

Campo de la invención

- 10 La presente invención se relaciona con los electroimanes eficientes según la relación dada por el cociente de densidad de flujo magnético y el peso por la potencia entrada.

Descripción del estado de la técnica

- 15 La medición de propiedades magnéticas en materiales, por ejemplo, en materiales micro y nano estructurados como partículas micrométricas, materiales magnéticos blandos, películas delgadas mono y policristalinas, entre otros, definen su potencial de aplicación en múltiples tecnologías e industrias.
- 20 Así las cosas, la caracterización magnética de materiales tiene gran relevancia en diferentes campos de investigación, tanto en física como en aplicaciones tecnológicas. Para esta caracterización se requiere en muchas ocasiones de un circuito magnético dado por un electroimán dipolar tipo H que permita obtener una densidad de flujo magnético continuo y uniforme, en la región donde se colocan las muestras de material.
- 25 Además, para la caracterización magnética de materiales, se requieren densidades de flujo magnético intensas, y variables que permitan, por ejemplo, analizar curvas de histéresis de los materiales que se examinen.
- 30 En el estado de la técnica se encuentra el documento DE2433775A1, el cual divulga un electroimán que varía la densidad de flujo magnético a partir de la modificación de las áreas que se superponen entre el yoke y la armadura mientras se mantiene el espacio lleno de aire entre ellos constante. El documento divulga diferentes modalidades y efectos técnicos sobre la densidad de flujo magnético al colocar diferentes superficies entre el yoke
- 35 y la armadura mientras el espacio de aire entre ellos se mantiene constante.

5

Por otro lado, la empresa DEXING MAGNET TECH. CO. LTD., en su catálogo de productos en línea presentado en la página web <http://www.magnetic-instrument.com/magnetic-source-1.htm> (consultada el 13 de abril de 2016), divulga electroimanes y circuitos que pueden ser utilizados en muchos tipos de pruebas magnéticas.

10 Por ejemplo: medidas de propiedades magnéticas, magnetometría de muestra de vibrante, medidas de susceptibilidad magnética, medidas de efecto Hall, medidas de efectos magneto-ópticos, medidas de ciclos de histéresis y medidas de resonancia magnética nuclear, entre otras. En este catálogo se presenta por ejemplo la referencia DXSB-50 Dexing Magnet.

15

Además, la empresa LAKE SHORE CRYOTRONICS, INC., en su catálogo de productos en línea presentado en la página web (consultada el 13 de abril de 2016) <http://www.lakeshore.com/products/electromagnets/models/pages/overview.aspx>. En dicha página se divulgan electroimanes diseñados para aplicaciones que incluyen estudios magneto-ópticos, magnéticos, estudios de histéresis, estudios de efecto Hall, medidas de susceptibilidad magnética, resonancia magnética y estudios biológicos, y se presentan como ejemplos las referencias EM4-HVA Lake Shore y EM7-HVA Lake Shore.

20

La siguiente tabla presenta una comparación de los parámetros operacionales de algunos de los electroimanes mencionados en los catálogos de las empresas LAKE SHORE CRYOTRONICS, INC y DEXING MAGNET TECH. CO. LTD.

25

Parámetro	DXSB-50 Dexing Magnet	EM4-HVA Lake Shore	EM7-HVA Lake Shore
Dimensiones del yoke (mm) (c) altura- (l) longitud- (d) profundidad	No especificado	387-845-508	635-1016-660
Material de los polos	Hierro puro Terminaciones Fe-Co: opcionales	Acero bajo carbono	Acero bajo carbono
Configuración de las bobinas	No especificado	Serie	Paralelo

Parámetro	DXSB-50 Dexing Magnet	EM4-HVA Lake Shore	EM7-HVA Lake Shore
Resistencia de las bobinas (Ω)	3 Ω	0.5 Ω	0.5 Ω
Peso total (kg)	100 kg	227 kg	636 kg
Corriente necesaria para obtener una densidad de flujo magnético de 1 T en una distancia (a) de 10 mm	10 A	14 A	14 A
Potencia necesaria para obtener una densidad de flujo magnético de 1 T en una distancia (a) de 10 mm	300 W	98 W	98 W
Relación <i>densidad de flujo magnético/potencia de entrada</i>	3.33×10^{-3} T/W	10.2×10^{-3} T/W	10.2×10^{-3} T/W
Relación <i>densidad de flujo magnético/peso $\times$ potencia de entrada</i>	3.33×10^{-5} T/kg.W	4.49×10^{-5} T/kg.W	1.60×10^{-5} T/kg.W

5

Para el entendimiento de la presente invención las dimensiones (c) altura- (l) longitud- (d) profundidad serán tomadas sobre un marco paralelepípedo como por ejemplo el presentado en la FIG. 9a y FIG. 9b.

- 10 La relación de densidad de flujo magnético/peso $\times$ potencia entrada es el cociente entre la densidad de flujo magnético que se genera en la distancia (a) por cada vatio de potencia eléctrica que se aplica en 1 kg de material magnetizable. Es una figura de mérito muy representativa de la eficiencia de un electroimán, ya que involucra tres de sus magnitudes críticas: densidad de flujo magnético, la cual es variable de salida del electroimán, potencia
- 15 eléctrica consumida, la cual es una variable de entrada del electroimán, y peso del material que aporta al campo magnético, el cual es un parámetro de transferencia.

Es evidente la necesidad de un electroimán que permita generar una densidad de flujo magnético uniforme, homogénea y cuya relación estructural permita obtener una relación

20 de densidad de flujo magnético/peso $\times$ potencia de entrada mayor a las de los electroimanes reportados en estado de la técnica.

5 Breve descripción del invento

La presente invención corresponde a un electroimán dipolar tipo H que comprende:

- un yoke (1) paralelepípedo recto con las aristas interiores (2) redondeadas;
- dos dipolos (3) de acero separados una distancia (a), y acoplados al yoke (1);
- dos carretes (4) de un material no magnético y conductividad térmica superior a 209.3 W/m·K, operacionalmente dispuestos sobre los dipolos; y,
- dos bobinas de potencia (5) devanadas y operacionalmente dispuestas en los carretes (4).

En una modalidad de la invención, el yoke (1) es de acero con un contenido de carbono entre 0,08% – 0,4% y los extremos de cada dipolo (3) tienen una geometría cilíndrica con reducción de diámetro de 64 mm a 45 mm y chaflán (8) que forma un ángulo (B) entre 0° y 45°, preferiblemente 33°.

En otra modalidad de la invención las aristas exteriores (6) del yoke son redondeadas y los dipolos (3) están acoplados al yoke (1) mediante una rosca sin fin (7) que permite variar la distancia (a) entre los dipolos (3).

Breve descripción de las figuras

10

FIG.1 muestra una vista frontal del electroimán dipolar tipo H con las aristas internas del yoke redondeadas.

15

FIG. 2 muestra una vista isométrica del electroimán dipolar tipo H con las aristas internas del yoke redondeadas.

FIG. 3 muestra una vista isométrica del yoke del electroimán dipolar tipo H con las aristas internas del yoke redondeadas y los agujeros dispuestos para posicionar los dipolos.

5 FIG. 4 muestra una vista isométrica del yoke del electroimán dipolar tipo H con las aristas internas y externas del yoke redondeadas y dos detalles resaltando dichas aristas.

FIG. 5 muestra una vista lateral de uno de los dipolos del electroimán dipolar tipo H que posee una rosca para acoplarse a un yoke y un chaflán (8)

10

FIG. 6 muestra una vista frontal de uno de los dipolos del electroimán dipolar tipo H que posee una rosca para acoplarse a un yoke y un chaflán (8).

FIG. 7 muestra una vista isométrica de una de las bobinas de potencia del electroimán dipolar tipo H.

15

FIG. 8 muestra una vista en perspectiva del yoke del electroimán dipolar tipo H con aristas rectangulares y con sus respectivas dimensiones.

20 FIG. 9a muestra una vista en perspectiva del yoke del electroimán dipolar tipo H con sus aristas redondeadas y con sus respectivas dimensiones externas.

FIG. 9b muestra una vista en perspectiva del yoke del electroimán dipolar tipo H con sus aristas redondeadas y con sus respectivas dimensiones internas.

25

FIG. 10 muestra, a partir de la simulación magnetostática, la inconveniencia de las aristas rectas (9) para concentrar la densidad de flujo magnético en todo el volumen del yoke. Esto se evidencia por la mayor reluctancia magnética en las zonas contiguas a las aristas rectas, donde la densidad de líneas de flujo magnético es menor comparada con las demás regiones del circuito magnético.

30

FIG. 11 muestra las líneas de densidad de flujo magnético del electroimán dipolar tipo H y un sistema de coordenadas cuyo origen se encuentra en el centro (s) de la distancia (a), donde la sonda Hall se desplaza en el eje x .

35

5 FIG. 12a muestra la curva de caracterización de la densidad de flujo magnético vs. corriente del electroimán dipolar tipo H con un ángulo (B) en el chaflán (8) de 33°.

FIG. 12b muestra la curva de caracterización del electroimán dipolar tipo H, donde se resalta la zona lineal (11) entre la densidad de flujo magnético vs. corriente, con un
10 coeficiente de correlación entre el 99% y 100%.

FIG. 13 muestra el comportamiento de la densidad de flujo magnético axial en diferentes posiciones de la distancia (a) en función de la corriente aplicada a las bobinas.

15 FIG. 14 muestra el comportamiento de la densidad de flujo magnético axial en el centro (s) de la distancia (a) para diferentes longitudes de (a) en función de la corriente aplicada a las bobinas.

Descripción detallada de la invención

20

La presente invención corresponde a un electroimán dipolar tipo H, que por su estructura física mejora la relación densidad de flujo magnético/peso por potencia de entrada.

Haciendo referencia a la FIG. 1 un electroimán dipolar tipo H que comprende

- un yoke (1) paralelepípedo recto con las aristas interiores (2) redondeadas;
- dos dipolos (3) de acero separados entre sí una distancia (a), y acoplados al yoke (1);
- dos carretes (4) de un material no magnético y conductividad térmica superior a 209,3 W/m·K, operacionalmente dispuestos sobre los dipolos; y,
- dos bobinas de potencia (5) devanadas y operacionalmente dispuestas en los carretes (4).

En modalidades de la invención El material del yoke (1) se selecciona del grupo que consiste de aleaciones de Alnico, Vanadio-Permendur, Permalloy 45, Perminvar,

Conpernik, Hipernik, Stabocor y Cockerill Magnetil, acero al Wolframio, acero al Cromo, Acero estructural 1020, Acero A45 y combinaciones de las anteriores.

En una modalidad de la invención el yoke (1) es de acero, con un contenido de carbono entre 0.08% – 0.4% como por ejemplo el acero ASTM A36 HR (de sus siglas en ingles correspondientes a Hot Rolled).

Para el entendimiento de la presente invención las dimensiones (c) altura- (l) longitud- (d) profundidad serán tomadas sobre un marco paralelepípedo como por ejemplo los de la FIG.

9

En una modalidad de la invención el yoke (1) es un marco paralelepípedo recto de 197mm de (c) alto por 183mm de (l) longitud, 100mm de (d) profundidad y 29mm de (e) espesor, con dimensiones internas de 137mm de (m) alto por 125mm de (k) longitud y 100mm de (d) profundidad.

En una modalidad de la invención y haciendo referencia a la FIG. 4 las aristas exteriores (6) e interiores (2) del yoke (1) son redondeadas.

Haciendo referencia a la FIG. 1 y la FIG. 4, en una modalidad de la invención las aristas internas (2) del yoke (1) tienen un radio de curvatura (R) de entre 5mm y 25mm, preferiblemente 10 mm.

Haciendo referencia a la FIG. 5. los extremos de cada dipolo (3) tienen una geometría cilíndrica con reducción de diámetro y chaflán (8) que forma un ángulo (B).

Por ejemplo, el dipolo (3) tiene una geometría cilíndrica con reducción de diámetro entre 64 mm y 45 mm y un chaflán (8) que forma un ángulo (B) entre 0° y 45°. En una modalidad de la invención el ángulo (B) es de 33°, el valor de este ángulo se obtuvo a partir de una optimización estructural que permite maximizar la densidad de flujo magnético, en la distancia (a) entre los dipolos.

En una modalidad de la invención los dipolos (3) son de acero AISI / SAE 1018.

En una modalidad de la invención los dipolos (3) son de acero con un contenido de carbono de $0.15 \pm 0.05\%$.

Haciendo referencia a la FIG. 1, FIG. 5 y FIG. 6, cada dipolo (3) tienen una rosca sin fin (7). A través de las roscas sin fin (7), los dipolos (3) se acoplan al yoke (1). El anterior ensamble, permite variar la distancia (a) entre los dipolos (3). En una modalidad de la invención la distancia (a) está en un rango entre 0mm y 25mm, preferiblemente en un rango entre 0mm y 10mm.

Haciendo referencia a la FIG. 5 y FIG. 6, la rosca sin fin (7), proporciona un desplazamiento axial y seguridad al proporcionar un agarre de los dipolos (3) al yoke (1) en el momento de aplicar la densidad de flujo magnético. Esto es sumamente importante debido a la fuerza de atracción en la distancia (a) entre los dipolos.

En una modalidad de la invención (no ilustrada), el chaflán (8) es recto, en otra modalidad (no ilustrada) de la invención el chaflán (8) tiene perfil cónico.

Para la operación del electroimán en densidades de flujo magnético uniformes, se recomienda el uso de chaflán (8) recto y para densidades de flujo magnético intensas o puntuales, por ejemplo, mayores o iguales a 1T, es preferible usar chaflán (8) con perfil cónico, ya que concentran la densidad de flujo magnético debido a la reducción del ángulo (B) y a la reducción del diámetro de los dipolos (3).

Haciendo referencia a la FIG. 7, en una modalidad de la invención, las bobinas de potencia (5) tienen un acabado tipo devanado y no existe solapamiento de las espiras. Son bobinas de potencia (5) simétricas, con devanados homogéneos de espiras por capas.

En una modalidad de la invención las especificaciones eléctricas de las bobinas de potencia (5) son las presentadas en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor
Corriente máxima	11.5 A
Inductancia	11.87 mH
Resistencia a 22°C	3.150 Ω
Resistencia en serie a 22°C	6.3 Ω
Número de vueltas	610
Número de espiras por capa	38
Número de capas	16
Calibre del alambre (AWG)	(14) 1.490mm
Material aislante	Nomex (T-416) 0.18 mm
Potencia	140 W
Amperios Vuelta	7,015 Av
Peso	1,68 kg
Fuerza Atracción	656 kgF

En la misma modalidad de la invención, el aislamiento térmico de las bobinas se realizó con un compuesto formado por una película de poliéster adherido a dos láminas de aramida, conocida también como poliamida aromática. El proceso de compactación de las capas de las bobinas consistió en sumergir las bobinas en un baño de barniz que le confiere propiedades de sellado y posteriormente, se hornearon a 40°C por un lapso de 2 horas. El aislamiento primario consistió en envolver las bobinas con cinta de fibra de vidrio que, por su elasticidad, mejoran el factor de llenado de la bobina. Finalmente se arrollaron en tres capas de NOMEX clase F seca, debido a que es apto para temperaturas de trabajo que no superan los 150°C.

- 5 Para el ejemplo que se describe, se utilizó una fuente de corriente TOELLNER con rango de corriente directa de 0A a 25A y rango de voltaje de 0V a 80V.

5

Haciendo referencia a la FIG. 8, se presenta un cálculo de reluctancia $\mathfrak{R}$ de un yoke con aristas rectas (que no es objeto de la invención), donde μ es la permeabilidad magnética del yoke. En la ecuación [1] A es el área de sección transversal del yoke, (b) es la longitud del yoke, (c) es la altura del yoke, (e) es el espesor del yoke. En una modalidad particular de la invención, los parámetros toman los siguientes valores (b) igual a 183 mm, (c) igual a 197 mm, (e) igual a 29 mm, con los que se obtiene,

$$\mathfrak{R}_{recto} = \frac{\text{Perímetro circuito magnético}}{\mu A} = \frac{2(b + c - 2e)}{\mu A} = \frac{644 \text{ mm}}{\mu A} \quad [1]$$

Haciendo referencia a la FIG. 9a, y FIG. 9b se presenta un cálculo de reluctancia $\mathfrak{R}$ de un yoke con aristas redondeadas, según la ecuación [2], donde r el radio de curvatura del yoke, g es la longitud de la porción vertical recta interna y f es la longitud de la porción horizontal recta interna y los parámetros toman los siguientes valores r igual a 24.5 mm, g igual a 106 mm y f igual a 123 mm, con lo que se obtiene,

$$\mathfrak{R}_{curvo} = \frac{P_{curvo}}{\mu A} = \frac{2(g + f + \pi \times r)}{\mu A} = \frac{612 \text{ mm}}{\mu A} \quad [2]$$

20

De las ecuaciones [1] y [2] con los valores de los parámetros mencionados anteriormente, se aprecia una reducción porcentual de reluctancia con aristas redondeadas del 5%, como se muestra en la ecuación [3].

$$\Delta \mathfrak{R} \% = \frac{\mathfrak{R}_{recto} - \mathfrak{R}_{curvo}}{\mathfrak{R}_{recto}} \times 100\% = 5\% \quad [3]$$

25

La implementación de aristas redondeadas en el yoke se sustenta en el teorema de la divergencia de Gauss, el cual establece que las líneas de densidad de flujo magnético en cualquier geometría, además de ser cerradas, siguen una trayectoria curvilínea y suave a través del camino de menor reluctancia.

30

- 5 Lo anterior implica que las líneas de densidad de flujo magnético se apartarán de las aristas rectas por la mayor densidad de momento magnético que se acumula en el área confinada de una arista recta, buscando formar circuitos curvos con menor densidad de flujo magnético dispersivo.
- 10 Haciendo referencia a la FIG. 10, se presenta el resultado de la densidad de flujo magnético del electroimán dipolar tipo H. Este electroimán dipolar tipo H se obtiene a partir de una simulación magnetostática por el método de elementos finitos del circuito magnético. En este método, la diferencia de tonalidades da cuenta del gradiente de la densidad del flujo magnético en las diferentes regiones del circuito magnético. En estos resultados se observa
- 15 una menor densidad de líneas de flujo magnético en las zonas contiguas (9) a las aristas rectas internas y externas, lo que apoya la implementación de aristas redondeadas. La mayor reluctancia magnética que presentan las aristas rectas disminuye la fuerza magnetomotriz en el circuito magnético, que es proporcional a la corriente inyectada a las bobinas de potencia.
- 20 Por otro lado, la simulación magnetostática permite evidenciar una gran concentración de la densidad de flujo magnético en la distancia (a) entre los dipolos (3), debido al chaflán (8) y al ángulo (B) de 33° .

Ejemplo de realización:

25

El yoke es de acero ASTM A36 en lámina HR (en inglés Hot Rolled); adicionalmente, el yoke (1) es un marco paralelepípedo recto de 197mm de (c) alto por 183mm de (l) longitud y 100mm de (d) profundidad y 29mm de (e) espesor, con dimensiones internas de 137mm de (m) alto por 125mm de (k) longitud y 100mm de (d) profundidad.

Los dipolos son de acero con un contenido de carbono de $0.15 \pm 0.05\%$ con una geometría cilíndrica con reducción de diámetro de 64 mm a 45 mm y un chaflán (8) que forma un ángulo (B) de 33° .

Las bobinas de potencia son las presentadas en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor
Corriente máxima	11.5 A
Inductancia	11.87 mH
Resistencia a 22°C	3.150 Ω
Resistencia en serie a 22°C	6.3 Ω
Número de vueltas	610
Número de espiras por capa	38
Número de capas	16
Calibre del alambre (AWG)	(14) 1.490mm
Material aislante	Nomex (T-416) 0.18 mm
Potencia	140 W
Amperios Vuelta	7,015 Av
Peso	1,68 kg
Fuerza Atracción	656 kgF

5

Así en un ejemplo de la invención se logra:

Parámetro	Invención.
Dimensiones del yoke (mm) (c) altura- (l) longitud- (d) profundidad	197-183-100
Material de los polos	Acero bajo carbono
Configuración de las bobinas	Serie
Resistencia de las bobinas	6.2 Ω
Peso total	21,5kg
Corriente necesaria para obtener una densidad de flujo magnético de 1T en una distancia (a) de 10mm	5,2A
Potencia necesaria para obtener una densidad de flujo magnético de 1T en una distancia (a) de 10mm	168W
Relación densidad de flujo magnético/potencia de entrada	5.,95x10 ⁻³ T/W
Relación densidad de flujo magnético/peso por potencia de entrada	2.77 x10 ⁻⁴ T/kg.W

- 5 Se logra un campo de hasta 1T, en la distancia (a), donde si se analiza de forma bidimensional sería de una sección transversal cuadrada de 400mm^2 y una longitud de 10mm, y con una relación de densidad de flujo magnético/peso por potencia de entrada mayor a $4,49 \times 10^{-5} \text{ T/(kg.W)}$.
- 10 La relación densidad de flujo magnético dividida entre el peso por la potencia entrada da cuenta de la densidad de flujo magnético que se genera en la distancia (a) por cada vatio de potencia eléctrica que se aplica en 1kg de material magnetizable. Es un parámetro muy representativo de la eficiencia del electroimán, ya que involucra tres de sus magnitudes críticas: densidad de flujo magnético (variable de salida), potencia eléctrica consumida
- 15 (variable de entrada) y peso del material magnetizable (parámetro de transferencia).

Una comparación de este parámetro con el estado de la técnica se encuentra en la siguiente tabla.

Parámetro	Modalidad de la invención (ejemplo)	DXSB-50 Dexing Magnet	EM4-HVA Lake Shore	EM7-HVA Lake Shore
Relación <i>densidad de flujo magnético/peso $\times$ potencia de entrada</i>	$2,77 \times 10^{-4} \text{ T/kg.W}$	$3,33 \times 10^{-5} \text{ T/kg.W}$	$4,49 \times 10^{-5} \text{ T/kg.W}$	$1,60 \times 10^{-5} \text{ T/kg.W}$

20

- Haciendo referencia a la FIG. 11, las líneas de densidad de flujo magnético del electroimán dipolar tipo H y un sistema de coordenadas cuyo origen se encuentra en el centro (s) de la distancia (a), donde la sonda Hall se desplaza en el eje x desde el extremo izquierdo hasta el extremo derecho. Para las medidas de densidad de flujo magnético vs. corriente se
- 25 mantuvo fija la sonda de efecto Hall en el centro (s) de la distancia (a) y se varió la corriente aplicada a las bobinas de potencia (5). Para evaluar la homogeneidad de la densidad de flujo magnético en la distancia (a), se mantuvo fija esta distancia y se ubicó la sonda de efecto Hall en diferentes puntos a lo largo del eje x barriendo desde el extremo izquierdo hasta el extremo derecho, para diferentes valores de corriente aplicadas a las

5 bobinas de potencia (5). Para evaluar la densidad de flujo magnético en función de la distancia (a), se mantuvo la sonda de efecto Hall en el centro (s) de la distancia (a) y se varió esta distancia y la corriente aplicada a las bobinas de potencia (5).

Haciendo referencia a la FIG. 12^a, se presenta la curva de caracterización de la densidad de
10 flujo magnético vs. corriente del electroimán dipolar tipo H con un ángulo (B) de chaflán (8) exteriores de 33°, donde se observa que la distancia (a) de 10mm y una corriente de 5,2A aplicado a las bobinas de potencia (5) se obtiene una densidad de flujo magnético de 1T. También se puede observar que con una corriente de 11A se logra una densidad de flujo magnético de 1,6T sin saturar totalmente los dipolos (3).

15 Haciendo referencia a la FIG. 12b, se resalta la zona lineal (11) de la curva de densidad de flujo magnético vs. corriente aplicada a las bobinas de potencia (5). Esta curva presenta, en un intervalo de corrientes entre -6A y 6A, un coeficiente de correlación lineal entre 99% y 100% y ausencia de efectos de histéresis, evidenciados por la total reversibilidad de la
20 curva para secuencias de incrementos y decrementos de la corriente aplicada a las bobinas de potencia en todo el rango de caracterización.

Haciendo referencia a la FIG. 13, se presenta la homogeneidad en la densidad de flujo magnético axial en diferentes posiciones en la distancia (a) para diferentes valores de
25 corriente aplicadas a las bobinas de potencia (5). Se observa una densidad de flujo magnético de 1T para una corriente de 6A en una distancia (a) de 10mm y una densidad de flujo magnético de 0,8T para una corriente de 4A en una distancia (a) de 10mm.

Haciendo referencia a la FIG. 14, se muestra el comportamiento de la densidad de flujo
30 magnético axial para diferentes distancias de (a), manteniendo la sonda de efecto Hall en el centro (s) de la distancia (a) en función de la corriente aplicada a las bobinas de potencia (5). Se observa el incremento en la densidad de flujo magnético conforme disminuye la distancia (a) y el aumento en la densidad de flujo magnético al incrementar los valores de corriente aplicada a las bobinas de potencia (5). Para una distancia (a) de 5mm y una
35 corriente de 11A se obtiene una densidad de flujo magnético de 1,8T. Para una distancia

- 5 (a) de 10mm y una corriente de 11A se obtiene una densidad de flujo magnético de 1,6T.
Para una distancia (a) de 10mm y una corriente de 11A se obtiene una densidad de flujo magnético de 1,2T.