

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 725 899**

51 Int. Cl.:

| | |
|-------------------|-----------|
| H02K 33/16 | (2006.01) |
| H01F 7/02 | (2006.01) |
| H01F 7/06 | (2006.01) |
| H01F 7/16 | (2006.01) |
| H01F 7/20 | (2006.01) |
| H02P 25/02 | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.12.2013 PCT/EP2013/077888**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014 WO14096444**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2013 E 13843061 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.02.2019 EP 2936665**

54 Título: **Dispositivo magnético que comprende una unidad de aceleración que actúa sobre el rotor**

30 Prioridad:

21.12.2012 AT 13342012

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

30.09.2019

73 Titular/es:

**SEH LIMITED (100.0%)
No. 11, L-Ufficcji, Ground Floor,
Misrah 28 ta` Frar 1883
Birkirkara BKR 1501, MT**

72 Inventor/es:

**HEIN, JEREMY y
MARSCHNER VON HELMREICH, MARTIN**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 725 899 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo magnético que comprende una unidad de aceleración que actúa sobre el rotor

5 [0001] La presente invención se refiere a un dispositivo magnético que comprende al menos un estátor excitado magnéticamente y un rotor excitado magnéticamente, dicho rotor puede desplazarse a lo largo de una trayectoria de movimiento del rotor con respecto al estátor, en donde el estátor es un imán permanente y el rotor es un electroimán, o el estátor es un electroimán y el rotor es un imán permanente, en donde una fuerza magnética $F(x,J)$ actúa entre el estátor y el rotor, donde $x \geq 0$ es la distancia entre el estátor y el rotor y J es la densidad de corriente del electroimán, en donde una unidad de aceleración, al menos en subáreas de la trayectoria de movimiento del rotor, ejerce una fuerza sobre el rotor, la cual provoca un estado de la fuerza de aceleración que comprende al menos una fuerza de corrección $F_{corr}(x)$, dicho estado de la fuerza de aceleración está orientado alejándose del estátor.

10 [0002] Para simplificar, el imán del estátor se denomina a continuación de forma abreviada como estátor, el imán del rotor se denomina a continuación de forma abreviada como rotor.

15 [0003] Los accionamientos magnéticos según el estado de la técnica comprenden al menos un estátor y un rotor, el cual aprovechando las fuerzas de atracción magnéticas que actúan entre el estátor y el rotor, y las fuerzas de repulsión, puede desplazarse con respecto al estátor. De AT20110001260 20110905 (solicitante Jeremy Hein, Martin Marschner von Helmreich) se sabe que las fuerzas de atracción y las fuerzas de repulsión son esencialmente una función de la distancia entre el estátor y el rotor. La suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor, que provocan un movimiento del rotor, puede optimizarse seleccionando una distancia del rotor con respecto al estátor que se sitúa más cerca.

20 [0004] En el rotor desplazado con respecto al estátor, a una distancia r con respecto al estátor, el estado de fuerzas que actúa sobre el rotor, condicionado por las fuerzas de atracción magnéticas, puede alcanzar su máximo. En el caso de una dirección de movimiento inversa del rotor, es decir, en el caso de un movimiento del rotor alejándose del estátor, sin embargo, pueden actuar fuerzas de atracción entre el estátor y el rotor desplazado, cuando la distancia r es suficientemente reducida. En el caso de una distancia suficientemente reducida entre el estátor y el rotor, el estátor y el rotor actúan como un imán, a saber, independientemente de la polaridad del estátor y del rotor. La distancia suficientemente reducida, entre otras cosas, se presenta a través de la intensidad del campo del rotor con respecto al estátor, o de forma inversa. La intensidad del campo del rotor, durante el funcionamiento de un dispositivo magnético, por ejemplo durante el instante del cambio de polaridad de un electroimán, puede resultar reducida en comparación con el estátor.

25 [0005] En el caso de una distancia suficientemente reducida entre el estátor y el rotor se impide o se frena un movimiento del rotor alejándose del estátor, a través de las fuerzas de atracción que actúan entre el estátor y el rotor. Este efecto conocido por el estado de la técnica se denomina como "captura" del rotor en el estátor. Debido a esto se reduce la potencia de un dispositivo magnético que se sirve por ejemplo de accionamiento magnético.

30 [0006] DE10003928 al igual que el estado de la técnica mencionado en DE10003928 describen dispositivos magnéticos que, en las posiciones del extremo de la trayectoria de movimiento del rotor, comprenden electroimanes. Para mover el rotor desde una primera posición del extremo hacia una segunda posición del extremo el electroimán se desconecta en la primera posición del extremo (véase DE10003928, columna 1, líneas 23-24, D1 columna 6, líneas 19-22). Debido a la desconexión del electroimán en la primera posición del extremo - tal como se muestra en la introducción de la descripción de la solicitud de patente - no puede tratarse el problema de la separación del rotor del imán en la primera posición del extremo. En DE10003928, el resorte cumple la función de llevar el rotor a una posición determinada, en caso de encontrarse desconectado el electroimán.

35 [0007] En WO2007063222, en la página 3, líneas 10-13, se describe que la válvula se encuentra abierta en el caso de que no exista un desequilibrio (de fuerzas) provocado por los electroimanes. La posición abierta (posición de equilibrio) se alcanza por ejemplo mediante un resorte.

40 [0008] De este modo, el efecto del resorte se diferencia del efecto de la unidad de aceleración descrita en la solicitud de patente. En WO2007063222 no se tematiza el problema de la captura.

45 [0009] En DE102007051917 se describe un dispositivo que comprende al menos un electroimán y un resorte, en donde el resorte y el electroimán están interrelacionados uno con otro. Según DE102007051917, apartado [0009], el rotor puede desplazarse hacia una posición del extremo a través de una aplicación de corriente o de una ausencia de aplicación de corriente en el electroimán.

50 [0010] En DE102007051917 no se indica que el resorte sirva para separar el rotor de un electroimán. Puesto que el efecto del resorte, descrito en la solicitud de patente, no se menciona en DE102007051917, la nueva reivindicación 1 puede considerarse como nueva en comparación con DE102007051917.

[0011] Según la descripción de DE102006013013, apartado [0017], los resortes sirven para superar la adhesión de la placa de sujeción en el electroimán desconectado, debido a la remanencia. Este efecto de los resortes no corresponde al efecto de los resortes descrito en la solicitud de patente.

5 [0012] Según la descripción de la solicitud de patente, la unidad de aceleración provoca una separación del rotor con respecto al estátor, que actúan como un imán. Esto implica que ningún electroimán esté desconectado. Se remite a la argumentación anterior, por la cual la reivindicación 1 es nueva en comparación con DE102006013013.

[0013] En EP1995090, en el apartado [0032], se describe que el resorte es un elemento estrictamente de soporte (support spring for supporting the vehicle). El efecto de la unidad de aceleración descrito en la solicitud de patente no está descrito en D5.

10 [0014] Según la descripción de US8222754, el resorte es una parte de un sistema de oscilación. En US8222754 no se describe un efecto similar al efecto de la unidad de aceleración descrito en la solicitud de patente. La reivindicación 1 debe considerarse como nueva en comparación con D6.

15 [0015] En EP1320178 tampoco se proporcionan datos de tamaño para los resortes que actúan adicionalmente con respecto al accionamiento lineal electromagnético. La problemática de la acción del estátor y del rotor como un imán en el caso de una aproximación suficiente del rotor con respecto al estátor no se trata tampoco en EP1320178, de manera que el experto no puede deducir, en base a EP1320178, la magnitud de la fuerza elástica o un efecto del resorte descrito en EP1320178, de forma similar a la unidad de aceleración descrita a continuación. En DE102997051917 se describe un dispositivo magnético que comprende un actuador diseñado como un electroimán y un elemento de resorte para generar una fuerza en la dirección de movimiento. En DE102997051917 no se encuentran indicaciones en cuanto a la problemática, planteada en el marco de esta descripción, de la acción del estátor y el rotor como un imán al menos en el caso de una aproximación suficiente del rotor con respecto al estátor. Por consiguiente, el experto no se plantea el objeto de la creación de un equilibrio de fuerzas, así como de un desequilibrio de fuerzas según la invención, tal como se describen a continuación. DE102997051917 no contiene datos relativos a la magnitud de la fuerza que debe generarse en la dirección de movimiento, de manera que el experto, en base a DE102997051917, no puede deducir la magnitud de la fuerza elástica.

20

25

[0016] En DE10003928 se describe un actuador electromagnético con un mecanismo de resorte que actúa en el rotor. Según la descripción de DE102997051917, el mecanismo de resorte actúa como mecanismo de oscilación del rotor. El problema que subyace a la invención, de la separación del rotor con respecto al estátor en el caso de un movimiento del rotor alejándose del estátor, no se trata en DE10003928.

30 [0017] En WO2007063222, el resorte cumple la función de llevar el actuador a una posición de cierre, en el caso de un fallo de la bobina. De este modo, en WO2007063222 no se trata el problema que subyace a esta invención.

[0018] El resorte del dispositivo descrito en DE202009014192 no tiene ningún efecto sobre el movimiento del rotor, sino que sirve para el acoplamiento de varios dispositivos.

35 [0019] La invención aquí planteada se propone el objeto de proporcionar un dispositivo magnético, en donde dicho dispositivo magnético, en comparación con los dispositivos según el estado de la técnica, comprende un componente adicional que reduce o impide el efecto de la captura del rotor en el estátor. A continuación, el estado de la fuerza provocado por el efecto de la captura se denomina como estado de la fuerza de captura.

40 [0020] Según la invención, esto se logra debido a que $F(x, J = 0)$ define un efecto de captura magnético que contrarresta un movimiento deseado del rotor, en donde $F(x, J = 0)$, en el caso de que no se aplique corriente al electroimán, puede determinarse a través de mediciones, y de modo que

(a) en el caso de un movimiento del rotor desde el estátor, la suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor es mayor que cero

$$F(x, J = 0) + F_{corr}(x) > 0, \quad \text{en donde aplica} \quad F_{corr}(x) > -F(x, J = 0),$$

o

45 (b) en el caso de un movimiento del rotor hacia el estátor, la suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor es menor que cero

$$F(x, J = 0) + F_{corr}(x) < 0, \quad \text{en donde aplica} \quad F_{corr}(x) < -F(x, J = 0),$$

o

(c) en el caso de un estado de equilibrio del rotor hacia el estátor, la suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor es igual a cero

$$F(x, J = 0) + F_{corr}(x) = 0, \text{ en donde aplica } F_{corr}(x) = -F(x, J = 0),$$

5 de manera que la fuerza de corrección $|F_{corr}(x)| \geq |F(x, J = 0)|$ contrarresta el efecto de captura de forma parcial o total. El dispositivo magnético según la invención puede ser un accionamiento magnético, un generador, un elemento de resistencia u otro dispositivo, en el cual un rotor se desplaza con respecto al estátor en el eje principal, o también solamente de forma parcial debido a fuerzas provocadas por campos magnéticos.

[0021] En el caso de una distancia suficientemente reducida del rotor con respecto al estátor, el estátor y el rotor actúan como un imán, de manera que el rotor se desplaza con respecto al estátor.

10 [0022] El estado de la fuerza de aceleración causado por la unidad de aceleración está orientado alejándose del estátor. El efecto del estado de la fuerza de aceleración puede estar limitado a la subárea de la trayectoria de movimiento del rotor en la cual se produce el efecto de captura antes descrito.

15 [0023] El estado de la fuerza de aceleración puede estar superpuesto en subáreas de la trayectoria de movimiento del rotor, a través del estado de la fuerza de captura. El estado de la fuerza de captura está marcado esencialmente por la fuerza de atracción que actúa entre el estátor y el rotor. El estado de la fuerza de aceleración, en función de su variable conforme a la magnitud, contrarresta el estado de la fuerza de captura de forma parcial o total.

20 [0024] La unidad de aceleración puede causar el estado de la fuerza en base a fuerzas generadas mecánicamente o a fuerzas magnéticas. La unidad de aceleración puede causar el estado de la fuerza de aceleración a través de una deformación, ocurrida previamente, de un cuerpo deformado al menos parcialmente de forma elástica, como por ejemplo un resorte. La deformación del cuerpo elástico puede provocarse a través de un movimiento del rotor. Usualmente, la deformación del cuerpo elástico será provocada durante un movimiento del rotor al menos parcialmente con respecto al estátor, antes de la aparición del efecto de captura y/o de llegar el rotor a un área suficientemente próxima al estátor, en la cual a continuación se produce el efecto de captura.

25 [0025] Una forma de realización del dispositivo magnético según la invención puede estar caracterizada por que la unidad de aceleración, sobre toda la trayectoria de movimiento del rotor, está acoplada de modo que actúa con el rotor.

[0026] La unidad de aceleración, en función de una distancia del rotor con respecto al estátor, en el caso de una aproximación del rotor con respecto al estátor, puede ser pretensada y/o la unidad de aceleración, en función de la distancia del rotor con respecto al estátor, puede provocar el estado de la fuerza de aceleración.

30 [0027] En el caso del acoplamiento del rotor a la unidad de aceleración, y en el caso de un movimiento del rotor hacia el estátor, la suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor puede ser menor o igual que cero.

[0028] En el caso del acoplamiento del rotor a la unidad de aceleración, y en el caso de un movimiento del rotor desde el estátor, la suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor puede ser mayor o igual que cero.

35 [0029] El dispositivo magnético según la invención, aquí descrito, no se limita al posicionamiento de la unidad de aceleración en un área entre el estátor y el rotor. El posicionamiento de la unidad de aceleración, en esta área, representa solo una posibilidad del posicionamiento, según la invención, de la unidad de aceleración. La unidad de aceleración, además, puede estar dispuesta lateralmente con respecto a la trayectoria de movimiento del rotor, extendiéndose en cualquier ángulo con respecto a la trayectoria de movimiento del rotor.

40 [0030] El resorte también puede estar diseñado de una pieza con un elemento soporte que cumple la función del soporte del rotor que se desliza sobre un eje del rotor. El resorte puede estar diseñado como resorte de láminas o como resorte helicoidal. El elemento soporte puede comprender un material elástico; dicho material elástico se deforma durante el funcionamiento del dispositivo magnético según la invención.

45 [0031] Según el estado de la técnica, la fuerza que actúa sobre un rotor es una suma de los estátors y rotores que actúan en esa área, en función de la distancia entre el respectivo estátor y el respectivo rotor. La fuerza que actúa entre el estátor y el rotor que se desplaza alejándose del estátor al producirse el efecto de captura antes descrito se comporta de forma análoga a lo mencionado en el caso de una conformación correspondiente del resorte. La invención aquí descrita puede caracterizarse por que la unidad de aceleración, en función de la distancia temporal del rotor con respecto al estátor, provoca el estado de la fuerza de aceleración.

- [0032] La característica anterior de la unidad de aceleración, por ejemplo, puede alcanzarse debido a una conformación geométrica diferente del resorte, sobre la longitud del resorte, o debido a propiedades del resorte diferentes, sobre la longitud del resorte. De manera análoga, por ejemplo, puede diseñarse un cuerpo elásticamente deformable.
- 5 [0033] La siguiente forma de realización del dispositivo magnético según la invención puede resultar ventajosa cuando la unidad de aceleración es pretensada en función del rotor que se aproxima al estátor. Como una pretensión, en el marco del planteamiento de esta invención, de forma similar a la pretensión de un resorte, se describe un estado en el que la unidad de aceleración almacena una fuerza aplicada sobre la unidad de aceleración o una distorsión para una emisión en un momento posterior. Según la invención, la emisión posterior de la fuerza aplicada o la distorsión,
10 tiene lugar para separar el rotor capturado en el estátor.
- [0034] Una forma de realización posible del dispositivo magnético según la invención puede estar caracterizada por que la unidad de aceleración está acoplada al rotor y con un punto fijo, y se extiende al menos parcialmente entre el rotor y el punto fijo.
- [0035] El punto fijo puede ser un objeto que se sitúa por fuera del dispositivo según la invención. Además, el punto fijo puede ser una pieza del dispositivo, como por ejemplo un bastidor de una máquina o una pieza de la carcasa. El punto fijo puede estar montado de forma desplazable o no desplazable con respecto al estátor.
- 15 [0036] El estátor puede estar diseñado como punto fijo.
- [0037] La unidad de aceleración puede ser otro imán que está acoplado al rotor y que se conecta para la aceleración del rotor. El otro imán puede ser un imán permanente y/o un electroimán.
- 20 [0038] Además, la unidad de aceleración puede comprender un accionamiento, de manera que en el caso del acoplamiento del accionamiento con el rotor el estado de la fuerza puede utilizarse según la idea central de esta invención. El accionamiento, por ejemplo, puede ser un motor eléctrico y/o un dispositivo neumático o un dispositivo hidráulico según el estado de la técnica.
- [0039] La unidad de aceleración puede estar diseñada como un resorte; dicho resorte presenta un componente de la fuerza elástica que actúa paralelamente con respecto a la trayectoria de movimiento del rotor.
- 25 [0040] De este modo, el componente de la fuerza elástica actúa orientado de forma opuesta con respecto a las fuerzas condicionadas por el efecto de captura. El resorte es pretensado a través del movimiento del rotor hacia al estátor, en donde la emisión de la fuerza acumulada en el resorte tiene lugar durante el movimiento del rotor, alejándose del estátor.
- 30 [0041] La descripción anterior se refiere tanto a una trayectoria de movimiento del rotor lineal o que se desarrolla de forma poligonal. Una línea de la trayectoria de movimiento del rotor puede extenderse a través del estátor.
- [0042] Las formas de realización posibles del dispositivo magnético según la invención incluyen todas las combinaciones posibles de electroimanes e imanes permanentes, en particular la conformación del estátor y del rotor como imán permanente o como electroimán.
- 35 [0043] El estátor puede estar diseñado como un imán permanente y el rotor como un electroimán.
- [0044] El estátor puede estar diseñado como un electroimán y el rotor como un imán permanente.
- [0045] Los electroimanes y/o los imanes permanentes, según el conocimiento especializado, pueden polarizarse de modo que a través de las fuerzas de repulsión o las fuerzas de atracción causadas, puede provocarse un movimiento o una posición definida del rotor, relativamente con respecto al estátor.
- 40 [0046] En el caso de un diseño del estátor y/o del rotor como electroimán, el estátor y/o el rotor pueden actuar como otro imán. Esto puede lograrse de modo que el campo magnético del estátor y/o del rotor se modifica durante un período definido. El período definido puede seleccionarse en función de la posición del rotor que se desplaza.
- [0047] El dispositivo magnético según la invención puede comprender un dispositivo de control para controlar la polaridad del electroimán y para controlar la intensidad del electroimán en función del estado de la fuerza de
45 aceleración.

[0048] El efecto de una unidad de aceleración como una parte del dispositivo magnético según la invención se explica mediante las siguientes figuras y mediante las descripciones correspondientes de las figuras, complementando la descripción anterior.

5 [0049] En las figuras, los elementos que se presentan a continuación se indican con los siguientes números de referencia:

- 1 Estátor
- 2 Rotor
- 3 Trayectoria de movimiento del rotor
- 5 Unidad de aceleración
- 10 6 Punto fijo
- 7 Resorte
- F_{corr} Fuerza de corrección

Las Figuras 1 a 16 se refieren a un dispositivo magnético que comprende un estátor y un rotor.

Las Figuras 17 a 27 se refieren a un dispositivo magnético que comprende un estátor y dos rotores.

15 [0050] Además, en el siguiente planteamiento de un movimiento del rotor, no se consideran fuerzas que actúan de forma opuesta, como fuerzas de rozamiento o fuerzas de resistencia al aire, debido a una simplificación que debe realizar el experto con respecto a la teoría habitual.

20 [0051] Mediante una referencia a las Figuras 1 a 16 se considera la interacción de dos dipolos magnéticos dispuestos a lo largo de una trayectoria de movimiento del rotor 3 lineal. El primer dipolo 1 está diseñado como imán permanente; el segundo dipolo 2 como electroimán. El planteamiento mediante la Figura 1 a 17 se basa en la suposición de que no se encuentra presente un movimiento relativo entre los dipolos, de manera que no tiene sentido una denominación de los dipolos como estátor o rotor.

25 [0052] Con el motivo de simplificar la teoría habitual, se supone un imán permanente con una forma cilíndrica y un campo magnético que se extiende al menos a lo largo del eje de movimiento del rotor. Se supone además una magnetización uniforme $\vec{M}_1 = M_1 \vec{e}_x$ del campo magnético en amperios por metro [A/m]. El campo magnético por fuera del imán permanente se reduce al aumentar la distancia x desde el imán. Esto puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$\vec{H}_1(x) = M_1 \times f(x) \vec{e}_x \text{ [A/m]} \quad \text{donde} \quad f(0) = 1, \quad \lim_{\infty} f(x) = 0.$$

30 [0053] El electroimán comprende un núcleo ferromagnético cilíndrico, alrededor del cual se extiende una bobina, igualmente de forma cilíndrica. Con el fin de una simplificación se supone una magnetización uniforme del núcleo ferromagnético cuando se aplica un campo magnético externo $H_{coil}(J)$ [A/m], de manera que aplica la siguiente relación:

35 $\vec{M}_{Core}(H) = \chi_v \times \vec{H}_1$ donde χ_v es la susceptibilidad magnética del núcleo ferromagnético. Cuando una corriente con una densidad de la corriente J circula a través de los bobinados del electroimán, en el interior de la bobina se produce un campo magnético uniforme, $H_{coil}(J)$ como una función de J [A/mm²], como la densidad de corriente dentro de los bobinados de la bobina.

[0054] De manera correspondiente, para el campo magnético del núcleo ferromagnético del electroimán, resultante de la densidad de la corriente J aplica: $\vec{M}_{EM}^{coil}(J) = \chi_v H_{coil}(J) \vec{e}_x$ [A/m]. De ello resulta otro campo magnético del núcleo ferromagnético, resultante del campo magnético del imán permanente a una distancia x del núcleo ferromagnético

40 $\vec{M}_{EM}^{(1)}(x) = \chi_v \times M_1(x) \vec{e}_x = \chi_v \times M_1 \times f(x) \vec{e}_x$ [A/m]. El máximo del otro campo magnético, según la teoría apropiada, en el caso de $x = 0$: es $\vec{M}_{EM}^{(1)}(0) = \chi_v \times H_1(0) \vec{e}_x = \chi_v \times M_1 \vec{e}_x$.

[0055] De ello resulta la intensidad del campo magnético del núcleo ferromagnético a través de la suma del campo magnético creado por el imán permanente a una distancia x, y del campo magnético creado por la bobina a la que fue aplicada corriente con una densidad de la corriente J :

$$\vec{M}_{EM}(x, J) = \vec{M}_{EM}^{(1)}(x) + \vec{M}_{EM}^{coil}(J) = \chi_v \{H_{coil}(J) + H_1(x)\} \vec{e}_x = \chi_v \{H_{coil}(J) + M_1 \times f(x)\} \vec{e}_x.$$

[0056] Al observar las fuerzas de interacción entre el imán permanente y el electroimán pueden considerarse los dos siguientes casos principales (caso 1, caso 2). Las magnetizaciones del imán permanente y del electroimán derivadas de las Figuras 2 a 5 se deducen de los dos casos principales que se indican a continuación.

[0057] Caso 1: el imán permanente y el núcleo están magnetizados en las mismas direcciones, de modo que aplica

$$\forall x, \forall J, \overrightarrow{M_{EM}}(x, J) = M_{EM}(x, J)\overrightarrow{e_x}, M_{EM}(x, J) > 0$$

5

$$\forall x, \overrightarrow{M_1}(x) = M_1(x)\overrightarrow{e_x}, M_1(x) > 0,$$

en donde los lados del imán permanente y del núcleo, orientados unos hacia otros, presentan una polaridad diferente.

La fuerza resultante es una fuerza de atracción, para la cual aplica $\overrightarrow{F_1}(x) = F_1(x)\overrightarrow{e_x}, F_1(x) < 0$.

[0058] Caso 2: el imán permanente y el núcleo están magnetizados en direcciones diferentes, de modo que aplica

$$\forall x, \forall J, \overrightarrow{M_{EM}}(x, J) = M_{EM}(x, J)\overrightarrow{e_x}, M_{EM}(x, J) < 0$$

10

$$\forall x, \overrightarrow{M_1}(x) = M_1(x)\overrightarrow{e_x}, M_1(x) > 0,$$

en donde los lados del imán permanente y del núcleo, orientados unos hacia otros, presentan la misma polaridad. La fuerza resultante es una fuerza de repulsión, para la cual aplica $\overrightarrow{F_1}(x) = F_1(x)\overrightarrow{e_x}, F_1(x) > 0$.

15

[0059] Una fuerza de atracción se presenta en el caso de una magnetización "positiva" del núcleo, lo cual implica $H_{coil}(J) > -H_1(x)$. En el caso de J_1 , al cumplirse con la densidad de la corriente $\forall x, H_{coil}(J) = -H_1(x)$ se produce una fuerza de atracción en el caso de $J > J_1$.

[0060] Una fuerza de repulsión se presenta en el caso de una magnetización "negativa" del núcleo, lo cual implica $H_{coil}(J) < -H_1(x)$ y $J < J_1$.

20

[0061] En el caso de que no se aplique corriente en la bobina se produce una interacción de atracción, puesto que aplica $H_{coil}(0) = 0 > -H_1(x)$ debido a la magnetización "positiva" del núcleo.

[0062] Una interacción de repulsión se produce cuando el campo magnético del electroimán es más intenso que el campo magnético del imán permanente y está orientado en una dirección opuesta. Esto puede lograrse a través de $H_{coil}(J) < -H_1(x)$ y $J < J_1$.

25

[0063] La Figura 1 ilustra el caso de una interacción de atracción entre el imán permanente (primer dipolo 1) y el electroimán (segundo dipolo 2). Al electroimán no se aplica ninguna corriente. El núcleo está magnetizado a una distancia x a través del campo magnético y, por lo tanto, es atraído por el imán permanente.

[0064] La Figura 2 ilustra el caso de una interacción de atracción entre el imán permanente (primer dipolo 1) y el electroimán (segundo dipolo 2), al cual se ha aplicado corriente con una intensidad de la corriente "positiva". Una aplicación de corriente con una densidad de corriente "positiva" debe entenderse de modo que la dirección del campo magnético de la bobina y del campo magnético del imán permanente están orientadas de forma idéntica.

30

[0065] El campo magnético de la bobina y del núcleo resultan en una magnetización más elevada del núcleo, debido a lo cual la fuerza de atracción, en general más elevada, se incrementa al intensificarse la densidad de la corriente.

35

[0066] La Figura 3 muestra la interacción de atracción entre el imán permanente (primer dipolo 1) y el electroimán (segundo dipolo) 2 para el caso de una aplicación de corriente con una intensidad de corriente "negativa", de modo que los campos magnéticos de la bobina y el campo magnético del imán permanente están orientados en dirección opuesta. En caso de cumplirse la condición $-H_1(x) < H_{coil}(J) < 0 \Rightarrow J_1 < J < 0$, la interacción es una interacción de atracción.

40

[0067] La Figura 4 muestra el caso de una interacción de repulsión entre el imán permanente 1 y el electroimán 2 en el caso de una aplicación de corriente con una densidad de corriente "negativa", de manera que aplica $H_{coil}(J) < -H_1(x)$ o $J < J_1$. Una interacción de repulsión se produce cuando la intensidad del campo magnético del electroimán, conforme a la magnitud, es más elevada que la intensidad del campo magnético del imán permanente y está orientada en una dirección opuesta.

5 [0068] La Figura 5 muestra el caso de la compensación del campo magnético del imán permanente 1 a través de un campo magnético creado por la bobina. Esto se logra a través de la utilización de un dispositivo magnético según la invención. El caso en particular se caracteriza por que no se produce ninguna magnetización del núcleo del electroimán y, resultante de ello, ninguna fuerza de interacción que se produzca a partir de interacciones. Las polaridades del electroimán orientadas de forma opuesta se anulan unas a otras.

[0069] Ese estado de equilibrio no se caracteriza por ninguna fuerza de interacción $\vec{F}_1(x, J) = \vec{0}$ que se logre en el caso de $H_{coil}(J) = -M_1(x)$ o $J = J_1$.

10 [0070] La Figura 6 muestra el resultado de una simulación FEM. En la Figura 6 se representan las intensidades del campo magnético ($\|\vec{B}\| [mT]$) y las líneas del campo magnético para el caso de que no se presente ninguna aplicación de corriente en la bobina. En la Figura 6 se representa una separación del rotor a una distancia de 60,0mm, 30,0mm, 10,0mm y 0,0mm (contacto del imán permanente y del electroimán).

[0071] El imán permanente 1 magnetiza el núcleo del electroimán 2, lo cual conduce a una fuerza de interacción de atracción; dicha fuerza de interacción de atracción es inversamente proporcional a la distancia x . Aplica que cuanto más grande es la distancia, tanto menor es la fuerza de interacción de atracción.

15 [0072] La Figura 7 muestra un grafo relativo al resultado de la simulación FEM, representado en la Figura 6. Sobre la abscisa se indica la distancia x , sobre la ordenada la fuerza.

20 [0073] La Figura 8, de manera análoga a la Figura 6, muestra el resultado de una simulación FEM en el caso de una aplicación de corriente en la bobina con una densidad de la corriente $J_{coil} = 5 [A/mm^2]$. El imán permanente 1 y el electroimán 2 están polarizados orientados de forma idéntica, de manera que actúa una fuerza de interacción de atracción más elevada.

25 [0074] La Figura 9, de manera análoga a la Figura 7, muestra un gráfico perteneciente a la Figura 8 sobre el desarrollo de la fuerza de interacción en función de una separación del imán permanente y del electroimán, en el caso de una aplicación de corriente adicional $J_{coil} = 5 [A/mm^2]$. La Figura 9, de este modo, muestra el modo de acción de la utilización de una forma de realización de un dispositivo magnético según la invención. La fuerza de interacción de atracción se incrementa debido a ello (línea continua).

[0075] De manera adicional, la línea de fuerza - distancia, en el caso de que no se presente una aplicación de corriente, se representa a través de la línea discontinua.

30 [0076] De forma análoga a la Figura 8 y a la Figura 9, la Figura 10 muestra el resultado de una simulación FEM en el caso de una aplicación de corriente en el electroimán donde $J_{coil} = -5 [A/mm^2]$, y la Figura 11 muestra los gráficos correspondientes. En la Figura 11, mediante la línea continua, se representa el curso de la fuerza de interacción en función de la distancia entre el imán permanente y el electroimán en el caso de una aplicación de corriente en el electroimán donde $J_{coil} = -5 [A/mm^2]$. La línea discontinua muestra el curso en el caso de que no se presente una aplicación de corriente en el electroimán. La Figura 10 y la Figura 11, del mismo modo, se refieren al modo de acción de una forma de realización de un dispositivo magnético según la invención.

35 [0077] Según la Figura 11, fuerzas de interacción de repulsión solo se presentan dentro de una distancia $x > 14,0mm$. Por lo tanto, el campo magnético del electroimán, mostrado en la Figura 10, no es suficientemente intenso con respecto a la fuerza de atracción causada por el campo magnético del imán permanente.

40 [0078] La Figura 12 muestra la acción de la aplicación de corriente en el electroimán con una densidad de la corriente $J_{coil} \leq 0 [A/mm^2]$. A su vez, sobre la abscisa se marca la distancia entre el imán permanente y electroimán, sobre la ordenada la fuerza que actúa entre el imán permanente y el electroimán. En base al diagrama de la Figura 12, el experto reconoce que la producción de un estado del dispositivo magnético, marcado sobre todo por una fuerza de repulsión, condiciona una aplicación de corriente en el electroimán 2.

[0079] Si no está cumplida la condición $H_{coil}(J) = -H_1(x)$, la fuerza de interacción es una fuerza de interacción de atracción. En ese caso, el rotor está capturado en el estátor.

45 [0080] En el caso de una aplicación de corriente constante en el electroimán existe además un punto de equilibrio x_{eq} en el caso de una separación del imán permanente y del electroimán. El punto de equilibrio está definido por $H_{coil}(J) = -H_1(x_{eq})$, por ejemplo en el caso de $J_{coil} = -10 [A/mm^2] \rightarrow x_{eq} = 4 [mm]$ y $J_{coil} = -5 [A/mm^2] \rightarrow x_{eq} = 13 [mm]$.

[0081] Aquella área en la que se produce el efecto de captura, está definida por $\forall x \in [0, x_{eq}], F(x, J_{coil}) < 0$. Por fuera del área del efecto de captura la fuerza de interacción es una fuerza de interacción de repulsión $\forall x > x_{eq}, F(x, J_{coil}) > 0$. En el caso de una densidad de corriente J_{coil} definida, la posición de equilibrio está definida por $F(x_{eq}, J_{coil}) = 0$.

5 [0082] De manera complementaria con respecto a la Figura 12, la Figura 13 muestra el caso de una aplicación de corriente en el electroimán con una densidad de corriente $J_{coil} \geq 0$ [A/mm²] dentro de la bobina.

[0083] Además en la Figura 14 se compara el desarrollo de la fuerza que actúa entre el imán permanente y el electroimán, en el caso de una aplicación de corriente en el electroimán, donde $J_{coil} = +10$ [A/mm²] y $J_{coil} = -10$ [A/mm²]. Cabe señalar que la intensidad resultante de la fuerza no es la misma en el caso de una aplicación de corriente diferente.

10 [0084] En base a lo expuesto anteriormente sobre la interacción entre un imán permanente y un electroimán, se expone ahora la interacción para el caso especial de una oscilación de un rotor de forma con respecto a un estátor. La oscilación del rotor se alcanza a través de una conmutación de la polaridad del electroimán a intervalos de tiempo determinados, en el caso de una energía eléctrica constante, como por ejemplo $|J_{coil}| = 10$ [A/mm²]. Los retardos en la conmutación del electroimán, condicionados por la resistencia interna y la inductancia de la bobina, no se consideran
15 en detalle a continuación, con el motivo de simplificar el problema que se plantea.

[0085] Para poder asegurar una oscilación eficiente del rotor, el rotor debe operarse por fuera del área de captura. Esto último conduce a una definición de una distancia mínima ϵ entre el imán permanente y el electroimán. Esto
conduce a $\forall x \geq \epsilon, \vec{F}(x, J_{coil}) = |F(x, J_{coil})| \vec{e}_x$, en donde el funcionamiento del rotor por fuera del área de captura está garantizado por la condición $\epsilon \geq x_{eq}$.

20 [0086] Para un funcionamiento por fuera del área de captura, debe considerarse que el perfil de la fuerza del campo, en el caso de una energía eléctrica constante $|J_{coil}| = Cte$ [A/mm²], sea asimétrico. La fuerza de atracción de interacción, conforme a la magnitud, es más elevada que la fuerza de interacción de repulsión. De esto resulta que la distancia mínima ϵ reduce la fuerza de atracción que puede activarse de forma máxima

$$\epsilon = x_{eq} \rightarrow |F_{max}(0,10)| = 500 [N]$$

$$\epsilon = x_{offset} \rightarrow |F_{max}(0,10)| = 200 [N],$$

25 en donde las posiciones x_{eq} y x_{offset} son funciones de la densidad de la corriente dentro de la bobina J_{coil} y, por ese

$$\tau_{coil} = \frac{L_{coil}}{R_{coil}}$$

motivo, dependen de un factor de tiempo interno de la bobina

30 [0087] La asimetría del perfil de la fuerza del campo se explica a través de la energía adicional requerida que debe aplicarse para contrarrestar el campo magnético. En la exposición antes presentada sobre la interacción entre un imán permanente y un electroimán, esa energía adicional fue aplicada a través de la bobina del electroimán, en donde a la bobina fue aplicada corriente con una densidad de corriente más elevada. Para asegurar la fuerza de interacción de repulsión debió cumplirse la siguiente condición: $H_{coil}(J) < H_1(x)$.

[0088] El punto de equilibrio, en cierto modo, está definido con respecto al punto límite del área de captura por $H_{coil}(J) = H_1(x_{eq})$.

35 [0089] En el caso de una oscilación de un rotor con respecto a un estator, puede ser ventajosa una unidad de aceleración mecánica que presente un efecto similar con respecto al estado de la fuerza que actúa en el rotor, como la aplicación de corriente en la bobina antes mencionada, con una densidad de la corriente adicional. En este caso, la función de la unidad de aceleración consiste en aplicar un estado de la fuerza de aceleración en el rotor, el cual contrarreste la fuerza de atracción del imán permanente sobre el rotor, en particular en el caso de que el electroimán no se encuentre en funcionamiento.

40 [0090] El estado de la fuerza como la suma de la fuerza de interacción magnética que actúa sobre el rotor y del estado de la fuerza de aceleración, en la aplicación del dispositivo según la invención, debe ser cero en cualquier posición. El estado de la fuerza $\vec{F}_{TOT}(x, J)$ actuando sobre el rotor que se encuentra en una posición x mediante la aplicación de corriente a la bobina con una densidad de la corriente J , se expresa a través de la siguiente expresión:

$\forall x \geq 0, \vec{F}_{TOT}(x, J) = \vec{F}(x, J) + \vec{F}_{corr}(x)$, en donde $\vec{F}_{corr}(x)$ es el estado de la fuerza de aceleración activado por la unidad de aceleración, comprendiendo la fuerza de corrección $\vec{F}_{corr}(x)$, y $\vec{F}(x, J)$ es la fuerza de interacción que actúa entre el estátor y el rotor. El efecto mecánico requerido resulta de la condición de equilibrio para el rotor $\forall x \geq 0$,

5 $\vec{F}_{TOT}(x, 0) = \vec{0} \rightarrow \vec{F}_{corr}(x) = -\vec{F}(x, 0)$, de lo cual resulta la siguiente caracterización de la unidad de aceleración $\forall x \geq 0, \vec{F}_{corr}(x) = -\vec{F}(x, 0)$ de manera que el estado de la fuerza de aceleración, o sea la fuerza de corrección, contrarresta la fuerza de atracción del estátor que actúa sobre el rotor, al no encontrarse en funcionamiento el electroimán, de manera que la suma de las fuerzas actuantes de un estado de la fuerza es cero. De ello resulta

$$\forall x \geq 0, \vec{F}_{TOT}(x, 0) = \vec{0}$$

$$\forall x \geq 0, \forall J, \vec{F}_{TOT}(x, J) = \{F(x, J) - F(x, 0)\} \vec{e}_x.$$

10 [0091] La Figura 15 muestra el curso de la fuerza de corrección en función de una separación del rotor con respecto al estátor, marcada en el eje x. La Figura 16 muestra el curso de las fuerzas que actúan en el rotor, en función de la separación del rotor con respecto al estátor, en tres casos diferentes de una aplicación de corriente en la bobina del electroimán con una densidad de la corriente, a saber, $J_{coil} = +10$ [A/mm²], $J_{coil} = -10$ [A/mm²] y $J_{coil} = 0$ [A/mm²]. La suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor está definida por

$$\forall x \geq 0, \forall J, \vec{F}_{TOT}(x, J) = \{F(x, J) - F(x, 0)\} \vec{e}_x,$$

15 en donde el equilibrio se presenta en el caso de $\forall x \geq 0, \vec{F}_{TOT}(x, 0) = \vec{0}$. Además, una fuerza de interacción de repulsión se presenta cuando se cumple la condición $H_{coil} < 0 \rightarrow J_{coil} < 0$. En el caso contrario, una fuerza de interacción de atracción se presenta cuando se cumple la condición $H_{coil} > 0 \rightarrow J_{coil} > 0$. El curso de las fuerzas es esencialmente simétrico con respecto al eje x del diagrama. Las magnitudes de la fuerza de interacción de repulsión y de la fuerza de interacción de atracción son esencialmente idénticas, ya que las mismas están definidas por la densidad de la corriente dentro de la bobina del electroimán.

20 [0092] Las explicaciones indicadas se aplican a continuación en un dispositivo magnético que comprende n+1 rotores (n=1,2,3,...) y n estátors. La Figura 17 muestra una disposición básica de un estátor y de dos rotores a lo largo de un eje que corresponde al eje de movimiento del rotor.

25 [0093] A continuación se observa un dispositivo magnético con un estátor y dos rotores. El estátor 1 está diseñado como electroimán que comprende un núcleo y una bobina, los rotores 2, 2' están diseñados como imanes permanentes.

30 [0094] Según la ilustración en la Figura 17, la distancia entre la superficie del primer rotor 2 orientada hacia el estátor 1 y la superficie del estátor 1 orientada hacia el primer rotor 2 se indica con x, mientras x' denomina la distancia entre la superficie del segundo rotor 2' orientada hacia el estátor 1 y la superficie del estátor 1 orientada hacia el segundo rotor 2'. δ indica la distancia entre el núcleo del primer rotor 2 y el núcleo del segundo rotor 2', en donde d representa la longitud de la trayectoria de movimiento del rotor 3, de modo que aplica:

$$\forall x \in [0, d], \forall x' \in [0, d], \delta = Cte$$

$$x \in [0, d]$$

$$x' = d - x \rightarrow x' \in [0, d]$$

[0095] El núcleo del electroimán como parte del estátor 1 se magnetiza a través de tres campos magnéticos, a saber, a través del campo magnético creado por el primer rotor 2; dicho primer rotor 2 se encuentra alejado del estátor a la distancia x.

$$\vec{M}_{EM}^1(x) = \chi_v \vec{H}_{EM}^{(1)}, \quad \vec{H}_{EM}^{(1)} = M_1 \times f(x) \vec{e}_x.$$

35 en donde

[0096] El segundo campo magnético del segundo rotor 2' a la distancia x' con respecto al estátor 1 puede describirse a través de la expresión

$$\overrightarrow{H_{EM}^{(2)}}(x') = -M_2 \times f(x') \overrightarrow{e_x}$$

en donde mediante la utilización de

$$x' = d - x$$

5 aplica

$$\overrightarrow{M_{EM}^{(2)}}(x') = \chi_v \overrightarrow{H_{EM}^{(2)}}(d - x) = -\chi_v M_2 f(d - x) \overrightarrow{e_x}$$

[0097] El tercer campo magnético es el campo magnético generado a través de la bobina del electroimán

$$\overrightarrow{M_{EM}^{(coil)}}(J) = \chi_v H_{coil}(J) \overrightarrow{e_x},$$

en donde la dirección de la corriente define la dirección del campo magnético

10 $J > 0 \rightarrow I > 0 \rightarrow H_{coil}(J) > 0.$

[0098] La magnetización del núcleo del electroimán, de forma resumida, puede presentarse como $\overrightarrow{M_{EM}(x, J)} = \chi_v (M_1 f(x) - M_2 f(d - x) + H_{coil}(J)) \overrightarrow{e_x}$, en donde $f(x)$ es una función inversamente proporcional con respecto a la distancia x siendo $f(0) = 1$, $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$.

[0099] $\overrightarrow{F_1}(x, J)$ es además el estado de la fuerza de interacción entre el estátor 1 y el primer rotor 2, $\overrightarrow{F_2}(x, J)$ es el estado de la fuerza de interacción entre el estátor 1 y el segundo rotor 2', de manera que para el estado de la fuerza que actúa sobre el estátor 1 aplica $\overrightarrow{F_{EM}(x, J)} = \overrightarrow{F_1}(x, J) + \overrightarrow{F_2}(x, J)$.

[0100] El término $x \in [0, d]$ representa el desplazamiento de los rotores 2, 2' a lo largo de la trayectoria del movimiento del rotor 3 axial, en donde un movimiento de izquierda a derecha se trata como un movimiento en una dirección "positiva", desde la posición inicial $x = d$ así como $x' = 0$ a una posición final $x = 0$ así como $x' = d$. Un movimiento de derecha a izquierda se considera como un movimiento "negativo" desde la posición inicial $x = 0$ así como $x' = d$ hacia una posición final $x = d$ así como $x' = 0$.

[0101] Cuando $\overrightarrow{M_{EM}(x, J)} = M_{EM}(x, J) \overrightarrow{e_x}$, donde $M_{EM}(x, J) > 0$, aplica:
El primer rotor 2 y el estátor 1, en la Figura 17, están polarizados en la misma dirección, de modo que la fuerza de interacción es una fuerza de atracción y aplica $F_1(x, J) > 0$. Lo mencionado aplica en el caso de $H_{coil}(J) > -M_1 f(x)$ observando $\max(f(d - x))$ donde $H_{coil}(J) > -M_1$.

[0102] El segundo rotor 2' y el estátor 1 están polarizados en diferentes direcciones, de modo que la fuerza de interacción es una fuerza de repulsión. Lo mencionado se logra cuando $H_{coil}(J) > M_2 f(d - x)$ y $\max(f(d - x)) = 1$, cuando $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) > M_2$.

[0103] Un movimiento de izquierda a derecha se logra cuando $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) > M_2 > 0 > -M_1$ resultan en una magnetización "positiva" del estátor.

[0104] El efecto de captura se presenta cuando $M_2 > H_{coil}(J) > -M_1$. El estátor 1 está capturado por el campo magnético del segundo rotor 2', o de forma inversa.

[0105] Cuando $\overrightarrow{M_{EM}(x, J)} = M_{EM}(x, J) \overrightarrow{e_x}$, donde $M_{EM}(x, J) < 0$, el primer rotor 2 y el estátor 1 están polarizados en direcciones opuestas, de manera que la fuerza de interacción es una fuerza de repulsión, y aplica $F_1(x, J) < 0$. Esto se logra cuando aplica $F_1(x, J) < 0$, de manera que $\forall x \in [0, d], F_1(x, J) < 0$, cuando $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) < -M_1$. El segundo rotor 2' y el estátor 1 están polarizados en las mismas direcciones, de modo que la fuerza de interacción es una fuerza de atracción y aplica $F_2(x, J) < 0$. Esto se logra cuando $H_{coil}(J) < M_2 f(x - d)$, de manera que $\forall x \in [0, d], F_2(x, J) < 0$, cuando $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) < M_2$.

[0106] M_1 y M_2 son positivos, de manera que un movimiento de derecha a izquierda de los rotores 2, 2' puede deducirse cuando a través de $\forall x \in [0, d]$, $H_{coil}(J) < -M_1 < 0 < M_2$ está expresada una polarización "negativa" del estátor 1.

5 [0107] El problema de la captura se presenta cuando $-M_1 < H_{coil}(J) < M_2$, de manera que el estátor 1 está capturado por el campo magnético del primer rotor 2.

10 [0108] En el caso de las mismas intensidades del campo magnético $M_1 = M_2 = M$, una polarización "positiva" y un movimiento de izquierda a derecha se logran cuando $\forall x \in [0, d]$ y $H_{coil}(J) > M$. De manera inversa a esto, una polarización "negativa" y un movimiento de derecha a izquierda se logran cuando $\forall x \in [0, d]$ y $H_{coil}(J) < -M$. El efecto de captura se presenta en el caso de $H_{coil}(J) \in [-M, M]$; el efecto de captura puede impedirse cuando está asegurado $|H_{coil}(J)| > M$.

[0109] El sistema se encuentra en equilibrio cuando

$$M_{EM}(x, J) = 0 \rightarrow \chi_v \{M_1 f(x) - M_2 f(d - x) + H_{coil}(J)\} = 0$$

$$\rightarrow H_{coil}(J) = M_1 f(x) - M_2 f(d - x).$$

[0110] Suponiendo la misma magnetización de los imanes $M_1 = M_2 = M$, el rotor se encuentra en equilibrio cuando $H_{coil}(J) = M\{f(x) - f(d - x)\}$.

15 [0111] El sistema tiene un equilibrio interno en el caso de un electroimán al que no se ha aplicado corriente, cuando

$H_{coil}(J) = 0 \rightarrow M\{f(x) - f(d - x)\} = 0 \rightarrow f(x) = f(d - x)$, lo cual a su vez se logra cuando $x = \frac{d}{2}$. Ese es el caso cuando el primer rotor y el segundo rotor presentan una misma magnetización y están separados en una misma distancia del estátor.

20 [0112] En el caso de la utilización de rotores con diferente intensidad del campo, el punto de equilibrio se desplaza alejándose del rotor más intenso para cumplir con $M_1 f(x_{eq}) = M_2 f(d - x_{eq})$.

[0113] De la Figura 18 a la Figura 24 se representa el resultado de una simulación mediante FEM. La simulación se basa en los siguientes supuestos:

25 El estátor 1 se considera como un electroimán con un núcleo ferromagnético de metal blando y un diámetro de 30,0mm y una longitud de 30,0mm (forma cilíndrica). La bobina se supone a través de una densidad de la corriente J_{coil} [A/mm²] y con un cuerpo de cobre con una superficie de la sección transversal de 30,0 x 30,0mm².

30 [0114] Los rotores 2, 2' se suponen como imanes permanentes en forma cilíndrica con un radio de 30,0mm y una longitud de 30,0mm, en donde los imanes permanentes, en la dirección del eje del cilindro, presentan una magnetización. Se supone un valor de magnetización de $M_1 = M_2 = 10E5$ [A/m], lo cual corresponde a un imán permanente N45° usual en el mercado. Los rotores 2, 2' pueden moverse libremente a lo largo de la trayectoria de movimiento del rotor 3, que es también el eje del sistema. La posición relativa de los rotores 2, 2' se describe a través de la variable $x \in [0, d]$ [mm].

[0115] De la Figura 18 a la Figura 24 se representa la fuerza de interacción para una posición de los rotores $x \in [0, 73]$ [mm] y una aplicación de corriente en el estátor donde $J_{coil} \in [-10, 10]$ [A/mm²] en función de la posición de los rotores.

35 [0116] La Figura 18 muestra el caso de una aplicación de corriente en el electroimán donde $J_{coil} = 0$ [A/mm²] para un área de la posición del rotor $x \in [0, 73]$ [mm]. En concordancia con la explicación anterior, el punto de equilibrio FEM($x_{eq}, 0$)

= 0 se sitúa en el centro del movimiento del rotor $x_{eq} = \frac{d}{2}$.

40 [0117] La Figura 20 muestra el desarrollo de la fuerza de interacción en el caso de una aplicación de corriente en el estátor diseñado como electroimán donde $J_{coil} \in [-10, 0]$ [A/mm²] en un área del rotor $x \in [0, 73]$ [mm]. La aplicación de corriente en el estátor conduce a una magnetización positiva del mismo. El estátor y el primer rotor están sujetos a una fuerza de atracción; el estátor y el segundo rotor a una fuerza de interacción de repulsión. No se cumple la condición para una interacción de repulsión entre el estátor y el segundo rotor $|H_{coil}(J)| > M_2$ cuando el estátor está cerca del segundo rotor.

45 [0118] La Figura 19 muestra el desarrollo de la fuerza de interacción en el caso de una aplicación de corriente en el estátor donde $J_{coil} \in [0, +10]$ [A/mm²] en función de la posición del estátor en un área $x \in [0, 73]$ [mm]. Esto conduce a

una magnetización negativa del estátor; el estátor y el segundo rotor se encuentran bajo la influencia de una fuerza de interacción de atracción, mientras que entre el estátor y el primer rotor actúa una fuerza de interacción de repulsión.

[0119] No se cumple la condición para una fuerza de interacción de repulsión entre el estátor y el primer rotor cuando el estátor está cerca del primer rotor.

5 [0120] La Figura 21 compara el caso de una aplicación de corriente en el estátor 1 diseñado como electroimán donde $J_{coil} = 10 \text{ [A/mm}^2\text{]}$ y el caso de una aplicación de corriente donde $J_{coil} = -10 \text{ [A/mm}^2\text{]}$ en función de la posición del primer rotor 2, para un área $x \in [0,73]\text{[mm]}$.

10 [0121] En el área en la cual no se cumple la condición $\forall x \in [0,d], |H_{coil}(J)| > M$ (denominada a continuación como "área de captura") y en donde se produce el efecto de captura, la fuerza de interacción actúa en contra de un movimiento deseado de los rotores 2, 2'. El punto del extremo del área de captura está definido por el punto de equilibrio x_{eq} .

[0122] El área de captura corresponde esencialmente a aquella posición del estátor en la que el campo magnético del estátor no compensa el campo magnético del rotor más próximo de los rotores 2, 2'.

15 [0123] El experto reconoce que - para obtener una oscilación eficiente de los rotores - el movimiento del rotor 2, 2' debe extenderse por fuera del área de captura. De esto resulta una distancia mínima requerida $e \geq x_{eq}$ entre el primer rotor y el estátor.

[0124] Las Figuras 23 y 24 se refieren a la utilización de una unidad de aceleración.

20 [0125] En la consideración anterior el estado de la fuerza de aceleración activado por la unidad de aceleración, en particular la fuerza de corrección, se definió a través del término $\vec{F}_{corr}(x)$ en función de la separación del primer rotor 2 con respecto al estátor 1, de manera que el estado de la fuerza que actúa en el primer rotor 1 se calcula a través de la ecuación $\vec{F}_{TOT}(J) = \vec{F}(x,J) + \vec{F}_{corr}(x)$.

[0126] Como segunda característica de la unidad de aceleración se seleccionó la presencia de un estado de equilibrio que debe estar presente en el caso de que el electroimán no se encuentre en funcionamiento: $\vec{F}_{TOT}(x,0) \rightarrow \vec{F}_{corr}(x) = -\vec{F}(x,0)$.

25 [0127] El estado de la fuerza de aceleración causado por la unidad de aceleración que comprende F_{corr} , coincide esencialmente con el estado de la fuerza de captura que, según la invención, debe superponerse en al menos subáreas, a través del estado de la fuerza de aceleración. El estado de la fuerza de aceleración, en particular el curso del mismo, puede deducirse a través de mediciones, eventualmente en el caso de que el electroimán no se encuentre en funcionamiento.

30 [0128] La Figura 23 compara el curso del estado de la fuerza de aceleración, garantizando $\vec{F}_{corr}(x) = -F(x,0)$. De manera adicional, la fuerza de interacción está marcada como línea discontinua para el caso de que el estátor diseñado como accionamiento eléctrico no esté activo.

35 [0129] La Figura 24 muestra el curso de $F_{TOT}(x,J)$ en el caso de la utilización de una unidad de aceleración y en el caso de la aplicación de corriente en el estátor con una densidad de la corriente "positiva" o "negativa" $|J_{coil}| = 10\text{[A/mm}^2\text{]}$ como una función de la posición de la separación de los rotores con respecto al estátor. En el diagrama se observa el área $x \in [0,73]\text{[mm]}$. De manera adicional, mediante la línea punteada, se indica el curso de $F_{TOT}(x,J)$ en el caso de que no se presente una aplicación de corriente en el estátor.

[0130] El curso de la fuerza representado en la Figura 21 y 22 se basa en la simplificación de que el primer rotor y el segundo rotor presentan la misma magnetización. De ello resulta una posición de equilibrio en el caso de

$$x_{eq} = \frac{d}{2} \quad \text{para un electroimán al que no se ha aplicado corriente} \quad F_{TOT} \left(\frac{d}{2}, 0 \right) = 0.$$

40 [0131] El estado de la fuerza mostrado en la Figura 23, en el caso de la utilización de una unidad de aceleración, presenta las siguientes características:

El rotor al que no se ha aplicado corriente se encuentra siempre en equilibrio: $\forall x \in [0, d], F_{TOT}(x, 0) = 0$. La posición

de equilibrio antes mencionada, $x_{eq} = \frac{d}{2}$ se encuentra en el punto de simetría del curso de la fuerza de interacción corregida $F_{TOT}(x, J)$. El perfil del curso de la fuerza de interacción corregida es en forma de U.

5 [0132] La Figura 24 muestra el curso de la fuerza de interacción corregida $F_{TOT}(x, J)$ en el caso de una aplicación de corriente diferente en el electroimán, donde $J_{coil} \in [-10, 10][A/mm^2]$, en función de la posición relativa del rotor para un área $x \in [0, 73][mm]$.

[0133] Un movimiento óptimo del rotor de izquierda a derecha está caracterizado por $F_{TOT}(x, J) > 0$. Esto se logra en el caso de $J > 0$. De manera inversa, un movimiento del rotor de derecha a izquierda se logra a través de $F_{TOT}(x, J) < 0$ en el caso de $J < 0$.

10 [0134] Las Figuras 25 a 27 se ocupan de una forma de realización especial de la unidad de aceleración, a saber, en forma de resorte. El modo de acción del resorte se explica en base a las características antes descritas de la unidad de aceleración.

[0135] Puesto que $x_{eq} = \frac{d}{2}$ es el punto de simetría del curso de la fuerza corregida, la fuerza de corrección, considerando las propiedades mecánicas de un resorte, puede expresarse como una suma de dos fuerzas elásticas:

15
$$\forall x \in [0, \frac{d}{2}], F_{corr}(x) = F_1(x) + F_2(x) \quad \text{donde} \quad \forall x \in [0, \frac{d}{2}], F_1(x) > 0, F_2(x) = 0$$

y

$$\forall x \in]\frac{d}{2}, d], F_1(x) = 0, F_2(x) < 0.$$

[0136] La Figura 25 muestra el curso de $\forall x \in [0, d], F_{corr}(x) = F_1(x) + F_2(x)$. En este caso aplica $\forall x \in [0, \frac{d}{2}], F_1(x) \geq 0$, provocando siempre una fuerza "positiva" y $\forall x \in]\frac{d}{2}, d], F_2(x) \leq 0$, provocando siempre una fuerza "negativa". La primera

20 fuerza elástica F_1 actúa exclusivamente en el área $x \in [0, \frac{d}{2}[$, de modo que la primera fuerza elástica contrarresta la interacción entre el estátor y el primer rotor. La segunda fuerza elástica F_2 actúa aquí de forma análoga exclusivamente en el área $x \in]\frac{d}{2}, d]$ y en contra de la interacción entre el estátor y el segundo rotor.

25 [0137] En el caso de una misma magnetización del primer rotor y del segundo rotor, la primera fuerza elástica y la segunda fuerza elástica pueden especificarse del siguiente modo. La primera fuerza elástica y la segunda fuerza elástica son iguales en cuanto a la magnitud, y actúan en direcciones diferentes:

$$\forall x \in [0, d], F_2(x) = -F_1(d - x).$$

30 [0138] La explicación anterior conduce a la disposición de un primer resorte y un segundo resorte que presentan las mismas propiedades del resorte, pero que actúan en diferentes direcciones. La Figura 26 muestra una posible forma de realización del dispositivo magnético según la invención en el caso de la utilización de resortes 7, 7' como unidad de aceleración 5, 5'.

35 [0139] El primer resorte 7 se extiende entre el estátor 1 y el primer rotor 2, respectivamente actuando en las superficies correspondientes. El primer resorte 7 contrarresta un efecto de captura entre el estátor 1 y el primer rotor 2. La pretensión del primer resorte 7 tiene lugar en función de una aproximación del primer rotor 2 en el estátor 1. El estátor 1 actúa como punto fijo 6 para el primer resorte 7. En cierto modo, la primera fuerza elástica F_1 se ejerce en función de una separación del primer rotor 2 con respecto al estátor 1, como una fuerza "positiva".

[0140] El segundo resorte 7' actúa de forma análoga al primer resorte 7. En analogía a la disposición del primer resorte 7, el segundo resorte 7' está dispuesto entre el estátor 1 y el segundo rotor 2'. El estátor 1 actúa como punto fijo 6 para el segundo resorte 7'.

[0141] Para la fuerza de corrección producida a través del primer resorte 7 y el segundo resorte 7' aplica $F_{\text{corr}}(x) = F_1(x) + F_2(x) = -F(x,0)$.

5 [0142] Según el estado de la teoría correspondiente, una fuerza elástica es proporcional a la modificación de la longitud del resorte. En el caso de una compresión $\delta x[\text{mm}]$ del resorte aplica $F = -k\delta x$, en donde k [N/mm] representa la constante del resorte.

[0143] En el caso de la división del movimiento del rotor en n ($n=1,2,3..$) sub-intervalos $[x_{n-1}, x_n]$ donde $x_0 = 0$ y $x_n = d$, la fuerza elástica puede representarse a través de una extrapolación lineal.

$$F(x) = \alpha_n \times x + \beta_n \quad \text{donde} \quad \alpha_n = \frac{F(x_n) - F(x_{n-1})}{x_n - x_{n-1}} \quad \beta_n = F(x_{n-1}).$$

[0144] Considerando la longitud de compresión $\delta_n = x_n - x_{n-1}$ y la constante del resorte

10 $k_n = \left| \frac{F(x_n) - F(x_{n-1})}{x_n - x_{n-1}} \right|$ [N/m], que pueden deducirse ambas debido a la propiedad del resorte, se obtiene la Figura 27, en la que está representada la constante del resorte para cinco intervalos $x_n \in [0,5,10,20,30,73]$.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo magnético que comprende al menos un estátor (1) excitado magnéticamente y un rotor (2) excitado magnéticamente, dicho rotor (2) puede desplazarse a lo largo de una trayectoria de movimiento del rotor (3) con respecto al estátor (1), en donde el estátor (1) es un imán permanente y el rotor (2) es un electroimán, o el estátor (1) es un electroimán y el rotor (2) es un imán permanente, en donde una fuerza magnética $F(x,J)$ actúa entre el estátor (1) y el rotor (2), donde $x \geq 0$ es la distancia entre el estátor y el rotor, y J es la densidad de corriente del electroimán, en donde una unidad de aceleración (5), al menos en subáreas de la trayectoria de movimiento del rotor (3), ejerce una fuerza sobre el rotor (2), que provoca un estado de la fuerza de aceleración que comprende al menos una fuerza de corrección $F_{corr}(x)$, dicho estado de la fuerza de aceleración está orientado alejándose del estátor (1), caracterizado por que $F(x,J = 0)$ define un efecto de captura magnético que contrarresta un movimiento deseado del rotor (2), en donde $F(x,J = 0)$, en el caso de que no se aplique corriente ($J=0$) al electroimán, puede determinarse a través de mediciones, y por que

(a) en el caso de un movimiento del rotor (2) desde el estátor (1), la suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor (2) es mayor que cero

15
$$F(x, J = 0) + F_{corr}(x) > 0, \text{ en donde } F_{corr}(x) > -F(x, J = 0)$$

o
(b) en el caso de un movimiento del rotor (2) hacia el estátor (1), la suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor (2) es menor que cero

$$F(x, J = 0) + F_{corr}(x) < 0, \text{ en donde aplica } F_{corr}(x) < -F(x, J = 0)$$

20 o
(c) en el caso de un estado de equilibrio del rotor hacia el estátor, la suma de las fuerzas que actúan sobre el rotor (2) es igual a cero

$$F(x, J = 0) + F_{corr}(x) = 0, \text{ en donde aplica } F_{corr}(x) = -F(x, J = 0),$$

de manera que la fuerza de corrección $|F_{corr}(x)| \geq |F(x, J = 0)|$ contrarresta el efecto de captura de forma parcial o total.

25 2. Dispositivo magnético según la reivindicación 1 caracterizado por que la unidad de aceleración (5) ejerce una fuerza sobre el rotor (2) en toda la trayectoria de movimiento del rotor (3).

30 3. Dispositivo magnético según una de las reivindicaciones 1 a 2 caracterizado por que la unidad de aceleración (5), en función de una distancia del rotor (2) con respecto al estátor (1), al aproximarse el rotor (2) al estátor (1), puede pretensarse y/o la unidad de aceleración (5), en función de la distancia del rotor (2) con respecto al estátor (1), provoca el estado de la fuerza de aceleración.

4. Dispositivo magnético según una de las reivindicaciones 1 a 3 caracterizado por que la unidad de aceleración (5) está acoplada al rotor (2) y a un punto fijo (6), y se extiende al menos de forma parcial entre el rotor (2) y el punto fijo (6).

35 5. Dispositivo magnético según una de las reivindicaciones 1 a 4 caracterizado por que el estátor (1) es el punto fijo (6).

6. Dispositivo magnético según una de las reivindicaciones 1 a 5 caracterizado por que la unidad de aceleración (5) comprende otro imán o una unidad de accionamiento, como por ejemplo un motor eléctrico y/o un dispositivo neumático y/o un dispositivo hidráulico.

40 7. Dispositivo magnético según una de las reivindicaciones 1 a 6 caracterizado por que la unidad de aceleración (5) comprende un resorte que presenta un componente de fuerza elástica que actúa paralelamente con respecto a la trayectoria de movimiento del rotor (3).

8. Dispositivo magnético según una de las reivindicaciones 1 a 7 caracterizado por que la trayectoria de movimiento del rotor (3) es lineal o poligonal.
9. Dispositivo magnético según una de las reivindicaciones 1 a 8 caracterizado por que una línea de la trayectoria de movimiento del rotor (3) se extiende a través del estátor (1).
- 5 10. Dispositivo magnético según una de las reivindicaciones 1-9 caracterizado por que el dispositivo magnético comprende un dispositivo de control para controlar la polaridad del electroimán y para controlar la intensidad del electroimán en función del estado de la fuerza de aceleración.

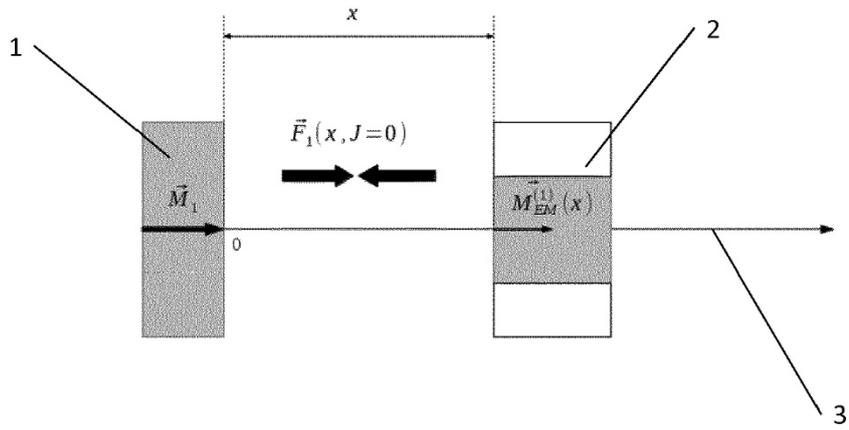


Figura 1

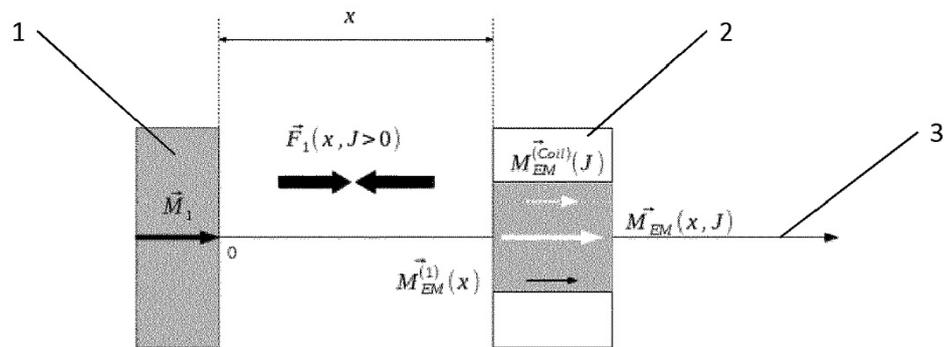


Figura 2

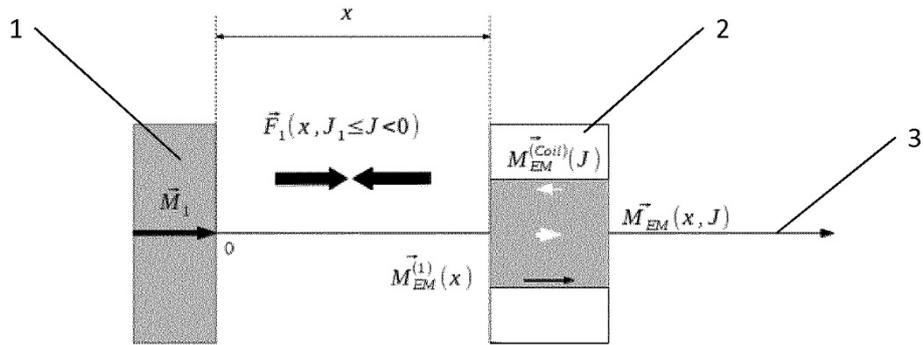


Figura 3

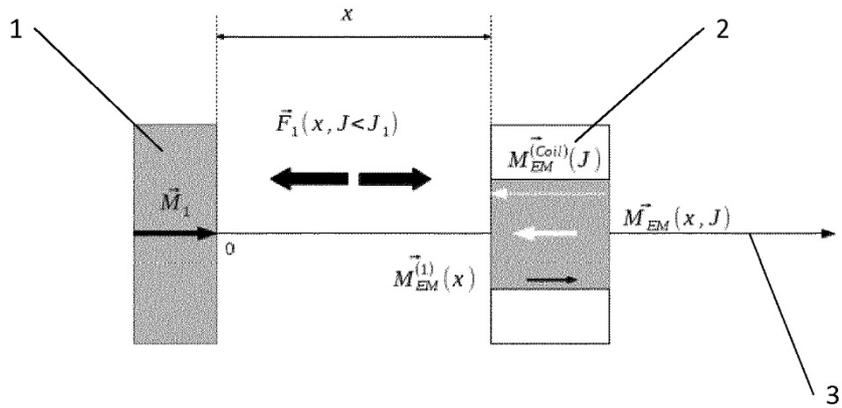


Figura 4

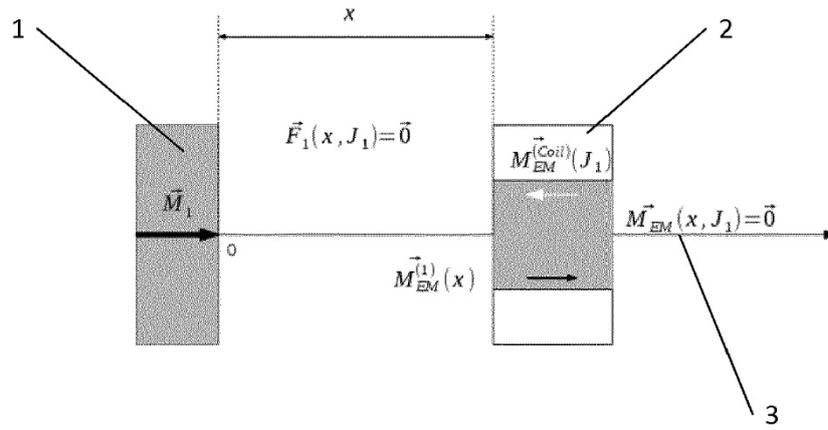


Figura 5

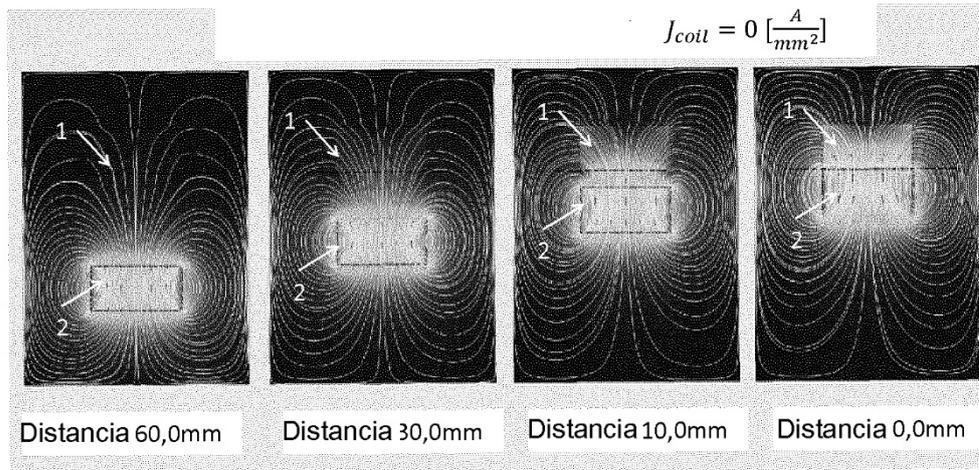


Figura 6

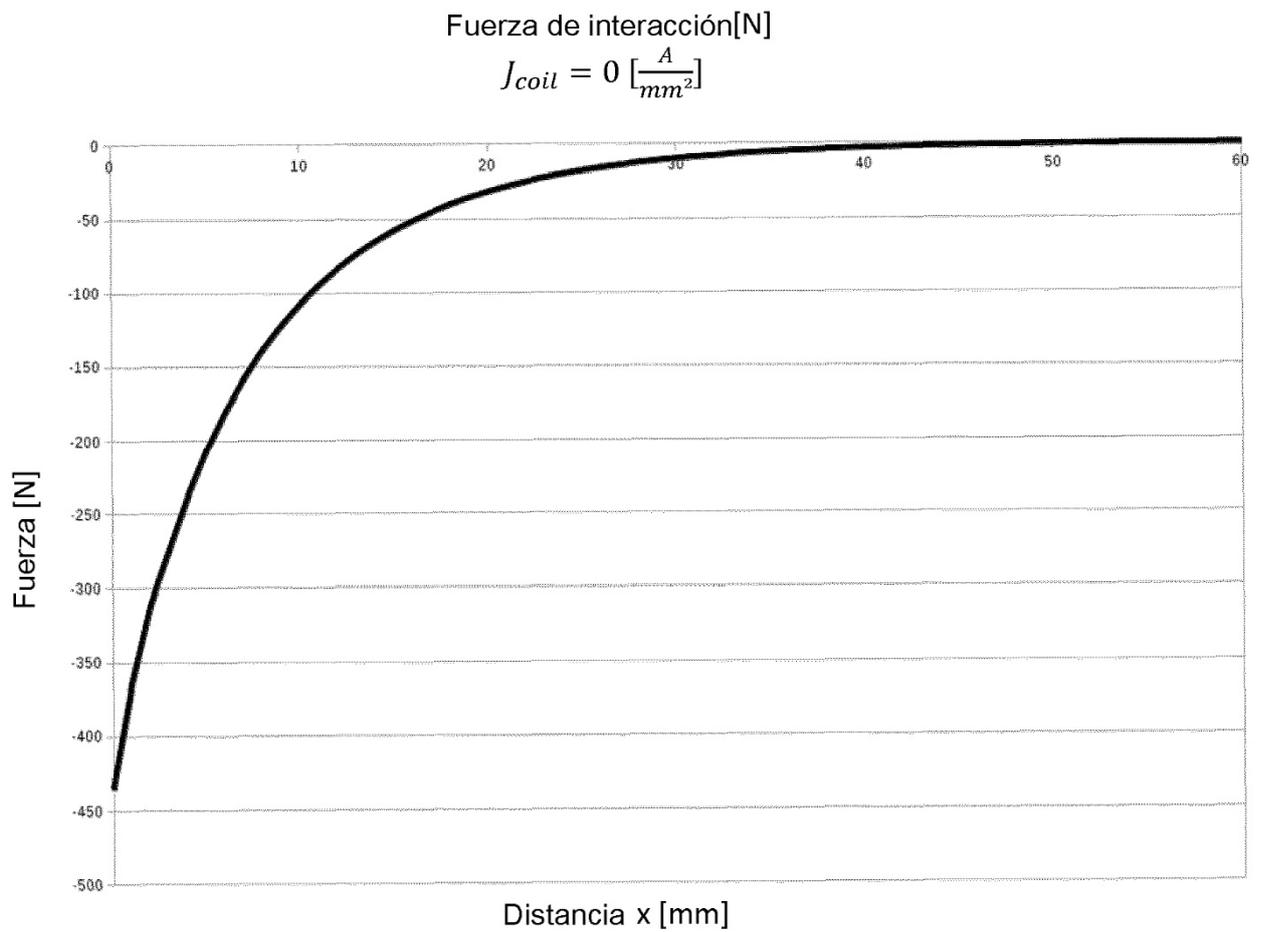


Figura 7

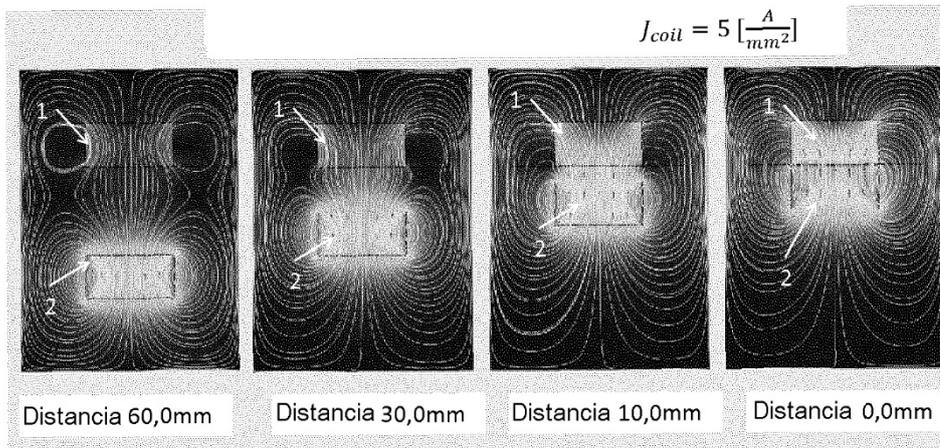


Figura 8

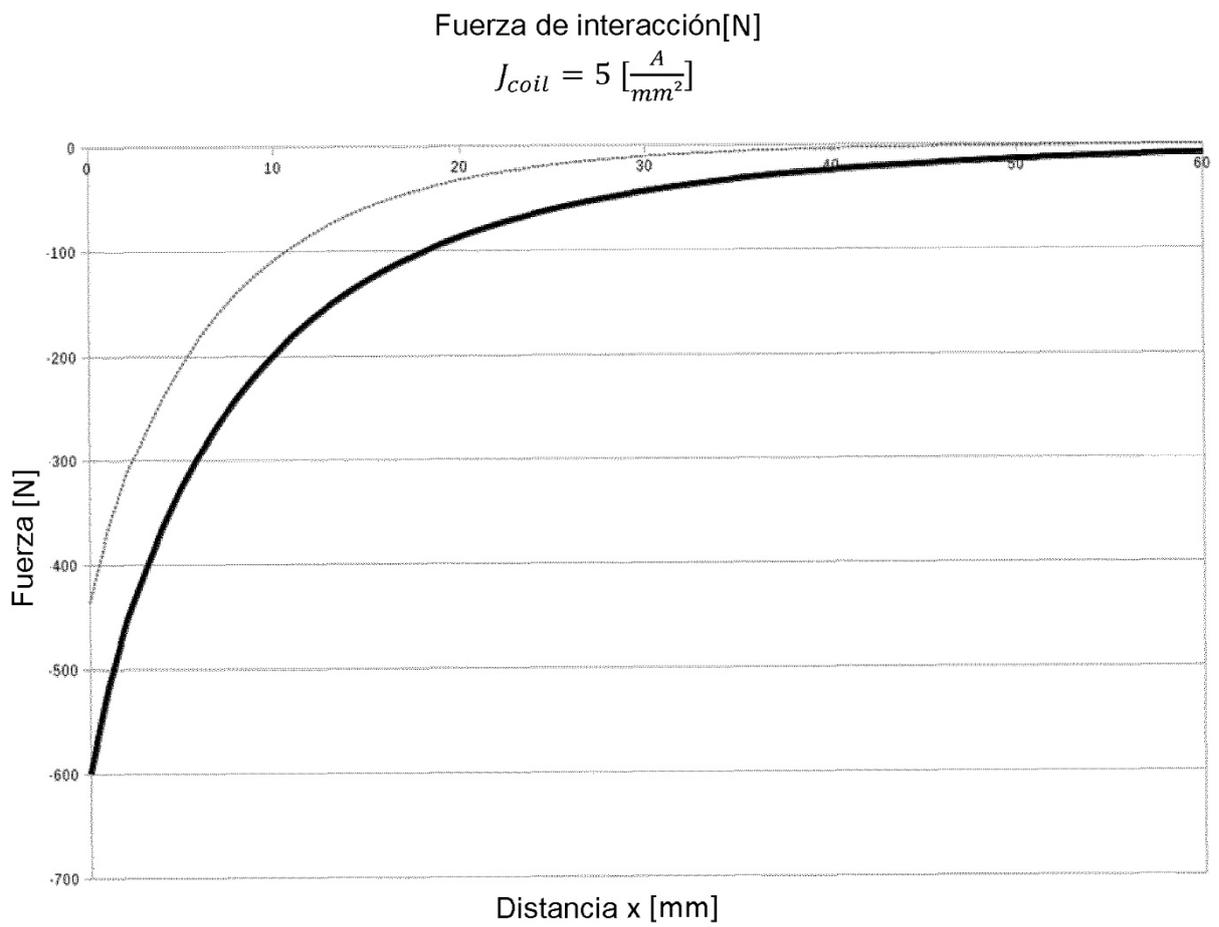


Figura 9

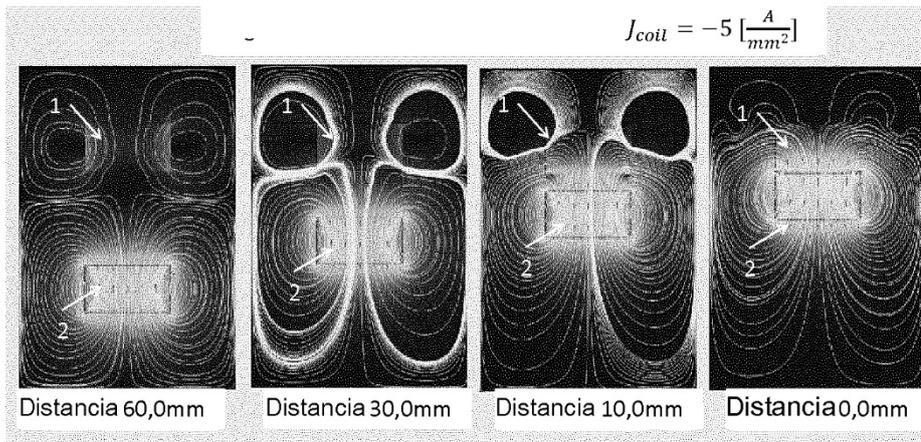


Figura 10

Fuerza de interacción [N]

$$J_{coil} = -5 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

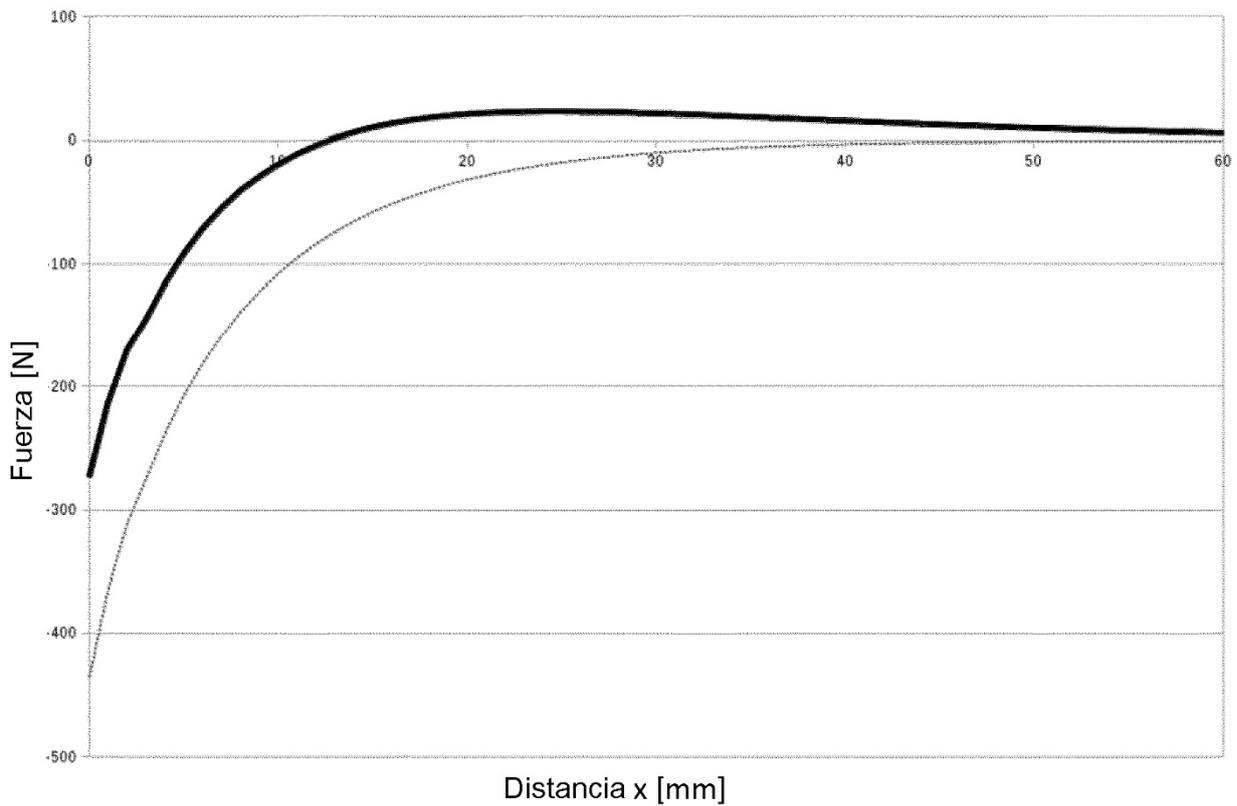


Figura 11

Fuerza de interacción [N]

$$J_{coil} \leq 0 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

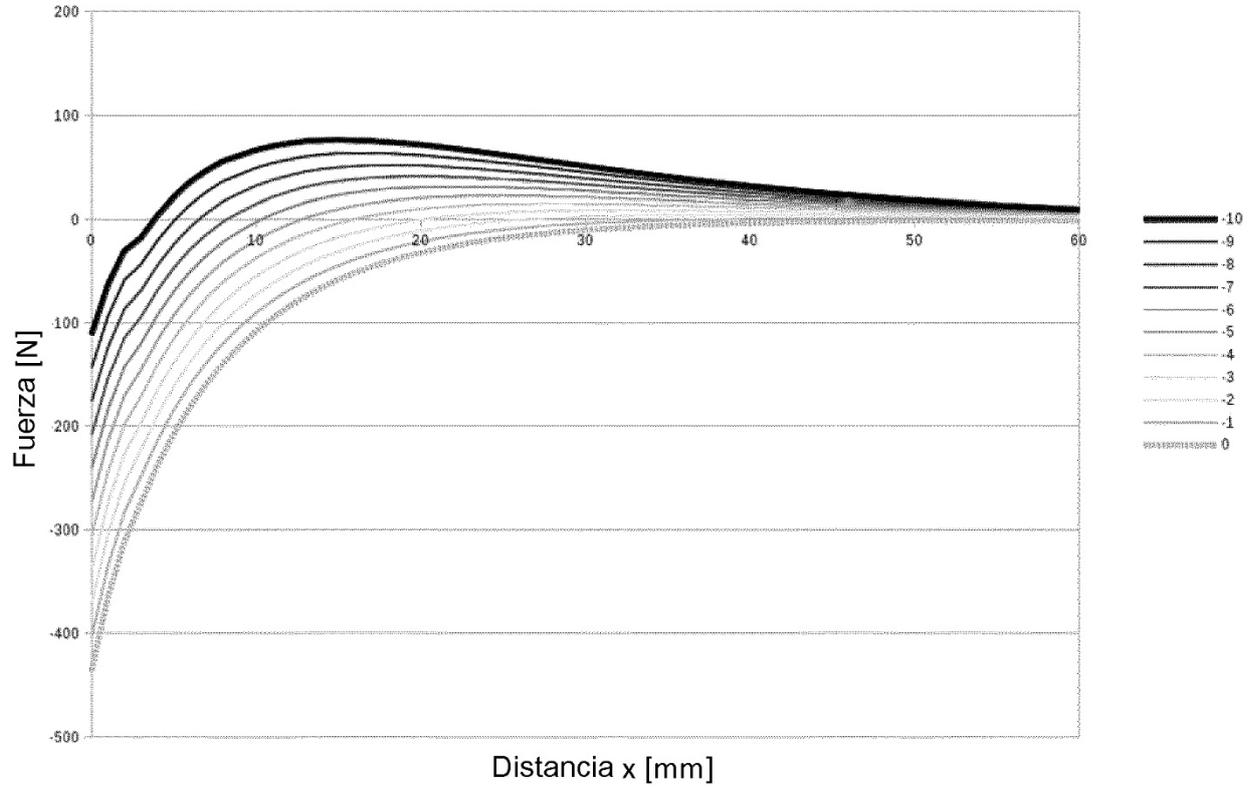


Figura 12

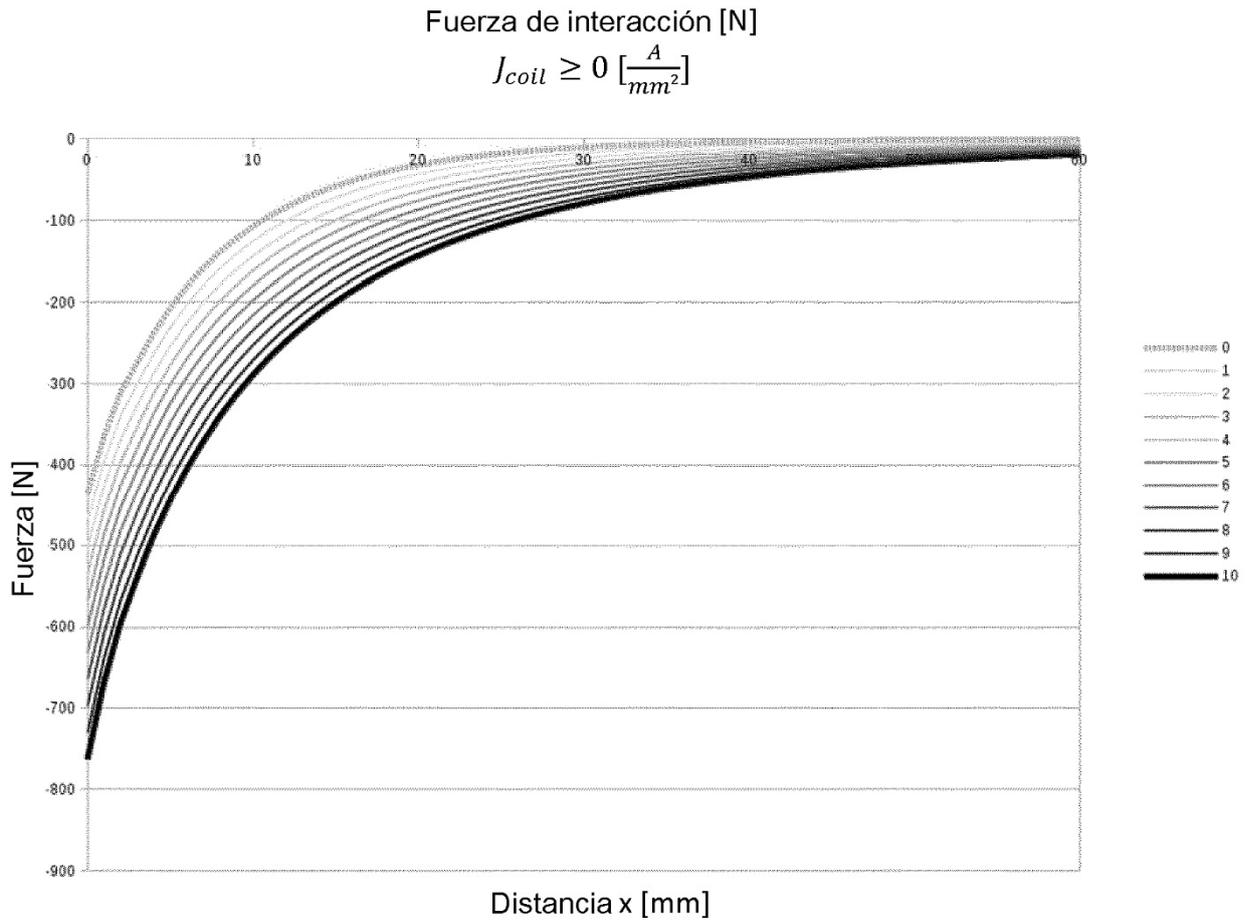


Figura 13

Fuerza de interacción [N]

$$|J_{coil}| = 10 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

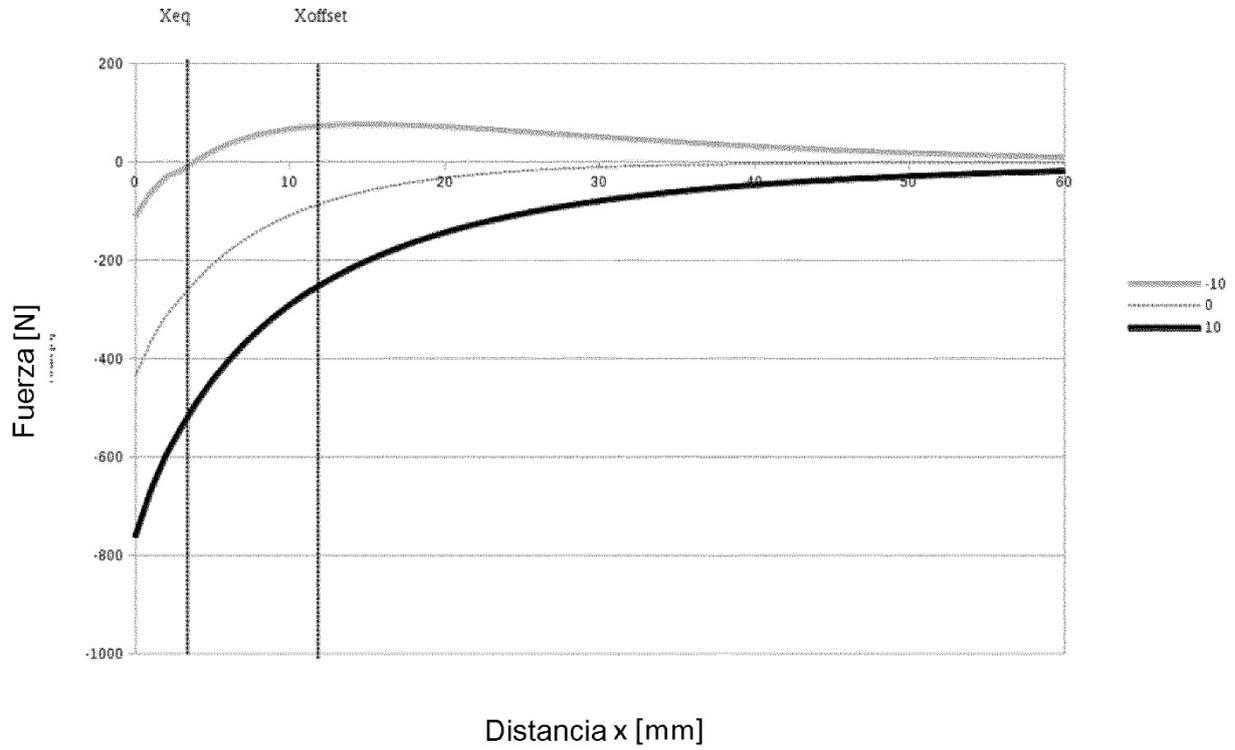


Figura 14

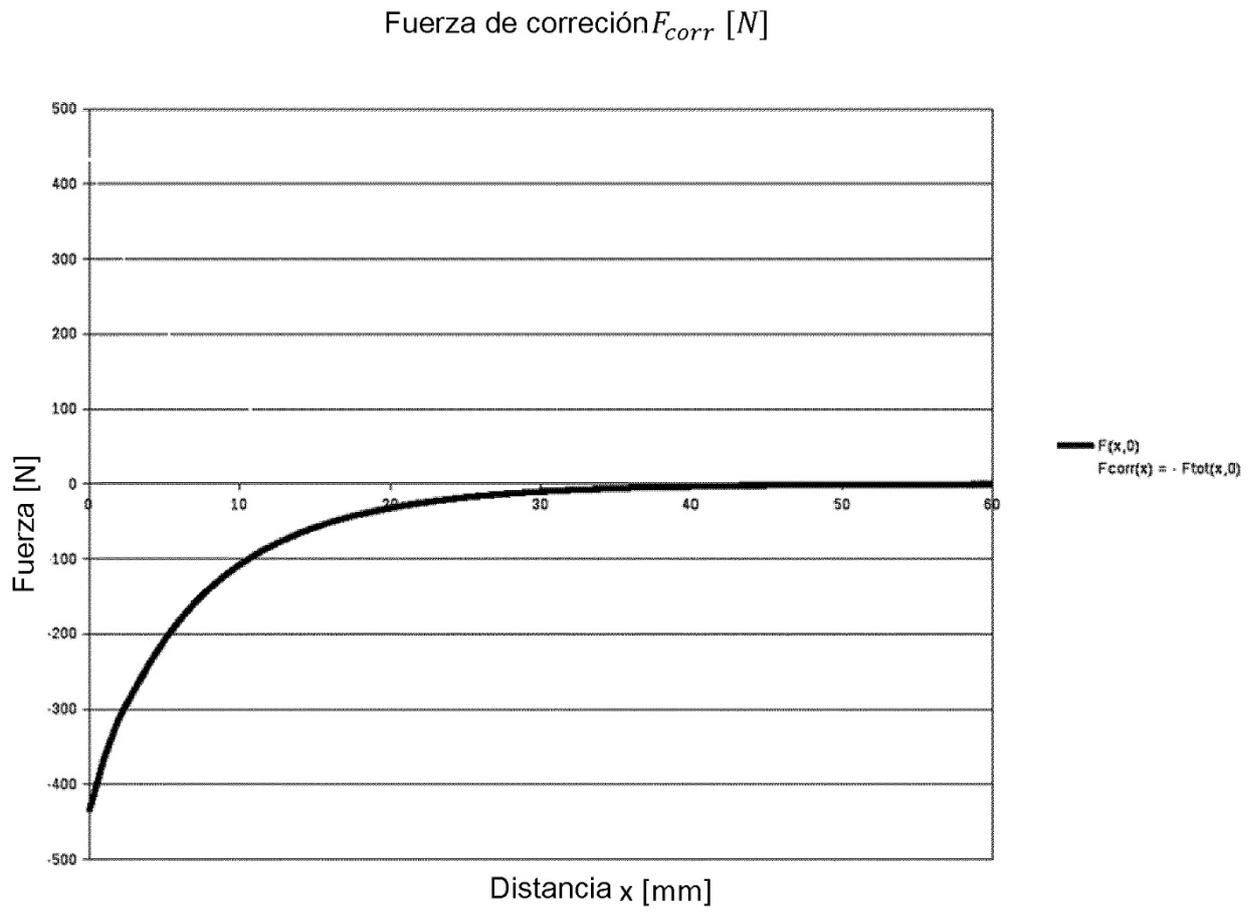


Figura 15

Fuerza de interacción [N]

$$|J_{coil}| = 10 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

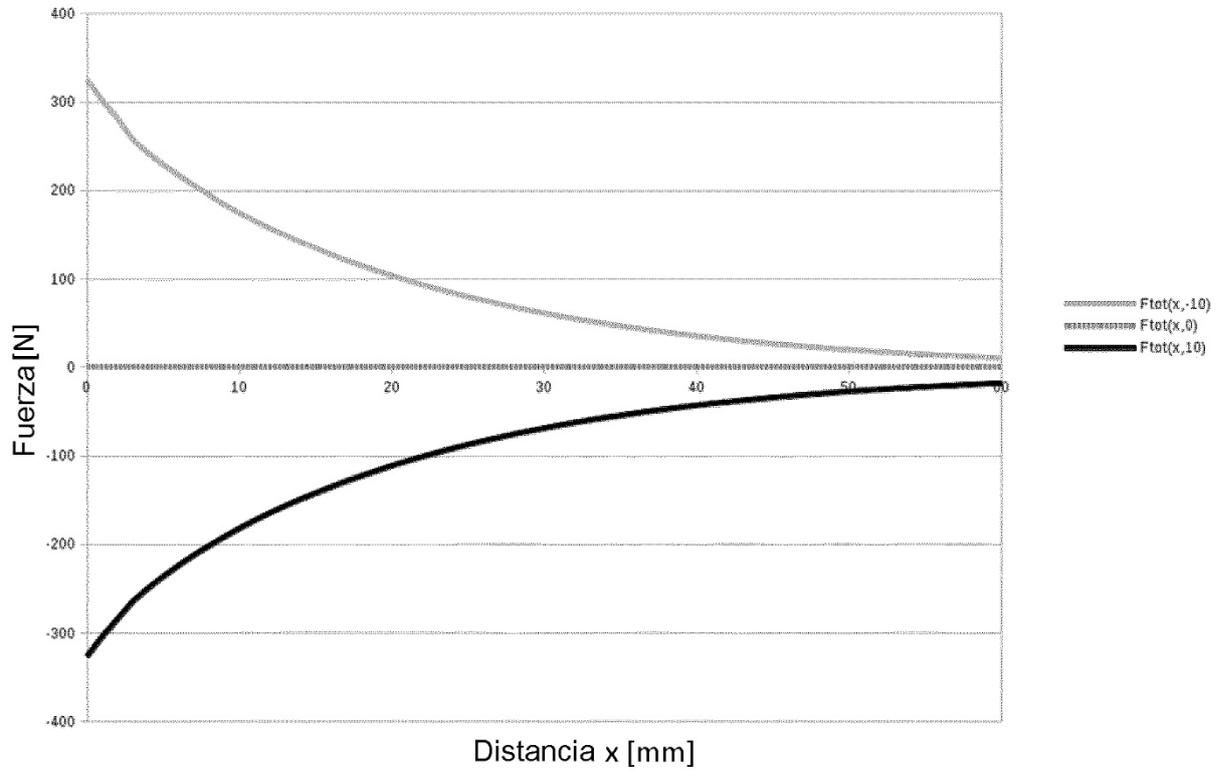


Figura 16

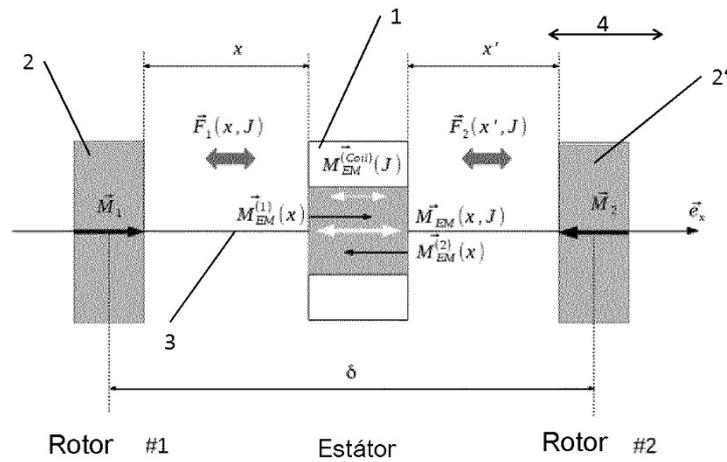


Figura 17

Fuerza de interacción [N]

$$J_{coil} = 0 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

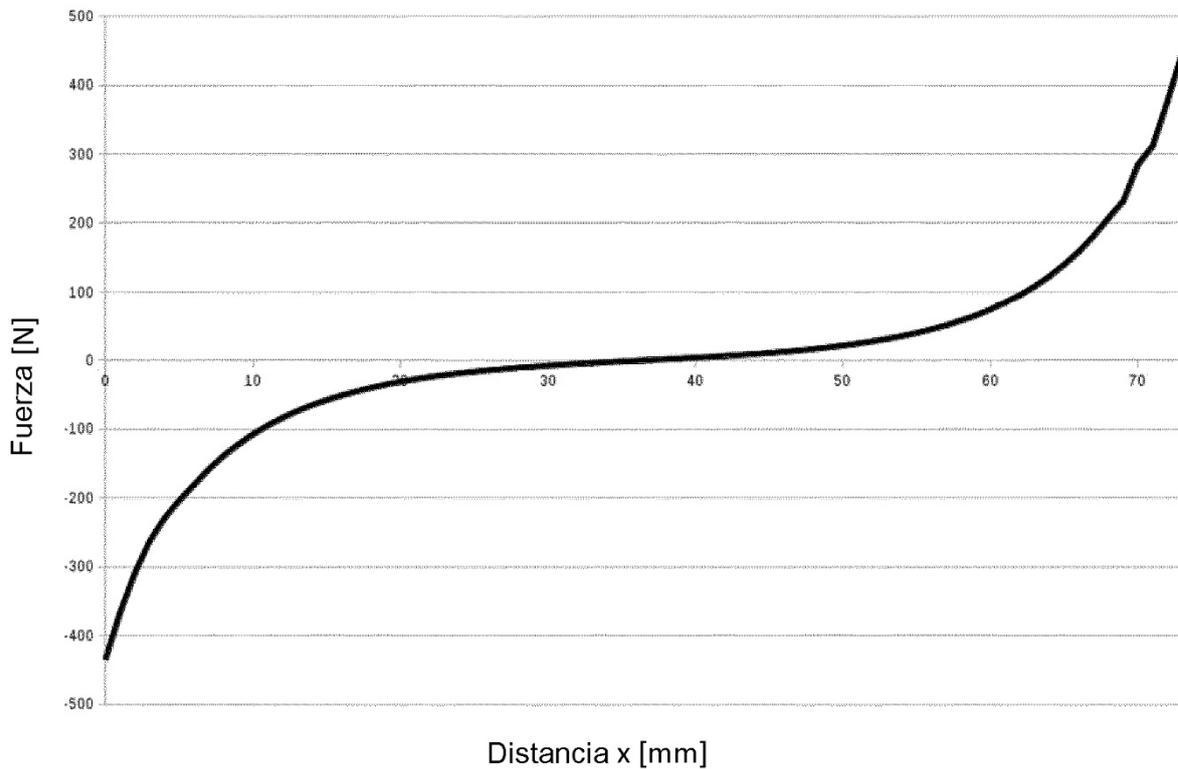


Figura 18

Fuerza de interacción de 3 dipolos [N] $J_{coil} > 0 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$
 Movimiento del rotor de derecha a izquierda

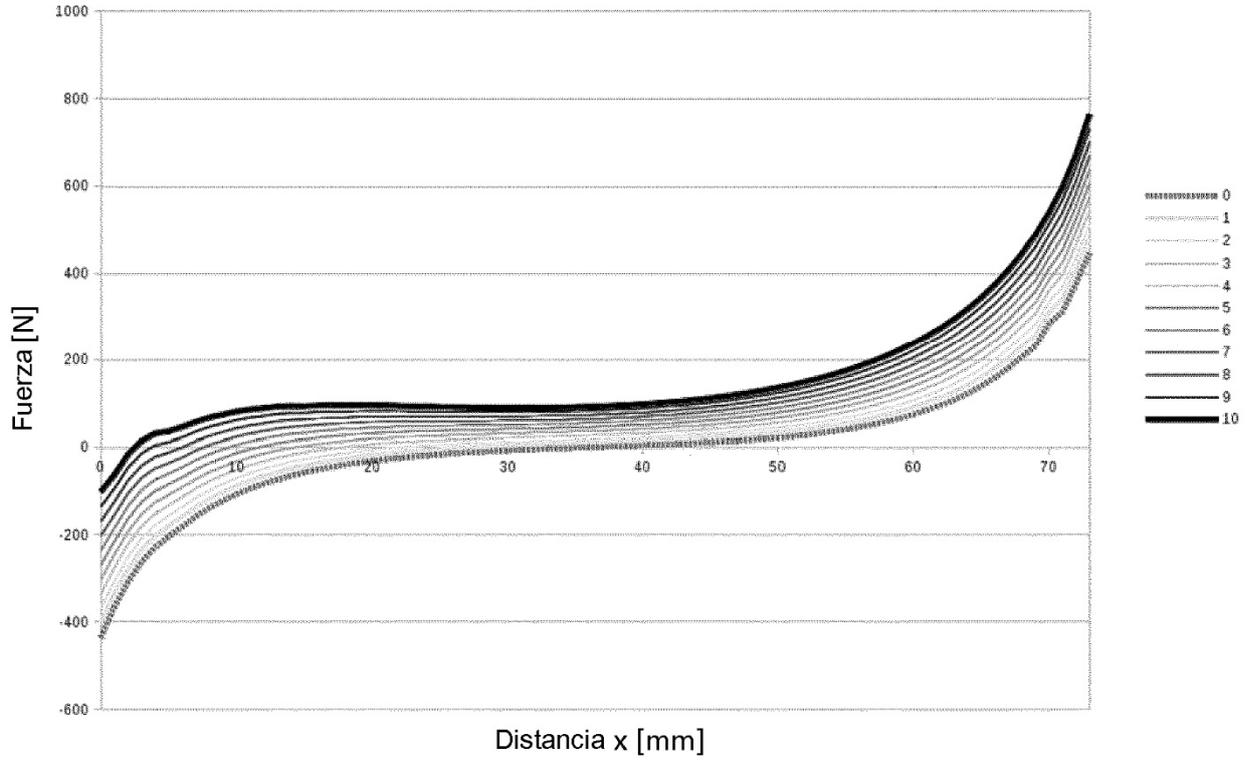


Figura 19

Fuerza de interacción de 3 dipolos [N] $J_{coil} < 0$ [$\frac{A}{mm^2}$]
 Movimiento del rotor de izquierda a derecha

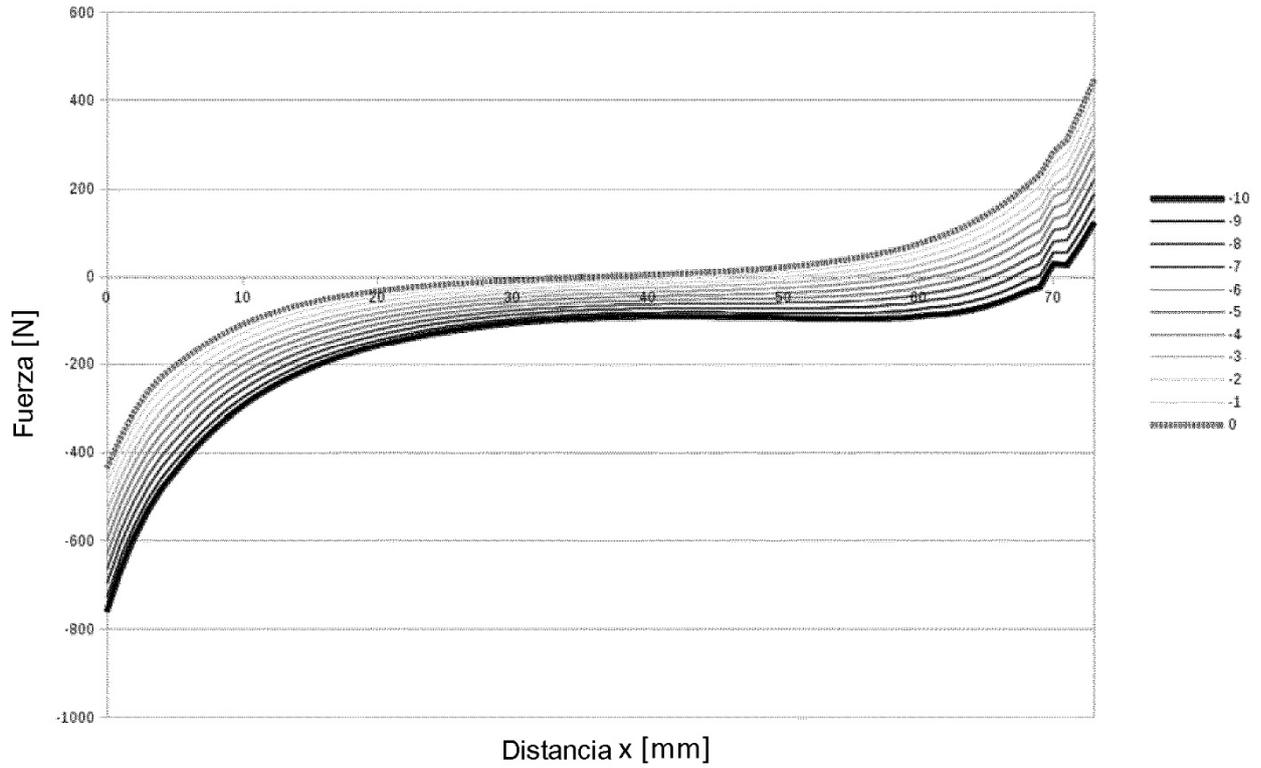


Figura 20

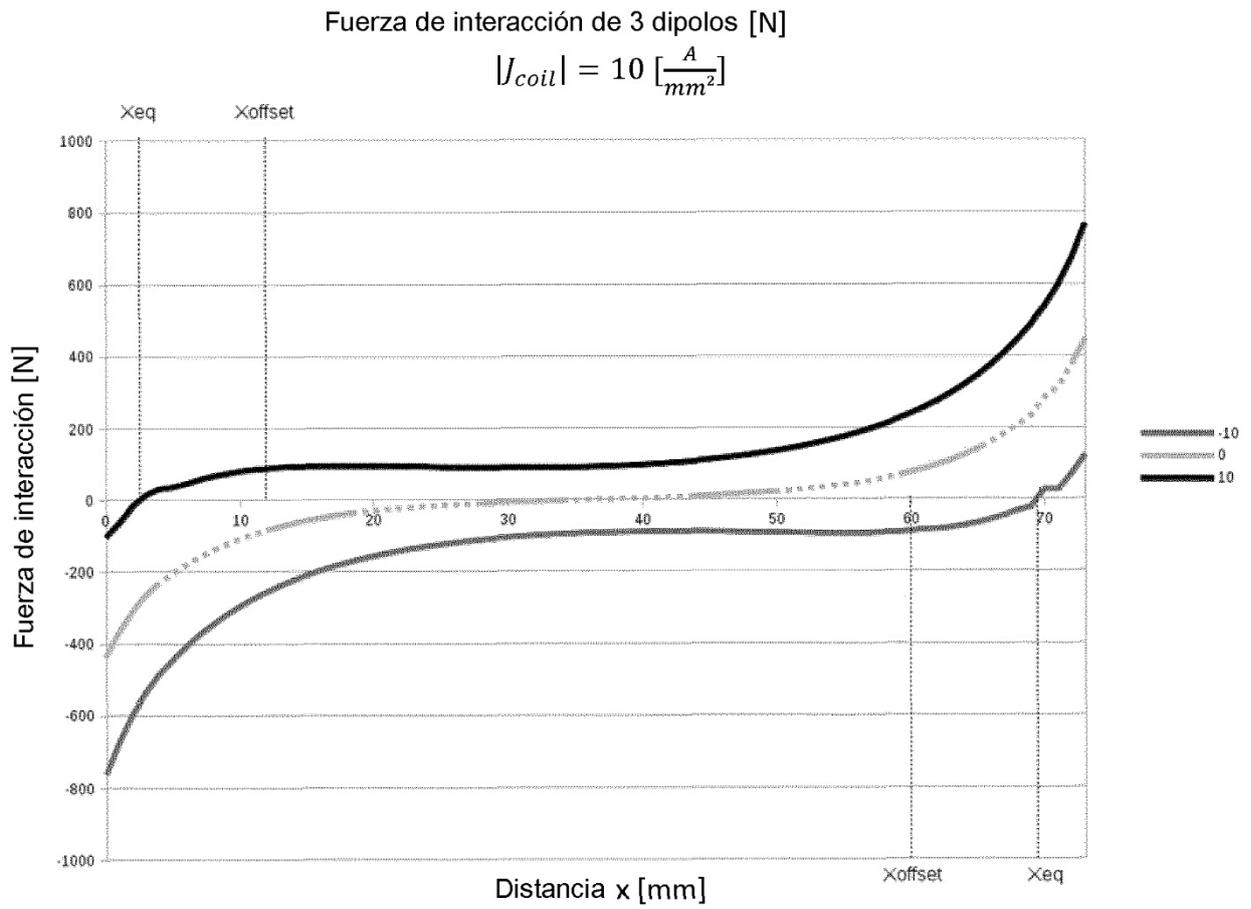


Figura 21

Fuerza de interacción de 3 dipolos [N]

$$|J_{coil}| = 10 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

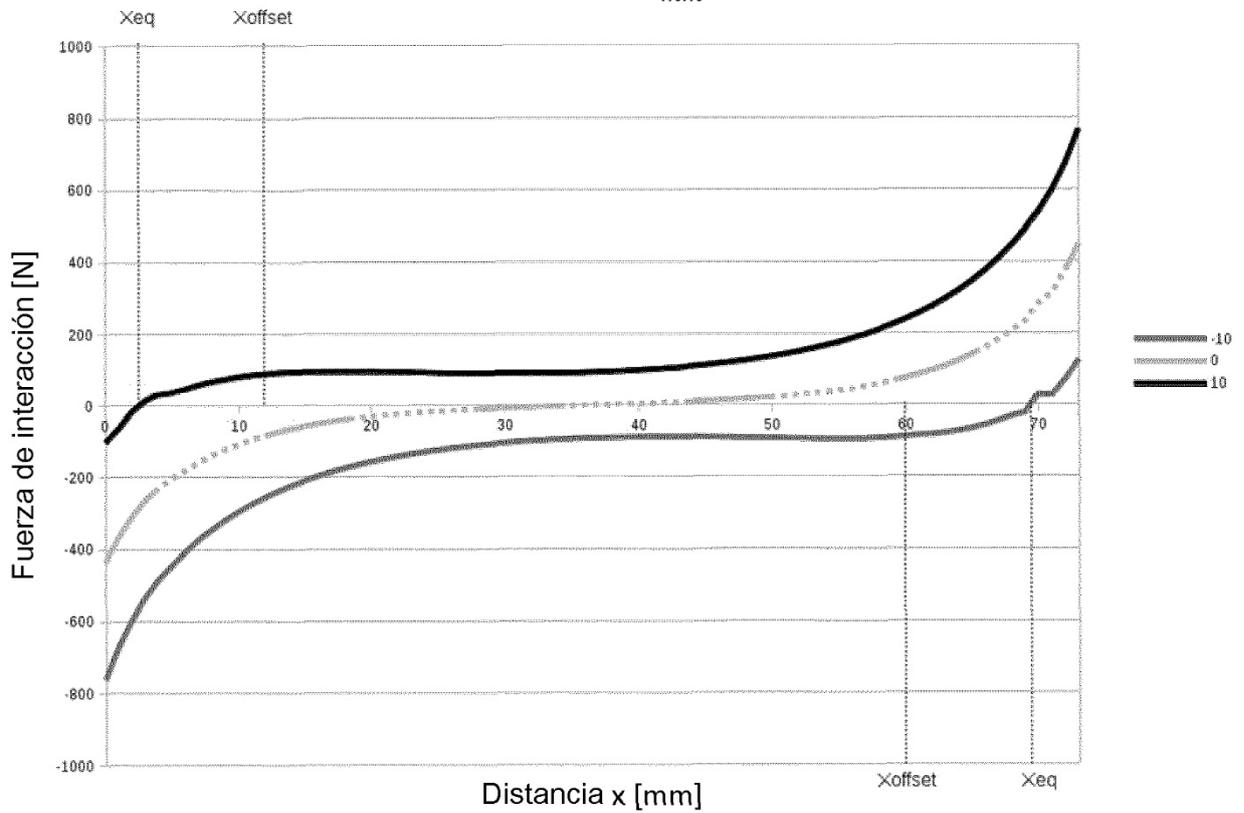


Figura 22

Fuerza de interacción de 3 dipolos [N] con corrección en el caso de
 $|J_{coil}| = 10 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$

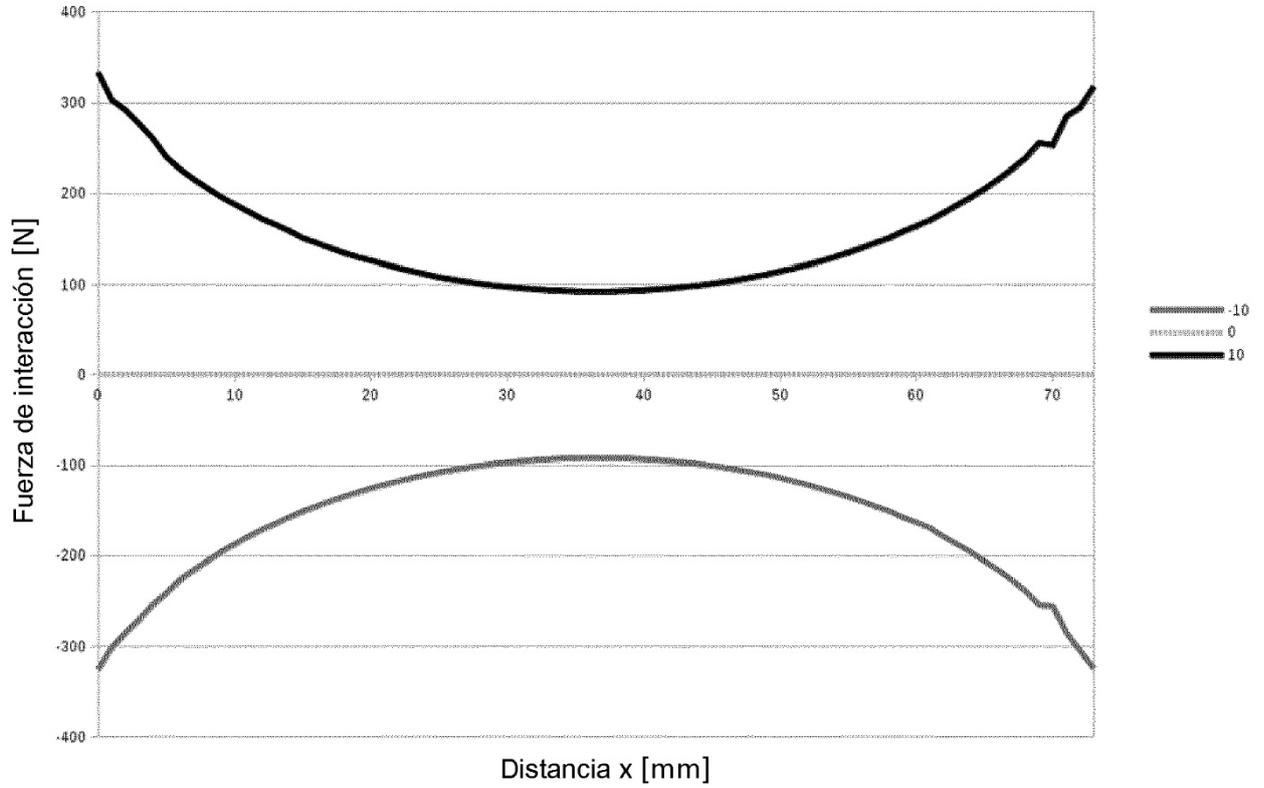


Figura 23

Fuerza de interacción de 3 dipolos [N]

$$|J_{coil}| \leq 10 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

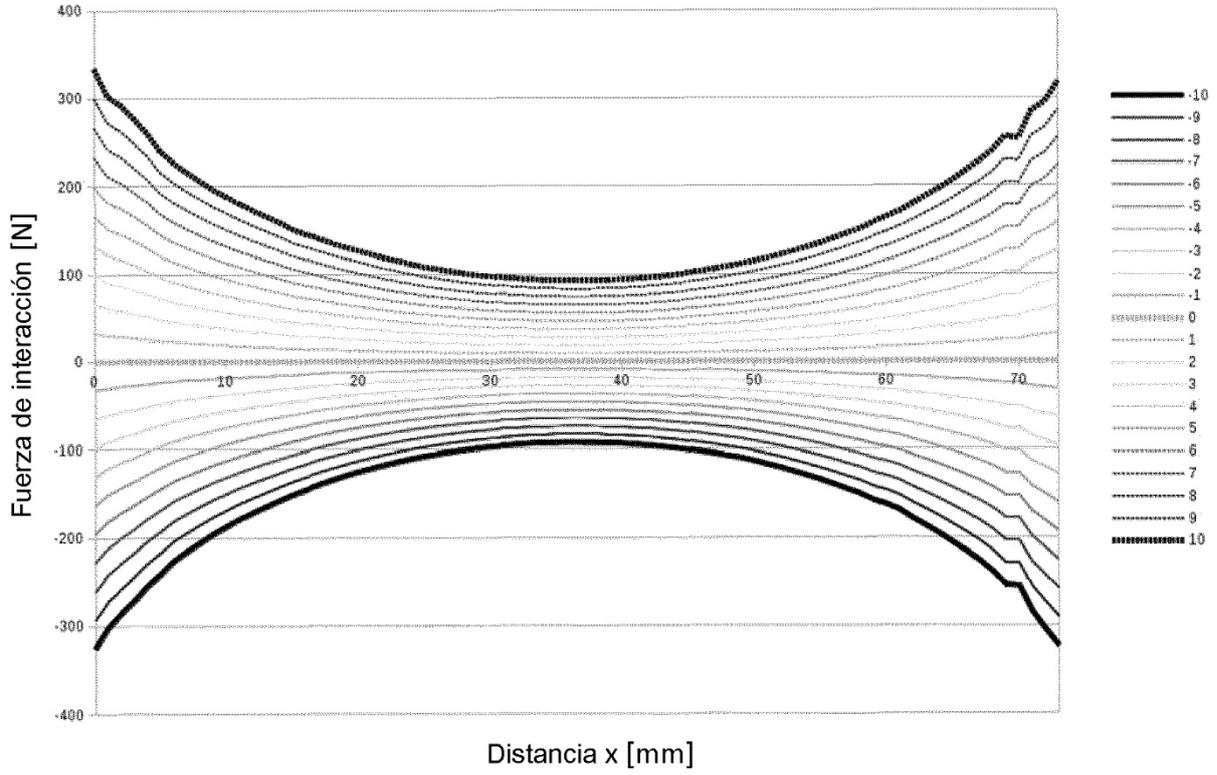


Figura 24

Perfil de fuerza corregido

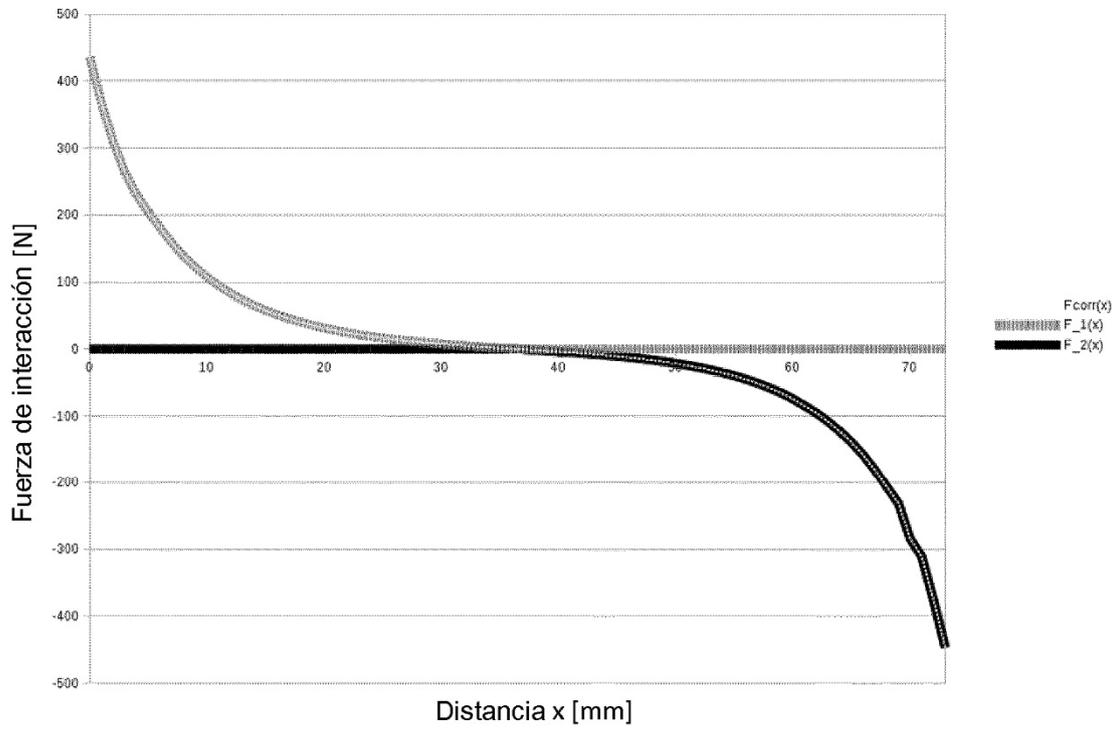


Figura 25

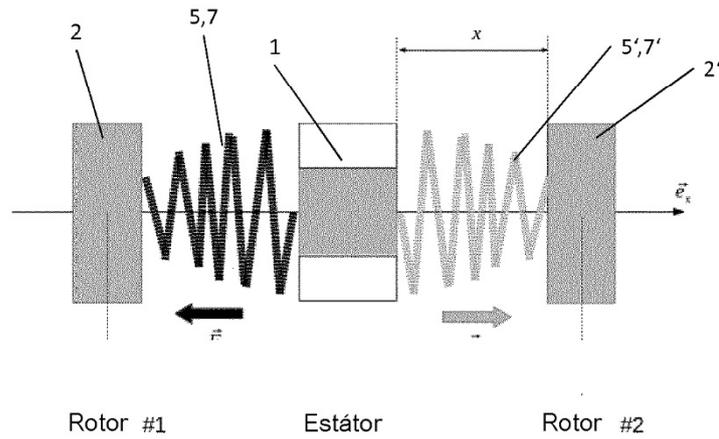


Figura 26

Resorte F_{corr} [N]
Extrapolación en cinco subintervalos

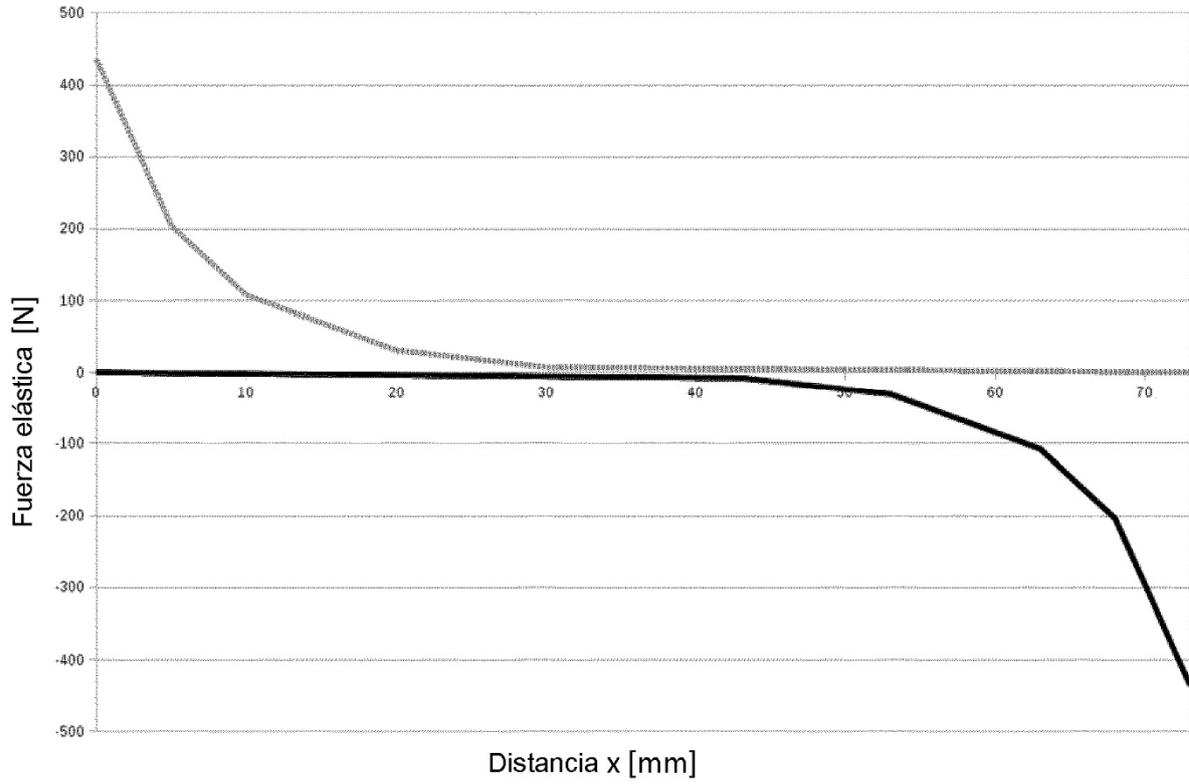


Figura 27