

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 600 865**

51 Int. Cl.:

G01D 5/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.10.2010 PCT/FR2010/052320**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.05.2011 WO11055064**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.10.2010 E 10788363 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.08.2016 EP 2496914**

54 Título: **Sensor de posición magnético bidireccional con rotación de campo**

30 Prioridad:

06.11.2009 FR 0905356

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

13.02.2017

73 Titular/es:

**MOVING MAGNET TECHNOLOGIES (100.0%)
ZAC La Fayette 1, rue Christiaan Huygens
25000 Besançon, FR**

72 Inventor/es:

**MASSON, GÉRALD y
DORGE, THIERRY**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 600 865 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

Sensor de posición magnético bidireccional con rotación de campo

5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere al campo de los sensores de posición magnéticos sin contacto cuya finalidad es proporcionar simultáneamente dos señales de salida independientes representativas de una posición siguiendo 2 direcciones (translación y translación, translación y rotación, rotación y rotación). Los sensores que detectan la posición a partir de un campo magnético tienen numerosas ventajas:

- sin contacto mecánico con la parte móvil y, por lo tanto, sin desgaste,
- insensibilidad a la suciedad,
- coste de producción reducido,
- larga duración de vida.

La mayor parte de los sensores magnéticos de posición sin contacto son siguiendo una sola dirección (una rotación O una translación), pero se ven aparecer cada vez más aplicaciones donde un sensor según dos direcciones (sensor bidireccional) es necesario como, por ejemplo, para detectar la posición de órganos de transmisión donde de manera general se combinan una rotación y una translación. En unas aplicaciones de este tipo, es más particularmente importante tener una información de posición según una dirección que no es dependiente de la posición según la otra dirección (señales de salida independientes).

Estado de la técnica anterior

La mayoría de los sensores bidireccionales ya existentes utiliza unos imanes permanentes asociados a un circuito magnético, más o menos complejo, hecho de material ferromagnético utilizado para guiar y/o concentrar el flujo magnético generado por el o los imanes permanentes, pero esto en detrimento del coste y de las competencias del sensor.

De esta manera, se conoce en el estado de la técnica, la patente francesa FR2786266 del solicitante, relativa a un sensor de posición según dos direcciones, pero en el que el volumen y la superficie del imán utilizado limitan la utilización práctica de este sensor para los grandes recorridos. Este sensor presenta igualmente una histéresis importante debido a los estatores ferromagnéticos y la medida depende de la variación de la inducción remanente que, por lo tanto, debe compensarse.

Por otra parte, la patente europea EP800055 describe un sensor de posiciones lineal y angular. Este sensor suministra unas señales analógicas difícilmente aprovechables, ya que no son lineales, de escaso nivel. Unos sensores de este tipo requieren varios puntos de medida disjuntos para medir la posición relativa siguiendo dos direcciones. Además, necesitan unas piezas estáticas que aportan histéresis y los elementos sensibles miden la amplitud del campo y, por lo tanto, son sensibles a las tolerancias geométricas y a la temperatura.

Las patentes de los Estados Unidos US4639667 o WO9716736 describen unos sensores que funcionan según unos principios que no permiten suministrar unas señales lineales e independientes, representativas de la posición en dos dimensiones.

Existen igualmente unos sensores bidireccionales que solo son la puesta uno a continuación del otro de dos sensores unidireccionales independientes, como, por ejemplo, la patente WO 2008138662 y la patente de los Estados Unidos US6175233 que describen 2 sensores lineales que miden cada uno una sola dirección. Para cada sensor hay un imán y un elemento de detección del campo magnético, lo que tiene como consecuencia que lleva a un volumen importante y un coste de realización elevado. Además, estos sensores miden la amplitud del campo y, por lo tanto, también ellos son sensibles a las tolerancias geométricas y a la temperatura.

Se conocen igualmente en el estado de la técnica las patentes de los Estados Unidos US 7421923 y US 7293480 que son unos sensores de detección de las velocidades activadas por una palanca de velocidad. Unas patentes de este tipo presentan una solución para detectar unas posiciones según 2 direcciones, pero utilizan un imán y al menos tantos sensores de Hall posicionados en el espacio como velocidades hay que detectar. Por lo tanto, es necesario implementar una red de sensores para discriminar unas posiciones únicas y obtener una detección digital de las velocidades. La multiplicación de los sensores hace que esta solución sea costosa de implementar y no ofrece medios de conocer las posiciones intermedias.

Para remediar los problemas relacionados con la detección de posición por medida de amplitud descritos más arriba, existen unos sensores de posición que miden la rotación del campo magnético, dicho de otra manera, su dirección, y

ya no su amplitud. Sin embargo, esto se aplica principalmente a unos sensores unidireccionales y no bidireccionales.

Se conocen, por ejemplo, en el estado de la técnica, unos sensores tales como se describen en las patentes francesas FR 2898189 y FR 2909170 del solicitante que utilizan la dirección del campo y no la amplitud para detectar una posición relativa entre un imán y una sonda magnetosensible. Esta medida de dirección permite ser insensible a la temperatura y a los juegos mecánicos y no implementa pieza ferromagnética y, por lo tanto, no presenta histéresis magnética. Sin embargo, unos sensores de este tipo solo miden una sola dirección de campo magnético por medio del cálculo de una sola relación de amplitud a partir de 2 componentes del campo magnético y, por lo tanto, solo pueden conocer la posición relativa de un imán móvil con respecto a una sonda magnetosensible siguiendo una dirección y no dos. Asimismo, las patentes y solicitudes de patente de los Estados Unidos US6731108, US6960974 y WO2004015375 permiten únicamente la medida del desplazamiento lineal de un imán con respecto a uno o varios elementos magnetosensibles utilizando la dirección del campo. Sin embargo, para una realización práctica de los recorridos superiores a 20-25 mm, estos sensores necesitan varias sondas colocadas sobre las diferentes partes del recorrido, lo que aumenta el coste del sensor y necesita un posicionamiento preciso de las sondas.

Sin embargo, se conocen en el estado de la técnica unas soluciones que permiten una medida de posición bidireccional y que utilizan la medida de la rotación y no de la amplitud del campo magnético, pero en el caso de aplicaciones muy específicas con palancas de mando (joysticks). De esta manera, las solicitudes de patente de los Estados Unidos US 20070242043 o US 20090062064 describen unos sensores para joystick que comprenden un sencillo imán imantado unidireccionalmente, según su espesor y una sonda que mide únicamente 2 componentes del campo y, por lo tanto, una sola dirección de campo (ángulo formado por los 2 componentes). Este principio no permite suministrar unas señales lineales independientes siguiendo 2 direcciones. Los sistemas de tipo joystick están, además, limitados únicamente a unas rotaciones y no pueden medir unas translaciones. Por otra parte, el ángulo que puede detectarse por un sistema de joystick de este tipo está limitado a una treintena de grados. Más allá, el imán se encuentra muy alejado de la sonda que ya no ve bastante campo magnético para deducir de ello una posición. De hecho, para una realización práctica para unos recorridos superiores a 40 grados, estos sensores necesitan varias sondas colocadas sobre las diferentes partes del recorrido, lo que aumenta el coste del sensor.

Se encuentra igualmente en el estado de la técnica una nota de aplicación de Melexis para una medida de 2 ángulos de rotación (http://www.melexis.com/Sensor_ICs_Hall_effect/Triaxis_Hall_ICs/MLX90333_648.aspx) donde se presentan 2 configuraciones de Joystick. La primera es una solución donde el centro de rotación del imán bipolar es coincidente con el punto de medida, lo que necesita un sistema mecánico complejo y voluminoso, no fácilmente integrable en una aplicación. La segunda configuración presenta una solución donde el centro de rotación del imán se encuentra detrás del imán (el imán está entre su centro de rotación y los elementos sensibles). En este caso, los 3 componentes del campo magnético se utilizan para determinar 2 ángulos de rotación. El imán utilizado es un cilindro de muy escaso diámetro con una imantación constante en amplitud y en dirección siguiendo su espesor. Es decir, que la imantación del imán en cualquier punto de este imán tiene el mismo módulo y es perpendicular a la cara superior e inferior del imán. Esta configuración muy específica está destinada únicamente a la medida de dos ángulos y para de muy escaso recorrido (una treintena de grados). De hecho, para poder detectar la rotación del imán con el algoritmo utilizado, es necesario que el diámetro del imán sea pequeño (teóricamente un imán puntual con una imantación radial), lo que significa que en cuanto que tenemos una pequeña rotación del imán, el imán se aleja de los elementos magnetosensibles y la inducción magnética se vuelve muy escasa a la altura de los elementos magnetosensibles de la sonda para tener una detección precisa de la rotación del imán. Este es el motivo por el que este género de sistema necesita un imán con muy fuerte remanencia (tradicionalmente $B_r > 1,2$ T) y muy espeso (espesor > 10 mm) que, por lo tanto, cuesta caro y es difícil de imantar, con lo que es además un espesor axial importante (tradicionalmente > 10 mm) que genera un problema de volumen. Además, con estas soluciones, el entrehierro mecánico entre la superficie del imán plana y el punto de medida varía en función de las rotaciones del imán, lo que implica un deterioro de la linealidad y un entrehierro mayor de lo necesario para evitar la colisión de los bordes del imán con el soporte de la sonda. Lo ideal para evitar esto es un imán de muy escaso diámetro, pero que plantea los problemas ya mencionados más arriba.

Exposición de la invención

Por lo tanto, la invención presentada aquí se propone en concreto remediar de manera sencilla y competente los problemas de los sensores bidireccionales expuestos más arriba (recorrido limitado, medida de rotaciones solamente, imanes de fuerte remanencia y espesos, volumen y coste importantes...).

En particular, proponemos un sensor de posición absoluto siguiendo 2 direcciones cualesquiera (translación-translación, translación-rotación o rotación-rotación) que mide el desplazamiento relativo entre un elemento imantado y una sonda magnetosensible que mide al menos 2 componentes del campo magnético sustancialmente en el mismo punto y esto sin limitación alta o baja de recorridos y que utiliza preferentemente la medida de la dirección del campo magnético y no de su amplitud.

De manera más precisa, proponemos un sensor magnético de posición siguiendo al menos dos direcciones que incluye al menos un elemento imantado (1) y una zona (6) que incluye al menos dos elementos magnetosensibles

(2) y (3) localizados sustancialmente en el mismo punto y que miden cada uno de los componentes del campo magnético generado por dicho elemento imantado (1), siendo el elemento imantado (1) móvil respecto a dichos elementos magnetosensibles (2) y (3) y al menos un circuito de tratamiento (5) adecuado para efectuar unos cálculos de ángulos y de módulos a partir de combinaciones algebraicas de los componentes del campo magnético y que proporciona al menos dos señales independientes representativas de la posición del elemento móvil según respectivamente una y otra de las dos direcciones, caracterizado por que el vector imantación del elemento imantado (1) es variable con respecto al vector normal a la superficie del elemento imantado dispuesta frente a la sonda (6) según al menos una de las dimensiones de dicho elemento imantado de modo que se define una posición única de dicha sonda (6) en relación con dicho elemento imantado (1).

Esta variación del vector imantación puede obtenerse por la variación de su dirección según al menos una de sus dimensiones. En este caso, la dirección del vector imantación puede presentar varios periodos sobre el recorrido medido.

Esta variación del vector imantación también puede obtenerse por la variación de una de las dimensiones del elemento imantado según al menos una de las dos direcciones que induce una variación de la dirección del vector normal a la superficie. En este caso, la dimensión puede variar según una función discontinua o siguiendo una función continua de tipo sinusoidal.

Esta variación del vector imantación también puede obtenerse por la variación de su amplitud según al menos una de las dos direcciones.

En todos estos casos, el vector de imantación presenta al menos una alternancia de sentido siguiendo al menos una de las dos direcciones.

En todos estos casos, el circuito de tratamiento de la señal puede realizar al menos 2 cálculos de arco tangente o al menos un cálculo de arco tangente y un cálculo de módulo.

En todos estos casos, el circuito de tratamiento de la señal también puede realizar un cálculo de arco tangente de la relación de dos componentes del campo magnético después de haber aplicado un coeficiente corrector entre estos dos componentes.

En una variante de la invención, el circuito del tratamiento está integrado con los elementos magnetosensibles en un solo componente.

En una variante de la invención, el elemento imantado está constituido por un imán permanente y por al menos una pieza ferromagnética.

Finalmente, de forma preferente, los componentes del campo magnético medidos varían de forma sustancialmente sinusoidal siguiendo cada una de las al menos dos direcciones.

De forma general, este sensor presenta un solo elemento imantado, preferentemente un imán permanente de tipo tierra rara (SmCo, NdFeB) o ferrita, de escaso espesor y de longitud y anchura sustancialmente equivalentes al recorrido deseado, sin otra limitación de recorrido que el tamaño del imán. El hecho de que este sensor utilice solo una sola sonda magnetosensible que mide los 3 componentes del campo magnético en un solo punto permite, de esta manera, llevar un volumen mínimo y un coste limitado. Este sensor utiliza las relaciones de amplitudes entre los componentes del campo magnético para librarse de las variaciones de las propiedades magnéticas del imán en función de la temperatura, del tiempo e igualmente para no ser sensible a las tolerancias geométricas y a las variaciones de entrehierro, lo que permite proponer una solución extremadamente robusta. Este sensor no presenta piezas ferromagnéticas fijas con respecto a los elementos magnetosensibles y, por lo tanto, ninguna histéresis magnética garantizando al mismo tiempo la sencillez de la estructura. Finalmente, el sensor proporciona una información de posición independiente para cada una de las 2 direcciones y esto con una muy gran precisión.

El funcionamiento del sensor se define de manera más precisa como sigue:

Sea M el punto donde los elementos magnetosensibles están agrupados y miden los 3 componentes del campo magnético y O' el punto medio de la superficie exterior del elemento imantado (1) que está frente por frente de la sonda (6) donde están integrados los elementos magnetosensibles. Un punto O se utilizará en el caso donde al menos una de las dos direcciones es una rotación con, en este caso, O centro de rotación. De esta manera, podemos escribir la siguiente relación vectorial:

$$\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OO'} + \overrightarrow{O'A} + \overrightarrow{AM}$$

El vector $\overrightarrow{OO'}$ es constante y depende únicamente de la geometría del imán, la norma de este vector corresponde al radio exterior del imán en el caso de un imán en teja o esférico y es nula en el caso de un

imán paralelepípedo.

El vector \overline{AM} es constante y está orientado siguiendo el espesor del imán sea $\overline{AM} = z_0 \vec{n}$, z_0 se llama habitualmente entrehierro o *airgap* entre el elemento imantado y el punto M que agrupa los elementos magnetosensibles.

5 De esta manera, se define $\overline{OA} = x\vec{i} + y\vec{j}$ como siendo el vector que representa la posición del elemento imantado con respecto a los elementos magnetosensibles siguiendo las 2 direcciones del elemento móvil que están orientadas siguiendo \vec{i} y \vec{j} . En interés de la sencillez, las direcciones se anotarán en lo sucesivo X e Y y corresponden a los desplazamientos respectivamente siguiendo \vec{i} y \vec{j} .

10 De esta manera, las 2 direcciones X e Y pueden ser 2 translaciones donde x e y corresponden a una longitud o pueden ser una translación y una rotación donde x corresponde entonces a una longitud e y a un ángulo y finalmente las 2 direcciones pueden ser 2 rotaciones donde x e y corresponden ambas dos a unos ángulos.

15 Para determinar la posición del elemento imantado con respecto a los elementos magnetosensibles siguiendo las 2 direcciones X e Y del elemento móvil, hay que determinar, por lo tanto, las coordenadas x e y.

De una manera general, ya sea para un imán rectilíneo, cilíndrico o esférico, en lo que sigue, el espesor corresponde a la dimensión del imán orientada según el vector unitario \vec{n} normal a la superficie superior del imán, la longitud corresponde a la dimensión del imán orientada por el vector \vec{i} tangente a la superficie superior del imán y la profundidad corresponde a la dimensión del imán orientada por el vector \vec{j} igualmente tangente a la superficie superior del imán y perpendicular al vector \vec{i} . En el caso de un imán rectilíneo, cilíndrico o esférico, la referencia O, $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{n})$ utilizada es respectivamente una referencia cartesiana, polar o esférica.

20 Según un primer modo de realización, el sensor está constituido por un elemento imantado (preferentemente un imán permanente) que genera un campo magnético cuyo componente normal (siguiendo \vec{n}) por una parte, y los componentes tangencial (siguiendo \vec{i}) y transversal (siguiendo \vec{j}) por otra parte, medidos en su superficie, varían periódicamente (según unos períodos mecánicos de referencia denominados λ_x y λ_y), pudiendo la variación efectiva a lo largo de la superficie corresponder a uno o unos período(s) entero(s) o unas fracciones de período(s).

30 Según una configuración preferente, el elemento imantado presentará una longitud y una profundidad sustancialmente próximas a los recorridos útiles, así como una imantación cuya dirección varía de manera sustancialmente lineal siguiendo sus 2 direcciones X e Y y con respecto a su espesor, su longitud Y su profundidad. Esto significa que en cualquier punto A de la superficie exterior del elemento imantado, el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector normal \vec{n} sea (\vec{M}, \vec{n}) y el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector \vec{i} sea (\vec{M}, \vec{i}) varían linealmente siguiendo las direcciones X, Y que el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector normal \vec{n} (\vec{M}, \vec{n}) y el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector \vec{j} varían linealmente siguiendo la dirección Y.

40 En la proximidad de este elemento imantado, esta imantación genera un campo magnético \vec{B} ($\vec{B} = B_x\vec{i} + B_y\vec{j} + B_z\vec{n}$) cuyos componentes tangencial (Bx), normal (Bn) y transversal (By) son sustancialmente sinusoidales, sobre una gran parte del recorrido siguiendo las direcciones X e Y.

Por lo tanto, consideramos un imán de longitud L_x , de anchura L_y y de espesor L_z , y $M(x, y, z_0)$ un punto de medida de los componentes B_x, B_y, B_z del campo magnético generado por el elemento imantado.

+/- $y_{\text{máx}}$ es el recorrido máximo que queremos medir siguiendo la dirección Y, siendo $y_{\text{máx}}$ inferior, igual o superior a la anchura del elemento imantado.

45 +/- $x_{\text{máx}}$ es el recorrido máximo que queremos medir siguiendo la dirección X, siendo $x_{\text{máx}}$ inferior, igual o superior a la longitud del elemento imantado.

Queremos conocer la posición siguiendo X e Y, sea x e y. z_0 corresponde al entrehierro de medida entre el elemento móvil y el elemento fijo.

50 Los componentes B_y y B_z del campo magnético tienen la misma fase siguiendo X, mientras que el componente B_x está defasado en un cuarto de período. En este 1^{er} modo de realización, la imantación genera un campo magnético tal que podemos escribir como sigue los componentes del campo magnético en $M(x, y, z_0)$:

- $B_x(x, y, z_0) = B_{x\text{MAX}} * \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_x} * x + \phi\right) * \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_y} * y\right) * \frac{A}{z_0}$
- $B_y(x, y, z_0) = B_{y\text{MAX}} * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda_x} * x + \phi\right) * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda_y} * y\right) * \frac{A}{z_0}$
- $B_z(x, y, z_0) = B_{z\text{MAX}} * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda_x} * x + \phi\right) * \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_y} * y\right) * \frac{A}{z_0}$

Donde λ_x y λ_y son respectivamente las longitudes de onda para la que el campo magnético gira en 360 grados siguiendo respectivamente X e Y y A una constante no nula propia para cada sensor que depende del entrehierro entre la superficie del elemento imantado y los elementos magnetosensibles, así como de la geometría del elemento imantado.

5 Para este 1^{er} modo de realización preferente, la imantación es normal al centro del imán en O' y, por lo tanto, tenemos $\phi = \frac{\pi}{2}$. La imantación puede, por ejemplo, girar en 360 grados siguiendo X e Y. Esto significa que la imantación gira en 360 grados sobre la longitud del elemento imantado y en 360 grados sobre la anchura del elemento imantado, lo que en este caso nos da $\lambda_x = L_x$ y $\lambda_y = L_y$. Entonces, tenemos en cualquier punto M(x, y, z₀) por encima del elemento imantado:

10

- $B_x(x,y,z_0) = B_xMAX * \cos(\frac{2\pi}{L_x} * x + \frac{\pi}{2}) * \cos(\frac{2\pi}{L_y} * y) * \frac{A}{z_0}$
- $B_y(x,y,z_0) = B_yMAX * \sin(\frac{2\pi}{L_x} * x + \frac{\pi}{2}) * \sin(\frac{2\pi}{L_y} * y) * \frac{A}{z_0}$
- $B_z(x,y,z_0) = B_zMAX * \sin(\frac{2\pi}{L_x} * x + \frac{\pi}{2}) * \cos(\frac{2\pi}{L_y} * y) * \frac{A}{z_0}$

Por supuesto, según el campo magnético generado por el elemento imantado, la longitud de onda λ_y puede ser mucho mayor que la anchura del elemento imantado L_y como para las figuras 4, 5 y 6, donde λ_y es mayor que la anchura L_y , lo que significa que el campo magnético gira en menos de 360 grados sobre la anchura del elemento imantado.

15

Si se miden los componentes Bx, By y Bz del campo magnético en un punto M cualquiera del espacio que rodea el elemento imantado, es posible conocer la posición siguiendo las direcciones X e Y, aplicando las fórmulas de más abajo para deducir de ello x e y. Esta medida de los 3 componentes magnéticos puede realizarse, por ejemplo, por 3 elementos magnetosensibles localizados en un mismo punto e integrados en un mismo paquete llamado sonda (6) utilizando unos componentes de tipo MLX90333 o HAL3625...

20

A partir de estos 3 componentes, podemos hacer el siguiente cálculo (figura 9):

$$\text{atan}(kx \frac{B_z}{B_x})$$

$$\text{atan}(ky \frac{B_z}{B_y})$$

25

con: Bx, By, Bz componentes del campo magnético medidos en el punto M de coordenadas x, y, z₀ y kx, ky coeficientes de ganancia correctores afectados a la medida de los componentes de campo para normalizar los componentes. Este cálculo puede realizarse en el interior de un componente único que comprende los elementos magnetosensibles o puede realizarse entonces por un elemento exterior a la sonda (microcontrolador, microprocesador, ECU...). Aplicando estas fórmulas se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{atan}(kx \frac{B_z}{B_x}) &= \text{atan}((kx * B_zMAX * \sin(\frac{2\pi}{L_x} * x + \frac{\pi}{2}) * \cos(\frac{2\pi}{L_y} * y) * \frac{A}{z_0}) / (B_xMAX * \cos(\frac{2\pi}{L_x} * x + \frac{\pi}{2}) * \cos(\frac{2\pi}{L_y} * y) * \frac{A}{z_0})) \\ &= \text{atan}((kx * B_zMAX * \sin(\frac{2\pi}{L_x} * x + \frac{\pi}{2})) / ((B_xMAX * \cos(\frac{2\pi}{L_x} * x + \frac{\pi}{2}))) \\ &= \text{atan}(kx * \frac{B_zMAX}{B_xMAX} * \tan(\frac{2\pi}{L_x} * x + \frac{\pi}{2})) \\ &= \frac{2\pi}{L_x} * x + \frac{\pi}{2} \quad \text{con } kx = \frac{B_zMAX}{B_xMAX} \end{aligned}$$

30

Por lo tanto, Atan(kx Bz/Bx) es una función lineal de variable x y su evaluación por cálculo nos permite determinar el valor x y, por lo tanto, la posición siguiendo la dirección X del punto M con respecto al centro del elemento imantado O'. Siendo M el punto donde los elementos magnetosensibles están colocados, de esta manera conocemos la posición relativa del elemento imantado con respecto a los elementos magnetosensibles. Por lo tanto, la posición relativa siguiendo X es independiente de la temperatura y del entrehierro y puede determinarse con una precisión importante (tradicionalmente menos de un 1 % del recorrido completo). Para que esta salida sea igual a 0 cuando x = 0, esto puede hacerse por medio de una programación de la sonda (6), ya que la pendiente y la ordenada en el origen dependen del imán y de su imantación únicamente y, por lo tanto, son programables.

35

Podemos calcular asimismo arctan(ky Bz/By)

40

$$\text{atan}(k_y \frac{B_z}{B_y}) = \frac{2\pi \cdot y}{L_y} + \frac{\pi}{2} \quad \text{con } k_y = \frac{B_{y_{\text{max}}}}{B_{z_{\text{max}}}}$$

Lo que lleva a la posición relativa siguiendo la dirección Y del elemento imantado con respecto a los elementos magnetosensibles como se ha explicado anteriormente para la posición siguiendo X.

5 Por consiguiente, una imantación de este tipo y un tratamiento de las señales de este tipo como se describen en este 1^{er} modo de realización nos permiten determinar la posición relativa siguiendo 2 direcciones X e Y del elemento imantado con respecto a los elementos magnetosensibles a partir de los 3 componentes del campo magnéticos medidos en un mismo punto M.

Podemos igualmente con una misma imantación utilizar el siguiente postratamiento:

$$\text{Atan}\left[\frac{\sqrt{(K_x \cdot B_x^2 + K_y \cdot B_y^2)}}{B_x}\right] \text{ Y } \text{Atan}\left[\frac{\sqrt{(K_x \cdot B_x^2 + K_y \cdot B_y^2)}}{B_y}\right]$$

10 Según un segundo modo de realización, la presente invención está constituida por un elemento imantado (preferentemente un imán permanente) que genera un campo magnético cuyo componente normal (siguiendo \vec{n}), por una parte, y los componentes tangencial (siguiendo \vec{T}) y transversal (siguiendo \vec{J}), por otra parte, medidos en su superficie, varía periódicamente (según unos períodos mecánico de referencia denominado λ_x y λ_y), pudiendo la variación efectiva a lo largo de la superficie corresponder a uno o unos período(s) entero(s) o unas fracciones de período(s).

15 Según este segundo modo de realización, el elemento imantado presentará una imantación donde la dirección varía de manera sustancialmente lineal siguiendo únicamente 1 de sus 2 direcciones y con respecto a su espesor Y su longitud.

20 Esto significa que en cualquier punto A del elemento imantado, el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector normal \vec{n} sea (\vec{M}, \vec{n}) y el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector \vec{T} sea (\vec{M}, \vec{T}) varían linealmente siguiendo la dirección X, pero que el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector \vec{J} es constante siguiendo la dirección Y.

25 Este 2^o modo de realización necesita un elemento imantado de escasa anchura (<30 mm o equivalente en ángulo) para que, en la proximidad de este elemento imantado, esta imantación genere un campo magnético cuyos componentes tangencial (Bx), normal (Bn) y transversal (By) con respecto al imán sean sustancialmente sinusoidales sobre una gran parte del recorrido y sean de la misma forma que los componentes del 1^{er} modo de realización. Un imán poco ancho nos permite gracias a los efectos de bordes obtener un campo magnético en M que varía siguiendo la dirección Y sin que, no obstante, el elemento imantado tenga una imantación variable siguiendo esta dirección.

30 Para este 2^o modo de realización preferente, la imantación puede ser normal, tangencial u otras al centro del imán en O' y, por lo tanto, en este caso tenemos $\phi = [0; 2\pi]$, la imantación puede girar en 360 grados siguiendo la dirección X, pero girará en menos de 180 grados siguiendo la dirección Y, lo que nos da, por ejemplo, $\lambda_x = L_x$ y $\lambda_y = 2L_y$.

35 Entonces, tenemos en cualquier punto M(x, y, z₀) por encima del elemento imantado:

- $B_x(x, y, z_0) = B_{xMAX} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{L_x} \cdot x + \phi\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{L_y} \cdot y\right) \cdot \frac{A}{z_0}$
- $B_y(x, y, z_0) = B_{yMAX} \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{L_x} \cdot x + \phi\right) \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{L_y} \cdot y\right) \cdot \frac{A}{z_0}$
- $B_z(x, y, z_0) = B_{zMAX} \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{L_x} \cdot x + \phi\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{L_y} \cdot y\right) \cdot \frac{A}{z_0}$

40 De la misma manera que para el 1^{er} modo preferente, podemos calcular $\text{atan}(k_x B_z/B_x)$ y $\text{atan}(k_y B_z/B_y)$ y, de esta manera, obtener: $\text{Atan} = \frac{2\pi}{L_x} \cdot x + \phi$, la salida de esta función variará en 2π sobre el recorrido de longitud L_x $\text{Atan} = \frac{\pi}{L_y} \cdot y + \phi$, la salida de esta función variará en únicamente π sobre el recorrido de longitud L_y .

45 Podemos igualmente en este modo de realización, calcular el arcotangente para determinar la posición siguiendo X y, conociendo esta posición, podemos utilizar únicamente el valor del componente By para deducir de ello la posición siguiendo Y. Sin embargo, este postratamiento tiene la desventaja de que utiliza directamente un componente, lo que significa que esta solución será sensible a la variación de entrehierro z₀ y a la temperatura, pero es muy conveniente cuando solo hay algunas posiciones discretas que determinar como para una aplicación de caja de velocidad donde solo es necesario el conocimiento de las 6 o 7 velocidades sobre un intervalo dado y donde no se requiere conocer las posiciones intermedias.

50 Según un tercer modo de realización preferente, el imán presentará una imantación cuya dirección es constante y para la que el vector de imantación \vec{M} en cualquier punto del elemento imantado es colineal a \vec{n} o \vec{T} o \vec{J} , dicho de otra manera, la imantación es siguiendo el espesor, la longitud o la anchura del elemento imantado. En cambio, el

elemento imantado presentará un espesor que varía de manera casi sinusoidal siguiendo sus 2 direcciones X e Y. Esta variación de espesor casi sinusoidal sobre un semiperíodo combinada con una imantación uniforme genera un campo magnético por encima del imán cuyos componentes son sustancialmente sinusoidales y se expresan de manera similar al caso del 1^{er} modo de realización descrito más arriba. Según este 3^{er} modo de realización preferente, el campo magnético generado por este elemento imantado solo girará en aproximadamente 180 grados siguiendo las direcciones X e Y, lo que nos da, por ejemplo, $\lambda_x = 2L_x$ y $\lambda_y = 2L_y$. El tratamiento de los componentes será idéntico al 1^{er} modo de realización para determinar x e y.

Según un cuarto modo de realización, el elemento imantado presentará una imantación cuya dirección de imantación es constante y para la que el vector de imantación \vec{M} en cualquier punto del imán es colineal a \vec{n} , \vec{t} o \vec{j} , dicho de otra manera, la imantación es siguiendo el espesor, la longitud o la anchura del elemento imantado. En cambio, el elemento imantado presentará un espesor que varía de manera casi sinusoidal siguiendo una sola de sus 2 direcciones X o Y. Este 4^o modo de realización necesita un imán de escasa anchura (<30 mm o equivalente en ángulo) para que en la proximidad de este elemento imantado, esta imantación genere un campo magnético cuyos componentes tangencial (Bx), normal (Bn) y transversal (By) con respecto al imán, sean sustancialmente sinusoidales, sobre una gran parte del recorrido y sean de la misma forma que los componentes del 1^{er} modo de realización. Un elemento imantado poco ancho nos permite gracias a los efectos de bordes obtener un campo magnético en M que varía siguiendo la dirección Y sin que, no obstante, el elemento imantado requiera que su espesor varíe siguiendo la dirección Y.

De la misma manera que para el 3^{er} modo de realización preferente, el campo magnético generado por este elemento imantado solo gira en aproximadamente 180 grados siguiendo las direcciones X e Y, lo que nos da, por ejemplo, $\lambda_x = 2L_x$ y $\lambda_y = 2L_y$. El tratamiento de los componentes es idéntico al 1^{er} modo de realización para determinar las posiciones x e y.

Según un quinto modo de realización, el elemento imantado presentará una imantación cuya dirección varía de manera sustancialmente lineal siguiendo únicamente 1 de sus 2 direcciones y con respecto a su espesor Y su longitud. Esto significa que en cualquier punto A del elemento imantado, el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector normal \vec{n} sea (\vec{M}, \vec{n}) y el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector \vec{t} sea (\vec{M}, \vec{t}) varían linealmente siguiendo la dirección X, pero que el ángulo entre el vector de Magnetización \vec{M} y el vector \vec{j} es constante siguiendo la dirección Y.

Además, y contrariamente al 2^o modo de realización, el elemento imantado presenta una variación de su espesor siguiendo una sola de sus 2 direcciones (Y) y varía siguiendo una función discontinua en forma de escalón. En este caso, podemos utilizar únicamente los componentes Bx Y Bz del campo magnético y hacer el siguiente postratamiento.

$$\text{Atan}(k_y \frac{B_z}{B_x}) \text{ Y } \|\vec{B}_x \vec{i} + B_z \vec{j}\| = \sqrt{B_x^2 + B_z^2}$$

El cálculo del ángulo nos da una información muy precisa de la posición lineal siguiendo X y el módulo nos da una información de posición vaga siguiendo la dirección Y, dado que tenemos un imán en forma de escalón. Sin embargo, esta solución puede ser muy útil cuando tenemos una sonda con únicamente 2 componentes medibles como la MLX90316 u otras y permite discretizar unas posiciones siguiendo Y. El número de escalón que presenta el imán siguiendo Y corresponde tradicionalmente al número de posiciones que podemos discretizar. Este modo de realización puede utilizarse para discriminar unas velocidades en una aplicación de caja de velocidad, por ejemplo.

Según un sexto modo de realización, el elemento imantado presenta una imantación cuya dirección es constante preferentemente siguiendo su espesor, sin que esto sea exclusivo. Esto significa que el vector de imantación \vec{M} en cualquier punto del imán es colineal a \vec{n} .

En cambio, la amplitud del vector de imantación varía linealmente siguiendo 1 o 2 de sus 2 direcciones. Esto significa que en cualquier punto A del elemento imantado, el vector de magnetización \vec{M} está orientado siguiendo el espesor del imán, pero que la amplitud de este vector varía sinusoidalmente siguiendo 1 o 2 de las direcciones X e Y.

Por lo tanto, tendremos:

$$\vec{M} = A(x, y) \vec{n}$$

con $A(x, y) = A_1 \text{sen}(x) + A_2 \text{sen}(y) + \text{constante}$, siendo A1 y A2 unas constantes que dependen del elemento imantado.

Según un séptimo modo de realización que se aplica a los casos donde al menos 1 dirección es una rotación (se anotará Y), la presente invención está constituida por un elemento imantado en forma de teja. Según este modo de realización, el elemento imantado presentará una imantación diametral donde la dirección de imantación varía de manera sustancialmente lineal siguiendo su dirección de rotación Y y con respecto únicamente a su espesor.

Esto significa que en cualquier punto A del elemento imantado el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el

vector normal \vec{n} sea (\vec{M}, \vec{n}) varia linealmente siguiendo la dirección de rotación Y que el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector \vec{T} sea (\vec{M}, \vec{T}) es constante siguiendo la dirección X, siendo X una dirección de translación. Además, una imantación diametral significa que los vectores de magnetización \vec{M} en cada punto A del elemento imantado \vec{M} son colineales como lo muestra la figura 19.

5 Este modo de realización necesita un elemento imantado de escasa longitud (<30 mm o equivalente en ángulo) para que en la proximidad de este elemento imantado, esta imantación genere un campo magnético cuyos componentes tangencial (Bx), normal (Bn) y transversal (By) con respecto al imán, sean sustancialmente sinusoidales sobre una gran parte del recorrido y sean de la misma forma que los componentes del 1^{er} modo de realización. Un elemento imantado poco largo nos permite gracias a los efectos de bordes obtener un campo magnético en M que varía
10 siguiendo la dirección X sin que, no obstante, el elemento imantado tenga una imantación variable siguiendo esta dirección.

Según este modo de realización preferente, la imantación puede ser normal, tangencial u otras al centro del imán en O' y, por lo tanto, en este caso tenemos $\phi = [0; 2\pi]$, girando la imantación aproximadamente tanto como el ángulo de la teja de imán. Es decir, que si tenemos una teja de 90 grados, los componentes del campo magnético generados
15 por esta teja giran en aproximadamente 90 grados.

Según un octavo modo de realización, el elemento imantado presenta una longitud y una profundidad sustancialmente próximas a los recorridos útiles, así como una imantación cuya dirección varía de manera discontinua siguiendo las 2 direcciones.

20 En cualquier punto A del elemento imantado, el ángulo entre el vector de magnetización \vec{M} y el vector normal \vec{n} sea (\vec{M}, \vec{n}) alterna entre 0 grado y 180 grados siguiendo la dirección X o siguiendo las 2 direcciones X e Y como en la figura 20.

En la proximidad de este elemento imantado, esta imantación genera un campo magnético \vec{B} ($\vec{B} = B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{n}$) cuyos componentes tangencial (Bx), normal (Bn) y transversal (By) con respecto al imán son sustancialmente sinusoidales, sobre una gran parte del recorrido siguiendo las direcciones X e Y y aplicando el mismo postratamiento de los componentes que según el 1^{er} modo de realización podemos deducir de ello la posición del elemento imantado con respecto a los elementos magnetosensibles siguiendo las 2 direcciones X e Y.

Por supuesto, estos modos de realización son no exhaustivos y son posibles otras configuraciones de imantación o geometría de imán.

30 **Breve descripción de las figuras**

La invención se comprenderá mejor tras la lectura de la descripción que sigue haciendo referencia a las siguientes figuras:

- 35
- La figura 1 representa una solución de la técnica anterior.
 - Las figuras 2a, 2b y 2c muestran las diferentes formas geométricas del elemento imantado y las referencias asociadas.

40

 - La figura 3 representa un modo de realización donde el sensor está compuesto por un elemento imantado paralelepípedo y por una sonda.
 - La figura 4 representa el componente Bx del campo magnético obtenido con una imantación según uno de los modos de realización descrito por esta presente invención.

45

 - La figura 5 representa el componente Bz del campo magnético obtenido con una imantación según uno de los modos de realización descrito por esta presente invención.
 - La figura 6 representa el componente By del campo magnético obtenido con una imantación según uno de los modos de realización descrito por esta presente invención.
 - La figura 7 representa la evolución siguiendo el eje X del componente By del campo magnético y esto para varias posiciones y.

55

 - La figura 8 representa el tratamiento del campo magnético para deducir de ello las 2 posiciones siguiendo las 2 direcciones.
 - Las figuras 9a, 9b, 9c representan diferentes algoritmos de postratamiento de los componentes Bx, By, Bz para determinar la posición x e y del móvil siguiendo X e Y.

60

 - La figura 10 representa una señal de salida según un modo de realización de la presente invención que permite determinar la posición siguiendo la dirección X independientemente de la posición siguiendo Y.

- La figura 11 representa una señal de salida según un modo de realización de la presente invención que permite determinar la posición siguiendo Y independientemente de la posición siguiendo X.
- 5 - La figura 12 es una vista desde arriba de un elemento imantado rectilíneo de espesor contante y que presenta una imantación sinusoidal siguiendo varias direcciones según un modo de realización de la presente invención.
- La figura 13 es una vista en perspectiva de un elemento imantado en teja de espesor constante y que presenta una imantación sinusoidal siguiendo varias direcciones donde X es una rotación e Y una traslación.
- 10 - La figura 14 representa un elemento imantado rectilíneo de escasa anchura y de espesor constante y una imantación sinusoidal continua siguiendo la dirección X según un modo de realización de la presente invención.
- La figura 15 representa un elemento imantado circular de espesor variable de manera casi sinusoidal siguiendo varias direcciones e imantado sustancialmente siguiendo el espesor.
- 15 - La figura 16 representa un elemento imantado rectilíneo con espesor variable de manera casi sinusoidal siguiendo su dirección X e imantado sustancialmente siguiendo su espesor.
- La figura 17 representa un imán cuyo espesor varía discontinuamente siguiendo la dirección Y y que presenta una imantación sinusoidal siguiendo la dirección X.
- 20 - La figura 18 es una vista de lado y desde arriba de un elemento imantado cuyo espesor es constante y que presenta una imantación siguiendo su espesor, pero cuya amplitud es sinusoidal siguiendo la dirección X.
- 25 - La figura 19 es una vista en perspectiva de un elemento imantado en teja de espesor constante y una imantación diametral donde la dirección X es una rotación y la dirección Y es una traslación.
- La figura 20 es una vista en corte y en perspectiva de un elemento imantado elíptico de espesor constante que presenta una alternancia de imantaciones Norte-Sur siguiendo las direcciones X e Y.
- 30 - La figura 21 representa un elemento imantado rectilíneo de escasa anchura y de espesor constante y una imantación sinusoidal continua siguiendo la dirección X y una pieza ferromagnética unida al elemento imantado que permite disminuir los efectos de borde.

35 Descripción detallada de los modos de realización

La figura 1 representa una solución de la técnica anterior que permite medir 2 ángulos de rotación. En este caso, los 3 componentes del campo magnético se utilizan para determinar los 2 ángulos de rotación. El imán utilizado es un cilindro de espesor constante e imantado siguiendo únicamente su espesor. Esta configuración muy específica está únicamente destinada a la medida de dos ángulos y para unos recorridos muy escasos, ya que esta imantación constante siguiendo el espesor no es apropiada para la medida de ángulo superior a un treintena de grados.

Las figuras 2a, 2b, 2c son unas vistas en perspectiva, de cara y de lado de elementos imantados (1) y de sondas (6) utilizados en nuestros modos de realización para determinar la posición (x, y) del elemento imantado (1) con respecto a la sonda (6) respectivamente siguiendo una rotación y una traslación (Fig. 2a), 2 traslaciones (Fig. 2b) y 2 rotaciones (Fig. 2c).

Sea cual sea el modo de realización de la invención, la sonda 6 se desplaza con respecto al elemento imantado 1 permaneciendo en una superficie de desplazamiento y sin experimentar rotación alrededor del eje normal a esta superficie de desplazamiento.

Además, en los modos de realización de las figuras 2a, 2b, 2c, 3 a 6, 10 a 14 y 18 a 21, la distancia que separa la superficie de desplazamiento de la sonda de la superficie superior del elemento imantado 1 es constante.

Por consiguiente, la superficie de desplazamiento de la sonda 6 está constituida por una porción de cilindro coaxial a la superficie superior cilíndrica del elemento imantado 1 en los modos de realización de las figuras 2a, 13 y 19, por una porción de plano paralelo a la superficie superior plana del elemento imantado 1 en los modos de realización de las figuras 2b, 3 a 6, 10 a 12, 14, 18 y 20 a 21 y por una porción de esfera concéntrica a la superficie superior esférica del elemento imantado 1 en el modo de realización de la figura 2c.

En cambio, en los modos de realización de las figuras 15 y 16, en los que la sonda 6 se desplaza en una superficie de desplazamiento constituida por un plano paralelo a un plano mediano del elemento imantado 1, la distancia entre la sonda 6 y la superficie superior no plana del elemento imantado 1 evoluciona, con la salvedad de una constante positiva, como una función sinusoidal de la posición relativa de la sonda 6 y del elemento imantado 1 siguiendo cada una de las direcciones X e Y para el modo de realización de la figura 15 y siguiendo la dirección X para el modo de realización de la figura 16.

Asimismo, en el modo de realización de la figura 17, en el que la sonda se desplaza en una superficie de desplazamiento constituida por un plano paralelo a un plano fijo del elemento imantado 1, la distancia entre la sonda 6 y la superficie superior no plana del elemento imantado 1 evoluciona, con la salvedad de una constante positiva, como una función seudosinusoidal de la posición relativa de la sonda 6 y del elemento imantado 1 siguiendo la dirección Y.

O es el centro de rotación en el caso donde una dirección es una rotación, O' es el medio de la superficie exterior del elemento imantado, \vec{OO} es nulo en el caso donde las 2 direcciones son unas translaciones, pero (\vec{M}, \vec{i}) en los otros casos con Rext siendo el radio exterior del elemento imantado. M es el punto donde están agrupados los elementos magnetosensibles en la sonda (6) y A es la proyección de M siguiendo el vector normal \vec{n} sobre la superficie exterior del elemento imantado (1). $O(\vec{i}, \vec{j}, \vec{n})$ es la referencia utilizada para definir la posición de los diferentes puntos O', A y M. En los casos de las figuras 2a, 2b y 2c, la referencia es respectivamente una referencia cilíndrica, cartesiana y esférica donde \vec{n} es el vector normal en un punto de una superficie e \vec{i}, \vec{j} los vectores tangenciales a esta superficie en este mismo punto. Por lo tanto, el vector \vec{AM} es colineal al vector \vec{n} en A y su norma corresponde al entrehierro z_0 de medida que es una constante del sensor. Las figuras 2a, 2b y 2c nos indican que $\vec{OM} = R_{ext} \vec{n} + x\vec{i} + y\vec{j} + z_0 \vec{n}$. Por lo tanto, la presente invención tiene como finalidad determinar el par (x, y) para, de esta manera, determinar la posición del elemento imantado (1) con respecto a los elementos magnetosensibles (2) y (3) de la sonda (6) siguiendo las 2 direcciones orientadas por los vectores \vec{i}, \vec{j} .

Sobre estas figuras 2a, 2b, 2c, se definen para cada configuración, las dimensiones del elemento imantado (1) respecto a las referencias $\vec{i}, \vec{j}, \vec{n}$. Para el caso de la figura 2a, se trata respectivamente de la longitud rectilínea, la longitud angular y el espesor. Para el caso de la figura 2b, se trata respectivamente de la longitud, la anchura y el espesor. Para el caso de la figura 2c, se trata respectivamente de la primera longitud angular, la segunda longitud angular y el espesor.

La figura 3 representa una vista desde arriba de un modo de realización donde el sensor está compuesto por un elemento imantado (1) paralelepípedo de longitud Lx y de anchura Ly, de centro O(0, 0, 0) y por una sonda (6) capaz de medir en M(x, y, z0) los 3 componentes del campo magnético (Bx, By, Bz) generados por el elemento imantado (1) para deducir de ello la posición (x, y) siguiendo las direcciones X e Y del elemento (1) con respecto a la sonda (6). El recorrido del elemento imantado (1) según X es de (2xmáx) y según Y es de (2ymáx) con 2xmáx y 2ymáx sustancialmente iguales a respectivamente Lx y Ly.

La figura 4 representa el elemento imantado (1), la sonda (6) y el componente (Bx) del campo magnético en cualquier punto M(x, y, z0) y a un entrehierro de medida z0 dado, obtenido con una imantación del elemento imantado (1) según uno de los modos de realización descrito por esta presente invención. En este caso, el elemento imantado (1) genera un campo magnético cuyo componente Bx varía sinusoidalmente siguiendo sus 2 direcciones X e Y de manera tal que

$$B_x(x, y, z_0) = B_{xMAX} * \cos\left(\frac{2\pi}{L_x} * x\right) * \cos\left(\frac{\pi}{L_y} * y\right) * \frac{A}{z_0}$$

La figura 5 representa, según la misma configuración que la figura anterior, el componente (Bz) del campo magnético en cualquier punto (x, y) y a un entrehierro de medida z0 y que puede escribirse:

$$B_z(x, y, z_0) = B_zMAX * \sin\left(\frac{2\pi}{L_x} * x\right) * \cos\left(\frac{\pi}{L_y} * y\right) * \frac{A}{z_0}$$

La figura 6 representa, según la misma configuración que las dos figuras anteriores, el componente (Bz) del campo magnético en cualquier punto (x, y) y a un entrehierro de medida z0 y que puede escribirse:

$$B_z(x, y, z_0) = B_zMAX * \sin\left(\frac{\pi}{\lambda_x} * x\right) * \cos\left(\frac{\pi}{\lambda_y} * y\right) * \frac{A}{z_0}$$

La figura 7 representa la evolución, siguiendo la dirección X -en mm- del componente By -en Gauss- del campo magnético generado por el elemento imantado (1) siguiendo un modo de realización de la presente invención y a un entrehierro z0 dado, y esto para 8 posiciones siguiendo Y diferentes. En este caso xmáx = 10, ymáx = 4, Bymáx = 400, phi = 0, lambda1 = 20 y lambda2 = 4 y A = z0.

La figura 8 describe el tratamiento del campo B generado por el elemento imantado (1) y medido por la sonda (6) que, a partir de al menos 2 de estos elementos magnetosensibles (2) y (3) que se encuentran en el mismo punto, permiten medir los 3 componentes del campo magnético. Una vez obtenidos estos 3 componentes, el circuito de tratamiento (5) permite a partir de combinaciones algebraicas entre los componentes y de cálculos de ángulo y de módulo determinar la posición siguiendo X e Y del elemento imantado con respecto a la sonda. El circuito de tratamiento (5) puede estar integrado en la sonda (6) o hacerse entonces en el exterior por medio de un

microcontrolador o una ECU.

Las figuras 9a, 9b, 9c representan diferentes algoritmos de postratamiento de los componentes Bx, By, Bz para determinar la posición del elemento imantado con respecto a la sonda (6) siguiendo X e Y, según el tipo de elemento imantado y de imantación elegidos. La figura 9a muestra cómo utilizar los 3 componentes del campo magnético calculando $Atan(K1Bx/Bz)$ y $Atan(K2By/Bz)$ para determinar la posición x e y. La figura 9b muestra cómo utilizar solamente 2 componentes del campo magnético calculando $Atan(K1Bx/Bz)$ y el módulo ($raiz(Bx^2+Bz^2)$) para determinar la posición x e y. La figura 9c muestra cómo utilizar los 3 componentes del campo magnético calculando $Atan(raiz((K1Bz)^2+(K2By)^2)/Bx)$ y $Atan(raiz((K1Bz)^2+(K2Bx)^2)/By)$ para determinar la posición x e y.

La figura 10 representa una señal de salida según un modo de realización de la presente invención que permite determinar la posición siguiendo X independientemente de la posición siguiendo Y a partir de los componentes Bx y Bz del campo magnético tales como se representan en las figuras 4 y 5 y que utilizan el tratamiento definido en 9a. La señal de salida se obtiene calculando el arcotangente de $(Kx*Bx/Bz)$, lo que da una señal de salida lineal siguiendo X e independiente de Y y esto sea cual sea el entrehierro de medida z_0 , lo que permite determinar la posición del elemento imantado (1) con respecto a la sonda (6) siguiendo su dirección X.

Según el mismo principio, la figura 11 representa una señal de salida que permite determinar la posición siguiendo Y independientemente de la posición siguiendo X. La señal de salida se obtiene calculando el arcotangente de $(Ky*By/Bz)$, lo que da una señal de salida lineal siguiendo Y e independiente de X y esto sea cual sea el entrehierro de medida z_0 , lo que permite determinar la posición del elemento imantado (1) con respecto a la sonda (2) siguiendo su segunda dirección Y.

La figura 12 representa un elemento imantado (1) rectilíneo de espesor constante y de imantación, representada por el vector \vec{M} , cuya dirección varía linealmente siguiendo varias direcciones en unos planos definidos por combinación de las direcciones de desplazamiento X e Y y una normal a estas direcciones, es decir, Z. En esta figura y el conjunto de las figuras siguientes, una flecha continua en el elemento imantado (1) representa una dirección de imantación siguiendo los ejes \vec{i}, \vec{j} o \vec{n} de la referencia definida en la figura 2b, un círculo punteado representa una dirección de imantación saliente y un círculo cruzado representa una dirección de imantación entrante. Como se puede constatar esto, las líneas de campo definidas de esta manera en el interior del elemento imantado (1) son no colineales, lo que constituye uno de los principios de base de dicha invención y que permite generar unos componentes del campo magnéticos tales como los de las figuras 4 o 5 o 6, pero con $\phi = \pi/2$ y sean cuales sean las dimensiones del elemento imantado.

La figura 13 es una vista en perspectiva de un imán en teja (1) de espesor constante y de imantación, representada por el vector \vec{M} , cuya dirección varía linealmente siguiendo varias direcciones en unos planos definidos por combinación de las direcciones de desplazamiento X e Y y una normal a estas direcciones, es decir, Z. Como se puede constatar esto, las líneas de campo en el interior del imán son no colineales, lo que constituye uno de los principios de base de dicha invención y que permite generar unos componentes del campo magnéticos tales como los de las figuras 4 o 5 o 6, pero con $\phi = \pi/2$ y sean cuales sean las dimensiones del elemento imantado. En este caso de figura, X es una dirección de rotación e Y una dirección de translación.

La figura 14 representa un modo de realización aplicado a un elemento imantado (1) rectilíneo de espesor constante. Según este modo particular, el elemento imantado (1) tiene una imantación, representada por el vector \vec{M} , cuya dirección varía linealmente siguiendo la longitud del elemento imantado en un plano definido por la dirección de desplazamiento X y una normal a esta dirección Z. Como se puede constatar esto, las líneas de campo en el interior del elemento imantado son no colineales, lo que constituye uno de los principios de base de dicha invención y que permite generar unos componentes del campo magnéticos tales como los de las figuras 4, 5 o 6 en el caso donde la anchura del elemento imantado L_y fuese escasa.

La figura 15 representa un imán circular (1) de espesor variable de manera casi sinusoidal siguiendo sus radios e imantando sustancialmente siguiendo el espesor (dirección z). Este modo de realización permite, sean cuales sean las dimensiones del imán, generar unos componentes de campo magnéticos tales que:

- $B_x(x,y,z_0) = B_{xMAX} * \cos(2\pi/\lambda.p*x + \phi) * \cos(2\pi/\lambda*x*y) * A/z_0$,
- $B_y(x,y,z_0) = B_{yMAX} * \sin(2\pi/\lambda.p*x + \phi) * \sin(2\pi/\lambda*x*y) * A/z_0$,
- $B_z(x,y,z_0) = B_{zMAX} * \sin(2\pi/\lambda.p*x + \phi) * \cos(2\pi/\lambda*x*y) * A/z_0$.

donde $\phi = \pi/2$ y $\lambda u = x_{m\acute{a}x}$ y $\lambda e = y_{m\acute{a}x}$. El cálculo de arcotangente de $KxBx/Bz$ o $KyBy/Bz$ realizado por (5) da una señal lineal y da una información de la posición del imán con respecto a la sonda siguiendo los 2 ejes X e Y.

La figura 16 representa un elemento imantado (1) que tiene una imantación cuya dirección está sustancialmente orientada siguiendo su espesor, pero cuyo espesor varía casi sinusoidalmente. Según este modo de realización, si la anchura L_y del elemento imantado (1) es escasa, los componentes medidos del campo magnéticos son tales que

- $B_x(x,y,z_0) = B_{xMAX} * \cos(2\pi/\lambda.p * x + \phi) * \cos(2\pi/\lambda.x * y) * A/z_0,$
- $B_y(x,y,z_0) = B_{yMAX} * \text{sen}(2\pi/\lambda.p * x + \phi) * \text{sen}(2\pi/\lambda.y) * A/z_0,$
- $B_z(x,y,z_0) = B_{zMAX} * \text{sen}(2\pi/\lambda.p * x + \phi) * \cos(2\pi/\lambda.y) * A/z_0.$

donde $\phi = \pi/2$ y $\lambda.h = x_{\text{máx}}$ y $\lambda.e = y_{\text{máx}}$. El cálculo de arcotangente de $K_x B_x/B_z$ o $K_y B_y/B_z$ realizado por (5) da una señal lineal y da una información de la posición del imán (1) con respecto a la sonda (6) siguiendo los 2 ejes X e Y.

La figura 17 representa un imán (1) cuyo espesor varía de manera discontinua siguiendo Y y que presenta una imantación sinusoidal siguiendo X. A un gran entrehierro entre el elemento imantado y la sonda (6), los componentes del campo magnético vuelven a ser continuos y podemos calcular el Arcotangente de $K_x B_x/B_z$ y el módulo de $(B_x + B_z)$ para deducir de ello la posición del elemento imantado (1) con respecto a la sonda (6) siguiendo sus 2 direcciones X e Y.

La figura 18 es una vista de lado y desde arriba de un elemento imantado (1) cuyo espesor es constante y que presenta una imantación siguiendo su espesor, pero cuya amplitud es sinusoidal siguiendo la dirección X. Este caso de figura está bien adaptado para la utilización de imán anisótropo por lo que respecta al elemento imantado (1). Una anisotropía siguiendo el espesor permite tener unos imanes que presentan una inducción remanente más fuerte. Dado que en este caso no tenemos variación de imantación siguiendo la dirección Y, este caso de figura funciona en el caso donde el imán anisótropo es poco ancho aprovechando unos efectos de bordes.

La figura 19 es una vista en perspectiva de un elemento imantado (1) en teja de espesor constante y una imantación diametral donde la dirección X es una rotación y la dirección Y es una translación. Esta imantación diametral corresponde bien a una dirección de imantación variable con respecto al espesor y en este caso siguiendo la dirección X. Dado que en este caso no tenemos variación de imantación siguiendo la dirección Y, este caso de figura funciona en el caso donde el elemento imantado (1) es poco ancho jugando con los efectos de bordes. Puede utilizarse igualmente, para este caso de figura, un imán anisótropo diametralmente.

La figura 20 representa una vista en corte y en perspectiva de un elemento imantado (1) elíptico de espesor constante que presenta una imantación siguiendo Z y discontinua con una alternancia de imantación de Norte y de Sur siguiendo el eje X e Y. Esta imantación genera a una cierta distancia del elemento imantado (1) de los componentes B_x, B_y, B_z del campo magnético tales como se describen en las figuras 4, 5 y 6.

La figura 21 representa un modo de realización de la imantación aplicada a un elemento imantado (1) rectilíneo de espesor constante. Según este modo particular, el elemento imantado (1) tiene una imantación, representada por el vector \vec{M} , cuya dirección varía linealmente siguiendo la longitud del imán en un plano definido por la dirección de desplazamiento X y una normal a esta dirección Z. Además del elemento imantado, se añade una pieza ferromagnética (7) para aumentar el campo generado por el elemento imantado (1) y para disminuir los efectos de bordes siguiendo la dirección X.

Como lo habrá comprendido el experto en la materia tras la lectura de la presente descripción, la invención se refiere a un sensor magnético de posición que permite determinar la posición bidimensional de una sonda 6 móvil con respecto a un elemento imantado 1, incluido en el caso donde el desplazamiento de la sonda presenta una amplitud importante siguiendo la primera al menos de las dos direcciones de desplazamiento.

Para ello, la invención puede utilizar uno o varios principios elegidos en un conjunto de tres principios.

El primer principio, que puede aplicarse a la determinación de la posición de la sonda siguiendo la primera dimensión o cada una de las dos dimensiones del desplazamiento bidireccional, consiste en dotar el elemento imantado de una imantación que produce un campo magnético al menos aproximadamente sinusoidal siguiendo, respectivamente, esta primera dimensión o cada una de las dos dimensiones.

El segundo principio, que puede aplicarse solamente a la determinación de la posición de la sonda siguiendo la segunda dimensión del desplazamiento bidireccional y solamente en el caso donde la amplitud del desplazamiento según esta segunda dimensión está limitada, consiste en evaluar la posición de la sonda siguiendo esta dimensión utilizando la medida de un campo magnético aproximadamente sinusoidal producido por el elemento imantado gracias a un efecto de borde.

5 El tercer principio, que puede aplicarse a la determinación de la posición de la sonda siguiendo la primera dimensión o cada una de las dos dimensiones del desplazamiento bidireccional, consiste en evaluar la posición de la sonda siguiendo esta primera dimensión o cada una de ellas utilizando la medida de un campo magnético de intensidad variable producido por el elemento imantado que tiene una dirección de imantación constante según la primera dimensión o cada una de las dos dimensiones del desplazamiento bidireccional.

Este tercer principio puede implementarse él mismo según dos modalidades diferentes.

10 La primera modalidad, por ejemplo descrita con referencia a las figuras 15 a 17, consiste en dar a la superficie superior del elemento imantado una forma sinusoidal o seudosinusoidal siguiendo la primera dimensión del desplazamiento o cada una de ellas, de manera que la distancia entre la sonda 6 y la superficie superior del elemento imantado 1 varía en función de la posición de la sonda siguiendo, respectivamente, la primera dimensión o cada una de ellas.

15 La segunda modalidad, por ejemplo descrita con referencia a la figura 18, consiste en dotar el elemento imantado de una imantación que varía de intensidad siguiendo una de las dos dimensiones del desplazamiento.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sensor magnético de posición que incluye un elemento imantado (1) y una sonda (6) que incluye al menos dos elementos magnetosensibles (2) y (3) localizados sustancialmente en el mismo punto y que miden cada uno de los componentes del campo magnético generado por dicho elemento imantado (1), siendo el elemento imantado (1) móvil respecto a dichos elementos magnetosensibles (2) y (3),
 10 **caracterizado por que** dicho elemento imantado (1) es único y presenta dos grados de libertad (translación/translación, translación/rotación o rotación/rotación) con respecto a dicha sonda (6), el vector de imantación del elemento imantado (1) es variable con respecto al vector normal a la superficie del elemento imantado dispuesta frente a la sonda (6) según al menos dos direcciones de dicho elemento imantado de modo que se define una posición única de dicha sonda (6) en relación con dicho elemento imantado (1) siguiendo dichas dos direcciones y **por que** incluye al menos un circuito de tratamiento (5) adecuado para efectuar unos cálculos de ángulos y de módulos a partir de combinaciones algebraicas de los componentes del campo magnético producido por dicho elemento imantado (1) y que proporciona al menos dos señales independientes representativas de la posición del elemento móvil según dos direcciones distintas.
 15
2. Sensor magnético de posición según la reivindicación 1 **caracterizado por que** la dirección del vector imantación del elemento imantado es variable según al menos una de las dimensiones del elemento imantado.
- 20 3. Sensor magnético posición según la reivindicación 2 **caracterizado por que** la dirección del vector imantación presenta varios períodos sobre el recorrido medido.
4. Sensor magnético de posición según una al menos de las reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** una de las dimensiones del elemento imantado es variable según al menos una de las dos direcciones que induce una variación de la dirección del vector normal.
 25
5. Sensor magnético de posición según la reivindicación 4 **caracterizado por que** la dimensión varía según una función discontinua.
- 30 6. Sensor magnético de posición según la reivindicación 4 **caracterizado por que** la dimensión del elemento imantado varía sustancialmente siguiendo una función sinusoidal.
7. Sensor magnético de posición según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** la amplitud del vector imantación del elemento imantado es variable según al menos una de las dos direcciones.
 35
8. Sensor magnético de posición según la reivindicación 1 **caracterizado por que** la dirección del vector imantación es constante y su amplitud varia de forma sinusoidal siguiendo al menos una de las dos direcciones.
9. Sensor magnético de posición según la reivindicación 1 **caracterizado por que** el vector imantación del elemento imantado presenta al menos una alternancia de sentido siguiendo al menos una de las dos direcciones.
 40
10. Sensor magnético de posición según una al menos de las reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** dicho circuito de tratamiento de la señal realiza al menos 2 cálculos de arco tangente.
- 45 11. Sensor magnético de posición según una al menos de las reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** dicho circuito de tratamiento de la señal realiza al menos un cálculo de arco tangente y un cálculo de módulo.
12. Sensor magnético de posición según una al menos de las reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** el cálculo de la posición siguiendo al menos una dirección se realiza por un cálculo de arco tangente de la relación de dos componentes del campo magnético después de haber aplicado un coeficiente corrector entre estos dos componentes.
 50
13. Sensor magnético de posición según una al menos de las reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** el circuito del tratamiento está integrado con los elementos magnetosensibles en un solo componente.
 55
14. Sensor magnético de posición según una al menos de las reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** el elemento imantado está constituido por un imán permanente y por al menos una pieza ferromagnética.
- 60 15. Sensor magnético de posición según una al menos de las reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** los componentes del campo magnético medidos varían de forma sustancialmente sinusoidal siguiendo cada una de las al menos dos direcciones.

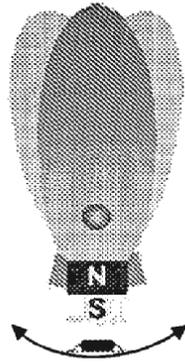


Figura 1

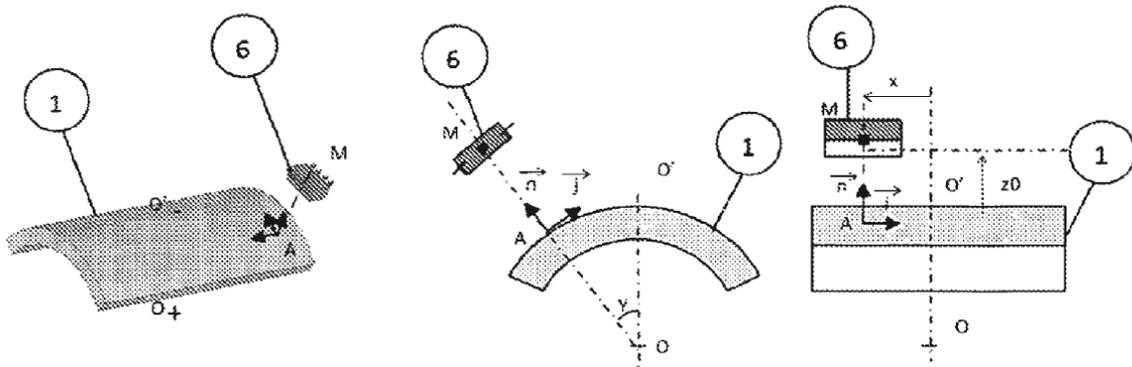


Figura 2a

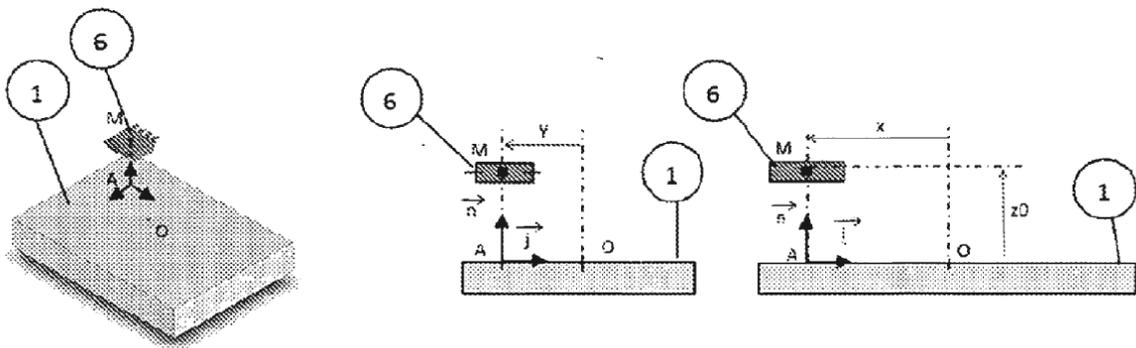


Figura 2b

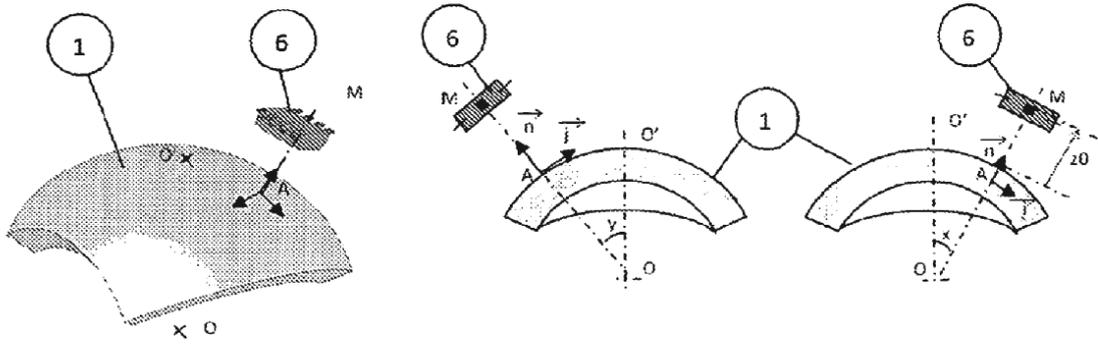


Figura 2c

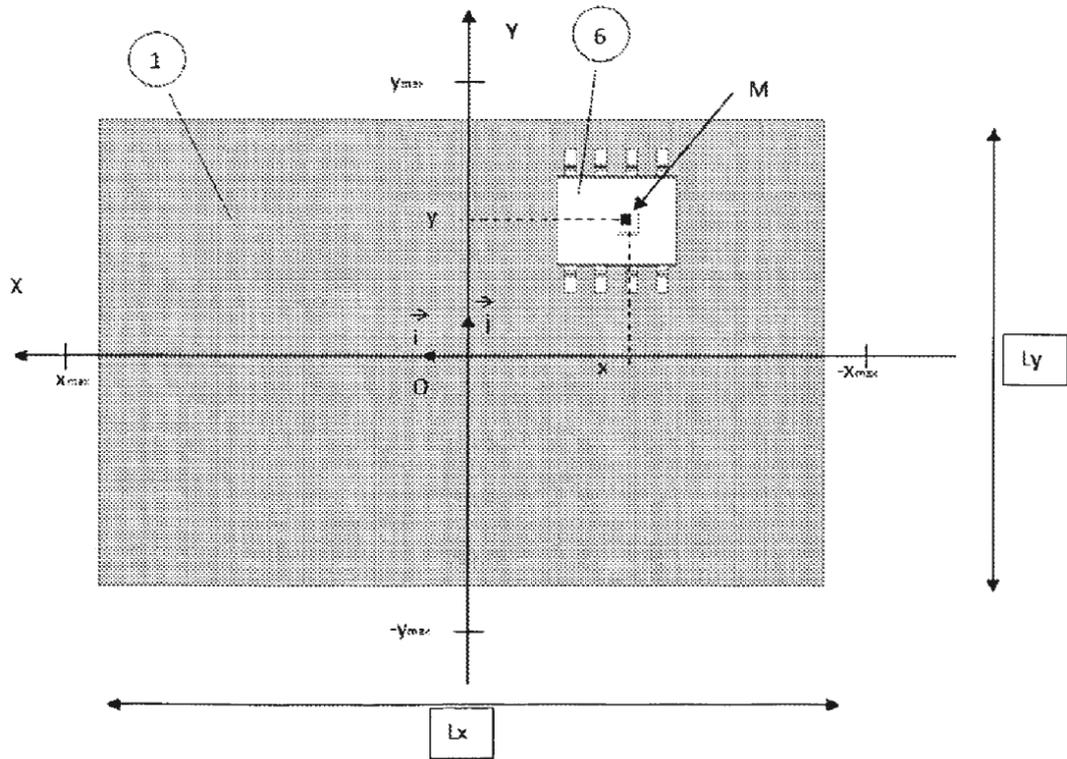


Figura 3

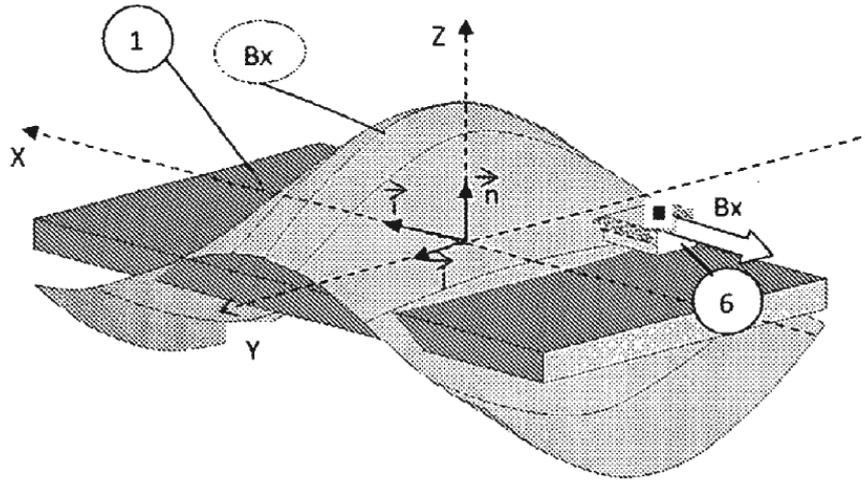


Figura 4

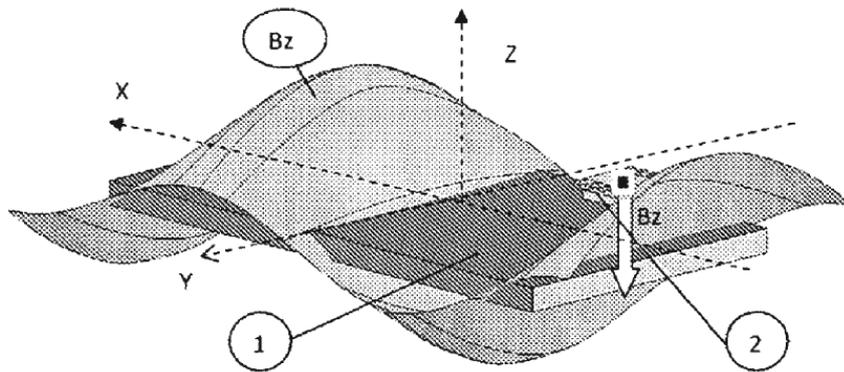


Figura 5

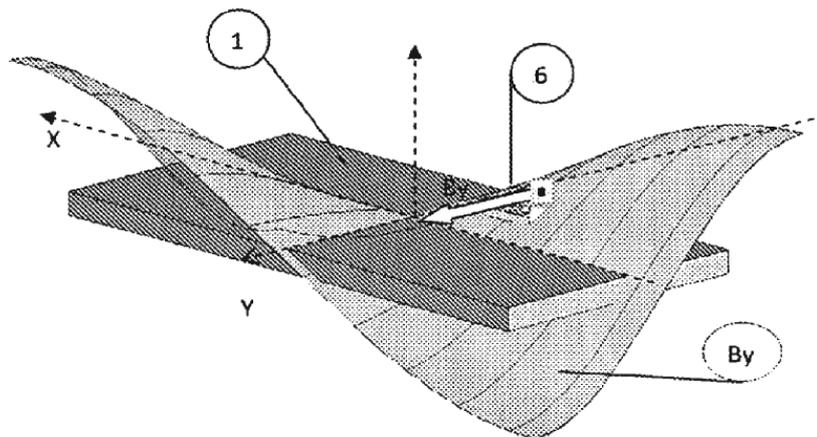


Figura 6

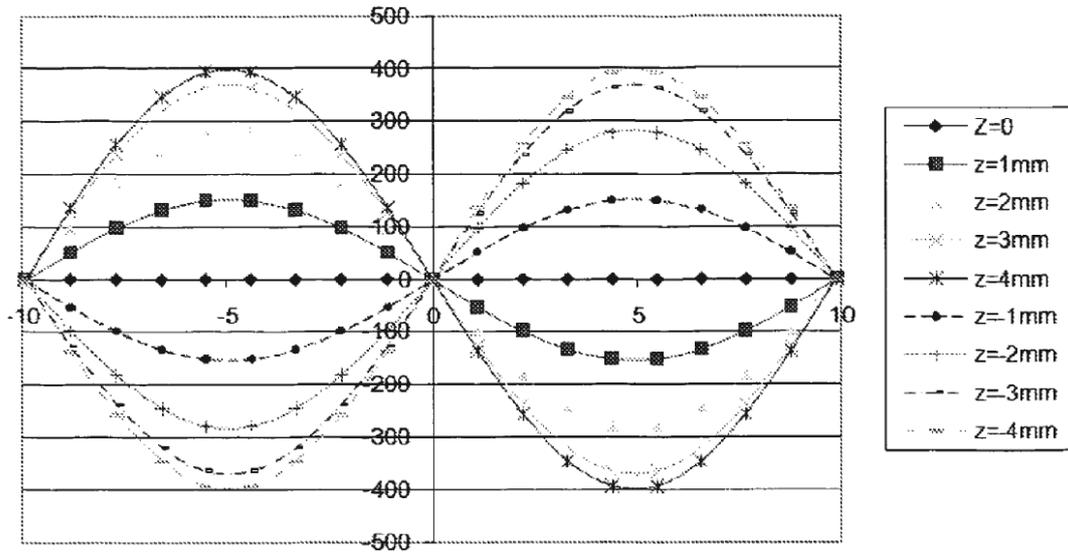


Figura 7

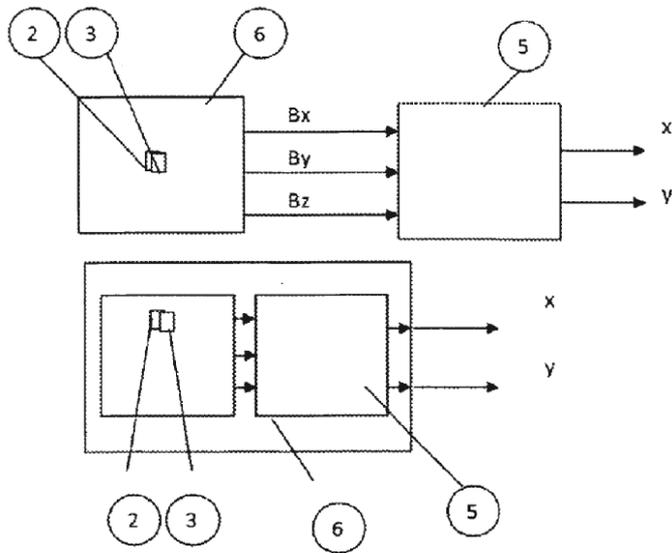


Figura 8

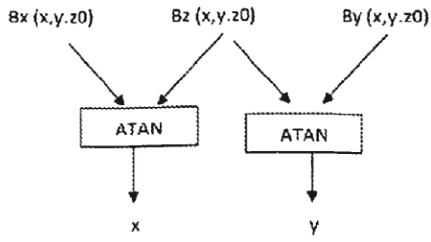


Figura 9a

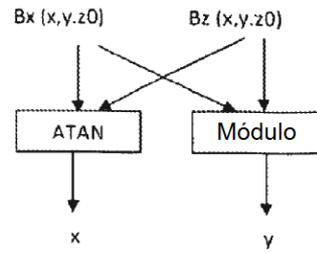


Figura 9b

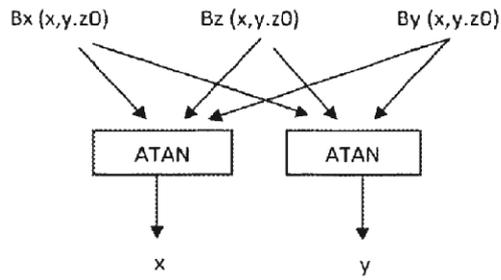


Figura 9c

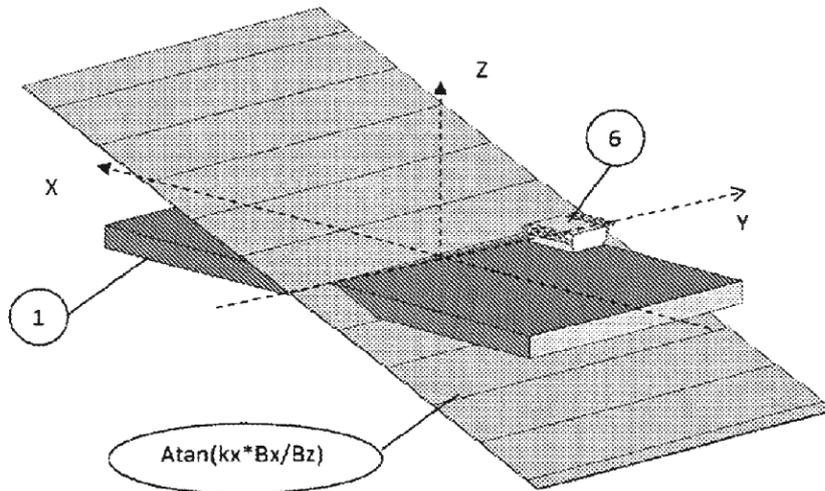


Figura 10

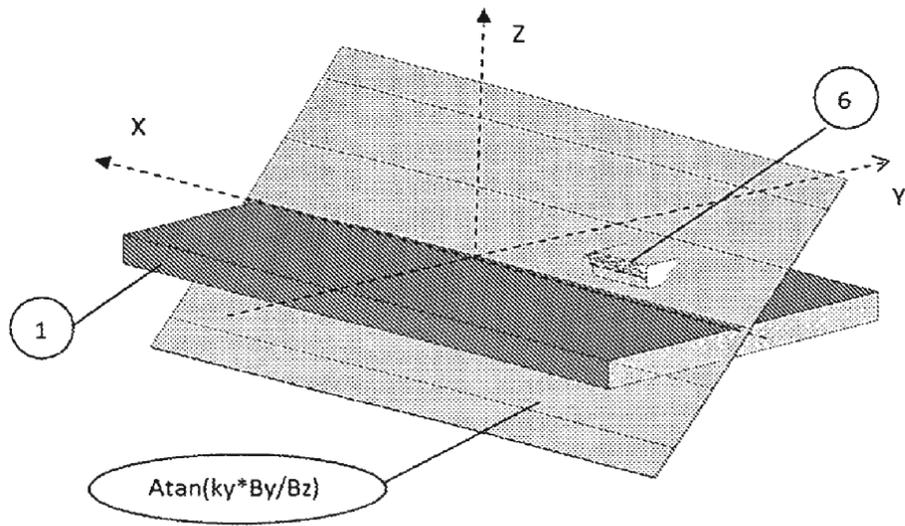


Figura 11

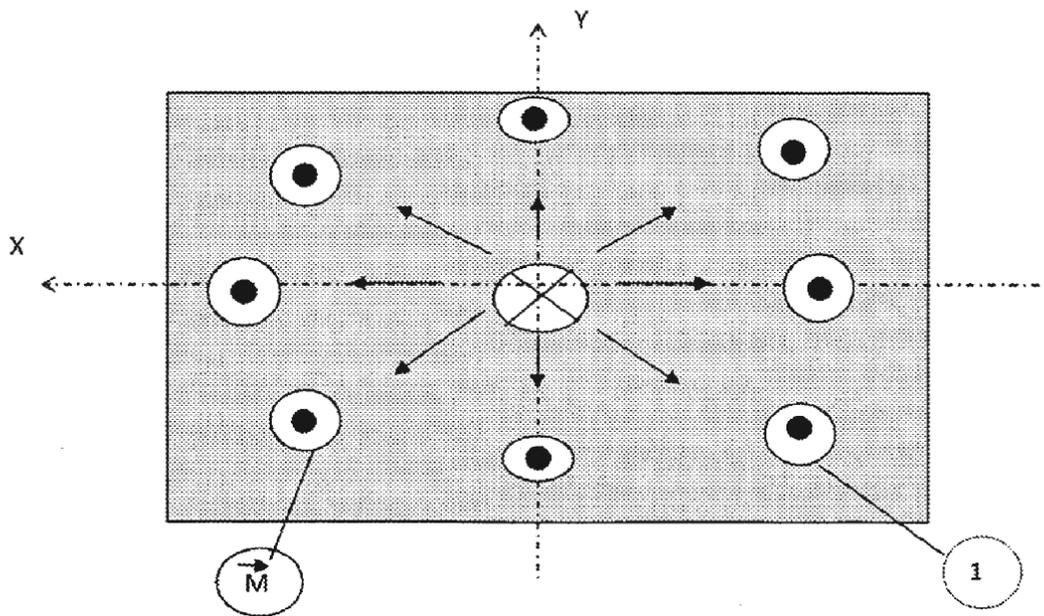


Figura 12

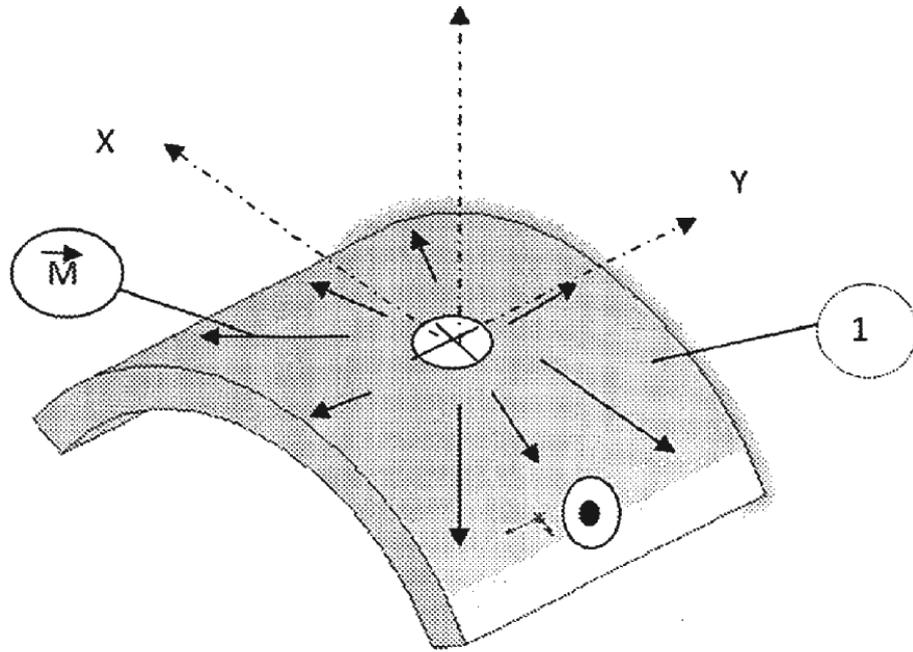


Figura 13

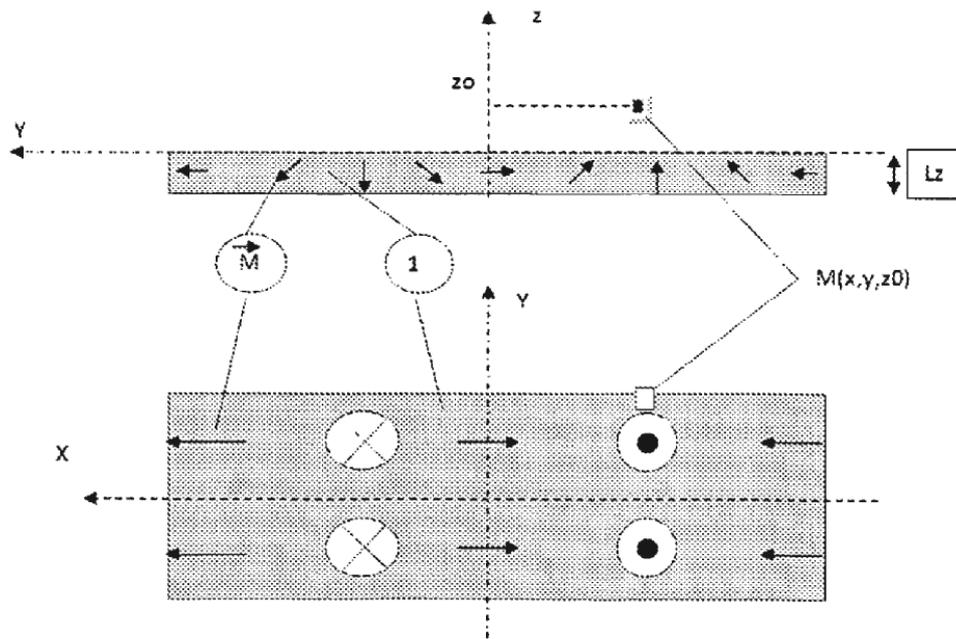


Figura 14

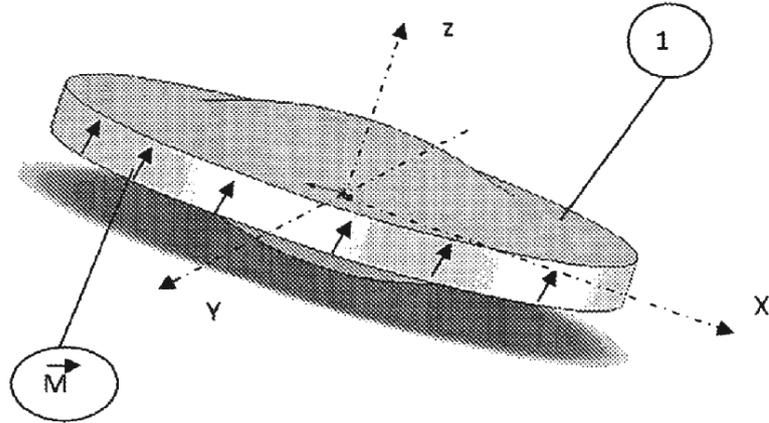


Figura 15

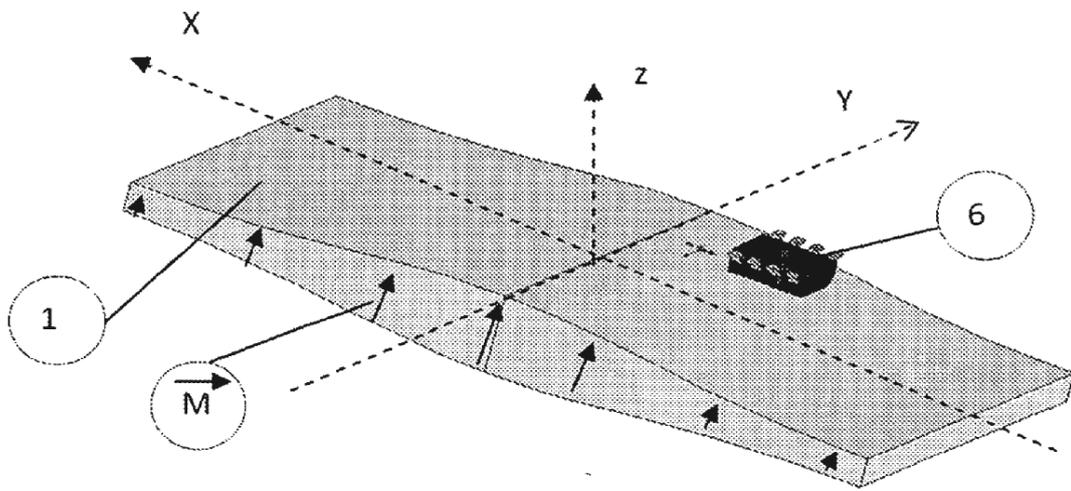


Figura 16

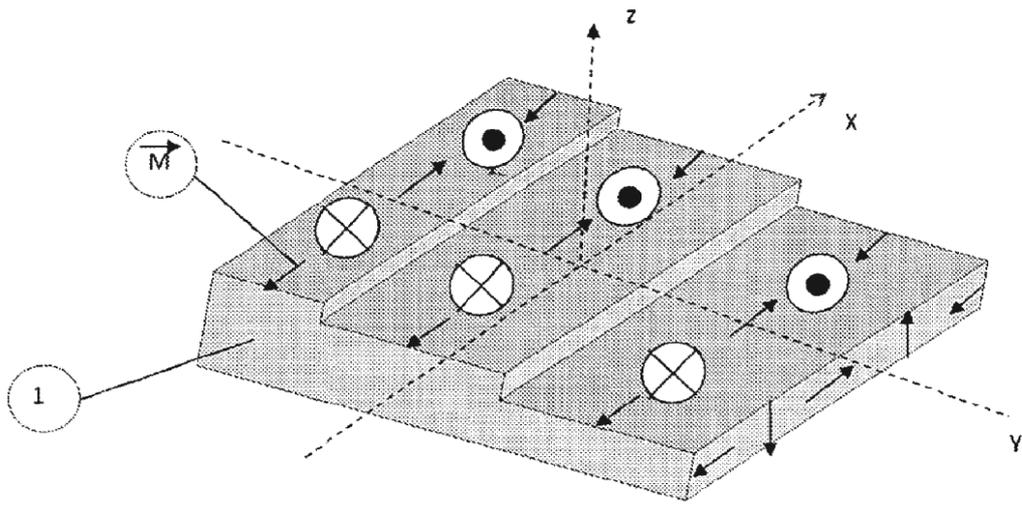


Figura 17

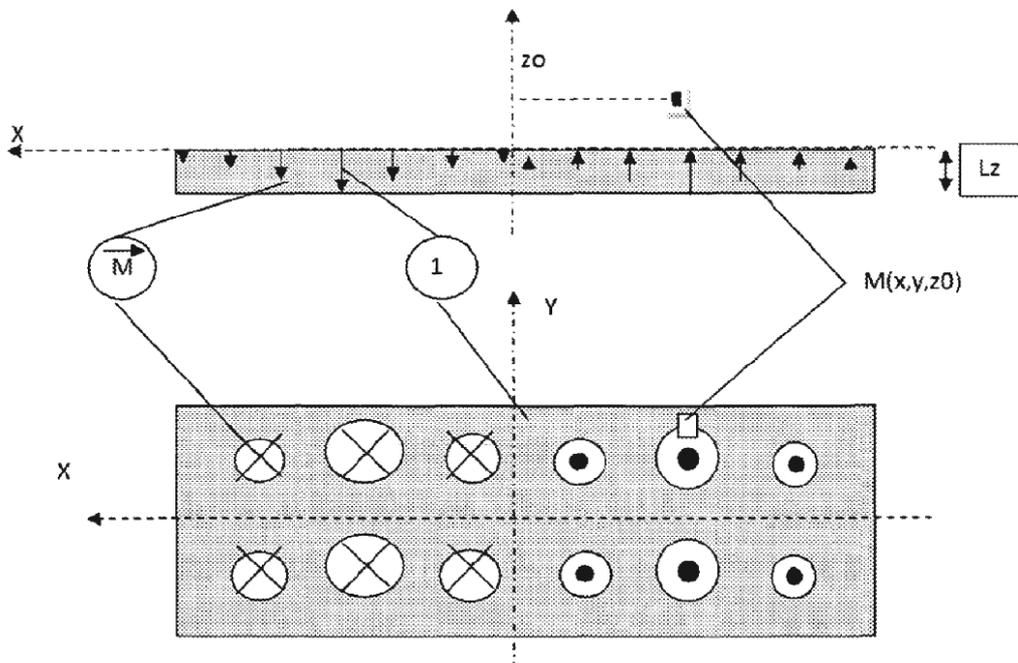


Figura 18

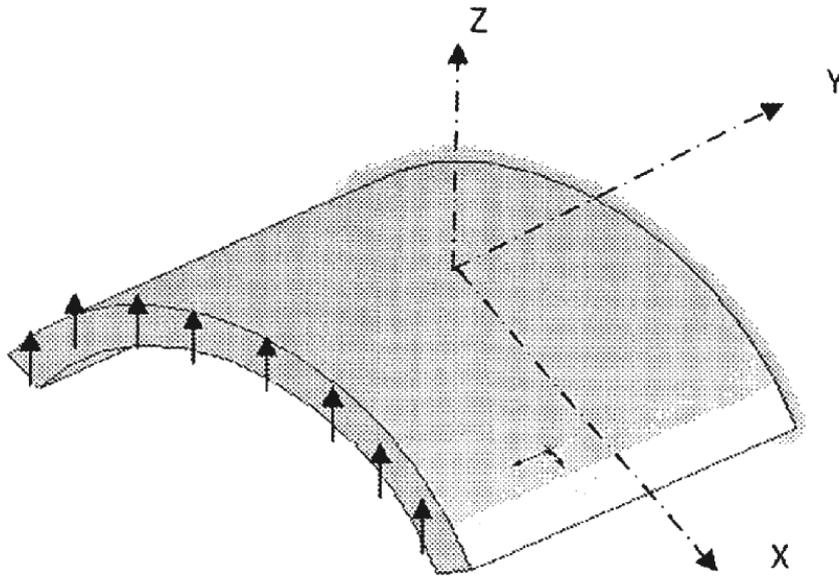


Figura 19

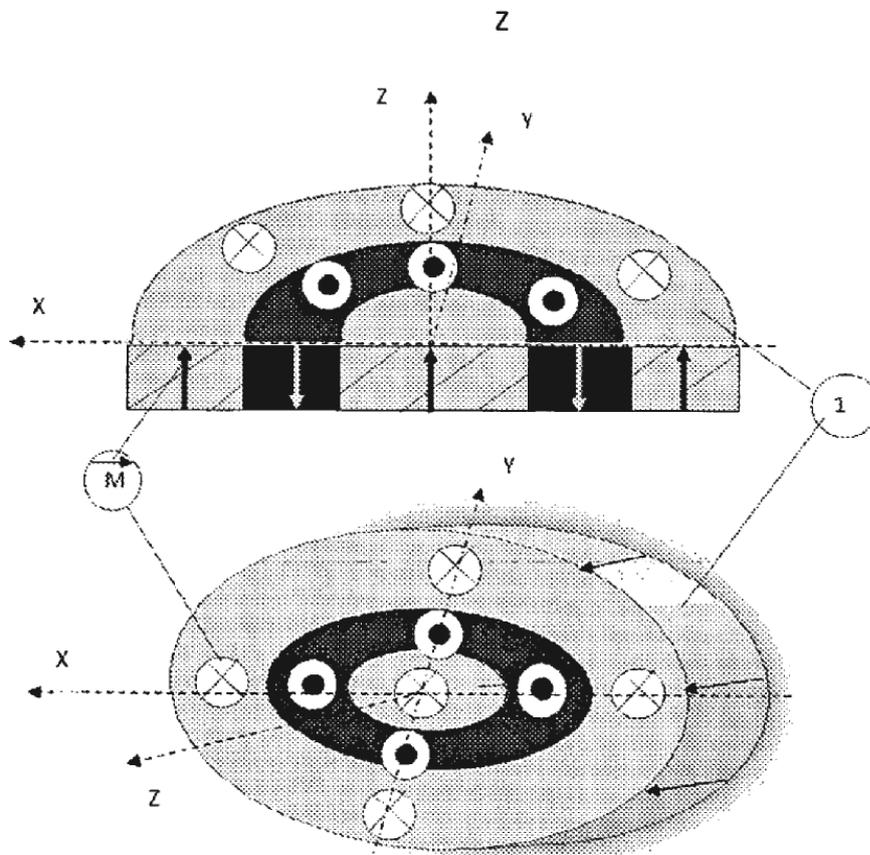


Figura 20

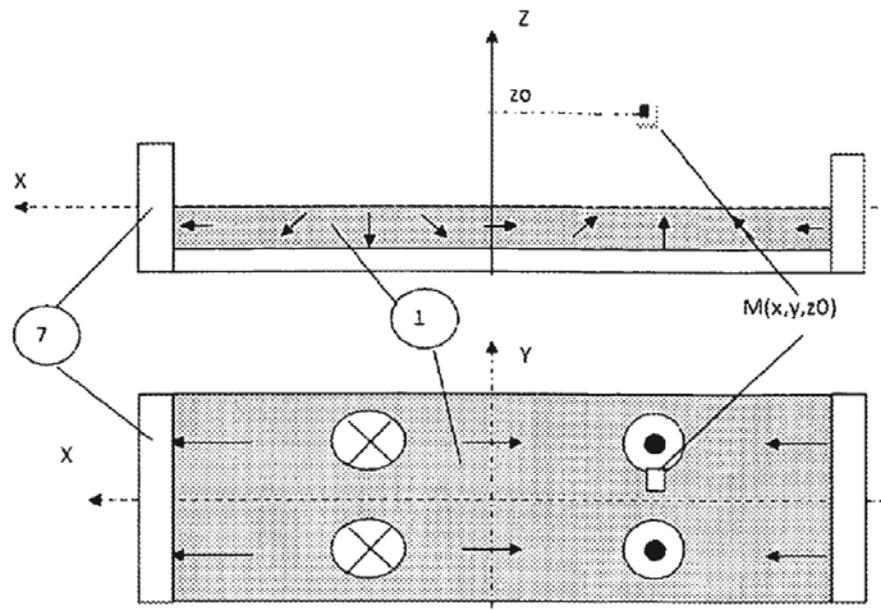


Figura 21