dos extremos de cada pieza polar larga.

30 En general, para obtener resultados económicos y prácticos adecuados, se dispondrá un diseño de bomba electromagnética que abarca la presente invención para minimizar la dispersión magnética y desviar el flujo magnético de modo que la gran energía magnética y la capacidad de largo alcance de los imanes-neo proporcionen un campo magnético intenso B que se extienda a través del hueco no magnético 44, 44G y 44J (Fig. 19) y que pase a través del conducto de presurización posicionado dentro de este hueco. Por tanto, por ejemplo, esto hueco no magnético 44, 44G y 44J está minimizado en la medida que sea razonablemente practicable.
 35

Pueden ensamblarse juntos elementos magnéticos-neo adyacentes con la misma orientación de los polos y tratarse efectivamente como un imán. Por ejemplo, pueden ensamblarse ocho imanes-neo cúbicos que miden 2,54 cm (una pulgada) a lo largo de cada arista en una configuración cúbica que mide 5,08 cm (dos pulgadas) a lo largo de cada arista. En general, los imanes-neo se repelerán entre sí cuando se ensamblan de este modo y por tanto tendrán que limitarse contra su repulsión mutua.
 40

Detección de flujo. Uno cualquiera de los diversos tipos de aparatos detectores del nivel de metal en la máquina de fundición conocidos en la técnica puede enviar una señal para indicar el nivel o los límites de metal fundido en el aparato de fundición. De forma ventajosa, dicha señal puede suministrarse a un control para un suministro de energía DC que está proporcionando corriente I para controlar la magnitud (amperaje) de esta corriente para controlar la velocidad de bombeo para adaptarla al nivel o límites de la máquina de fundición o molde, sin rebosar o sin permitir que sucedan vacíos o discontinuidades en el metal fundido. Se describe un dispositivo de bobina de proximidad adecuada para señalar el nivel de metal fundido en una máquina de fundición continua en la Patente de Estados Unidos 4.138.888 de Sten V. Linder.
 45
 50

Uno o más pares de pequeños electrodos detectores pasivos incrustados adicionales 132 y 134 (Fig. 3A) con conectores respectivos 136 y 138 (Fig. 3A y 5) sobresalen a través de la pared de un conducto de presurización de fluido para entrar en contacto con el flujo de metal fundido M (Fig. 5, 3A, 3, 2, 4). Cuando el flujo magnético penetra en un conducto, el metal líquido en movimiento en el conducto genera una e.m.f. en ángulos rectos tanto al flujo magnético como al flujo de metal, de acuerdo con el principio de Faraday en su modo de generación por el que la energía mecánica se convierte en energía eléctrica. La señal es proporcional a la velocidad del flujo que pasa entre dos electrodos 132 y de nuevo entre los otros dos electrodos 134. Estos electrodos detectores pasivos 132 y 134 (Fig. 5 y 3A) respectivamente definen trayectos a través de las bandas relativamente más débiles 55 ó 55G del campo magnético 54 ó 54G que está dirigiendo el metal fundido. Dos pares 132 y 134 de detectores de electrodo se muestran posicionados corriente arriba y corriente abajo del área de trabajo 50 y 50G. Las salidas eléctricas desde estos dos pares de electrodos están combinadas y promediadas. La salida eléctrica promedio desde estos detectores se aporta a un contador (no mostrado) adecuado para posibilitar el control manual de la corriente DC I o se introduce a un control de corriente DC (no mostrado) para controlar de forma estable y precisa la bomba 32 ó 32G o también para hacer funcionar el aparato 32 ó 32G como un freno, o regulador. Por tanto, se consigue la capacidad ventajosa de las realizaciones de la invención para ajustar la salida de metal fundido a la velocidad de una máquina de fundición continua de metales.
 55
 60
 65

Cualquier par de electrodos 132 ó 134 sería suficiente para el propósito de control, excepto en que notablemente la corriente motriz DC necesariamente fluctuante entre electrodos cercanos 68 y el campo magnético cambiante asociado de la corriente fluctuante crea e.m.f. indeseadas entre los pares de electrodos detectores 132 ó 134. Sin embargo, una localización simétrica corriente arriba-corriente abajo de los electrodos detectores con respecto a los electrodos conductores de la corriente DC 68 causa que las e.m.f. indeseadas se cancelen entre sí y de este modo no alteren la e.m.f. de control generada y combinada a introducir en un contador o un control de corriente DC.

En lugar de usar el campo de bandas 55 ó 55G para generar una e.m.f. de acuerdo con el principio de Faraday en su modo de generación, pueden usarse imanes diferentes, posicionados adecuadamente corriente arriba o corriente abajo del campo de bandas para proporcionar un campo magnético que pasa a través del el flujo de metal fundido en una dirección paralela al campo B. En este caso, es suficiente solamente un par de electrodos detectores como los identificados anteriormente.

Las Fig. 18 y 19 muestran una bomba electromagnética 32J que abarca la invención. El primer y segundo ensamblajes cúbicos magnéticos potentes 180N y 180S contienen cada uno ocho imanes-neo cúbicos 56 que miden aproximadamente 51 mm (aproximadamente 2 pulgadas) a lo largo de cada arista. Por tanto, cada ensamblaje magnético cúbico potente 180N y 180S mide aproximadamente 102 mm (aproximadamente 4 pulgadas) a lo largo de cada arista y tiene una superficie polar global 87 con un área de aproximadamente 104 centímetros cuadrados (aproximadamente 16 pulgadas cuadradas). Estas superficies polares 87 están asentadas niveladas contra una capa refrigerante plana 74, y estos refrigeradores planos están asentados nivelados contra superficies opuestas 50J del área de trabajo del conducto 48J.

Un gran tramo ferromagnético 160 rodea los otros dos ensamblajes magnéticos. Este tramo incluye miembros transversos superior e inferior 160b y 160c y dos miembros de apoyo 160a y 160d. Estos miembros de tramo están adecuadamente sujetos juntos por tornillos mecánicos extraíbles (no mostrados) por ejemplo similares a la disposición de los tornillos mecánicos 63 de la Fig. 2 de modo que el tramo 160 puede desensamblarse fácilmente.

Se aprecia que los miembros de apoyo 160a y 160d están espaciados relativamente lejos de los dos ensamblajes magnéticos para minimizar la dispersión de flujo magnético. Además, el hueco no magnético 44J entre las superficies polares opuestas 87 como se muestra es solamente de aproximadamente 38 mm (aproximadamente 1,5 pulgadas).

Para mantener los dos ensamblajes magnéticos 180N y 180S juntos contra la repulsión mutua entre sus imanes-neo 56, están contenidos dentro de alojamientos de retención no magnéticos respectivos, mostrados en trazado discontinuo, por ejemplo fabricados de aluminio.

El paso 43 tiene una altura 67 de aproximadamente 8 mm y una anchura 66 de aproximadamente 102 mm (aproximadamente 4 pulgadas).

El par de electrodos opuestos (no mostrados) para aportar corriente DC I transversalmente a través del flujo de metal fundido M están adecuadamente montados como se ha explicado anteriormente, y cada uno tiene una longitud de aproximadamente 102 mm (aproximadamente 4 pulgadas).

Un prototipo de instalación experimental

Un prototipo de instalación experimental conveniente emplea una aleación de bismuto similar a la que se conoce tradicionalmente como metal de Wood. Este metal ventajosamente se funde a una temperatura relativamente baja de 70°C (159°F). Tiene una densidad relativa de 10,5 g/cm³ (0,38 lbs/in³).

Se realizó un experimento repetible con la instalación experimental 150, mostrada en alzado en la Fig. 15. La bomba 32 bombeaba metal desde el recipiente de fusión 152 a través de las tuberías 154 y a través de un conducto de presurización de pared delgada, recto 48 que tiene un paso 43 de área de sección transversal constante para impulsar el metal fundido hacia una columna de medición de carga 156. Cuando se abría una válvula 158, el metal circulaba libremente desde el recipiente 152 a través de las tuberías 154 y 160 y de nuevo al interior del recipiente.

La temperatura del metal de Wood fundido según se bombea por la bomba 32 era de aproximadamente 93°C (200°F). El conducto de presurización 48 estaba labrado desde un bloque de silicato de calcio y tenía un conducto de forma similar 48 en la Fig. 3. El paso 43 en el conducto 48 tenía una altura de aproximadamente 5,6 mm (aproximadamente 0,22 pulgadas) y un anchura de aproximadamente 51 mm (aproximadamente 2 pulgadas), teniendo de este modo un área de sección transversal de aproximadamente 2,8 centímetros cuadrados (aproximadamente 0,44 pulgadas cuadradas).

Se aplicó una densidad de flujo magnético unidireccional de aproximadamente 7.000 gauss (0,7 tesla) a través de un hueco de aproximadamente 38 mm (aproximadamente 1,5 pulgadas) sobre un área de aproximadamente 26 centímetros cuadrados (aproximadamente 4 pulgadas cuadradas) en la dirección mostrada por la flecha B en las Fig. 15 y 2 a través de las dos piezas polares ahusadas 58. Este campo magnético lo proporcionaban cuatro imanes-neo NdFeB disponibles en el mercado de elevada energía colocados como se muestra por líneas en su mayor parte discontinuas en las Fig. 2 y 2A - dos por encima con una pieza polar 58 y dos por debajo con la otra pieza polar. Cada uno de los cuatro imanes-neo de largo alcance 56 era un cubo que medía aproximadamente 51 mm (aproximadamente 2 pulgadas)

ES 2 307 548 T3

sobe cada arista. Con metal fundido en la bomba, se aplicaba una corriente continua (DC) eléctrica controlable de 0 a 500 amperios entre los electrodos de cobre paralelos espaciados 68 de área de superficie de aproximadamente 2,4 centímetros cuadrados cada uno, siendo la corriente en la dirección mostrada por la flecha I en las Fig. 2, 2A, 3 y 3A. Esta corriente DC de 500 amperios se suministraba por una soldadora capaz de ejercer 10 voltios, aunque se aplicaban menos de 4 voltios entre los electrodos. Durante los ensayos descritos a continuación, la caída de tensión entre los electrodos 68 y a través del metal fundido a 500 amperios medía aproximadamente 0,5 voltios.

Antes de que se hicieran las mediciones del flujo y de carga, se permitía que el metal fundido circulara por las flechas 161 y 159 durante unos pocos minutos para calentar las tuberías externamente aisladas 154 y 160 así como el conducto de presurización externamente aislado 48. La altura del metal fundido correspondiente a la carga de presión cero medida por un instrumento que mide la presión manométrica, es decir, la presión relativa a la presión atmosférica, era la altura del nivel libre 164 "PrHd₀" del metal líquido 165 en el recipiente de fusión 152. La presión atmosférica continua sobre la superficie 164 del metal líquido se aseguraba por una cubierta de ajuste holgado 166. Con la bomba apagada, este nivel 164 era también el nivel de la superficie del metal líquido en la columna de medición de la carga de presión abierta en la parte superior 156 (el aislamiento no se muestra, para claridad de ilustración). Con la bomba encendida y la válvula 158 bien abierta, el nivel de metal líquido en la columna 156 no aumentaba mucho; el ligero aumento (que por simplicidad no se distingue adicionalmente en este documento) se debía principalmente a la contrapresión de fricción y turbulencia en la tubería 160. Por tanto, el caudal en circulación (flechas 161 y 159) se midió como aproximadamente 0,3 litros por segundo o aproximadamente 11 toneladas métricas por hora.

Después la válvula 158 se cerraba para medir la carga de presión disponible Ht en ausencia de flujo, es decir, en apagado. Para medir esta carga de presión más alta Ht que puede ejercer la bomba, se hacía flotar un bloque de aluminio 168 sobre la superficie del metal de Wood en la columna 156. Un fino alambre 172 unido a la misma iba alrededor de una polea 174 montada en la parte superior de la columna de parte superior abierta 156, yendo el alambre hacia abajo para sujetarse a un contrapeso 170. Desde la posición vertical del contrapeso, la aritmética simple describía la altura del metal Wood en la columna.

La elevación de la superficie columnar de metal líquido vertical obtenida con la válvula 158 cerrada, es decir, en ausencia de flujo, era de 350 mm por encima de su altura a carga de presión cero PrHt₀, una distancia vertical "Ht", es decir una carga de presión "PrHd_{max}" de 370 gramos/cm² o 0,36 bares relativa al nivel de metal fundido 164 (PrHd₀) en la superficie líquida 164 del recipiente de fusión 152. Esta carga de presión se calcula multiplicando la altura de elevación Ht de 35,0 centímetros por la densidad relativa 10,5 g/cm³ del metal fundido 165.

El caudal del metal fundido se detectó electromagnéticamente como se ha descrito anteriormente, y la señal generada de este modo controló la velocidad de bombeo para mantener esta velocidad sustancialmente constante a aproximadamente 0,3 litros por segundo como se ha descrito anteriormente.

Este experimento y sus materiales y parámetros se describen para propósitos de exposición solamente y no para limitar el alcance de la invención, que puede incluirse en una diversidad de aparatos con una diversidad de métodos, materiales y parámetros.

Las bombas electromagnéticas que abarca la invención pueden usarse para elevar el cobre fundido a la altura de un horno oscilante convencional, concretamente, tanto como 3 metros de elevación o más, es decir, a una altura de elevación adecuada para alimentar una máquina de fundición continua, por ejemplo, como se muestra en las Fig. 1 y 1A desde un horno estacionario bajo existente. De este modo, el horno oscilante ya no necesita que se mantenga o dosifique el vertido de metal fundido en dicha máquina.

Aunque se han descrito las realizaciones actualmente preferidas específicas de la invención en este documento en detalle, se entiende que pueden usarse muchas formas y patrones de ensamblajes de elementos magnéticos-neo además de los descritos en este documento para producir resultados útiles. Más generalmente, debe entenderse que los ejemplos de las realizaciones de la invención en este documento se han descrito para propósitos de ilustración. No se pretende que estas descripciones se entiendan como limitantes del alcance de la invención, ya que los métodos y aparatos descritos pueden cambiarse en detalles por los especialistas en la técnica de la fundición continua y en el transporte de los metales fundidos para adaptar estos métodos y aparatos para que sean útiles relevantes a las instalaciones de fundición continua particulares o para el vertido secuencia en una serie de moldes sustancialmente idénticos, sin alejarse del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Aparato para controlar el flujo de metal fundido en un dispositivo para la fabricación de artículos de metal fundido, comprendiendo el aparato:
 - un conducto de presurización (48) que tiene una entrada, una salida, y un área de trabajo, teniendo dicho conducto de presurización formado de material no magnético un paso (43) adecuado para controlar el flujo de metal fundido en dicho paso y siendo resistente al calor y el efecto corrosivo del metal fundido que se está controlando,
 - al menos un par de electrodos (68) en las paredes de dicho conducto de presurización, estando posicionados dichos electrodos para proporcionar entre ellos un flujo de corriente continua de forma sustancialmente perpendicular a través de y entre dicho flujo de metal fundido,
 - al menos un imán permanente (56) posicionado en un circuito (61) de material ferromagnético magnéticamente blando que aplica un flujo magnético unidireccional norte-sur sustancialmente perpendicular a dicha área de trabajo de dicho conducto de presurización,
 - estando dicho flujo magnético en una dirección sustancialmente perpendicular tanto a dicho flujo de metal fundido como a dicho flujo de corriente continua, **caracterizado** porque
 - dicho al menos un imán permanente (56) es un imán-neo que comprende un elemento de tierras raras y porque dicho circuito (61) de material ferromagnético magnéticamente blando comprende una pieza polar (58) de un material magnético blando, ferroso.
2. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicho imán-neo permanente que contiene tierras raras tiene una permeabilidad desmagnetizante diferencial media no mayor de aproximadamente 1,2 Delta gauss por Delta oersted.
3. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicho imán-neo permanente que contiene tierras raras tiene una permeabilidad desmagnetizante diferencial media no mayor de aproximadamente 4 Delta gauss por Delta oersted.
4. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque
- dicho imán-neo permanente que contiene tierras raras cuando se ensambla en un circuito magnético adecuado de material ferromagnético magnéticamente blando proporciona una densidad de flujo magnético de al menos aproximadamente 1,0 tesla a través de un hueco no magnético (44) tan grande como de 38 mm.
5. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque
- dicho imán-neo permanente que contiene tierras raras cuando se ensambla en un circuito magnético adecuado de material ferromagnético magnéticamente blando proporciona una densidad de flujo magnético de al menos aproximadamente 0,8 tesla a través de un hueco no magnético (44) tan grande como de 38 milímetros.
6. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque dicho imán-neo permanente de tierras raras comprende un material genéricamente conocido como neodimio-hierro-boro.
7. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque dicho imán-neo permanente de tierras raras comprende un material genéricamente conocido como samario-cobalto.
8. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque dichos electrodos están fabricados principalmente de material carbonoso.
9. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque dichos electrodos están fabricados de un metal similar al metal fundido cuyo flujo se está controlando.
10. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque dichos electrodos comprenden pasos refrigerantes internos para refrigerar los electrodos por debajo de su punto de fusión.
11. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque dichos electrodos no penetran la pared de dicho conducto de presurización.
12. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, adicionalmente **caracterizado** porque dicho dispositivo para fabricar piezas fundidas metálicas es una máquina de fundición continua de metales.
13. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque un aparato similar de polaridad magnética opuesta está colocado en dicho circuito magnético sobre el lado opuesto de dicha área de trabajo de dicho conducto de presurización.

14. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado** porque

una pluralidad de imanes-neo de tierras raras que comprende dicho al menos un imán permanente está dividida entre un primer ensamblaje colocado en un lado de dicho conducto de presurización y un segundo ensamblaje colocado en el lado opuesto de dicho conducto de presurización, y adicionalmente porque

dicho primer ensamblaje está dispuesto para volver a la superficie polar de dicha pieza polar de material magnético blando, ferroso en un polo magnético Norte enfocado a dicho conducto de presurización, y porque

dicho segundo ensamblaje está dispuesto para volver a la superficie polar de una pieza polar ferromagnética magnéticamente blanda adicional en un polo magnético Sur enfocado a dicho conducto de presurización.

15. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado** porque en un ensamblaje de polo magnético, dicha al menos una pieza polar magnéticamente blanda, excepto por su superficie final más cercana a dicha área de trabajo, está sustancialmente rodeada por una pluralidad de imanes-neo que se presentan a dichas superficies de la pieza polar que tienen la misma polaridad magnética en su totalidad.

16. Aparato de acuerdo con la reivindicación 14 ó 15, **caracterizado** porque una pluralidad de imanes está protegida de su repulsión mutua en posición ensamblada por la adición de piezas adecuadamente conformadas de material no ferromagnético.

17. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque dicho al menos un imán-neo en su lado opuesto al lado que está en contacto con dicha pieza polar ferromagnética magnéticamente blanda, está retenido por un dispositivo de retención ferromagnético magnéticamente blando que es parte de dicho circuito de material ferromagnético magnéticamente blando.

18. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, que comprende adicionalmente un detector electrónico de la clase que comprende la detección del nivel, altura, punto de cebado, velocidad, o caudal de metal fundido.

19. Aparato de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado** porque dicho detector electrónico es un detector del nivel de metal fundido.

20. Aparato de acuerdo con la reivindicación 18 ó 19, **caracterizado** porque dicho detector electrónico está dispuesto para detectar el punto de cebado de una corriente desde una fuente de chorros libre dirigida hacia arriba de metal fundido.

21. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** por el primer y segundo ensamblajes de imanes-neo posicionados en lados opuestos de dicho conducto, comprendiendo dicho primer ensamblaje de imanes-neo dicho al menos un imán permanente (56).

22. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21, **caracterizado** porque dicho paso tiene una anchura en la dirección de dicho flujo de corriente continua mayor que su altura en la dirección de dicho flujo magnético.

23. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21, **caracterizado** porque dicho paso tiene una anchura en la dirección de dicho flujo de corriente continua al menos aproximadamente cinco veces mayor que su altura en la dirección del flujo magnético.

24. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21, **caracterizado** porque dicho paso tiene una anchura en la dirección de dicho flujo de corriente continua al menos aproximadamente seis veces mayor que su altura en la dirección de dicho flujo magnético.

25. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 24, **caracterizado** porque la fuerza del campo magnético B en dicho paso es al menos aproximadamente de 5.000 gauss.

26. Aparato de acuerdo con la reivindicación 25, **caracterizado** porque dicho campo magnético B tiene una intensidad de al menos aproximadamente 7.000 gauss en toda el área de aproximadamente 26 centímetros cuadrados (aproximadamente 4 pulgadas cuadradas) de metal fundido en dicho paso.

27. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21 a 26, **caracterizado** porque

dicho primer y segundo ensamblajes de imanes-neo incluyen una primera y segunda piezas polares respectivamente posicionadas en lados opuestos de dicho conducto;

dicha primera y segunda piezas polares tienen respectivamente una primera y segunda superficies polares en relación paralela espaciada posicionadas en lados opuestos de dicho conducto y están orientadas generalmente perpendiculares a la dirección de dicho flujo magnético;

ES 2 307 548 T3

dicha primera y segunda piezas polares tienen respectivamente una primera y segunda pluralidades de superficies laterales;

dicho primer y segundo ensamblajes de imanes-neo incluyen una primera y segunda pluralidades de imanes-neo;

dicha primera pluralidad de imanes-neo incluye imanes-neo que tienen superficies polares de polaridad Norte adyacentes a superficies laterales respectivas de dicha primera pieza polar; y

dicha segunda pluralidad de imanes-neo incluye imanes-neo que tienen superficies polares de polaridad Sur adyacentes a superficies laterales respectivas de dicha segunda pieza polar.

28. Aparato de acuerdo con la reivindicación 27, **caracterizado** porque un campo magnético intenso B que tiene una intensidad de al menos aproximadamente 14.000 gauss se extiende entre dicha primera y segunda superficies polares paralelas espaciadas de dichas primera y segunda piezas polares.

29. Aparato de acuerdo con la reivindicación 28, **caracterizado** porque dicho campo magnético intenso B que tiene una intensidad de al menos aproximadamente 14.000 gauss se extiende en toda el área de al menos aproximadamente 26 centímetros cuadrados (aproximadamente 4 pulgadas cuadradas) de metal fundido en dicho paso.

30. Aparato de acuerdo con la reivindicación 25, **caracterizado** porque dicho campo magnético intenso de al menos aproximadamente 5.000 gauss se extiende en toda un área de al menos aproximadamente 26 centímetros cuadrados (aproximadamente 4 pulgadas cuadradas) de metal fundido en dicho paso.

31. Aparato de acuerdo con la reivindicación 30, **caracterizado** porque dicha primera y segunda superficies polares paralelas espaciadas están separadas aproximadamente 38 milímetros (aproximadamente 1,5 pulgadas).

32. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 25 a 31, **caracterizado** porque dicho campo magnético B que tiene una intensidad de al menos aproximadamente 5.000 gauss se extiende a través de un hueco no magnético (44) de aproximadamente 38 milímetros (aproximadamente 1,5 pulgadas) y porque dicho conducto está posicionado en dicho hueco.

33. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 29 a 31, **caracterizado** porque dicho campo magnético intenso B que tiene una intensidad de al menos aproximadamente 14.000 gauss se extiende a través de un hueco no magnético (44) de aproximadamente 38 milímetros (aproximadamente 1,5 pulgadas) y porque dicho conducto está posicionado en dicho hueco.

34. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 27 a 33, **caracterizado** porque

dicho campo magnético B se extiende en una dirección generalmente paralela a un eje imaginario Z;

dicha corriente continua I fluye a través del metal fundido en una dirección generalmente paralela a un eje imaginario Y;

dicho flujo M de metal fundido está en una dirección generalmente paralela a un eje imaginario X;

dichos ejes X, Y y Z son mutuamente perpendiculares;

dicha primera y segunda piezas polares están configuradas como paralelepípedos rectangulares que tienen cada uno dos superficies finales y cuatro superficies laterales;

dicha primera pluralidad de imanes-neo comprende cinco imanes-neo;

un primero de dicha pluralidad de cinco imanes-neo tiene su superficie polar de polaridad Norte adyacente a una superficie final de la primera pieza polar y tiene su campo magnético generalmente alineado con el eje Z que proporciona la polaridad Norte a la superficie polar en el otro extremo de la primera pieza polar;

un segundo y tercero de dicha primera pluralidad de cinco imanes-neo tienen sus superficies polares de polaridad Norte adyacentes a superficies laterales opuestas respectivas de la primera pieza polar y tienen sus campos magnéticos respectivos generalmente alineados con el eje X para aumentar la intensidad magnética de la superficie polar de polaridad Norte de la primera pieza polar;

un cuarto y quinto de dicha primera pluralidad de cinco imanes-neo tienen sus superficies polares de polaridad Norte adyacentes a otras superficies laterales opuestas respectivas de la primera pieza polar y tienen sus campos magnéticos respectivos generalmente alineados con el eje Y para aumentar adicionalmente la intensidad magnética de la superficie polar de polaridad Norte de la primera pieza polar;

dicha segunda pluralidad de imanes-neo comprende cinco imanes-neo sustancialmente cúbicos;

ES 2 307 548 T3

un primero de dicha segunda pluralidad de cinco imanes-neo tiene su superficie polar de polaridad Sur adyacente a una superficie final de la segunda pieza polar y tiene su campo magnético generalmente alineado con el eje Z que proporciona la polaridad Sur a la superficie polar en el otro extremo de la segunda pieza polar;

5 un segundo y tercero de dicha segunda pluralidad de cinco imanes-neo tienen sus superficies polares de polaridad Sur adyacentes a superficies laterales opuestas respectivas de la segunda pieza polar y tienen sus campos magnéticos respectivos generalmente alineados con el eje X para aumentar la intensidad magnética de la superficie polar de polaridad Sur de la segunda pieza polar;

10 un cuarto y quinto de dicha segunda pluralidad de cinco imanes-neo tienen sus superficies polares de polaridad Sur adyacentes a otras superficies laterales opuestas respectivas de la segunda pieza polar y tienen sus campos magnéticos respectivos generalmente alineados con el eje Y para aumentar adicionalmente la intensidad magnética de la superficie polar de polaridad Sur de la segunda pieza polar.

15 35. Aparato de acuerdo con la reivindicación 34, **caracterizado** porque

las dos superficies finales de las piezas polares son cuadradas;

20 dicho primero de dicha primera pluralidad de cinco imanes-neo es cúbico y tiene una superficie polar de polaridad Norte cuadrada que coincide generalmente con el tamaño de la superficie final cuadrada adyacente de la primera pieza polar;

25 dicha superficie polar de polaridad Norte cuadrada de dicho imán-neo cúbico tiene su perímetro cuadrado generalmente alineado con el perímetro de la superficie final cuadrada adyacente de la primera pieza polar;

dicho primero de dicha segunda pluralidad de imanes-neo es cúbico y tiene una superficie polar de polaridad Sur cuadrada que coincide generalmente con el tamaño de la superficie final cuadrada adyacente de la segunda pieza polar; y

30 dicha superficie polar de polaridad Sur cuadrada de dicho imán-neo cúbico tiene su perímetro cuadrado generalmente alineado con el perímetro de la superficie final cuadrada adyacente de la segunda pieza polar.

36. Aparato de acuerdo con la reivindicación 35, **caracterizado** porque

35 los cinco imanes-neo de la primera pluralidad de cinco imanes-neo son cúbicos y sus superficies polares de polaridad Norte son del mismo tamaño;

40 una arista de la superficie polar de polaridad Norte del segundo, tercer, cuarto y quinto imanes-neo está alineada con una arista de la superficie final cuadrada de la primera pieza polar adyacente a la superficie polar de polaridad Norte del primer imán-neo de la primera pluralidad de cinco imanes-neo;

los cinco imanes-neo de la segunda pluralidad de cinco imanes-neo son cúbicos y sus superficies polares de polaridad Sur son del mismo tamaño; y

45 una arista de la superficie polar de polaridad Sur del segundo, tercer, cuarto y quinto imanes-neo está alineada con una arista de la superficie final cuadrada de la segunda pieza polar adyacente a la superficie polar de polaridad Sur del primer imán-neo de la segunda pluralidad de imanes-neo.

37. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 34 a 36, **caracterizado** porque

50 el material no magnético está adyacente a los cinco imanes-neo de la primera pluralidad de imanes-neo para mantenerlos en sus posiciones respectivas; y

55 el material no magnético está adyacente a los cinco imanes-neo de la segunda pluralidad de imanes-neo para mantenerlos en sus posiciones respectivas.

38. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 34 a 37, **caracterizado** porque

60 una primera capa refrigerante plana está interpuesta entre dicha superficie polar de polaridad Norte de la primera pieza polar y dicho conducto;

una segunda capa refrigerante plana está interpuesta entre dicha superficie polar de polaridad Sur de la segunda pieza polar y dicho conducto; y

65 cada una de dichas capas refrigerantes planas contiene pasos de refrigeración en las mismas.

39. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 36 a 38, **caracterizado** porque

ES 2 307 548 T3

ocho bloques de relleno no magnéticos cúbicos del mismo tamaño que dichos imanes-neo cúbicos están posicionados alrededor de dicho primer imán-neo cúbico de dicha primera pluralidad de cinco imanes-neo cúbicos;

5 dichos ocho bloques de relleno no magnéticos cúbicos están agrupados con dicho primer imán-neo cúbico en una configuración de capa cuadrada alineada con un plano paralelo a los ejes X e Y;

cuatro bloques de relleno no magnéticos cúbicos del mismo tamaño que dichos imanes-neo cúbicos están posicionados adyacentes a las esquinas laterales de la primera pieza polar;

10 dichos cuatro bloques de relleno no magnéticos cúbicos están agrupados con dichos segundo, tercero, cuarto y quinto imanes-neo cúbicos de dicha primera pluralidad de cinco imanes-neo cúbicos y con la primera pieza polar en una configuración de capa cuadrada alineada con un plano paralelo a los ejes X e Y;

15 ocho bloques de relleno no magnéticos cúbicos del mismo tamaño que dichos imanes-neo cúbicos están posicionados alrededor de dicho primer imán-neo cúbico de dicha segunda pluralidad de cinco imanes-neo cúbicos;

20 dichos ocho bloques de relleno no magnéticos cúbicos están agrupados con dicho primer imán-neo cúbico de dicha segunda pluralidad de cinco imanes-neo en una configuración de capa cuadrada alineada con un plano paralelo a los ejes X e Y;

cuatro bloques de relleno no magnéticos cúbicos del mismo tamaño que dichos imanes-neo cúbicos están posicionados adyacentes a las esquinas de la segunda pieza polar; y

25 dichos cuatro bloques de relleno no magnéticos cúbicos están agrupados con dichos segundo, tercero, cuarto y quinto imanes-neo cúbicos de dicha segunda pluralidad de cinco imanes-neo cúbicos y con la segunda pieza polar en una configuración de capa cuadrada alineada con un plano paralelo a los ejes X e Y.

40. Aparato de acuerdo con la reivindicación 39, **caracterizado** porque

30 una primera capa refrigerante plana está interpuesta entre dicho primer ensamblaje de imanes-neo y dicho conducto;

una segunda capa refrigerante plana está interpuesta entre dicho segundo ensamblaje de imanes-neo y dicho conducto; y

35 cada una de dichas capas refrigerantes planas tiene pasos de refrigeración en las mismas.

41. Sistema que comprende un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 40, con la adición de:

40 al menos dos pares de electrodos pasivos opuestos entre sí a través de la pared del conducto de presurización mencionado anteriormente, estando posicionados dichos electrodos pasivos a través del flujo magnético de una área lateral del flujo magnético unidireccional mencionado anteriormente compuesto por los imanes-neo mencionados anteriormente, definiendo de este modo dichos electrodos pasivos un trayecto de corriente generado por el flujo de metal a través del flujo de metal fundido, y adicionalmente:

45 dichos electrodos pasivos están conectados a un controlador electrónico de la corriente continua mencionada anteriormente aplicada en el aparato mencionado anteriormente,

para controlar de este modo la velocidad de flujo de dicho metal fundido.

50 42. Método para controlar la velocidad de flujo de una corriente de metal fundido en un dispositivo de fundición de metales mediante fuerza electromagnética, comprendiendo dicho método las etapas de:

55 aplicar a través de dicha corriente de metal fundido en una dirección sustancialmente perpendicular a dicha corriente de metal un campo magnético unidireccional Norte-Sur mediante al menos un imán-neo permanente que contiene tierras raras en un circuito ferromagnético magnéticamente blando, comprendiendo dicho circuito de material ferromagnético magnéticamente blando una pieza polar de un material magnético blando, ferroso,

60 enviar al mismo tiempo a través de la corriente de metal fundido al mismo sitio una corriente eléctrica continua en una dirección sustancialmente perpendicular a dicho campo magnético unidireccional Norte-Sur, y

dirigir dicha corriente de metal fundido de forma controlada hacia una lingotera de metales.

65 43. Método de acuerdo con la reivindicación 42, en que dicho molde es una máquina de fundición continua de metales.

44. Método de acuerdo con la reivindicación 42 ó 43, con la etapa adicional de usar una señal eléctrica generada por la velocidad de dicho flujo para controlar dicha corriente eléctrica continua para ajustar la velocidad de dicho flujo.

ES 2 307 548 T3

45. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 42 a 44, con las etapas adicionales de:

proporcionar una atmósfera ambiental que es inerte con respecto al metal que se está vertiendo a la región de entrada de dicha máquina de fundición continua de metales,

proyectar el flujo de metal fundido en una corriente desde una fuente de chorros parabólica libre hacia la entrada de dicha máquina de fundición,

detectar el punto de cebado de dicha corriente desde una fuente de chorros dentro de la máquina de fundición, seguido de la etapa de:

ajustar en consecuencia y automáticamente la corriente continua aplicada a dicha bomba electromagnética en un bucle de control cerrado, de este modo:

ajustar automáticamente el punto de cebado de dicha corriente desde una fuente de chorros para mantener un punto de cebado deseado.

46. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 40 a 45 para moldear una sucesión de objetos metálicos concretos idénticos en una sucesión de moldes móviles idénticos secuencialmente posicionados adecuadamente, comprendiendo el método las etapas de

arrancar y detener intermitentemente dicha corriente eléctrica directa, y

dirigir las corrientes cuantitativamente idénticas, que suceden intermitentemente, resultantes, de metal fundido secuencialmente en una serie de lingoteras de metales sustancialmente idénticos mantenidos estacionarios para recibir sus materiales de relleno respectivos de metal fundido para producir una serie de piezas fundidas metálicas sustancialmente idénticas.

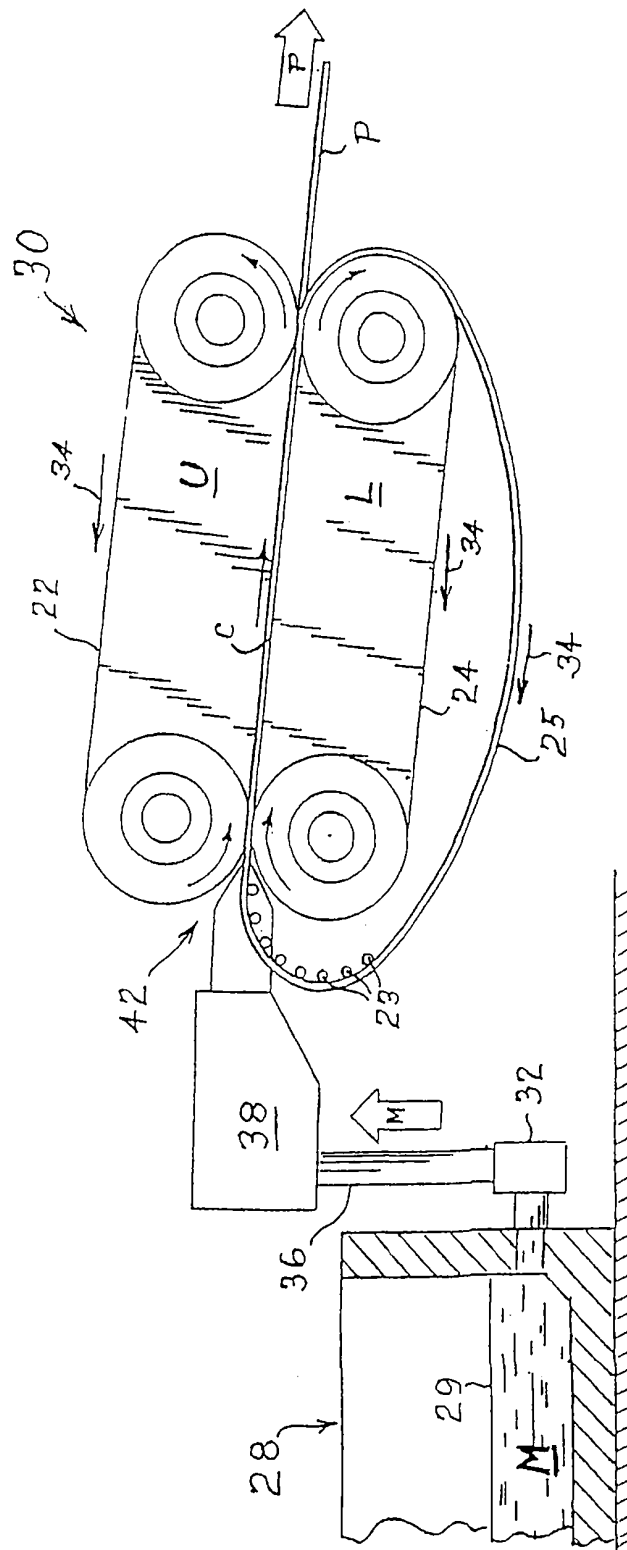


FIG. 1

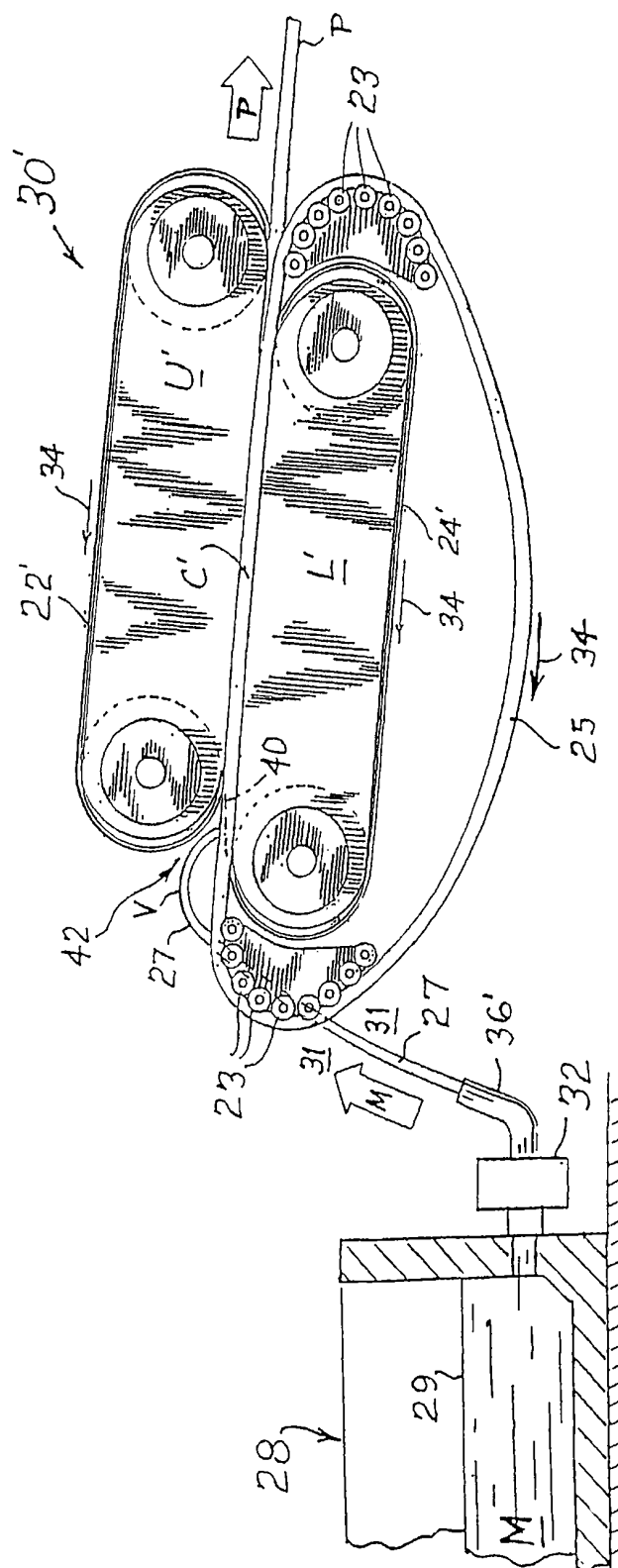
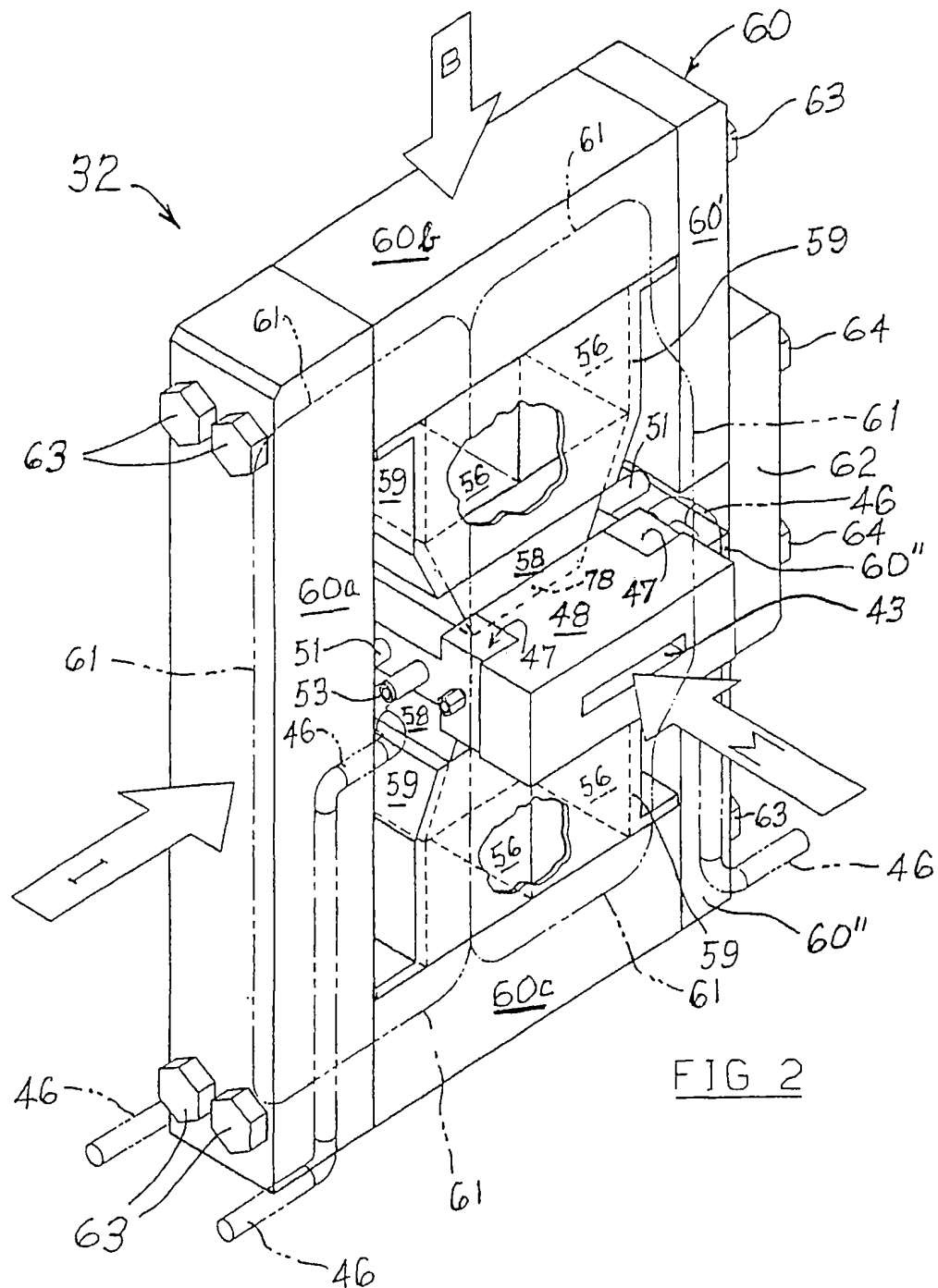


FIG. 1A



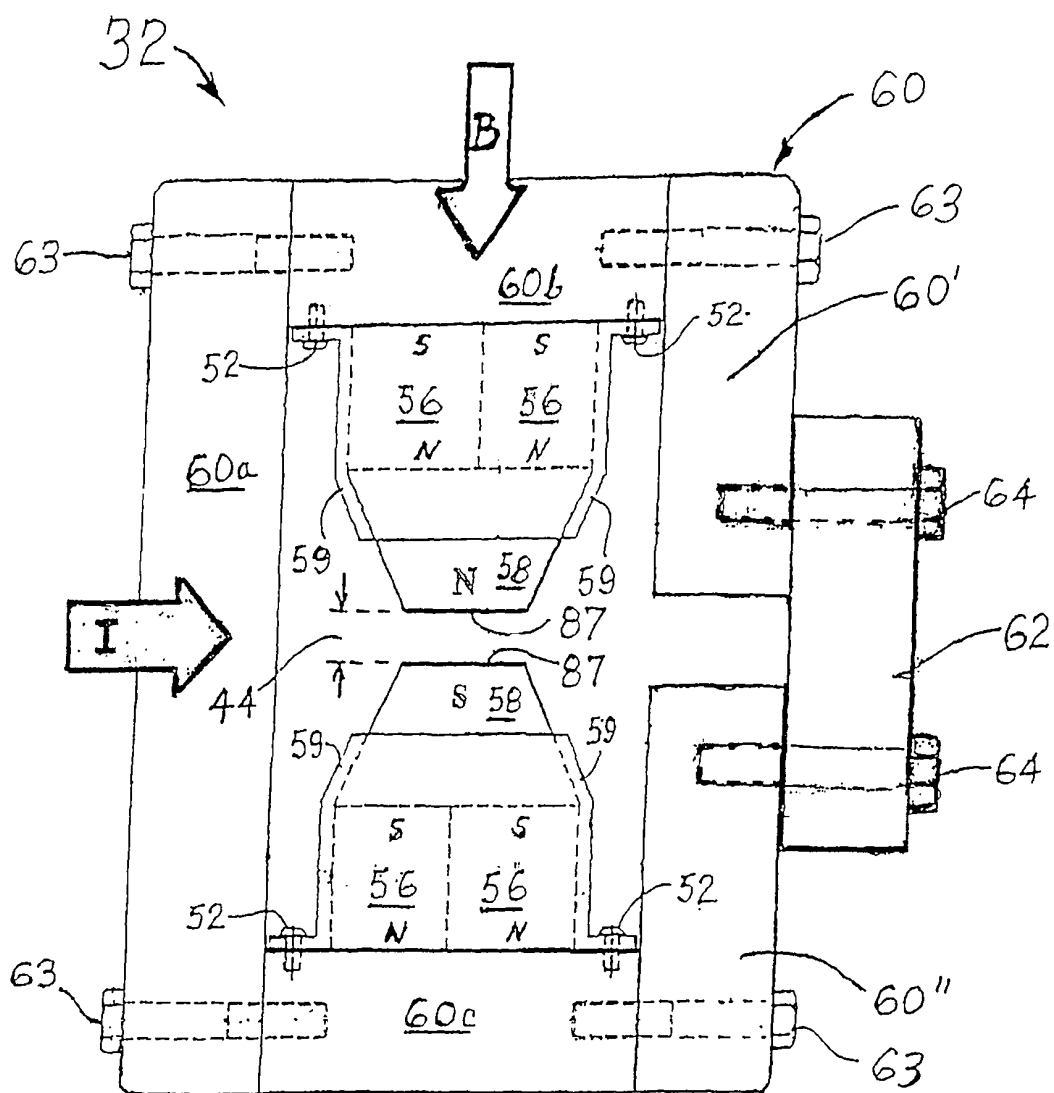
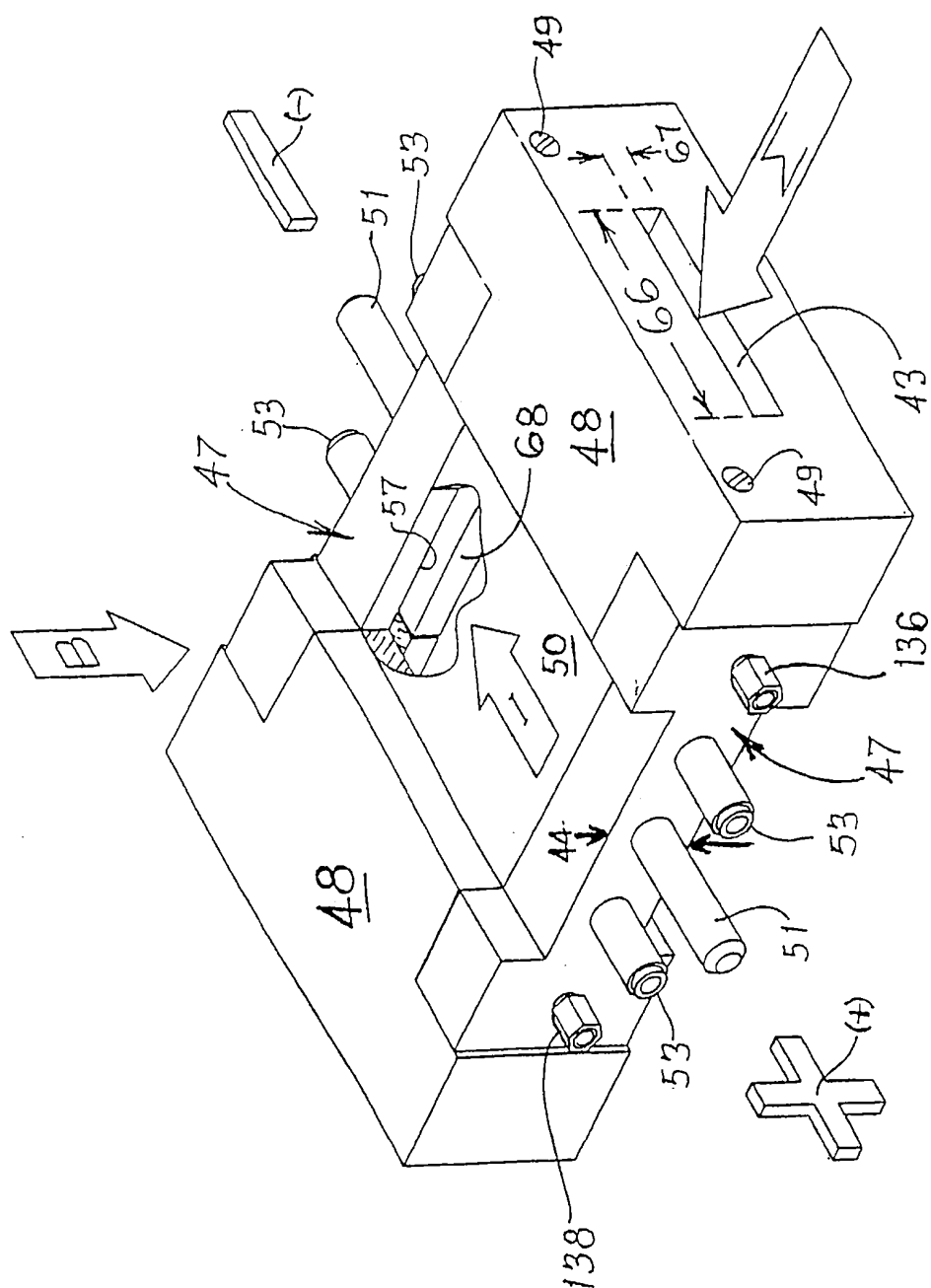


FIG. 2A



3
4
5
6

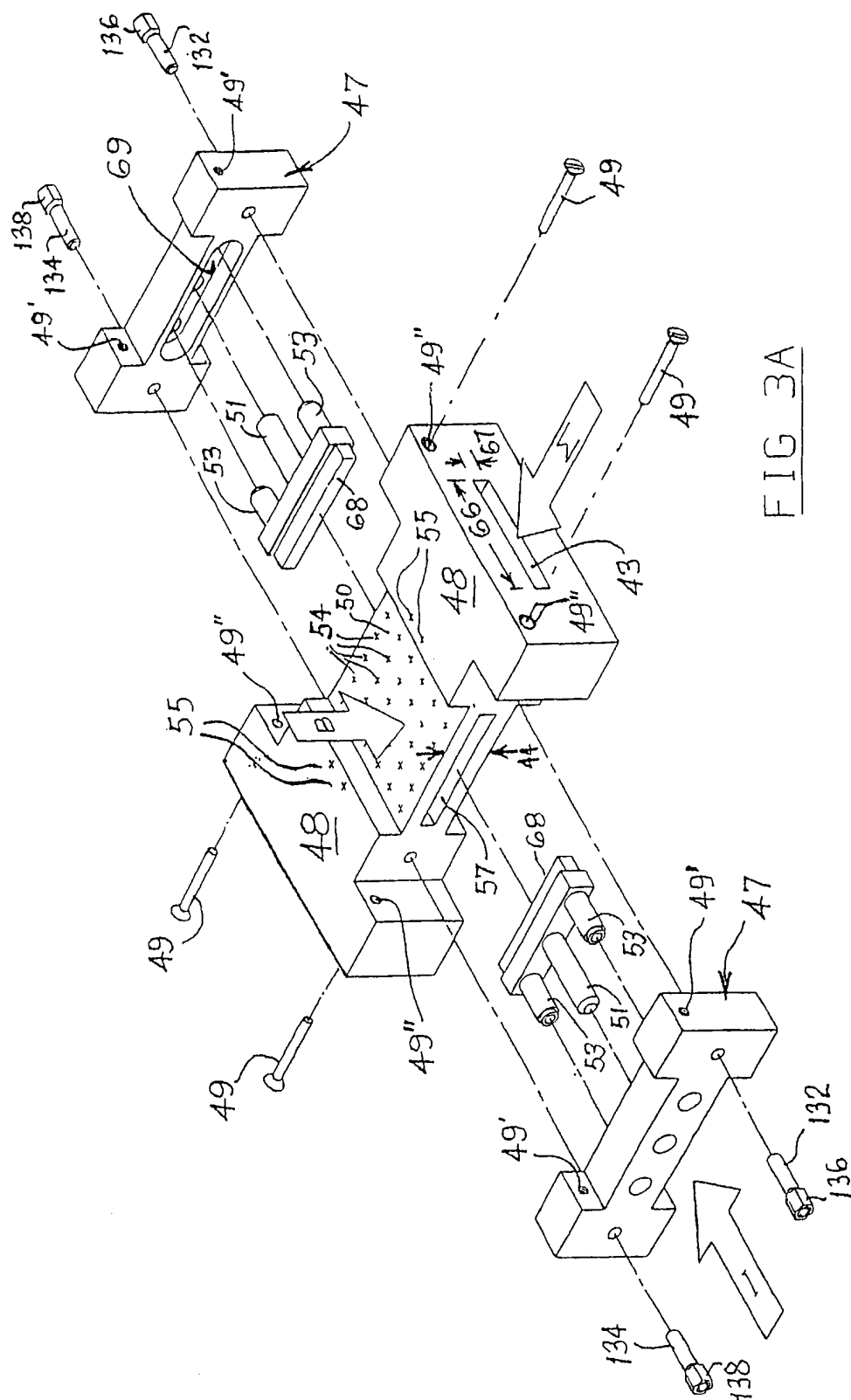
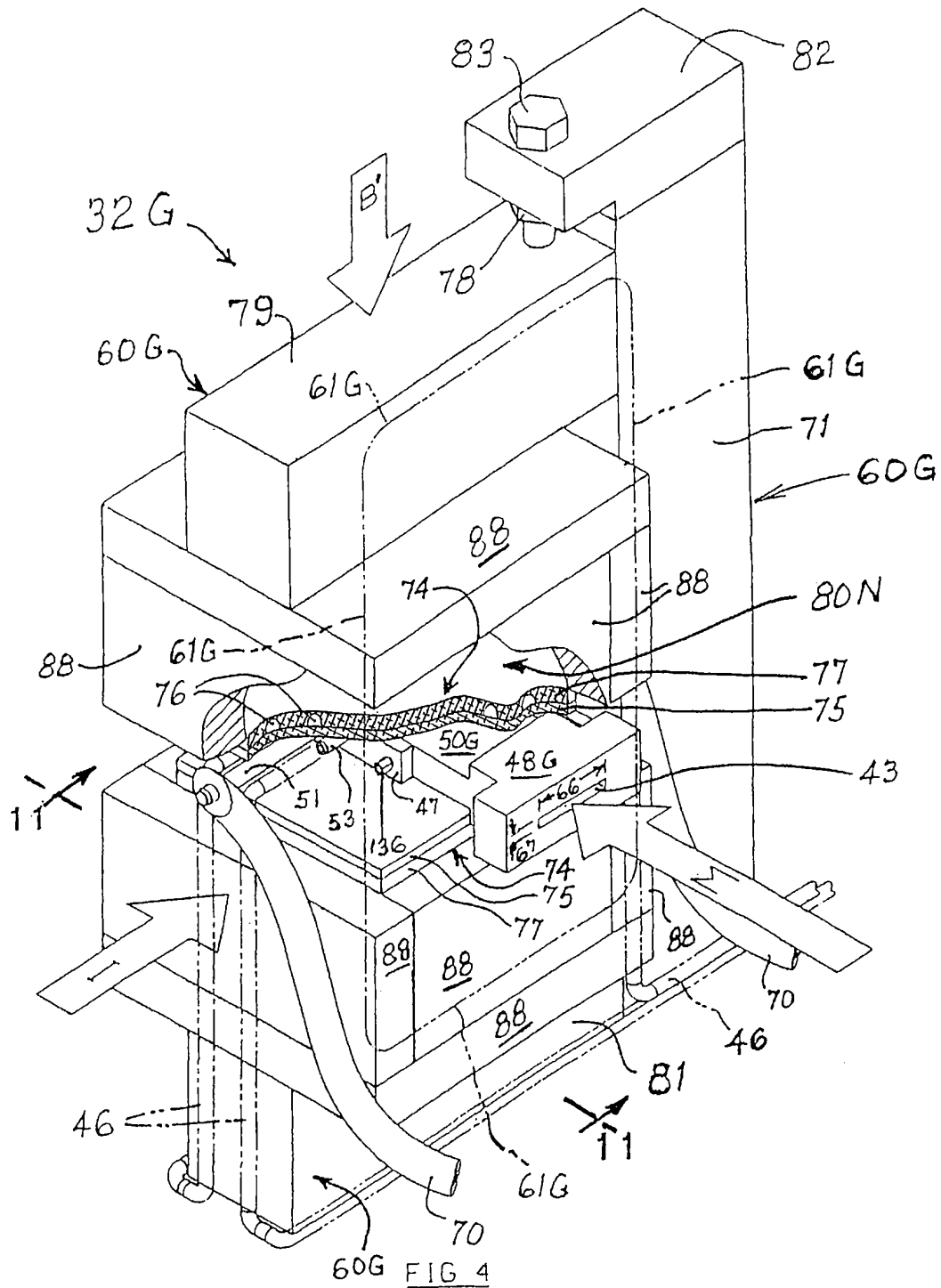
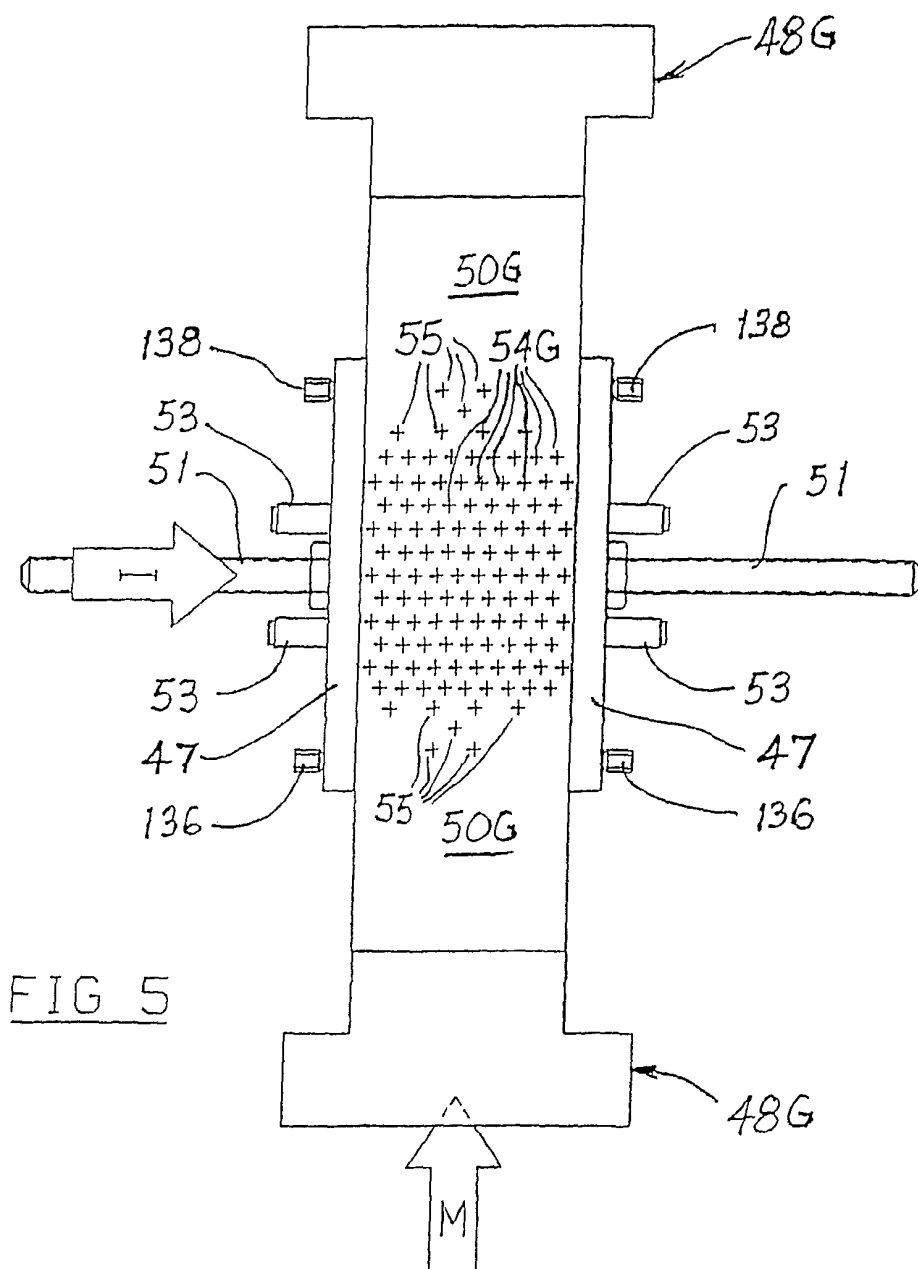
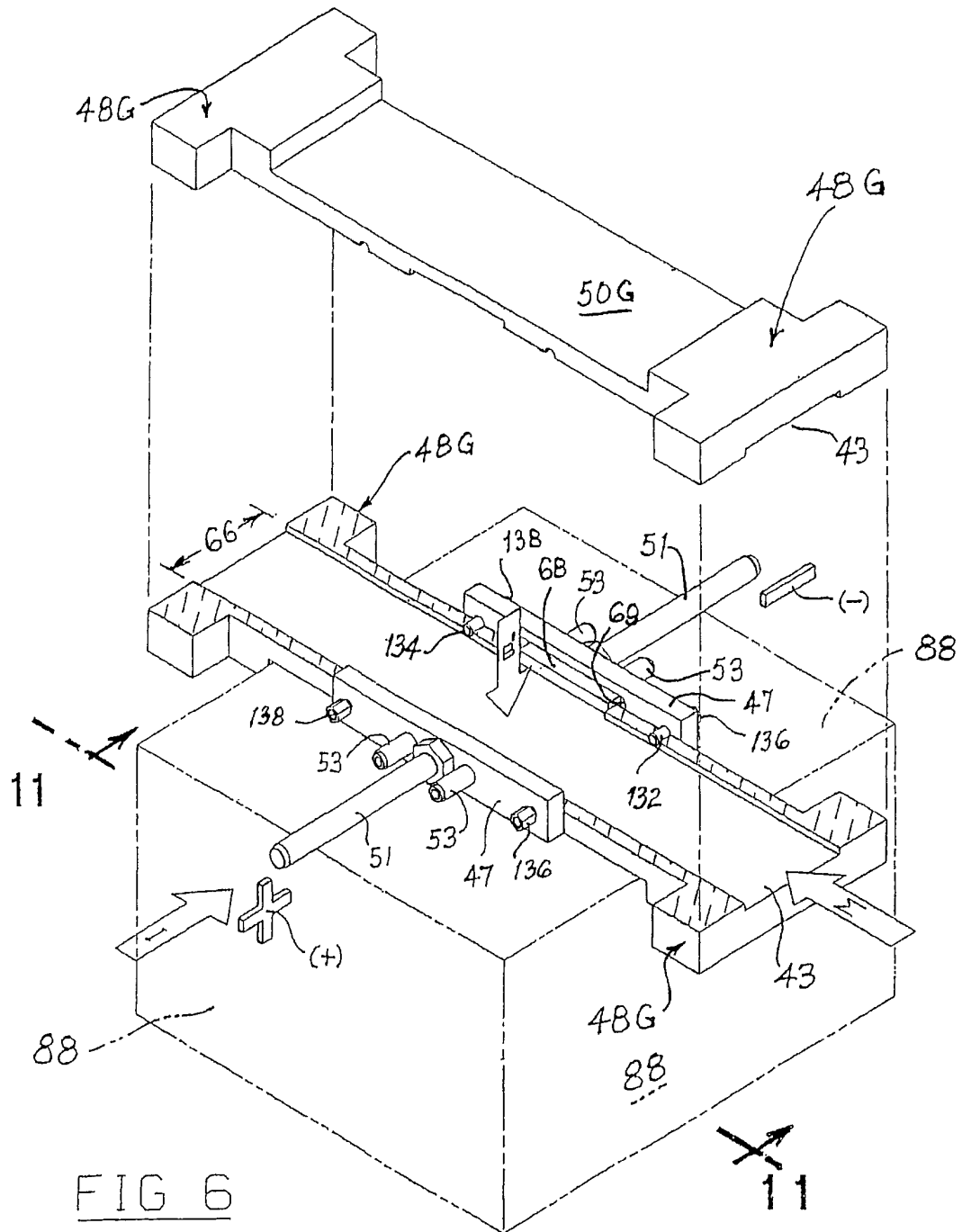
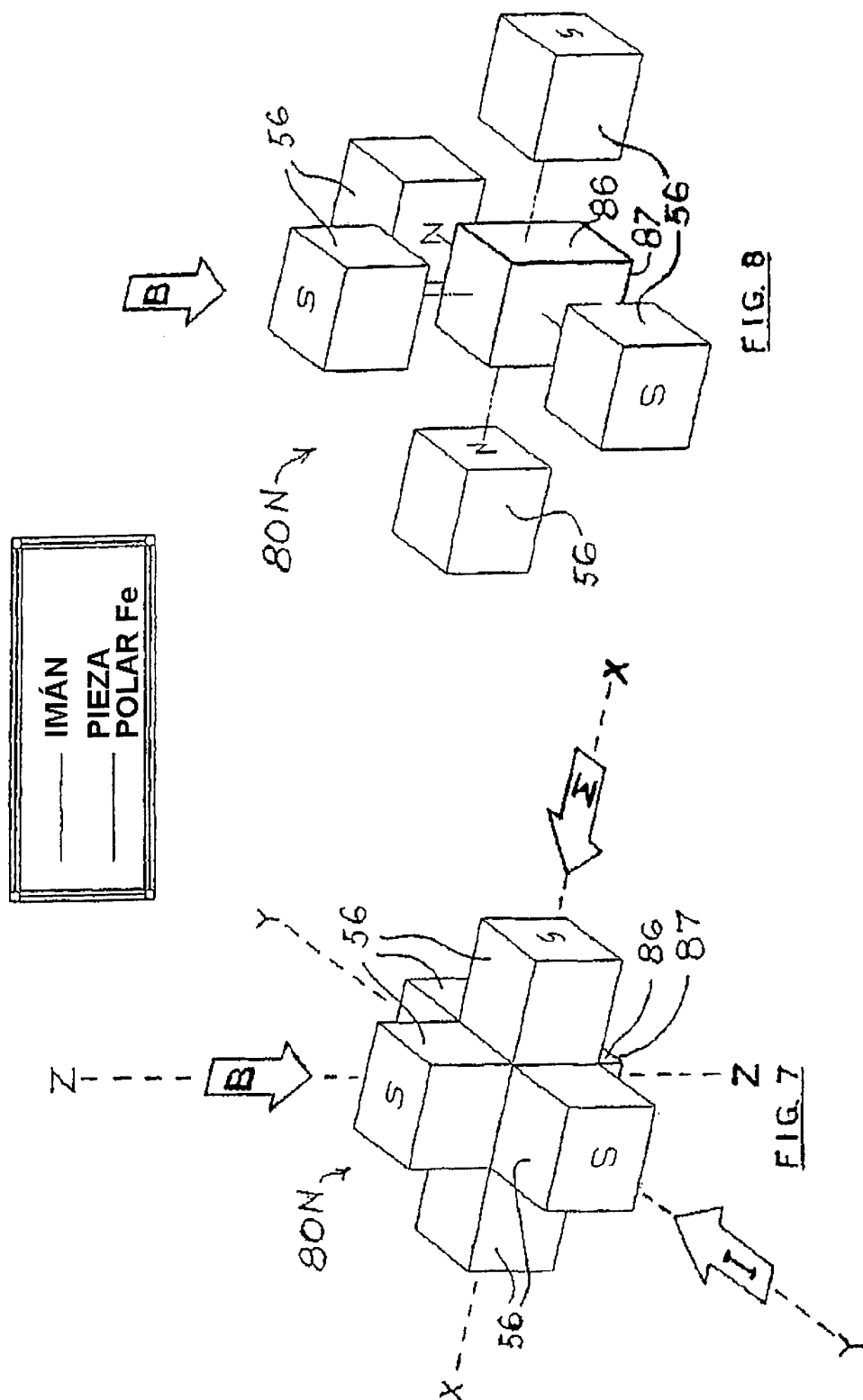


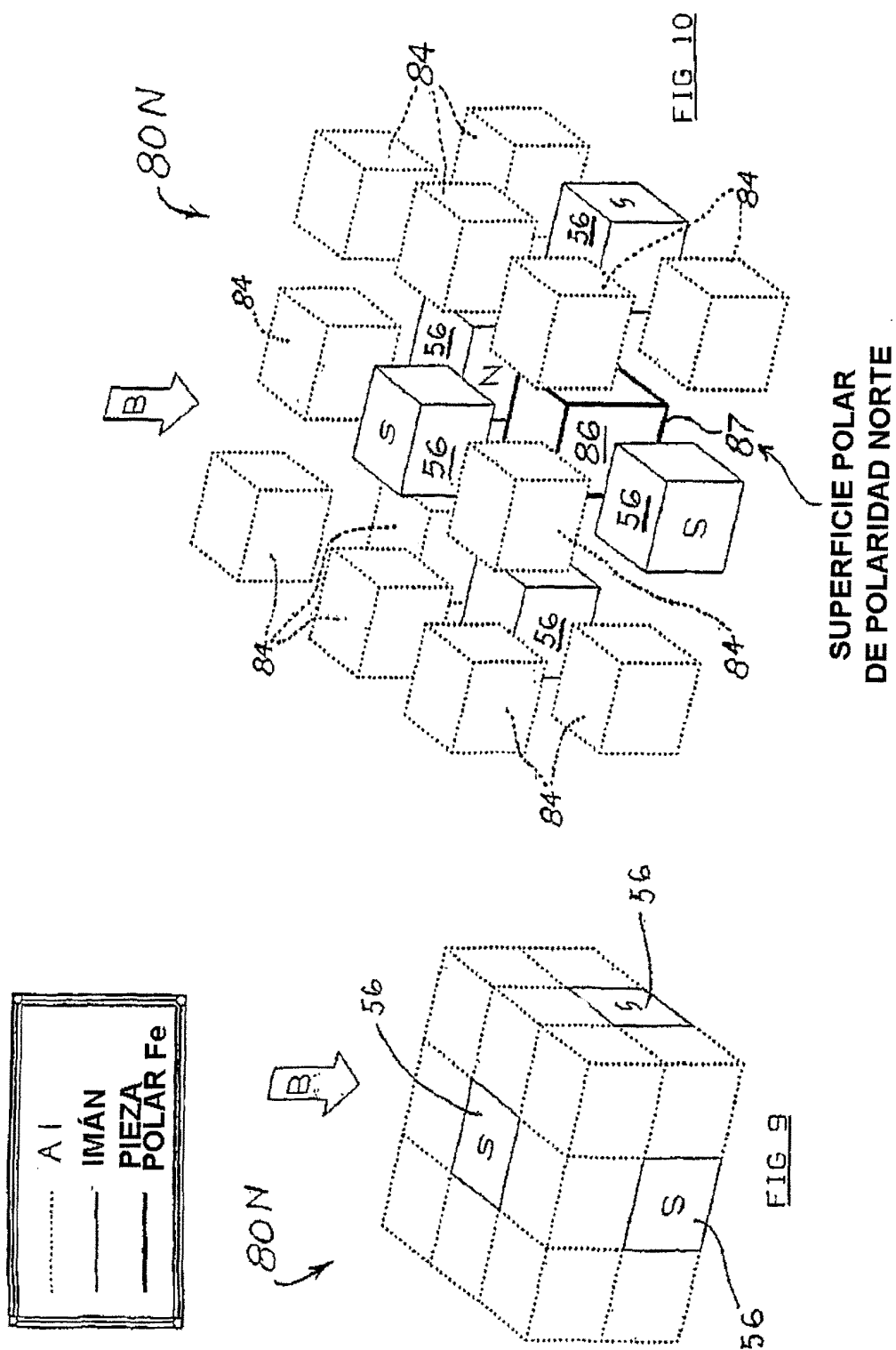
FIG 3A











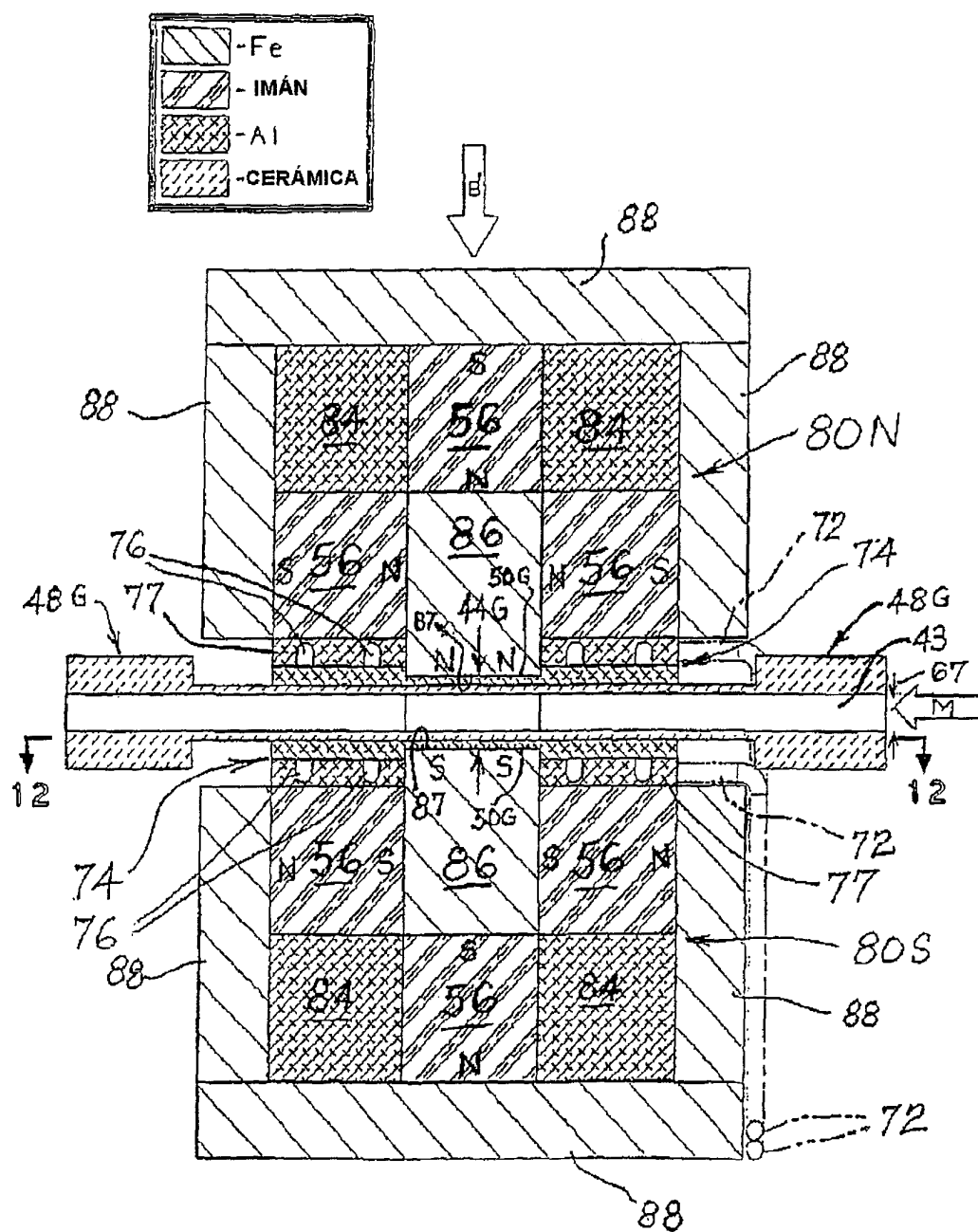
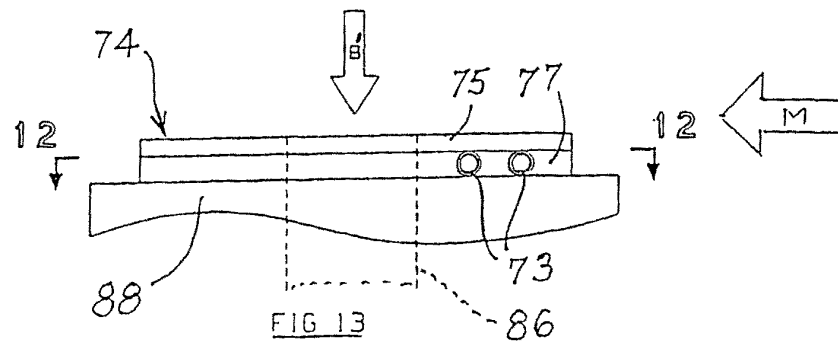
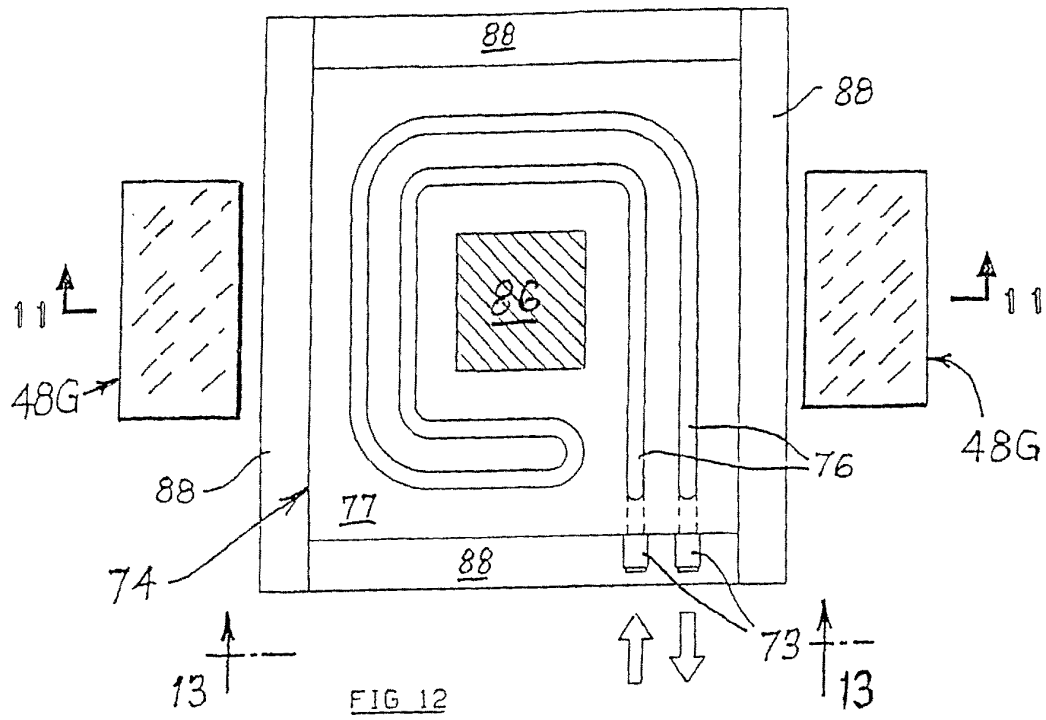
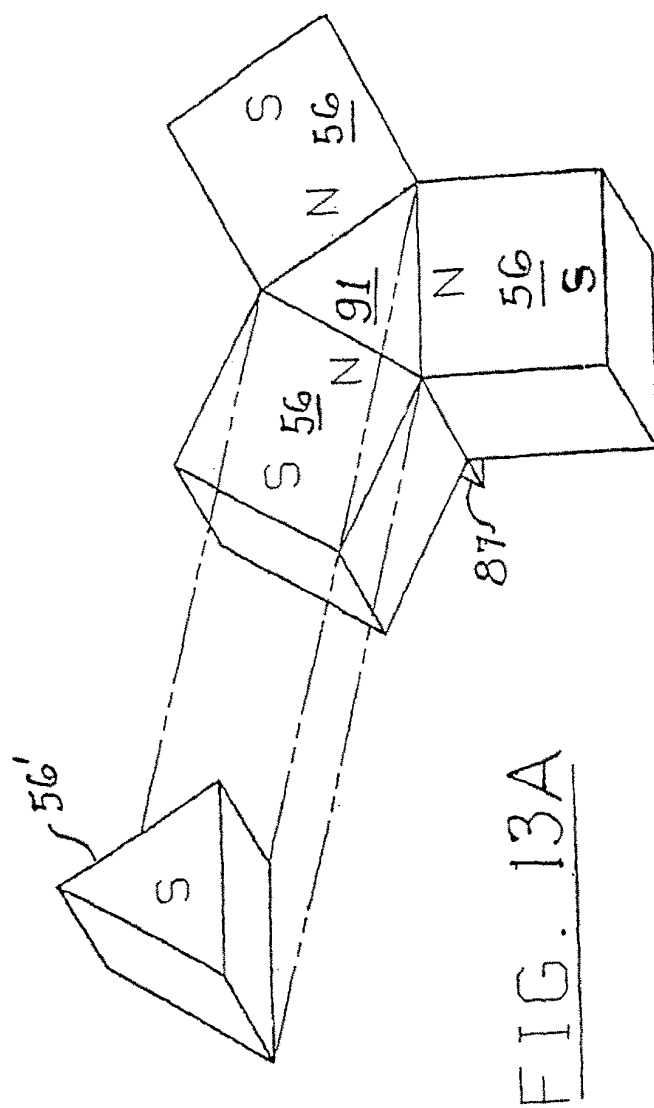
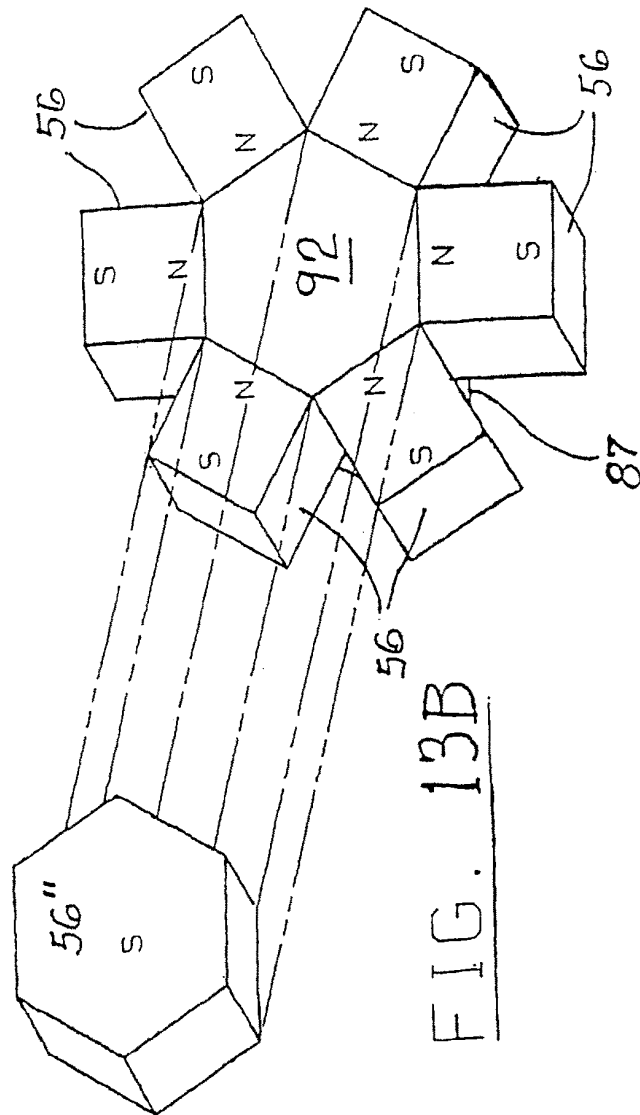


FIG 11







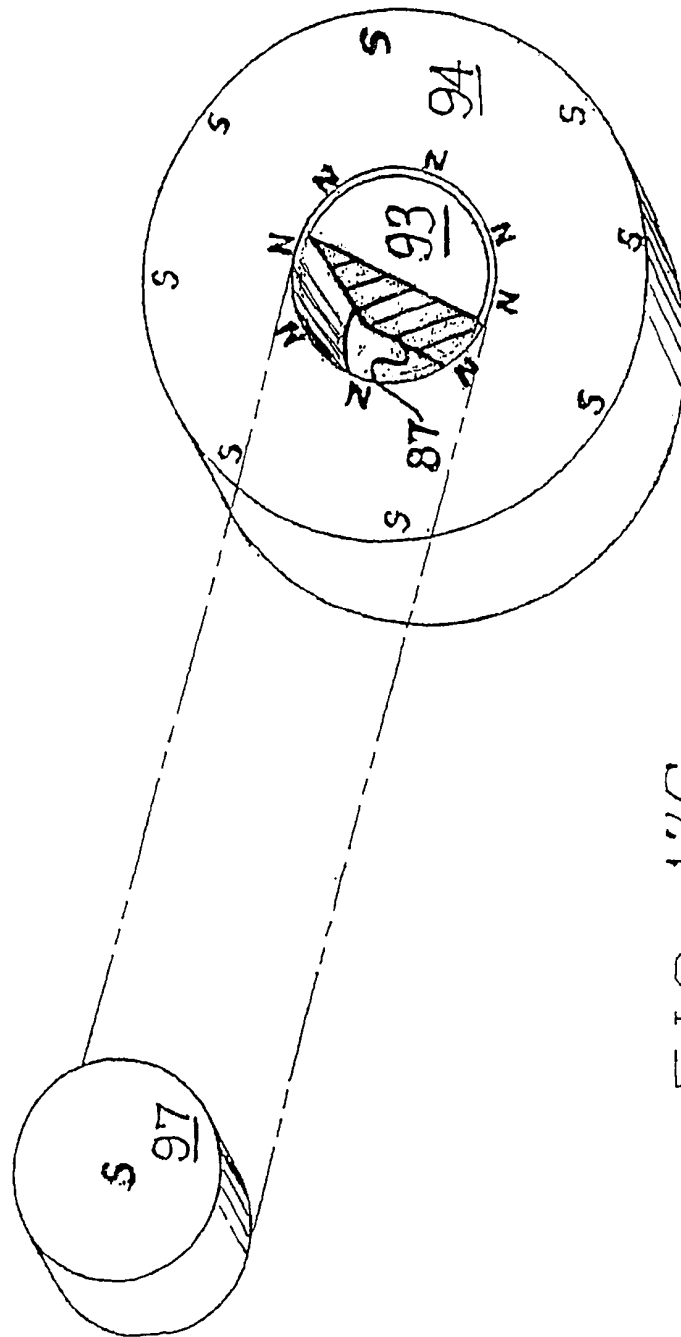


FIG. 13C

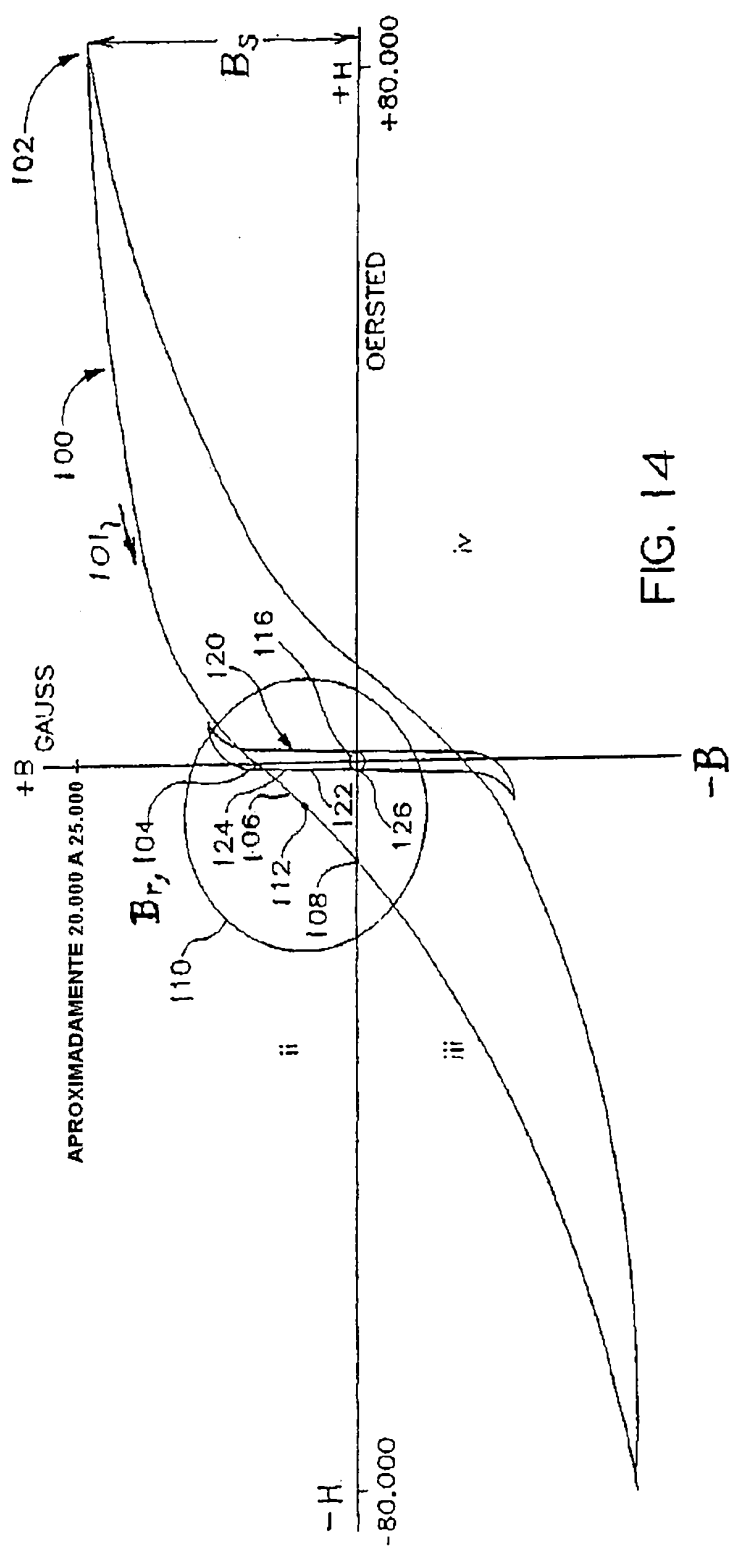
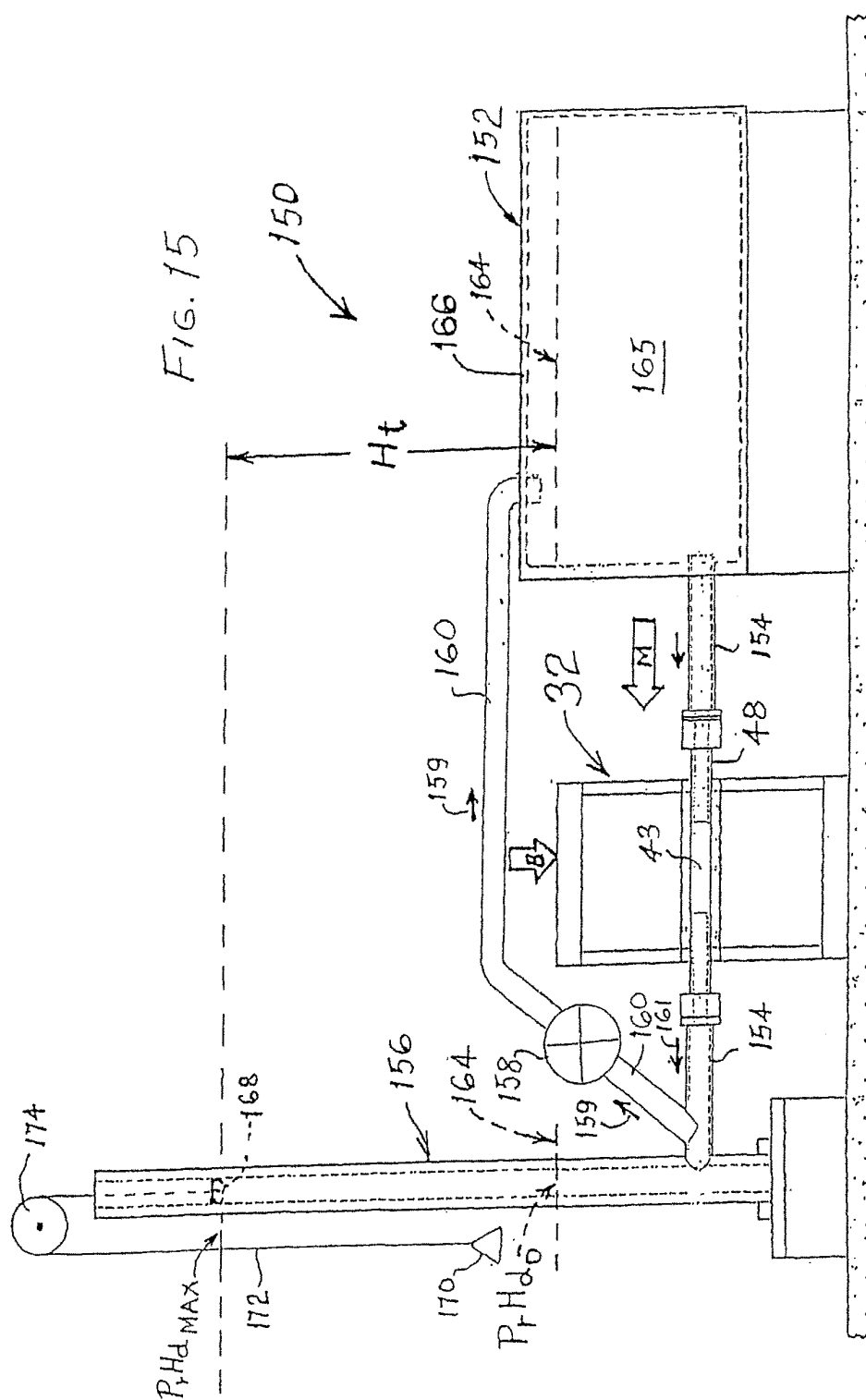
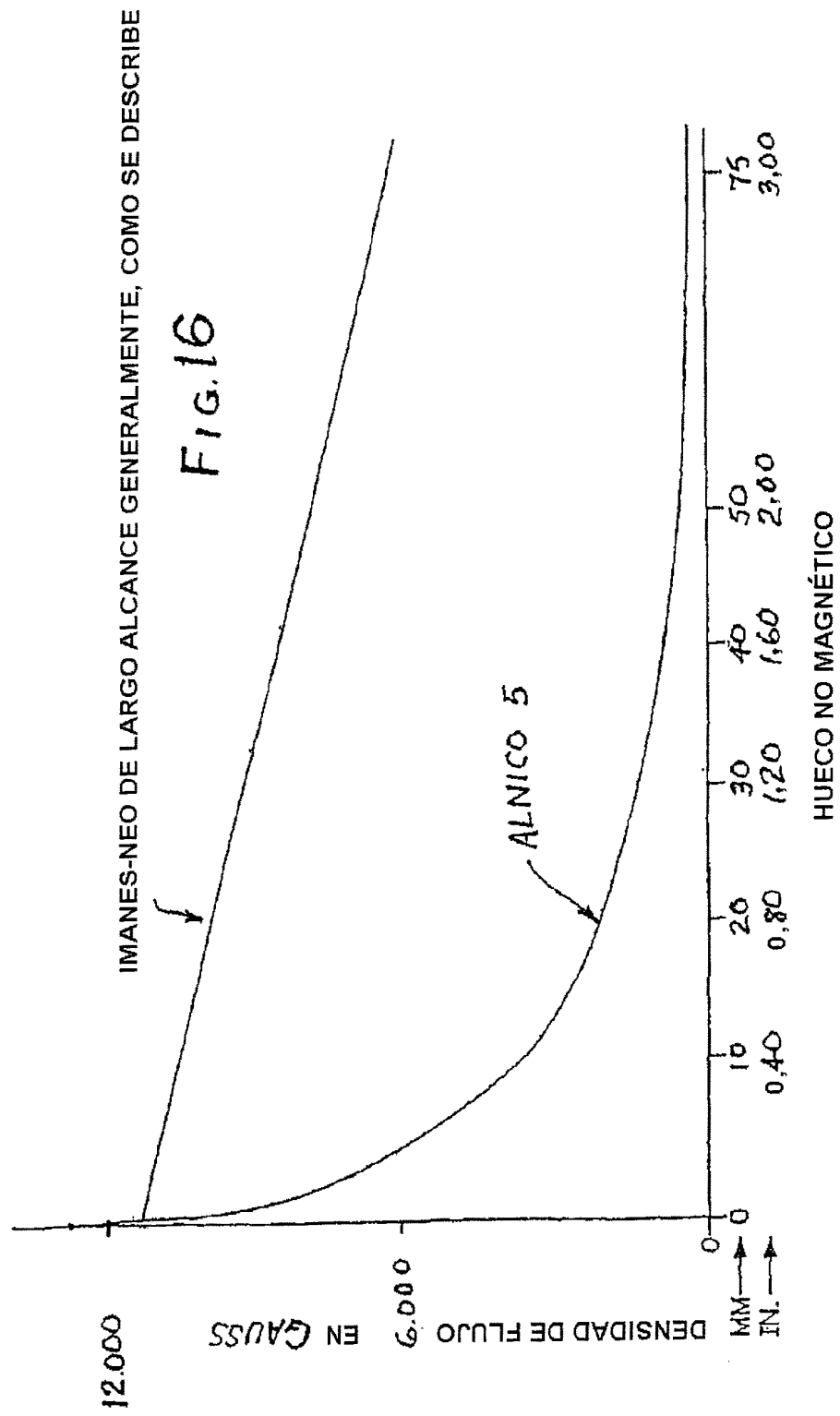
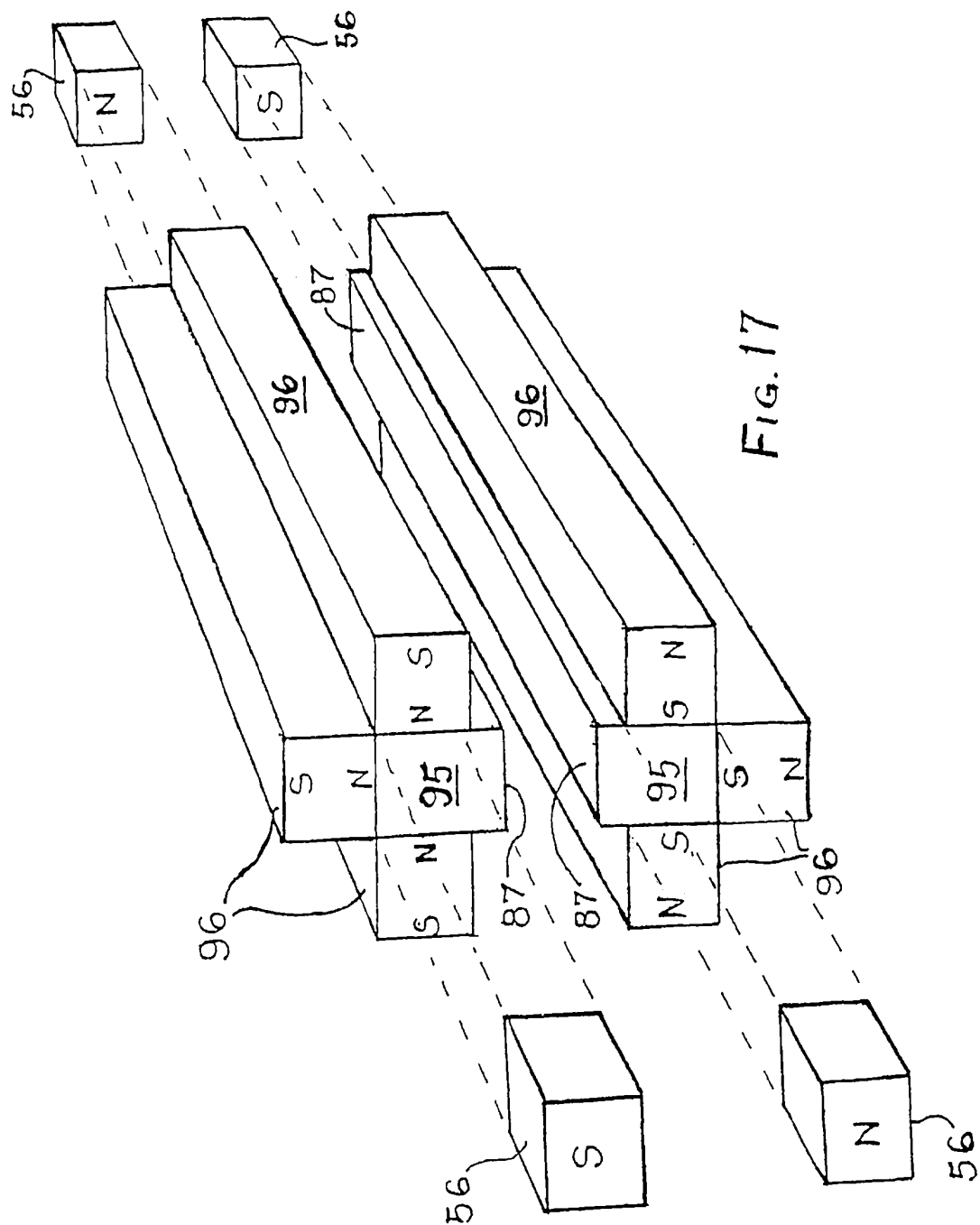


FIG. 14







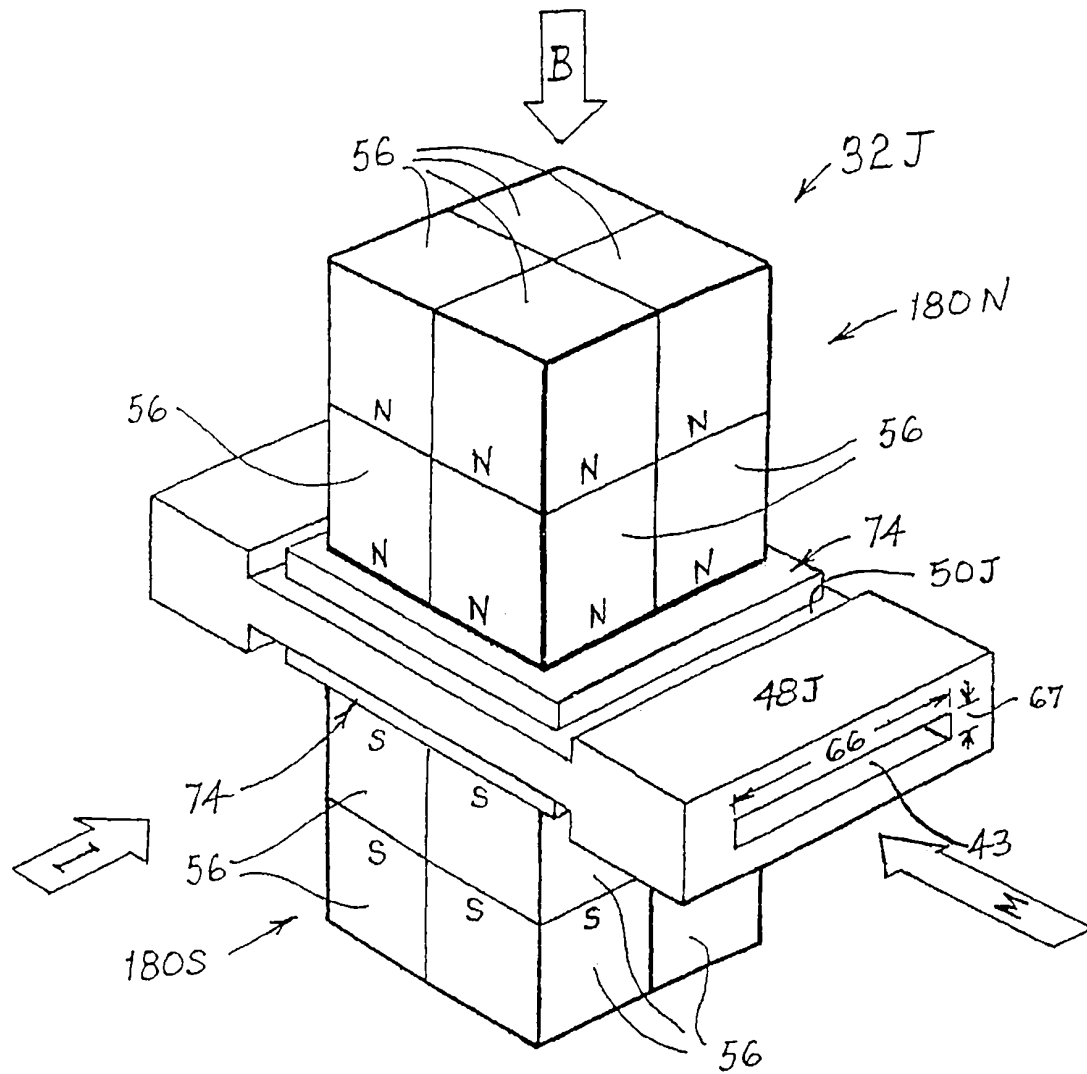


FIG. 18

