

## Nota de Aplicación NAS02-e

## Homogeneidad de campo en bobinas de Helmholtz

¿Qué forma tiene el campo magnético generado por un par de bobinas de Helmholtz? ¿Cómo se define su homogeneidad? Preguntas como estas se nos presentan a muchos de los que trabajamos con estos dispositivos. A continuación intentaremos aclarar este tema.

### Definición

La homogeneidad del campo generado se suele definir según la siguiente fórmula, definición que seguimos en Serviciencia:

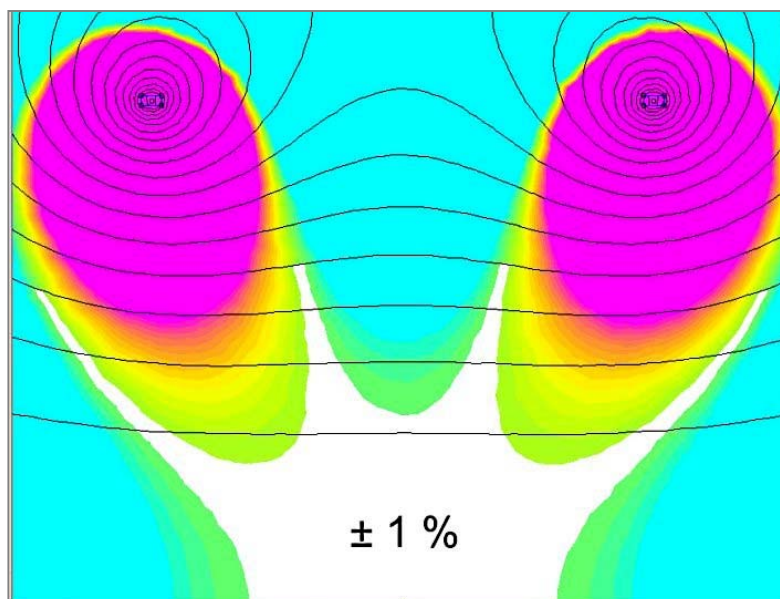
$$\text{Homogeneidad [por ciento]} = \frac{(B_0 - B_i)}{B_i} \cdot 100 \quad \text{Fórmula 1}$$

Donde  $B_0$  es la intensidad del campo magnético en el centro de las bobinas y  $B_i$  es la intensidad del campo en cualquier otro punto dentro del volumen en el cual se define la homogeneidad. La homogeneidad se indica como una diferencia por ciento (%) respecto al campo central.

### Representación visual del campo

A modo de ejemplo vamos a ver el volumen dentro de un par de Helmholtz en el que la homogeneidad es de  $\pm 1\%$  según la Fórmula 1.

Una forma relativamente sencilla de hacer esto es realizar una simulación por computadora del campo generado. En este caso hemos utilizado el programa *FEMM 4.2* creado por David Meeker, que calcula el valor del campo por Elementos Finitos en 2D, para simular gráficamente el campo generado por las bobinas del eje *X* de un conjunto *Ferronato BH1300-2B-A*. Estas bobinas tienen un diámetro nominal de 1.300 mm.



**Fig. 1:** Simulación del campo en 2D con *FEMM 4.2*. La zona blanca indica una homogeneidad de  $\pm 1\%$ .

La Fig. 1 representa la mitad del plano, siendo la otra mitad simétrica a esta. Se ha resaltado en blanco la zona principal con homogeneidad de  $\pm 1\%$  según la Fórmula 1. Los extremos más finos de la zona se han recortado para simplificar.

Haciendo una transformación por revolución de la zona blanca, mediante algunas manipulaciones gráficas, podemos obtener una imagen del volumen con una homogeneidad de  $\pm 1\%$ , tal como se muestra en la Fig. 2.

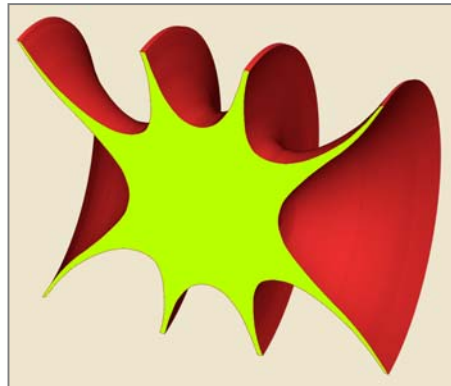


Fig. 2: Volumen con homogeneidad de  $\pm 1\%$ , cortado por la mitad (corte en verde).

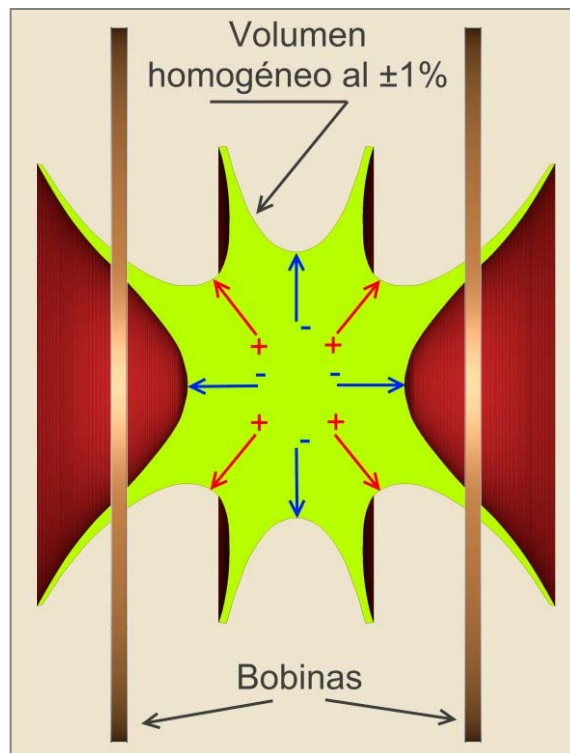


Fig. 3: Volumen al  $\pm 1\%$  con las bobinas que lo generan. Las flechas indican la variación del campo.

Las flechas azules en la Fig. 3 indican las direcciones en que el campo disminuye a partir del centro, mientras que las rojas indican las direcciones hacia donde el campo aumenta, en el plano del corte.

El volumen para una homogeneidad de  $\pm 5\%$ , por ejemplo, será lógicamente mayor que para una de  $\pm 1\%$ , sin embargo su forma general será parecida a la que se muestra.

### **Comprobación mediante mediciones**

Para confirmar que el volumen obtenido mediante la simulación con *FEMM 4.2* se ajusta a la realidad hemos realizado una serie de mediciones del campo generado por el mismo par de bobinas. Se utilizó una corriente constante de 2,00 A cc, para generar un campo estático de 400  $\mu\text{T}$  (4 Gauss). Las mediciones se realizaron con una sonda *Bartington Mag03MC-1000* (fluxgate, tres ejes) y un convertidor A/D de alta resolución *Pico ADC24* conectado a una computadora. La resolución del sistema de medición es inferior a 1 nT.

Las mediciones se realizaron sobre una cuadrícula en el espacio (3D), cada 50 mm, añadiéndose algunos puntos de medición intercalados en los límites del volumen con homogeneidad de  $\pm 1\%$  indicado por *FEMM 4.2*. La bobinas se orientaron para minimizar la componente del campo terrestre en el eje X.



Fig. 4: Vista general del sistema de medición.



Fig. 5: Soporte con escalas XYZ para la sonda.

Las mediciones confirmaron la exactitud de la representación mediante *FEMM 4.2*, con una incertidumbre de unos pocos milímetros para los límites del volumen con homogeneidad de  $\pm 1\%$ .

### Especificación de la homogeneidad en la práctica

Sin embargo, para especificar el volumen en el que el campo de unas bobinas de Helmholtz tiene un cierto grado de homogeneidad, el volumen mostrado en Fig. 1 y 2 tiene una forma demasiado complicada. En la práctica se consideran volúmenes de forma cilíndrica o esférica para especificar la homogeneidad del campo, para lo cual hay que conocer el cilindro, o esfera, del mayor tamaño posible que se pueda inscribir dentro del volumen con la homogeneidad especificada.

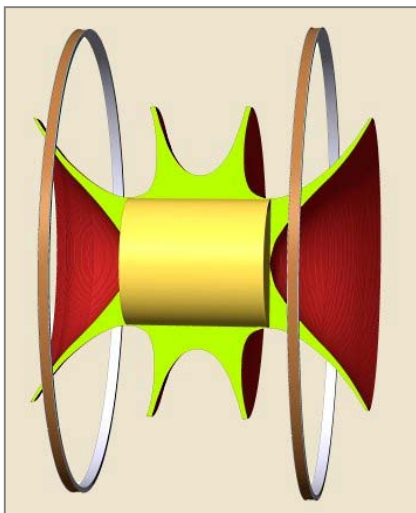


Fig. 6: Cilindro máximo inscrito.

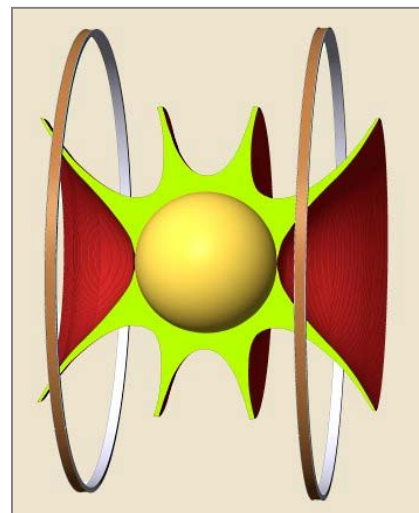


Fig. 7: Esfera máxima inscrita.

En las Fig. 6 y 7 se muestran el cilindro y la esfera con el tamaño máximo que se pueden inscribir en el volumen al  $\pm 1\%$ . Se observa que en ambos casos, sobre el plano central paralelo a las bobinas y alrededor de él, el volumen con la homogeneidad indicada es sustancialmente mayor que el volumen simple inscrito.

Para un par de bobinas determinado el cilindro tiene un volumen aproximadamente un 8,5% mayor que la esfera, por lo que aquél parecería ser mas conveniente que esta para especificar la homogeneidad del campo. Sin embargo la esfera es atractiva debido a su simetría respecto a cualquier eje, aunque se desperdicie volumen en la especificación del campo. En la práctica ambos volúmenes pueden ser utilizados.

En el caso de un conjunto de dos o tres pares de bobinas ortogonales entre si, el cilindro deja de ser útil y lo mas adecuado es utilizar un volumen esférico para la especificación de la homogeneidad, válido para todos los ejes. La esfera para esto será la mayor que se pueda inscribir en la zona de cierta homogeneidad correspondiente al par de bobinas de menor diámetro del conjunto.

Los valores de homogeneidad especificados mas frecuentemente son los de  $\pm 1\%$  y  $\pm 5\%$ , que son suficientes para la gran mayoría de casos. Sin embargo a veces también se pueden especificar los de  $\pm 0,1\%$ ,  $\pm 0,5\%$  o  $\pm 10\%$  (u otros), especialmente cuando alguna aplicación en concreto lo demanda.

Por todo lo dicho, la especificación de la homogeneidad de un juego de bobinas estándar fabricado y suministrado por *Serviciencia* será algo similar a lo siguiente:

*Diferencias menores que  $\pm 1\%$  con respecto al centro en un volumen esférico de 280 mm de diámetro centrado en las bobinas. Diferencias menores que  $\pm 5\%$  con respecto al centro en un volumen esférico de 540 mm de diámetro. Estos volúmenes al  $\pm 1\%$  y  $\pm 5\%$  son mayores en algunas direcciones.*

### **Palabras finales**

Nuestro deseo es que este trabajo sea de alguna ayuda para los usuarios de bobinas de Helmholtz. Sus comentarios o consultas al respecto serán bienvenidos.

-----  
Alberto R. Marino  
Serviciencia, S. L.  
www.serviciencia.es

Revisado: 24-oct-08  
-----