

# El efecto de formas de aluminio en el campo de bobinas de Helmholtz

## Motivación

Nuestro uso estándar de perfiles "U" de aleación de aluminio como formas para nuestros conjuntos de bobinas de Helmholtz *Ferronato\**, ha levantado algunas veces sospechas sobre que las formas perjudiquen al campo magnético. Aquí tratamos de demostrar que tal preocupación puede ser abandonada.

## Susceptibilidad magnética de los materiales relacionados

Susceptibilidad en volumen. Valores en SI (sin unidad).

- Cobre "Oxygen Free" (C10100):  $\approx -1 \times 10^{-5}$  (diamagnético). Para aplicaciones especiales.
- Cobre "ETP" (C11000):  $\approx +3 \times 10^{-5}$  (paramagnético). Utilizado en conductores eléctricos, como en los bobinados de nuestros conjuntos.
- Aluminio puro:  $\approx +2 \times 10^{-5}$  (paramagnético).
- Aluminio 6061, normalmente utilizado en nuestras formas:  $\approx +2 \times 10^{-5}$  (paramagnético).
- Hierro puro:  $\approx +2 \times 10^5$  (ferromagnético).
- Aire:  $+3.6 \times 10^{-7}$ .

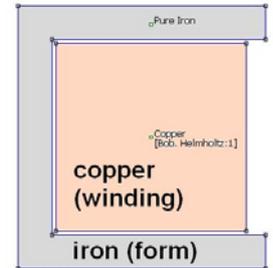


Fig. 1: Cobre + forma.

## Simulaciones por FEMM 4

El propósito es comparar los resultados con dos materiales muy distintos magnéticamente, cobre y hierro, con una altísima razón de  $10^{10}$  (!) entre susceptibilidades, con el fin de extraer conclusiones para el caso cobre/aluminio de nuestro interés. La sección del bobinado y de la forma se ven en Fig. 1. La sección del cobre es de 10x10 mm, mientras que el perfil es de 14x13x1,8 mm, geometría muy similar a las bobinas *Ferronato\** BH300 y BH600. El cobre está aislado de la forma.

En la Fig. 2 se ve el campo de las vueltas de cobre, mientras que la Fig. 3 incluye la forma de hierro. Cada imagen muestra la mitad del plano central del par de Helmholtz. El eje magnético (z) es vertical. La zona blanca en el centro muestra el volumen con homogeneidad dentro  $\pm 0,5$  y  $\pm 1$  % respectivamente.

Las bobinas, de una sola vuelta, tienen un diámetro medio de 300 mm. La corriente es de 1 Acc en ambos casos.

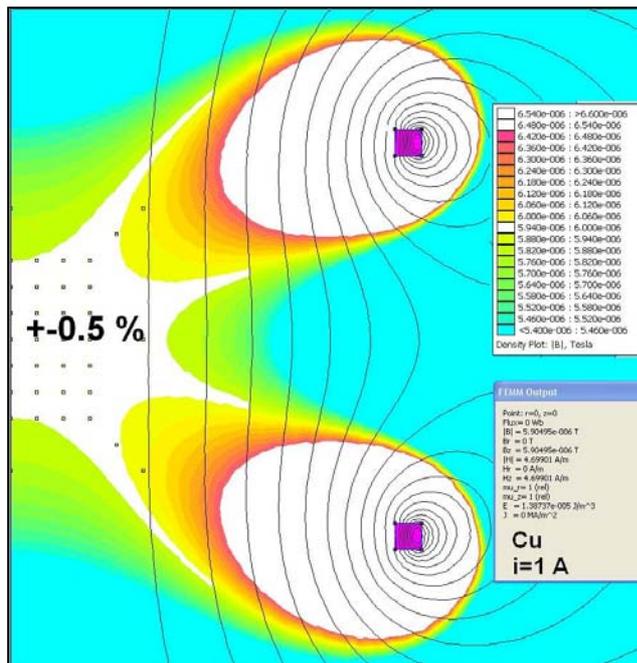


Fig. 2: Bobinas de cobre sin formas

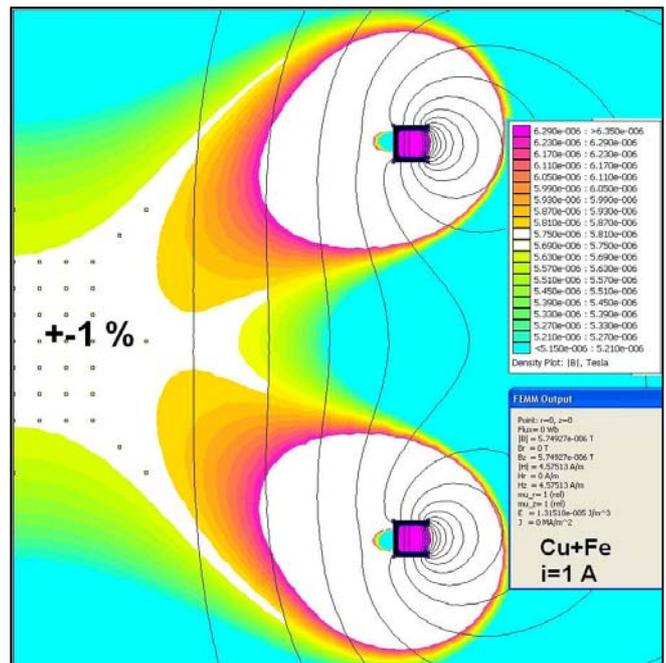


Fig. 3: Con formas de hierro.

## Conclusiones

- Las formas de hierro tienen un efecto pequeño en la intensidad de campo en el centro:  $5,91 \times 10^{-6}$  T en Fig. 1 contra  $5,75 \times 10^{-6}$  T en Fig. 2. El campo es un poco mas bajo con las formas de hierro.
- Las formas de hierro empeoran la homogeneidad de campo en el centro en aproximadamente un 50%. El volumen dentro  $\pm 0,5\%$  con solo cobre lo sería dentro de aproximadamente  $\pm 0,75\%$  con las formas de hierro.
- Se puede admitir que las formas de aluminio utilizadas en nuestras bobinas, con susceptibilidad muy similar a la del cobre, no tienen efecto perceptible sobre el campo generado, aún para los experimentos mas exigentes.

## Nota sobre operación en corriente alterna (ca)

Con una abertura en su perímetro, nuestras formas están libres de corrientes de Foucault, no presentando así problemas en ca.

(\*) "*Ferronato*" es Marca Registrada en España de Serviciencia S.L.U.

Preguntas y comentarios a: Alberto Marino - email: marino@serviciencia.es

Primero: 17-Nov-2021 / Actualizado: 22-Nov-2021