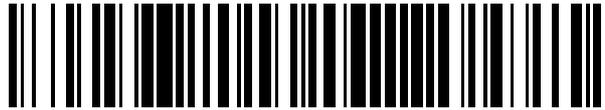


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 555 127**

51 Int. Cl.:

G01D 5/353 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2011 E 11773760 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.10.2015 EP 2622310**

54 Título: **Captador de posición mejorado**

30 Prioridad:

29.09.2010 FR 1057847

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

29.12.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DELBAERE, MICHAËL;
DORGE, THIERRY;
FRACHON, DIDIER y
MASSON, GÉRALD**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 555 127 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

Captador de posición mejorado

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere al campo de los sistemas de posición absoluta de captador magnético, destinados a proporcionar una información precisa de la posición lineal o angular. Dichos sistemas de medida, que requieren una gran robustez y precisión, se utilizan en particular en la industria del automóvil.

10

Estado de la técnica

Se conoce en el estado de la técnica una solución descrita en la Patente Americana US7741839 que presenta el principio general de un captador de posición absoluto que realiza un imán que genera un campo continuamente variable y un captador magnético que suministra dos señales eléctricas representativas de las componentes magnéticas de forma sinusoidal con el fin de determinar la posición relativa del imán y del captador. Esta patente propone proceder a un cálculo de la arcotangente de la relación entre las señales suministradas por los dos captadores para proporcionar una posición aproximada del imán móvil. De esta manera, se mide directamente el ángulo del campo magnético en el punto de medición.

15

20

La precisión de la señal así determinada no es satisfactoria porque, en el caso general, las dos componentes del campo magnético tienen unas amplitudes muy diferentes. En consecuencia, el ángulo del campo magnético calculado por la arcotangente y la evolución de la posición no son proporcionales, conduciendo por tanto a unas grandes imprecisiones sobre el conocimiento de la posición. Las configuraciones geométricas que permiten obtener una igualdad entre las componentes están limitadas o requieren un impacto significativo sobre el volumen tal como se describe por ejemplo en la patente US7030608.

25

Con el fin de mejorar la precisión, se ha propuesto en la Patente Francesa FR2893410 una solución que consiste en aplicar a la relación de las señales suministradas por los captadores un coeficiente de ganancia, y una sonda que comprende dos pares de elementos de efecto Hall asociados a un concentrador de flujo. Esta patente de la técnica anterior describe un captador que comprende un imán de forma cilíndrica imantado según su diámetro. Se sitúan unos elementos de detección en la periferia del imán y captan la evolución de las componentes tangencial y radial del campo magnético. Con el fin de poder decodificar el ángulo de rotación efectivo del captador, se aplica una ganancia correctiva igual a la relación de las amplitudes máximas de la tensión resultante de la componente tangencial sobre la tensión resultante de la componente radial. De ese modo, se mejora la no linealidad de la señal obtenida. Sin embargo, la configuración está limitada al caso del anillo imantado diametralmente.

30

35

Esta solución se ha completado por la invención descrita en la patente francesa EP1989505. Esta patente describe un captador lineal o rotativo que presenta un imán cuya variación en la dirección de la imantación en el seno del imán es linealmente variable. De esta manera, siempre aplicando un factor de normalización igual a la relación de las amplitudes entre la tensión procedente de los campo radial y tangencial, es posible, a través de un cálculo de la arcotangente, determinar el desplazamiento angular o lineal de la sonda con relación al imán. Sin embargo, en numerosos casos, principalmente en el caso en el que los armónicos de la magnetización son grandes o bien cuando la imantación realizada en el material no evoluciona según un período completo, la aplicación de esta simple relación no permite obtener una precisión suficiente sobre la información de la posición.

40

45

Inconveniente de la técnica anterior

La información de posición proporcionada por los captadores de la técnica anterior no es totalmente satisfactoria, porque surge que las no linealidades de las señales magnéticas y eléctricas conducen a una precisión insuficiente en relación a unas restricciones impuestas a partir de ahora por la industria.

50

En efecto, en la práctica, las señales realmente medidas no son puramente sinusoidales, sino que presentan un contenido armónico que puede ser grande. Se puede escribir entonces cada una de las componentes magnéticas según las fórmulas siguientes:

55

$$B_1 = \sum_i a_i \cdot \text{sen}(i \cdot \theta)$$

$$B_2 = \sum_i b_i \cdot \text{cos}(i \cdot \theta)$$

60

En las que,

- B₁ designa una componente magnética normal a la dirección de desplazamiento y generada por un imán,

- B_2 designa una componente magnética tangencial, en cuadratura, generada por el imán,
- θ designa el ángulo eléctrico, es decir la posición angular en el período de la señal considerada. Es lo que se busca conocer y que es proporcional a la posición de la sonda con relación al imán, no confundir con el ángulo magnético en el punto de medición que se define como el ángulo entre los dos vectores que corresponden a las dos componentes consideradas,
- a_i designa la amplitud de los diferentes armónicos que constituyen la señal B_1 ,
- b_i designa la amplitud de los diferentes armónicos que constituyen la señal B_2 ,
- i designa el orden del armónico.

10 Los armónicos de la señal provienen de diferentes perturbaciones, y en particular:

- los efectos de borde intrínsecos a la geometría del imán, y se producen principalmente en los extremos de la carrera útil. Estos efectos de borde son tanto más importantes cuanto la dimensión del imán en el sentido del desplazamiento se aproxime a la carrera útil e incluso sea inferior. Estos efectos podrían disminuirse mediante la elección de un imán de gran dimensión, pero esto va contra una miniaturización y una reducción de los costes buscados,
- las imperfecciones del proceso de imantación. La realización de una imantación cuya dirección varíe continuamente puede plantear unas dificultades ligadas a la fabricación de la herramienta de imantación. Es difícil, por ejemplo, realizar una imantación que varíe de manera perfectamente lineal según la dirección de desplazamiento, y las desviaciones conducen a unos armónicos de la señal eléctrica medida por los elementos de efecto Hall,
- la permeabilidad relativa del imán: esta permeabilidad relativa no es totalmente idéntica a la del aire, lo que produce unos fenómenos parásitos de difracción entre el imán y el aire, que deforman el campo magnético local detectado por los elementos de efecto Hall,
- la falta de homogeneidad del imán: cuando se trabaja con ciertos tipos de imanes, particularmente unos imanes aglomerados, la materia es a veces no homogénea, conduciendo a unas propiedades magnéticas desiguales y que inducen unas deformaciones del campo magnético local,
- un mal alineamiento de los elementos de efecto Hall que detectan las componentes del campo magnético.

30 De ese modo, la técnica anterior se coloca en el caso de configuraciones en las que el contenido armónico es reducido o inexistente y en el que las señales se limitan a la expresión de un fundamental. Las componentes B_1 y B_2 descritas anteriormente se convierten entonces en:

$$B_1 = a_1 \cdot \text{sen}(\theta)$$

$$B_2 = b_1 \cdot \text{cos}(\theta)$$

El acceso al ángulo eléctrico se realiza entonces simplemente realizando el cociente de B_1 sobre B_2 lo que permite llegar a la fórmula siguiente:

$$\theta = \text{Arctan}\left(\frac{b_1 \cdot B_1}{a_1 \cdot B_2}\right)$$

El conocimiento del ángulo eléctrico en cualquier punto de desplazamiento del captador permite de ese modo acceder a la información de posición absoluta de este último.

De manera general, cuando la señal es una senoide deformada y no puramente sinusoidal por las razones descritas anteriormente, el hecho de trabajar con una distancia reducida entre la superficie del imán y la sonda de medición, es decir próximo al imán, amplifica el contenido armónico. Cuanto más se aleje del imán, más reducido es su contenido armónico. Sin embargo, cuando se desea trabajar con un imán lo más pequeño posible, los efectos de borde pueden inducir un contenido armónico grande incluso cuando este entrehierro de medición es grande. La fórmula dada por la técnica anterior para proporcionar el ángulo eléctrico se revela insuficiente.

El experto en la materia ha intentado mejorar la precisión mediante unas soluciones tales como unos procesamientos posteriores de la información, por ejemplo aplicando una tabla de corrección que permita un procesamiento digital de la linealización. Esta solución implica un sobrecoste y una falta de robustez del sistema, sensible a las variaciones mecánicas y a las tolerancias de posicionamiento, y en particular a la variación de la distancia entre el imán y la sonda. Algunos de estos parámetros citados más arriba evolucionan con el tiempo, y solo una compensación mediante un procesamiento posterior conduce a una deriva en función del envejecimiento del captador.

Otra solución propuesta en la patente FR2893410 consiste en compensar los defectos de linealidad mediante una forma no constante del imán, por ejemplo mediante una sección elíptica y no circular. Esta solución implica un procedimiento de fabricación más complejo.

Otra solución es aplicar unos coeficientes de corrección por sector de curva con el fin de mejorar, zona por zona y de manera iterativa, la linealidad del captador. Sin embargo, esto precisa unos recursos electrónicos suplementarios y constituye, además, una solución poco robusta a las tolerancias que conduce a una solución que evoluciona mal con el tiempo.

5

Solución aportada por la invención

El objeto de la presente invención es remediar estos inconvenientes proponiendo un sistema de medición absoluta que presenta una precisión mejorada con relación a los captadores del estado de la técnica, sin necesitar de procesamientos posteriores ni de un imán de configuración particular. Por supuesto, es posible aplicar al sistema de medición según la invención unos procesamientos adicionales, pero intrínsecamente, el sistema de medición según la invención presenta una precisión superior a la de los captadores de la técnica anterior.

10

Se precisa que la expresión de "posición absoluta" en el sentido de la presente patente se extiende a un sistema de medición multi-periódico. La posición absoluta se refiere entonces a la posición absoluta en un periodo, siendo determinada la información sobre el orden numérico del periodo mediante un medio adicional.

15

Ventajosamente, la presente invención permite principalmente al experto en la materia realizar unos captadores robustos y permite, en el caso de imanes de forma paralelepípedica, o de sector angular o de teja, minimizar el tamaño del imán con relación a la carrera con la posibilidad de obtener un imán sustancialmente más pequeño que la carrera mientras se mantiene una buena linealidad.

20

Ventajosamente, la presente invención permite al experto en la materia trabajar tanto con unos entrehierros de medida reducida, allá donde el contenido armónico es muy grande, como grande.

25

En efecto, en este caso, el contenido armónico es ciertamente más reducido pero los efectos de borde pueden inducir un contenido armónico grande cuando el imán es más pequeño que la carrera medida.

30

En los diferentes casos citados en el presente documento, el contenido armónico no es despreciable.

30

La invención se refiere según su acepción más general a un sistema de medición de posición absoluta que incluye un imán permanente, y al menos una sonda en movimiento relativo con relación a dicho imán sobre una carrera dada, engendrando dicho imán, en la sonda, un campo magnético que presenta una primera componente magnética B_t , denominada tangencial, según la dirección de desplazamiento y una segunda componente magnética B_n , denominada normal, y ortogonal a la primera componente y en cuadratura, suministrando dicha sonda dos señales eléctricas V_n , V_t funciones de dichas componentes respectivamente B_n , B_t , así como unos medios de cálculo que proporcionan una información de posición calculada en función de la arcotangente de la relación entre dichas señales V_n , V_t afectada por un coeficiente de corrección G caracterizado por que dicho medio de cálculo está parametrizado para aplicar a una de las señales V_n , V_t una ganancia G estrictamente diferente de k , en donde k designa la relación V_{max_t} / V_{max_n} en donde V_{max_t} y V_{max_n} representan respectivamente la amplitud de la señal V_t y V_n en dicha carrera, siendo calculada la ganancia G para minimizar las desviaciones entre unos valores de posición resultantes de las componentes magnéticas y unos valores de posición mecánica reales correspondientes.

35

40

Según una primera variante, el imán permanente presenta una dirección de imantación que varía continuamente según la dirección de desplazamiento.

45

Según una segunda variante, el imán permanente presenta una imantación de dirección única cuya intensidad varía continuamente según la dirección de desplazamiento.

50

Preferentemente, dicho medio de cálculo está parametrizado para aplicar a una de las señales V_n , V_t una ganancia G comprendida entre $0,4 k$ y $0,98 k$ o entre $1,02 k$ y $2,5 k$, en donde k designa la relación entre la amplitud de las señales V_t y V_n .

55

Preferentemente, dicho captador magnético comprende al menos dos elementos de efecto Hall.

55

Ventajosamente, dicho captador magnético comprende al menos dos pares de elementos de efecto Hall asociados a un concentrador de flujo tal como, por ejemplo, la sonda MLX90316 producida por la compañía Melexis.

60

En un modo de realización secundario, la sonda puede ser de efecto Hall sin concentrador tal como, por ejemplo, la sonda HAL3625 de la sociedad Micronas.

60

En un modo de realización secundario, la sonda puede ser de tipo magnetoresistivo.

65

Según una primera variante, el imán permanente es de tipo tubular.

Según una segunda variante, el imán permanente es de tipo semitubular en forma de teja.

Según una tercera variante, el imán permanente es un sector angular.

5 Según una cuarta variante, el imán permanente es un elemento paralelepípedo.

Según una quinta variante, el imán permanente tiene forma de disco.

10 Según un modo de realización particular, el imán está imantado diametralmente.

Según un modo de realización particular, el imán es de tipo tubular e imantado diametralmente.

15 La imantación, cuya dirección varía continuamente, puede presentar una dirección preponderante en una zona situada a lo largo de la dimensión de medición. Se puede imponer en el centro del imán, por ejemplo, una imantación normal o tangencial según se aplique un campo magnético perturbador (que procede de un cable por ejemplo) sobre el imán y que se desee minimizar el efecto de manera que se conserve en cualquier circunstancia una precisión no degradada en esta posición media del imán. El conocimiento de la dirección del campo perturbador en el centro del imán permite entonces elegir razonablemente la dirección de la imantación en el centro del imán. De ese modo si el campo perturbador tiene una dirección tangencial en la mitad del desplazamiento entonces se optará por una imantación que presente una dirección tangencial en la mitad del imán. Evidentemente el ejemplo propuesto anteriormente no está limitado en absoluto a la posición media de la carrera del captador y puede concebirse en no importa qué punto de la carrera del captador.

20 Según un modo particular, el imán permanente está imantado con una dirección que varía entre una dirección central normal, y unas direcciones tangenciales a los extremos de la carrera, siendo la rotación total del ángulo eléctrico sobre la carrera sustancialmente igual a 180°.

25 Según otro modo particular, el imán permanente está imantado con una dirección que varía entre una dirección central tangencial, y unas direcciones tangenciales a los extremos de la carrera, siendo la rotación total del ángulo eléctrico sobre la carrera inferior a 360°.

30 En el caso de un imán de tipo no tubular, el tipo de imantación (normal al medio o tangente al medio) y la rotación total de la imantación sobre el imán se determinarán siguiendo las limitaciones dimensionales y los rendimientos buscados. Las tablas de las figuras 4 y 5 muestran algunos ejemplos realizados para una carga dada y unas dimensiones de imán fijas. Estas tablas muestran que en función de un tamaño del imán deseado la elección de un tipo de imantación se guía, entre otros, por el rendimiento obtenido sobre la no linealidad.

35 Según una variante, el imán es de tipo anisótropo, estando alineada la dirección de imantación con la dirección de anisotropía.

40 Preferentemente, el imán presenta una anisotropía cuya dirección de anisotropía varía continuamente a lo largo de la carrera del imán.

45 La invención se refiere igualmente a un procedimiento de parametrización de un sistema de medición de posición absoluta que consiste en determinar el valor máximo V_{max_n} , V_{max_t} de dichas señales V_n , V_t sobre la carrera útil, en calcular un coeficiente k igual a la relación V_{max_t} / V_{max_n} y en fijar un coeficiente de ganancia G estrictamente diferente de k mediante el minimizado global de la diferencia de la posición real y la posición calculada antes del cálculo de la arcotangente.

50 La invención se refiere incluso a un procedimiento de realización de un sistema de medición de posición absoluta del tipo anteriormente descrito, que incluye un imán y una sonda, y en el que las señales V_n y V_t son unas sinusoides deformadas o pseudo-sinusoides y no puras sinusoides, comprendiendo este procedimiento una operación preliminar de calibrado que consiste en establecer, mediante medición o mediante simulación y para una pluralidad de posiciones relativas diferentes de la sonda y del imán, una ley que vincule la medida X de cada una de las estas posiciones relativas con la relación V_n / V_t de las señales eléctricas V_n y V_t obtenidas para esta posición relativa X , una operación preliminar de optimización que consiste en determinar el valor de la ganancia G para el que las desviaciones, obtenidas para la pluralidad de posiciones relativas, entre las diferentes medidas de X y los diferentes valores correspondientes de la función $C \cdot \text{Arctan}(G \cdot V_n / V_t)$ en la que C es una constante de construcción conocida, son mínimos, y una operación posterior de aprovechamiento, realizada durante la utilización de este sistema, y que consiste en asimilar la medida X de una posición relativa cualquiera de la sonda y del imán con el valor de la función $C \cdot \text{Arctan}(G \cdot V_n / V_t)$.

55 En un procedimiento así de realización, y como se comprenderá por el experto en la materia con la lectura de la presente descripción, las operaciones preliminares de calibrado y de optimización constituyen un procedimiento de parametrización del sistema de medición de posición absoluta afectado.

Por otro lado, la constante de construcción C se define mediante el paso de imantación del imán y representa la relación de la distancia de un desplazamiento relativo de la sonda y del imán a la variación correspondiente del ángulo $\text{Arctan}(G \cdot V_n / V_t)$.

5 Descripción detallada de ejemplos de realización

La presente invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción de ejemplos de realización no limitativos, que se refieran a los dibujos adjuntos en los que:

- 10 - la figura 1 representa una vista esquemática del sistema de medición que comprende un imán paralelepípedo que presenta una imantación cuya dirección varía continuamente,
- la figura 2 representa las inducciones magnéticas medidas en la proximidad del imán de la figura 1,
- las figuras 3a, 3b y 3c presentan el ángulo eléctrico calculado y los resultados de no linealidad obtenidos según el tipo de coeficiente aplicado a la relación de las inducciones de la figura 2,
- 15 - la figura 4 muestra una tabla que recapitula, para un imán paralelepípedo, los rendimientos y parámetros correctivos a aplicar para unos casos en los que la imantación es tangente en la parte media del imán
- la figura 5 muestra una tabla que recapitula, para un imán paralelepípedo, los rendimientos y parámetros correctivos a aplicar para unos casos en los que la imantación es normal en la parte media del imán
- las figuras 6a, 6b y 6c representan respectivamente una vista esquemática del sistema de medición que comprende un imán de disco, las inducciones el punto de medición y los resultados en términos de no linealidad
- 20 - las figuras 7a, 7b y 7c representan respectivamente una vista esquemática del sistema de medición que comprende un imán tubular, las inducciones en el punto de medición y los resultados en términos de no linealidad
- las figuras 8a y 8b representan respectivamente una vista esquemática de un primer sistema de medición que comprende una teja y los resultados en términos de no linealidad
- 25 - las figuras 9a y 9b representan respectivamente una vista esquemática de un segundo sistema de medición que comprende una teja y los resultados en términos de no linealidad
- la figura 10 representa una vista esquemática de un tercer sistema de medición que comprende una teja
- la figura 11 representa una vista esquemática de un sistema de medición que comprende un anillo multi-periódico
- 30 - la figura 12 representa una vista esquemática de un sistema de medición que comprende un imán de imantación en dirección única pero de intensidad variable según la dirección de desplazamiento.

La figura 1 representa una vista esquemática de un primer ejemplo de realización de un sistema de medición de posición absoluta lineal, de imán (1) paralelepípedo. En este ejemplo, se trata de realizar un captador de posición lineal en una carrera de 28 mm con un imán (1) de longitud (L) más pequeña, fijada en 24 mm. El interés es de ese modo una ganancia de material y de volumen y por tanto de coste y de masa. En esta figura 1, el imán (1) tiene de anchura (A_n) 5 mm y de altura (A) 3 mm. Se ha de observar, que la anchura y la altura del imán (1) no tienen más que escasa influencia sobre el contenido armónico, e influenciarán solamente la amplitud de las señales obtenidas. Este imán (1) se imanta con una dirección de imantación continuamente variable en el interior del imán en un ángulo próximo a 180° . Este ángulo se ha determinado analíticamente como el que permite obtener los mejores resultados en términos de no linealidad. Por encima de este imán (1), a la distancia (D) de 3,5 mm de la superficie superior, se sitúa la sonda (2) que contiene unos medios de detección magnetosensibles capaces de detectar la amplitud B_t y B_n del campo magnético sobre dos ejes perpendiculares, siendo respectivamente la componente tangencial y la componente normal del campo magnético, definidas con relación a la dirección de desplazamiento, en este punto del espacio. Se ha de tomar nota de que se puede concebir por supuesto desviar dichos medios de detección del plano de simetría del imán (1) según la dimensión (A_n) con el objetivo de aprovechar las componentes magnéticas tangencial y axial más que la tangencial y normal.

La figura 2 muestra los resultados de medida de la inducción, en el caso de la figura 1, de las componentes normal (B_n) y tangencial (B_t) del campo magnético en el punto en el que se sitúa el imán (1) en función de la posición relativa de la sonda con relación a los elementos de efecto Hall de los medios de detección (2).

En esta configuración, las señales tangenciales y normales son sustancialmente diferentes a dos senos desfasados en 90° porque el contenido armónico es grande, principalmente debido a los efectos de borde aunque más generalmente según las diversas razones expuestas anteriormente.

De hecho, si se calcula la posición en base al cálculo de la arcotangente entre las dos componentes (tal como se describe en el documento US7741839), como se muestra en la figura 3a o si se aplica previamente un coeficiente k igual a la relación de las amplitudes V_{\max_t} / V_{\max_n} , tal como se describe en el documento EP1989505, como se muestra en la figura 3b, esto conduce a unas importantes imprecisiones.

En la figura 3a, la curva POS representa el ángulo eléctrico calculado, imagen de la posición, a partir del cálculo de la arcotangente aplicado a la relación de las señales de la figura 2, sin aplicación de ganancia. La señal NL representa la no linealidad de la señal POS en función de la posición mecánica real. Como se puede ver, los resultados son malos puesto que la no linealidad obtenida en la señal es de $\pm 2,8\%$.

En la figura 3b, la ganancia aplicada a las componentes normal y tangencial, antes del cálculo de la arcotangente, es igual a la relación de las amplitudes de estas componentes. Según la figura 2, tomando 433 gauss como la amplitud de la señal tangencial y 660 gauss como amplitud de la señal normal, este valor de ganancia es por tanto próximo a 0,65 (433/660). Aplicado a la relación de los componentes en la carrera y a través del cálculo de la arcotangente, la posición calculada, POSk, con esta relación presenta una no linealidad, indicada por NLk, de +/-1,3%. En muchas aplicaciones, una linealidad así no es aceptable. El experto en la materia tendrá por tanto tendencia a corregir esta no linealidad gracias a las diferentes técnicas descritas más arriba.

Para hacer esto, se aplica el cálculo de la arcotangente no a la relación de las señales eléctricas detectadas por los elementos de efecto Hall, ni a unas señales ponderadas por la simple relación k de las amplitudes V_{max_t} / V_{max_n} , sino por una señales ponderadas por un coeficiente de ganancia G específico de la invención.

En efecto, en el caso de que estas señales eléctricas sean unas sinusoides deformadas y no una sinusoides puras, este coeficiente de ganancia, aunque eventualmente próximo a la relación de las amplitudes V_{max_t} / V_{max_n} , es siempre diferente a esta relación. El valor exacto de este coeficiente se determina mediante un algoritmo de optimización aplicado a los datos simulados de posición magnética calculada y de posición mecánica real. Se procede a un minimizado de las desviaciones entre los valores de posición magnética y de posición mecánica, para determinar el coeficiente de ganancia G que se mantendrá para el medio de cálculo del sistema de medición.

En el caso en el que no se pueden obtener mediante simulación los campos de inducción o cuando se trata de corregir un defecto de posicionamiento de las sondas, se procede entonces, en el prototipo, a una medición de las componentes en función de la posición mecánica real, siendo medida esta posición mecánica con ayuda de un captador de posición patrón. Se procede entonces, igual que anteriormente, a un minimizado de las desviaciones entre los valores de posición magnética calculados mediante la arcotangente de la relación V_n/V_t y los valores de posición mecánica, para determinar el coeficiente de ganancia G que se mantendrá para el medio de cálculo del sistema de medición.

La figura 3c representa los resultados en términos de señal de salida y no linealidad de esta señal, siempre en el caso del ejemplo de la figura 1, pero en aplicación del método propuesto en la invención. La señal POSG representa la señal obtenida por cálculo de la arcotangente de la relación de las tensiones imágenes de las componentes tangencial y normal a las que se aplica una ganancia G. Si se aplica una ganancia G igual a 0,76, la no linealidad de la señal de posición obtenida, indicada por NLG, se reduce también a +/-0,62%, es decir a un valor 2 veces más reducido que el obtenido con el de la única ganancia de la relación de las amplitudes.

El ejemplo vinculado a la realización de la figura 1 no es en ningún caso limitativo, unas dimensiones de imanes y de condiciones de medición diferentes implican un valor correctivo de ganancia diferente.

Los diferentes ensayos que se han conducido muestran que esta ganancia G evoluciona o bien por debajo del valor k de la relación de las amplitudes en un intervalo que varía de 0,4 k a 0,98 k, o bien por encima del valor de k en un intervalo que varía de 1,02 k a 2,5 k, sabiendo que si el contenido armónico no es despreciable, el coeficiente G será muy diferente de k.

La figura 4 muestra una tabla que recapitula los ensayos realizados para una investigación de un captador de posición lineal de carrera 28 mm en el caso en el que la dirección de imantación es tangente en la parte media del imán paralelepípedo con el fin de mostrar la evolución de los resultados y la diferencia con la ganancia k preconizada por la técnica anterior y la ganancia correctiva G óptima a aplicar a la relación de las componentes normal y tangente con el objetivo de obtener el mejor resultado en términos de no linealidad de la señal obtenida sobre la carrera. La primera columna "dimensiones" muestra las dimensiones de los diferentes casos geométricos considerados. Se trata cada vez de un imán paralelepípedo cuya longitud evoluciona de 20 mm a 32 mm. La segunda columna "espacio de aire" expone el entrehierro o la distancia (D) de medición entre la superficie del imán y los medios de detección. La tercera columna muestra la evolución del coeficiente k tal como se calcula según las enseñanzas de la técnica anterior correspondiente a la relación de las amplitudes tangencial (b_1) y normal (a_1). La cuarta columna muestra la evolución del coeficiente G preconizado por la presente invención e igual a λ veces el valor de k. La quinta columna expone el valor de λ . La sexta columna muestra el valor de la no linealidad obtenida sobre la carrera de 28 mm tomando el coeficiente corrector G mientras que la séptima columna muestra la no linealidad obtenida sobre la carrera de 28 mm obtenida tomando el coeficiente corrector k de la técnica anterior.

Todos estos casos concretos, ejemplos no limitativos pero típicos, muestran que, para cada uno de ellos, la no linealidad obtenida con el coeficiente k de la técnica anterior puede mejorarse sensiblemente utilizando el coeficiente G estrictamente diferente de k.

Esta tabla de la figura 4 muestra principalmente que es posible realizar un captador cuya longitud sea muy inferior a la carrera mientras se asegura una muy buena linealidad. Tomando el ejemplo "caso #5", la longitud del imán es de 20 mm es decir muy inferior a la carrera de 28 mm. Utilizando el coeficiente corrector k preconizado por la técnica anterior de 0,47, la mejor no linealidad obtenida es de +/-9%. Este valor es incompatible con las especificaciones industriales. Utilizando un coeficiente corrector G de 1,05, la mejor no linealidad obtenida es entonces de +/-0,94%.

La técnica anterior prohibiría la utilización de una configuración de ese tipo en la que el imán es mucho más pequeño que la carrera, mientras que, con la ayuda del coeficiente corrector preconizado por la invención, es posible hacer viable la solución.

5 La figura 5 muestra una tabla que recapitula unos ensayos realizados para una investigación de un captador de posición lineal de carrera 28 mm en el caso en el que la dirección de imantación es normal en la parte media del imán paralelepédico. Las mismas columnas que las ya mostradas en la tabla de la figura 4 son visibles en esta tabla. El lector podrá así observar la influencia y el interés de realizar una imantación normal o tangente en la parte media del imán (1) en función de los casos realizados.

10 Por ejemplo, tomemos el "caso #14", se trata de un imán (1) de longitud 24 mm, por tanto más pequeño que la carrera, para el que la distancia de medición es de 6,5 mm por encima del imán, es decir una distancia relativamente grande. Utilizando el coeficiente corrector k preconizado por la técnica anterior de 0,52, la mejor no linealidad obtenida es de +/-3,7%. Este valor es incompatible con la mayor parte de las especificaciones industriales. Utilizando un coeficiente corrector G 1,30 veces mayor es decir igual a 0,69, la mejor no linealidad obtenida es entonces de +/-0,08%. Observando la tabla de la figura 4 con relación a los casos en los que la dirección de imantación es tangente al punto medio, vemos que el mejor resultado obtenido es de +/-0,21% para el coeficiente G de 0,87. De ese modo, realizando una imantación normal en la parte media del imán (1), se obtiene un captador cuyo tamaño de imán (1) se minimiza mientras se mantiene la posibilidad de trabajar a una gran distancia del imán y asegurando una no linealidad mínima y compatible con las especificaciones más severas.

15 Siempre en la tabla de la figura 5, tenemos otro ejemplo de realización. El "caso #20" que representa un caso en el que el imán es más grande que la carrera (longitud de 32 mm). Trabajando a una distancia de 3,5 mm del imán, podemos mejorar la no linealidad pasando de +/-4,6% para el caso de un coeficiente k de 0,48 a una no linealidad de +/-0,29% para el coeficiente correctivo G de 0,3. Es posible de ese modo realizar un captador de precisión mejorada incluso cuando el imán es de longitud mayor que la carrera.

20 Esta tabla de la figura 5 permite ventajosamente determinar un caso particularmente óptimo en el que las limitaciones son severas. El "caso #21" que corresponde a un caso en el que el entrehierro de medición es reducido (2 mm), y en el que el imán (1) es de longitud mucho más pequeña que la carrera (20 mm para una carrera de 28 mm). En este caso, los efectos de borde son grandes y la proximidad entre la sonda (2) y el imán (1) hacen que el contenido armónico sea muy rico. Con un coeficiente corrector k de la técnica anterior de 0,55, la mejor no linealidad obtenida es de +/-6% mientras que la no linealidad obtenida con un coeficiente correctivo G de 0,31, vale +/-0,6%. Se ha realizado así un captador de gran precisión con un imán de pequeño tamaño y trabajando con un reducido entrehierro de medición.

25 La figura 6a representa la vista esquemática de un primer ejemplo de realización del sistema de medición de posición absoluta angular, de imán de disco.

30 La imantación, cuya dirección varía continuamente según el grosor del imán (1), realiza una rotación de 360°. La sonda se sitúa sobre un círculo indicado por (S), concéntrico con el imán (1) y por encima del imán (1), y que representa el camino virtual sobre el que se desplaza la sonda (2) con relación al imán (1) o el imán (1) con relación a la sonda (2). Las componentes utilizadas para cálculo de la posición absoluta son las componentes eléctricas tangencial y normal, indicadas V_t y V_n , imágenes de las componentes magnéticas B_t y B_n .

35 En la figura 6b, se representan en 360° de carrera angular mecánica las componentes B_t y B_n vistas por la sonda (2) situada a una distancia (D) de 3 mm de la superficie en el caso del imán (1) de diámetro exterior de 20 mm, de diámetro interior 10 mm y de grosor 2,5 mm. Se observa que estas señales contienen un armónico de orden $i=3$ que tiene la tendencia a generar una deformación triangular y trapezoidal según la componente.

40 En la figura 6c, se puede constatar de nuevo la aportación del coeficiente G tal como se reivindica por la invención que permite obtener una no linealidad del captador de +/- 0,4% contra +/-3,6% según la proposición de la técnica anterior. El coeficiente aplicado es entonces de 0,67 contra 0,44 para la relación simple de las amplitudes de las 2 señales.

45 La figura 7a representa una vista esquemática de un primer ejemplo de realización de un sistema de medición de posición absoluta angular, de imán (1) tubular.

50 La imantación cuya dirección, vista por la sonda (2), varía continuamente en el interior del imán (1) realiza una rotación de 360° sobre la carrera angular completa de 360°. La sonda (2) se sitúa sobre la trayectoria en forma de círculo indicada por (S), concéntrica con el imán (1) y situada ventajosamente en la altura (A) del imán (1). Las componentes utilizadas para cálculo de la posición absoluta son las componentes eléctricas tangencial y normal indicadas como V_t y V_n , imágenes de las componentes magnéticas B_t y B_n . Según la altitud del diámetro de lectura (S), se pueden elegir ventajosamente las componentes axial (V_a) y tangencial (V_t) por razones de amplitud de inducción o de precisión del captador.

En la figura 7b, se representan en 360° de carrera angular mecánica las componentes Bt y Bn vistas por la sonda (2) situada a una distancia (D) de 3,16 mm de la superficie en el caso de un imán (1) de diámetro exterior de 7 mm, de diámetro interior de 5 mm y de 3,5 mm de grosor. Se observa el contenido armónico muy reducido de estas curvas que, a primera vista, tienen un perfil perfectamente sinusoidal.

5 En la figura 7c, se puede sin embargo constatar que, aunque la diferencia entre el coeficiente (G) reivindicado y el coeficiente (k) de la técnica anterior sea reducido puesto que es igual a 1,03 debido a un contenido armónico reducido principalmente debido a la geometría de la herramienta de imantación y a la permeabilidad del imán, su aporte es bien notable con una no linealidad del captador que se mejora de +/-0,3% a +/-0,04%.

10 La figura 8a representa la vista esquemática de un primer ejemplo de realización de un sistema de medición de la posición absoluta angular, de imán de teja.

15 La dirección de imantación varía continuamente en el interior del imán (1) siguiendo la dirección de desplazamiento y la carrera angular estudiada completa es de 80°. La sonda (2) se sitúa delante del imán (1) sobre una trayectoria (S) que corresponde a un diámetro mayor que el diámetro exterior del imán (1), concéntrico con el imán (1) y situada ventajosamente en la altura (A) del imán (1). Las componentes utilizadas para el cálculo de la posición absoluta son las componentes eléctricas tangencial y normal indicadas como Vt y Vn, imágenes de las componentes magnéticas Bt y Bn. Según la altitud del diámetro de lectura (S), se pueden elegir ventajosamente las componentes axial (Va) y tangencial (Vt) por razones de amplitud de inducción o de precisión del captador.

20 En la figura 8b, se pueden constatar las mejoras aportadas por la utilización de la ganancia G de la invención con relación a la utilización del coeficiente k de la técnica anterior. Para una longitud angular del imán (1) de 90°, 100° y 120°, la mejor no linealidad obtenida pasa respectivamente de +/-4% a +/-1%, de +/-1,51% a +/-0,65% y de +/-0,9% a +/-0,39%.

25 La figura 9a representa la vista esquemática de un segundo ejemplo de realización del sistema de medida de la posición absoluta angular, de imán de teja.

30 La dirección de imantación varía continuamente en el interior del imán (1) según el sentido de desplazamiento y la carrera angular completa estudiada es de 40°. La sonda (2) se sitúa delante del imán (1), a la distancia (D) del imán (1), sobre una trayectoria en forma de arco de círculo (S), concéntrica con el imán (1). Las componentes utilizadas para el cálculo de la posición absoluta son las componentes eléctricas tangencial y normal indicadas como Vt y Vn, imágenes de las componentes magnéticas Bt y Bn. Según el diámetro de lectura (S), se pueden elegir ventajosamente las componentes axial (Va) y tangencial (Vt) por razones de amplitud de inducción o de precisión del captador.

35 En la figura 9b, se pueden constatar las mejoras aportadas por la utilización de la ganancia G de la invención con relación a la utilización del coeficiente k de la técnica anterior. Para una longitud angular del imán (1) de 30°, 40°, 50° y 70°, la mejor no linealidad obtenida pasa respectivamente de +/-2,53% a +/-0,14%, de +/-5,3% a +/-0,13%, de +/-3,7% a +/-0,45% y de +/-0,24% a +/-0,04%.

40 La figura 10 representa la vista esquemática de un tercer ejemplo de realización de un sistema de medición de la posición absoluta angular, de imán de teja. En este caso, la sonda (2) se sitúa sobre una trayectoria (S), concéntrica con el radio de curvatura del imán (1), pero sobre un radio más pequeño que este radio de curvatura. En efecto, una trayectoria (S) de un radio más pequeño que el radio de curvatura, induce unos resultados diferentes en términos de factor correctivo a aplicar debido a que el desplazamiento desarrollado es menor que si la trayectoria (S) es de un radio mayor que el radio de curvatura del imán (1).

45 La figura 11 presenta una configuración de captador según la invención constituida por un imán anular (1) que presenta una imantación multipolar cuya dirección varía continuamente. Se puede constatar en efecto que el anillo presenta 5 periodos imantados de ángulo mecánico de 72°. Para cada período, se puede constatar que la rotación de la dirección de imantación vale 360°. La sonda (2) situada en la proximidad de la superficie del imán permite decodificar de ese modo la posición angular en los 5 periodos durante la rotación del imán con relación a la sonda o de la sonda con relación al imán. El captador de posición no proporciona entonces ya una posición absoluta en 360° de ángulo de rotación sino una posición absoluta en un período de 72°. Este tipo de configuración de imán multipolar permite proporcionar por ejemplo una posición absoluta sobre el período eléctrico del motor. La precisión del codificador influencia el rendimiento del motor o incluso la estabilidad del acoplamiento dinámico proporcionado por este último. La invención permite mejorar estos 2 factores mediante el empleo de la ganancia adaptada.

50 Se presenta en la figura 12 una variante del tipo de imantación. A diferencia de la imantación cuya dirección varía continuamente, la imantación propuesta en este caso se realiza a través de una modulación de la amplitud de imantación que varía continuamente según una dirección única, la que corresponde al desplazamiento del captador. Incluso en este caso si esta imantación permite la obtención de señales eléctricas casi sinusoidales, la introducción de una ganancia diferente de la relación de las amplitudes de las 2 señales medidas previamente al cálculo de la arcotangente permite una precisión incrementada.

La presente invención, detallada en el presente documento e ilustrada en algunos ejemplos no está por supuesto limitada a los captadores según una dirección de desplazamiento. Con el mismo principio que el descrito anteriormente en el presente documento para una dirección de desplazamiento, un captador que siga dos direcciones de desplazamiento (se habla de captadores 2D) se realiza con la ayuda de una o varias sondas que utilizan las 3 componentes (tangencial y las dos normales) del campo magnético creado en el punto de medición.

5

REIVINDICACIONES

1. Sistema de medida de la posición absoluta que comprende un imán permanente, y al menos una sonda en movimiento relativo con relación a dicho imán sobre una carrera dada, engendrando dicho imán en la sonda, un campo magnético que presenta una primera componente magnética B_t , denominada tangencial, según la dirección de desplazamiento y una segunda componente magnética B_n , denominada normal, ortogonal a la primera componente y en cuadratura, suministrando dicha sonda dos señales eléctricas V_n , V_t funciones de dichas componentes respectivamente B_n , B_t , así como unos medios de cálculo que proporcionan una información de posición calculada en función de la arcotangente de la relación entre dichas señales V_n , V_t afectada por un coeficiente de corrección fijo G **caracterizado por que** dicho medio de cálculo está parametrizado para aplicar a una de las señales V_n , V_t una ganancia fija G no nula estrictamente diferente de k , en donde k designa la relación V_{max_t}/V_{max_n} en donde V_{max_t} y V_{max_n} representan respectivamente la amplitud de la señal V_t y V_n en dicha carrera, estando la ganancia fija G calculada para minimizar las desviaciones entre unos valores de posición resultantes de las componentes magnéticas y unos valores de posición mecánica reales correspondientes.
2. Sistema de medición de posición absoluta según la reivindicación 1 **caracterizado por que** el imán permanente presenta una dirección de imantación que varía continuamente según la dirección de desplazamiento.
3. Sistema de medición de posición absoluta según la reivindicación 1 **caracterizado por que** el imán permanente presenta una imantación de dirección única cuya intensidad varía continuamente según la dirección de desplazamiento.
4. Sistema de medición de posición absoluta según una de las reivindicaciones precedentes **caracterizado por que** dicho medio de cálculo está parametrizado para aplicar a una de las señales V_n , V_t una ganancia fija G comprendida entre $0,4 k$ y $0,98 k$
5. Sistema de medición de posición absoluta según una de las reivindicaciones 1 a 3 **caracterizado por que** dicho medio de cálculo está parametrizado para aplicar a una de las señales V_n , V_t una ganancia fija G comprendida entre $1,02 k$ y $2,5 k$.
6. Sistema de medición de posición absoluta según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 **caracterizado por que** dicho captador magnético comprende al menos dos elementos de efecto Hall.
7. Sistema de medición de posición absoluta según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 **caracterizado por que** dicho captador magnético comprende al menos dos pares de elementos de efecto Hall asociados a un concentrador de flujo.
8. Sistema de medición de posición absoluta según al menos una de las reivindicaciones precedentes **caracterizado por que** el imán permanente es tubular.
9. Sistema de medición de posición absoluta según al menos una de las reivindicaciones 1 a 7 **caracterizado por que** el imán permanente es semitubular en forma de teja.
10. Sistema de medición de posición absoluta según al menos una de las reivindicaciones 1 a 7 **caracterizado por que** el imán permanente es de disco.
11. Sistema de medición de posición absoluta según al menos una de las reivindicaciones 1 a 7 **caracterizado por que** el imán permanente es un sector angular.
12. Sistema de medición de posición absoluta según al menos una de las reivindicaciones 1 a 7 **caracterizado por que** el imán permanente es paralelepípedo.
13. Sistema de medición de posición absoluta según la reivindicación 2 y al menos una de las reivindicaciones 6 a 12 **caracterizado por que** el imán permanente está imantado con una dirección que varía entre una dirección central normal, y unas direcciones tangenciales a los extremos de la carrera, siendo la rotación total del ángulo eléctrico sobre la carrera sustancialmente igual a 180° .
14. Sistema de medición de posición absoluta según la reivindicación 2 y al menos una de las reivindicaciones 6 a 12 **caracterizado por que** el imán permanente está imantado con una dirección que varía entre una dirección central tangencial, y unas direcciones tangenciales a los extremos de la carrera, siendo la rotación total del ángulo eléctrico sobre la carrera inferior a 360° .
15. Sistema de medición de posición absoluta según al menos una de las reivindicaciones 1 a 14 **caracterizado por que** el imán es de tipo anisótropo, estando alineada la dirección de imantación con la dirección de anisotropía.

16. Sistema de medición de posición absoluta según la reivindicación 15 **caracterizado por que** el imán presenta una anisotropía cuya dirección de anisotropía varía continuamente.
- 5 17. Procedimiento de parametrización de un sistema de medición de posición absoluta de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones precedentes que consiste en determinar el valor máximo V_{\max_n} , V_{\max_t} de dichas señales V_n , V_t sobre la carrera útil, en calcular un coeficiente k igual a la relación V_{\max_t} / V_{\max_n} y en fijar un coeficiente de ganancia fija G no nulo estrictamente diferente de k antes del cálculo de la arcotangente.
- 10 18. Procedimiento de parametrización del sistema de medición de la posición absoluta de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 1-16 **caracterizado por que** se miden las señales V_n y V_t , se calcula la posición magnética mediante la arcotangente de la relación V_n / V_t y se procede al minimizado de las desviaciones entre los valores de posición magnética calculados mediante la arcotangente y los valores de la posición mecánica real, para determinar el coeficiente de ganancia fijo G .
- 15 19. Procedimiento de realización de un sistema de medición de posición absoluta de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado por que** comprende una operación preliminar de calibrado que consiste en establecer, mediante medición o mediante simulación y para una pluralidad de posiciones relativas diferentes de la sonda y del imán, una ley que vincule la medida X de cada una de la estas posiciones relativas con la relación V_n / V_t de las señales eléctricas V_n y V_t obtenidas para esta posición relativa X , una operación preliminar de optimización
- 20 que consiste en determinar el valor de la ganancia fija G para el que las desviaciones, obtenidas para la pluralidad de posiciones relativas, entre las diferentes medidas de X y los diferentes valores correspondientes de la función $C \cdot \text{Arctan}(G \cdot V_n / V_t)$ en la que C es una constante de construcción conocida, son mínimos, y una operación posterior de aprovechamiento, que consiste en asimilar la medida X de una posición relativa cualquiera de la sonda y del imán con el valor de la función $C \cdot \text{Arctan}(G \cdot V_n / V_t)$.
- 25

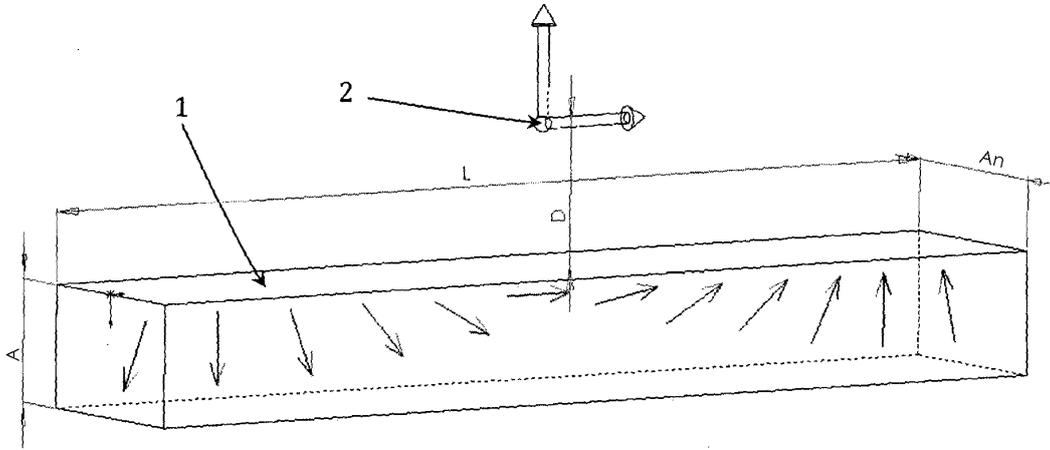


Figura 1

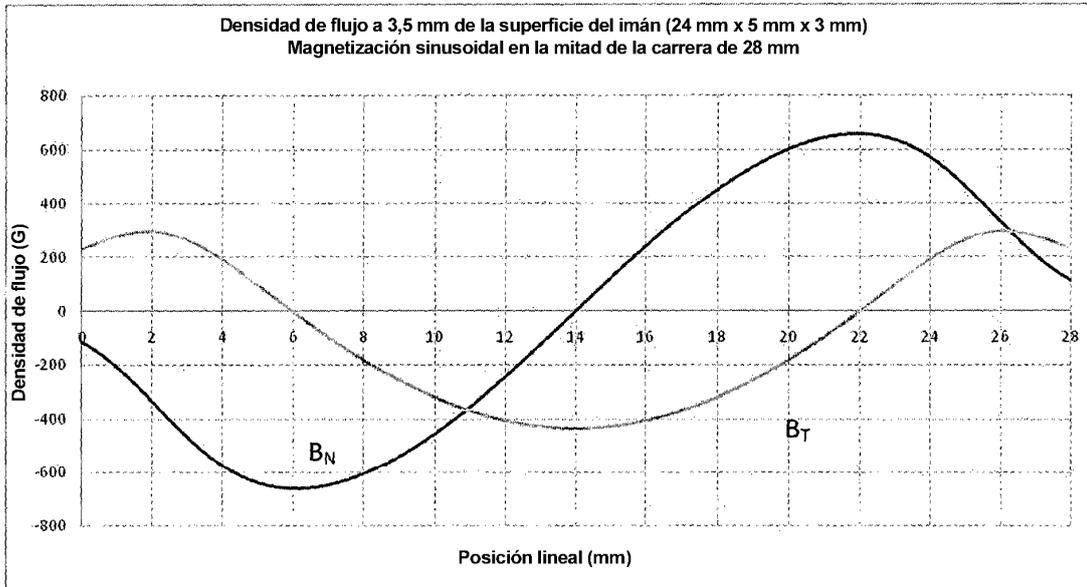


Figura 2

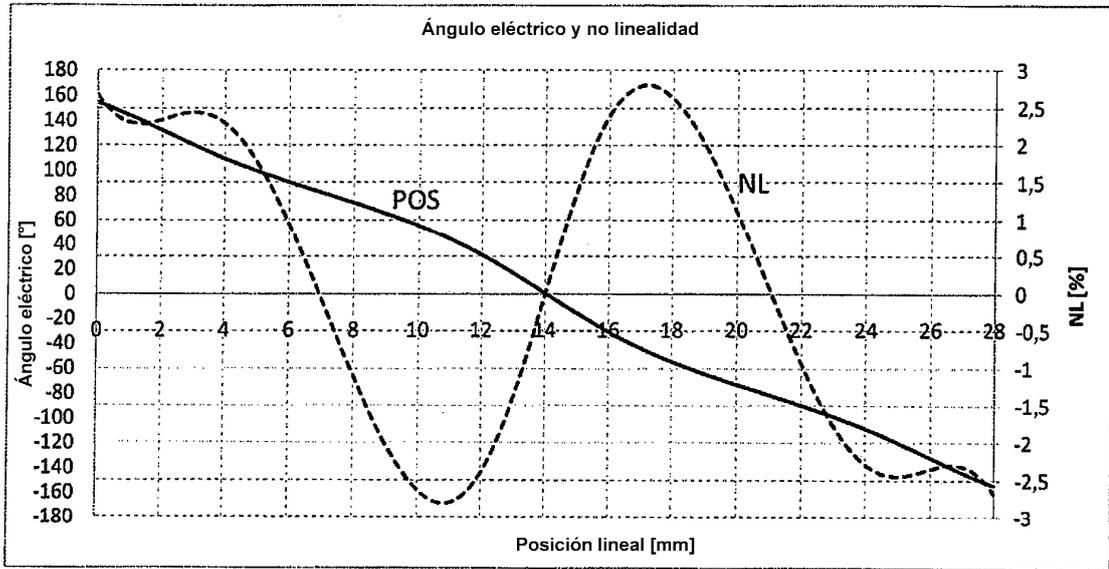


Figura 3a

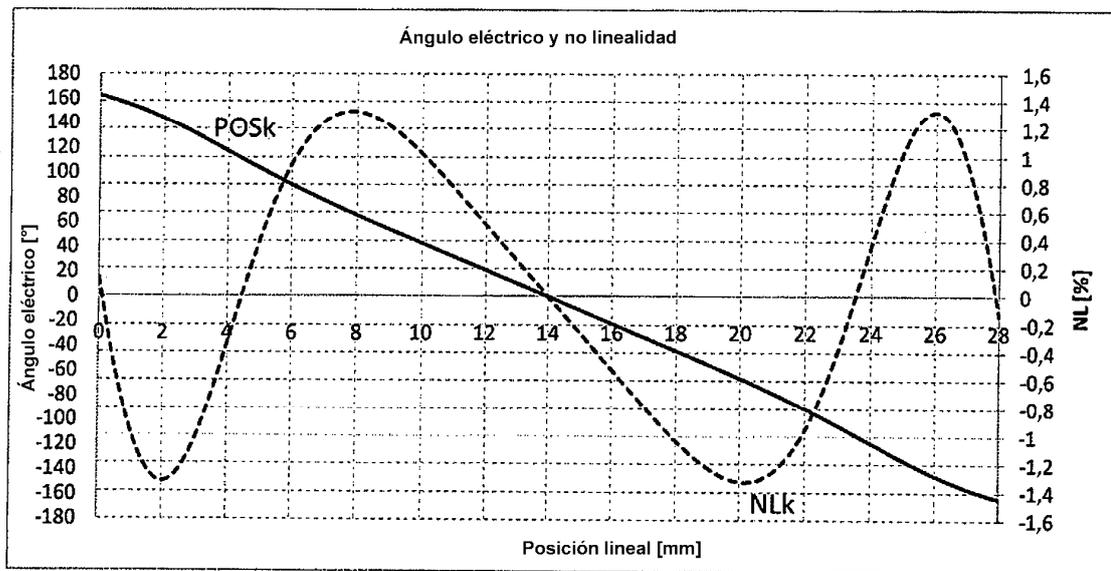


Figura 3b

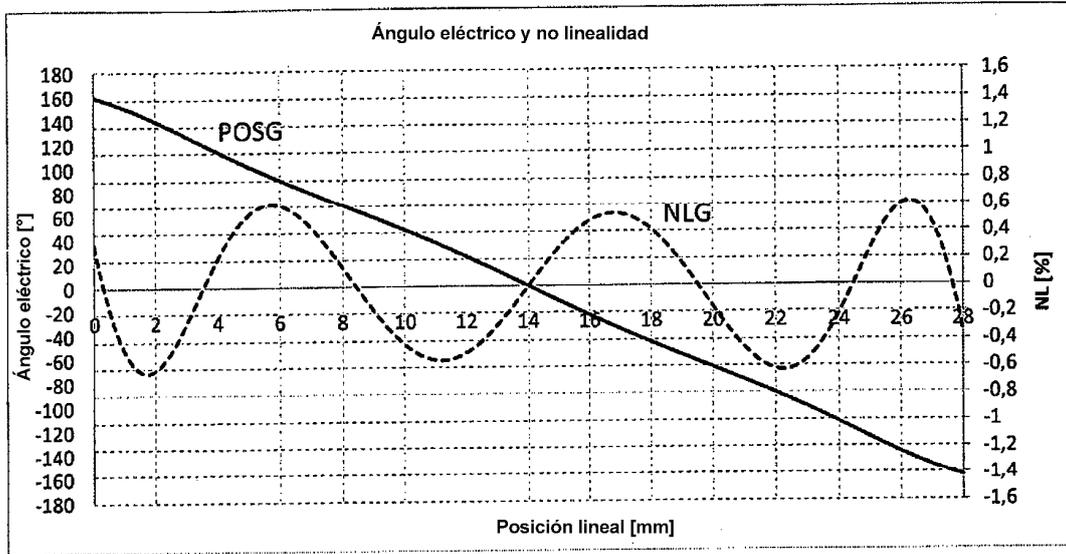


Figura 3c

Caso #	Dimensiones del imán LxAxA [mm]	Espacio D [mm]	$k=b1/a1$	$G=\lambda k$	λ	No linealidad \pm [%] para G	No linealidad \pm [%] para k
1	20x10x4	6,5	0,76	0,9	1,19	0,53	2,66
2	24x10x4	6,5	0,76	0,87	1,13	0,21	1,42
3	28x10x4	6,5	0,78	0,81	1,04	0,17	0,52
4	32x10x4	6,5	0,81	0,78	0,96	0,05	0,46
5	20x5x3	3,5	0,47	1,05	2,24	0,94	9
6	24x5x3	3,5	0,65	0,76	1,16	0,62	1,3
7	28x5x3	3,5	0,73	0,68	0,94	0,08	0,47
8	32x5x3	3,5	0,71	0,65	0,92	0,09	0,7
9	20x5x3	2,0	0,49	0,93	1,88	1,78	6,7
10	24x5x3	2,0	0,57	0,81	1,42	2,13	2,8
11	28x5x3	2,0	0,64	0,6	0,93	1,14	1,34
12	32x5x3	2,0	0,65	0,58	0,9	0,32	0,73

Figura 4

Caso #	Dimensiones del imán LxAnxA [mm]	Espacio D [mm]	$k=b1/a1$	$G=\lambda k$	λ	No linealidad \pm [%] para G	No linealidad \pm [%] para k
13	20x10x4	6,5	0,57	0,79	1,38	0,1	3,39
14	24x10x4	6,5	0,52	0,69	1,30	0,08	3,7
15	28x10x4	6,5	0,52	0,62	1,18	0,02	1,81
16	32x10x4	6,5	0,51	0,53	1,03	0,04	0,3
17	20x5x3	3,5	0,5	0,47	0,94	0,27	0,6
18	24x5x3	3,5	0,49	0,39	0,8	0,12	2,65
19	28x5x3	3,5	0,48	0,35	0,72	0,1	3,7
20	32x5x3	3,5	0,48	0,3	0,63	0,29	4,6
21	20x5x3	2,0	0,55	0,31	0,56	0,6	6
22	24x5x3	2,0	0,55	0,27	0,49	0,33	9
23	28x5x3	2,0	0,52	0,27	0,51	0,48	8,35
24	32x5x3	2,0	0,49	0,31	0,64	0,67	5,3

N en el centro

Figura 5

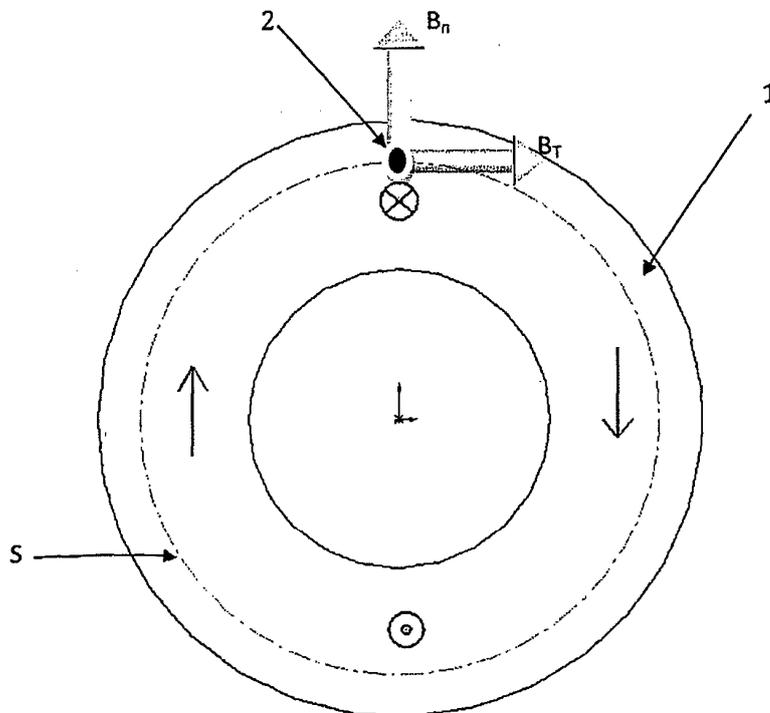


Figura 6a

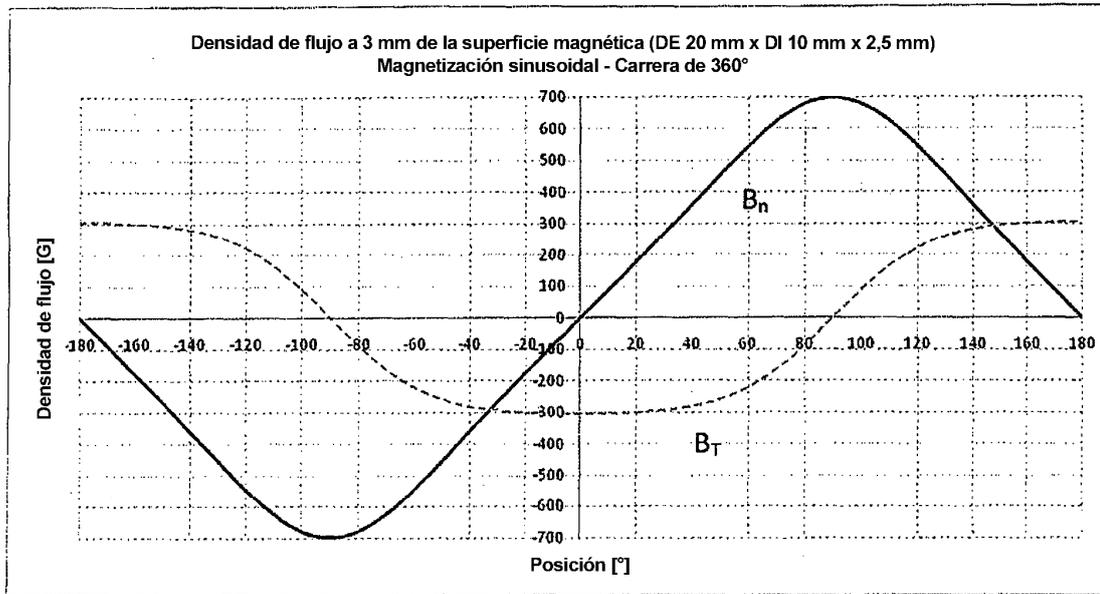


Figura 6b

Caso #	Dimensiones del imán DExDIxA [mm]	Espacio D [mm]	$k=b1/a1$	$G=\lambda k$	λ	No linealidad \pm [%] para G	No linealidad \pm [%] para k
25	20x10x2,5	3,0	0,44	0,67	1,53	0,41	3,62

Figura 6c

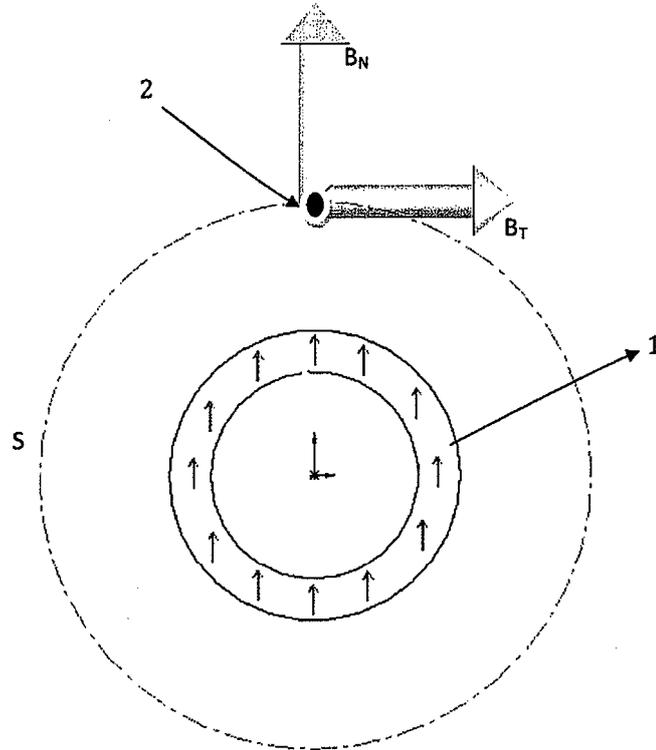


Figura 7a

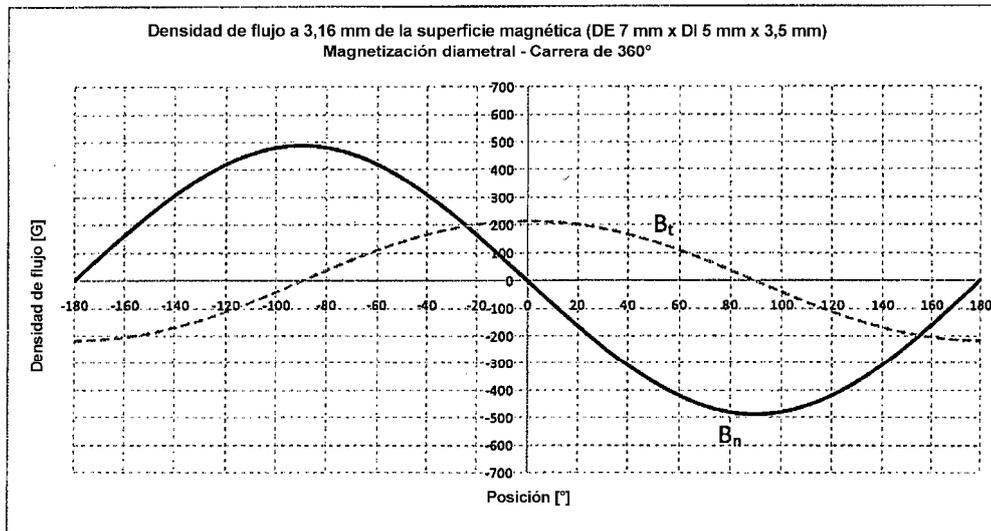


Figura 7b

Caso #	Dimensiones del imán DExDlxA [mm]	Espacio [mm]	$k=b1/a1$	$G=\lambda k$	λ	No linealidad \pm [%] para G	No linealidad \pm [%] para k
26	7x5x3,5	3,16	0,44	0,46	1,03	0,04	0,28

Figura 7c

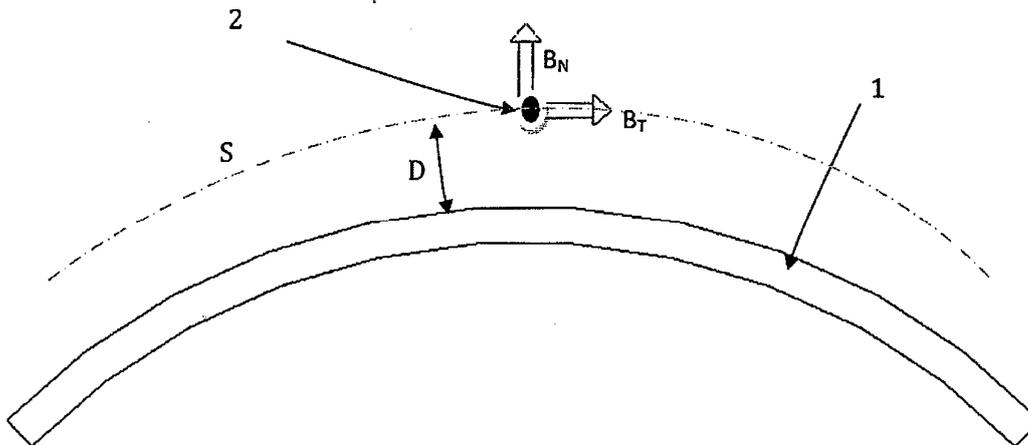


Figura 8a

	Caso #	Dimensiones del imán [mm]	Espacio D [mm]	$k=b1/a1$	$G=\lambda k$	λ	No linealidad \pm [%] para G	No linealidad \pm [%] para k
N en el centro		90°x10x2	2,2	0,48	0,36	0,76	1,0	4,0
		100°x10x2	2,2	0,44	0,41	0,92	0,65	1,51
		120°x10x2	2,2	0,55	0,50	0,92	0,39	0,9

Figura 8b

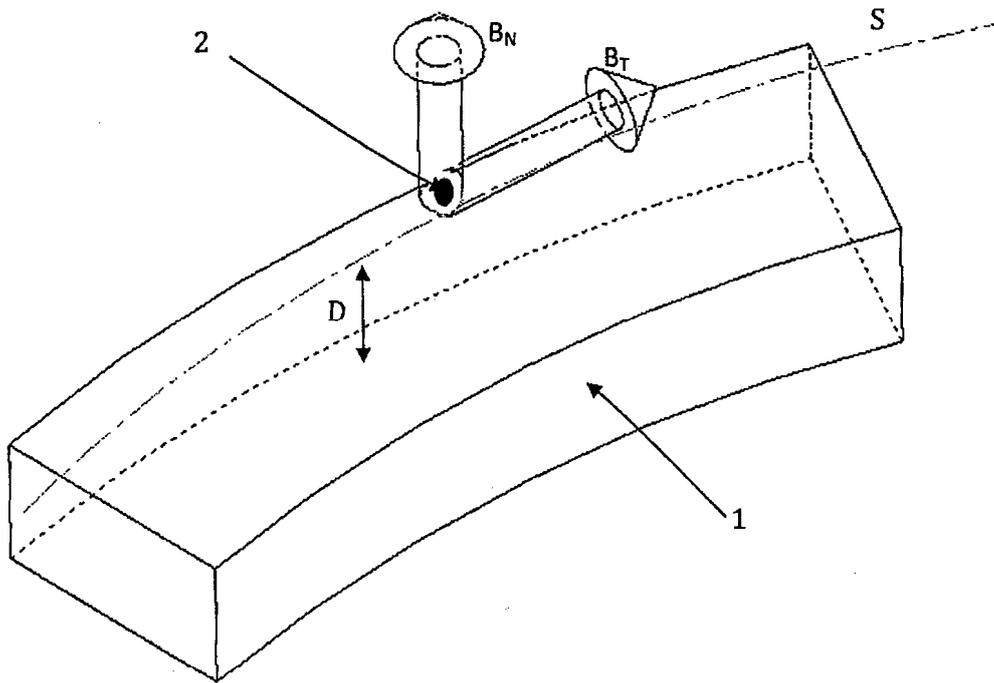


Figura 9a

	Caso #	Dimensiones del imán [mm]	Espacio D [mm]	$k=b1/a1$	$G=\lambda k$	λ	No linealidad \pm [%] para G	No linealidad \pm [%] para k
N en el centro		30°x5x3	2,2	0,53	0,43	0,81	0,14	2,53
		40°x5x3	2,2	0,52	0,33	0,63	0,13	5,3
		50°x5x3	2,2	0,45	0,29	0,65	0,45	3,7
		70°x5x3	2,2	0,71	0,73	1,03	0,04	0,24

Figura 9b

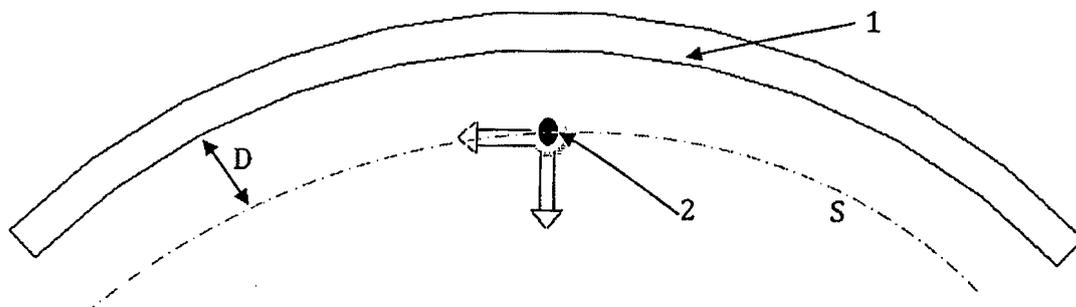


Figura 10

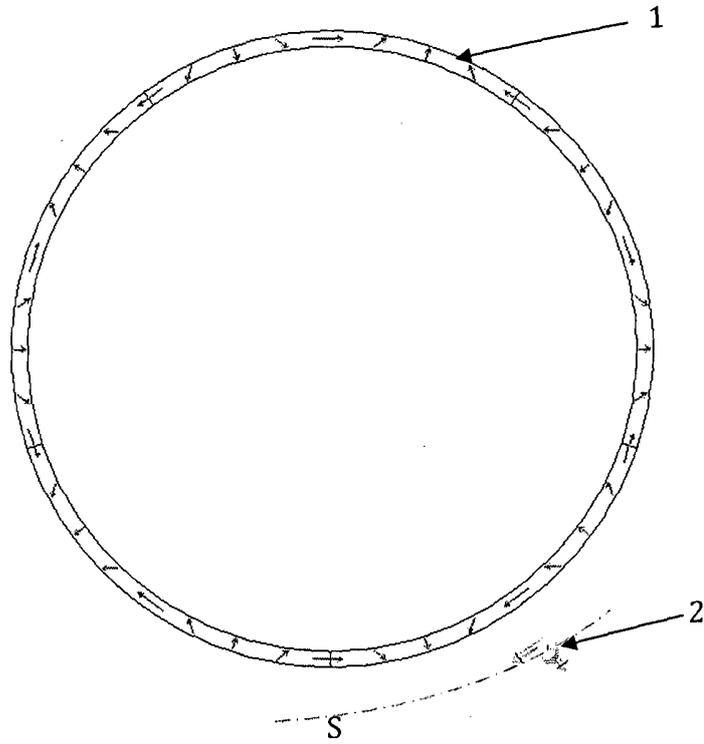


Figura 11

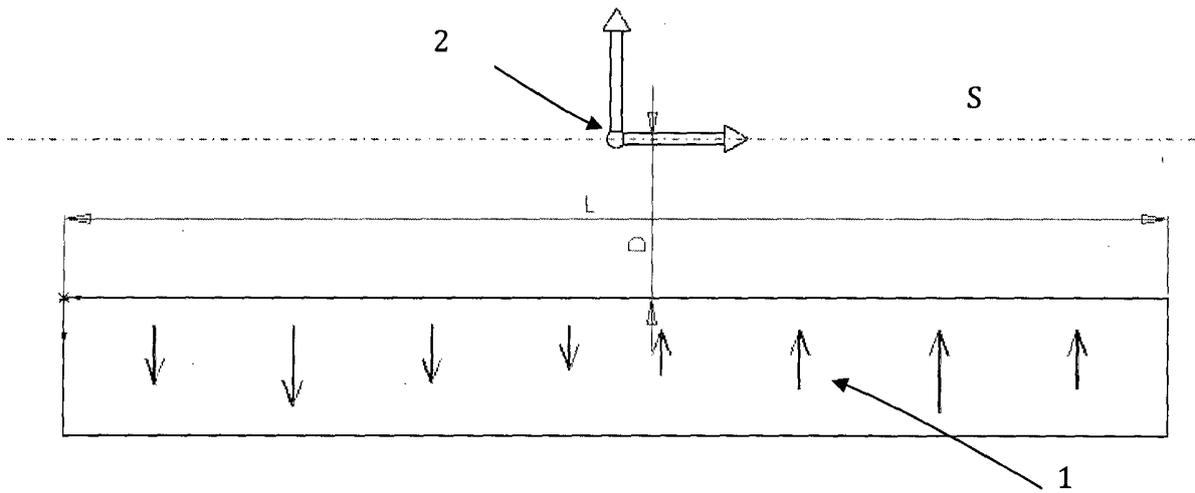


Figura 12