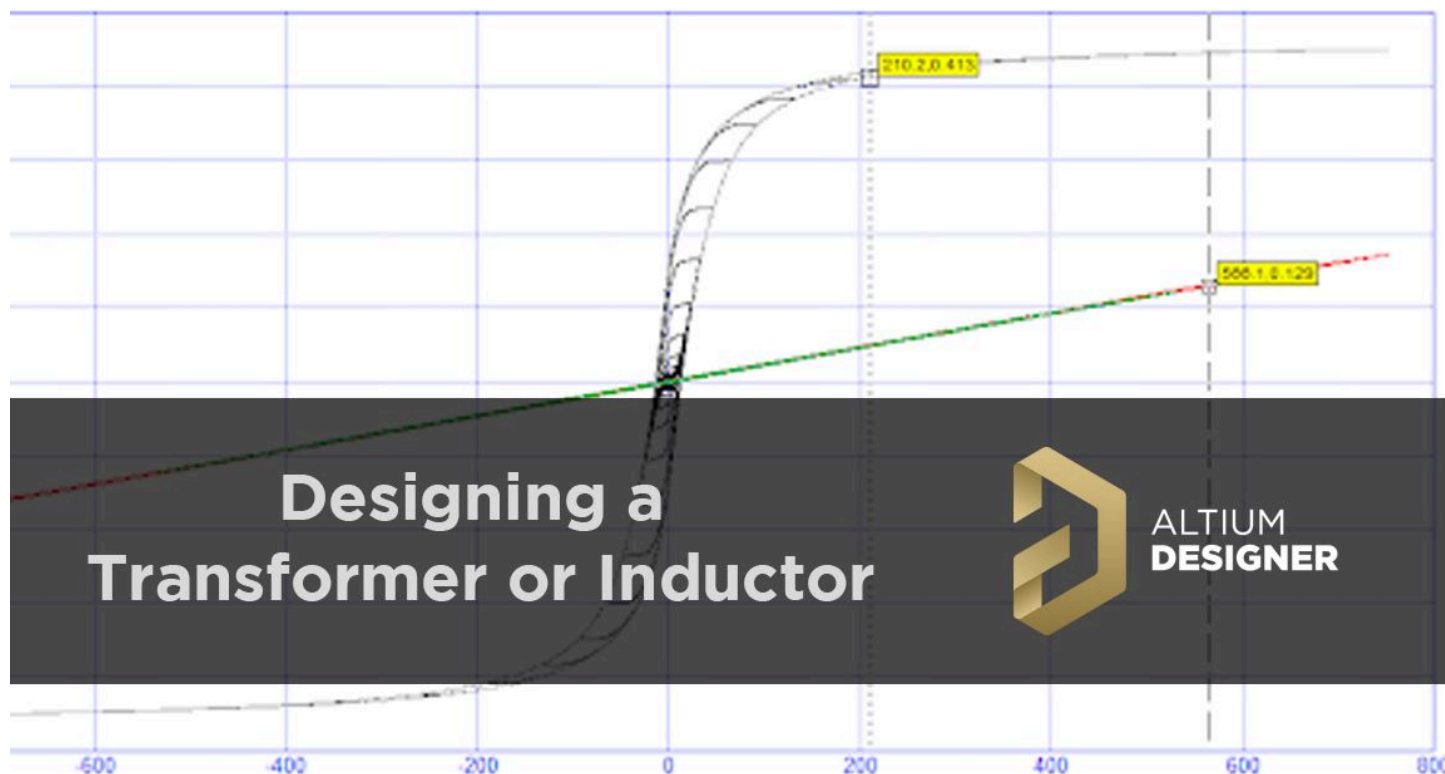


# Selección del núcleo de ferrita y decisiones de diseño



Mark Harris | Creado: Octubre 29, 2021 | Actualizado: Octubre 15, 2023



En este artículo, te acompañaré por la guía de selección de núcleos de ferrita estándar y el proceso de diseño utilizado en aplicaciones como un convertidor de CC a CC o un inductor de filtro de potencia. El proceso implica una secuencia de pasos que requieren del uso de varias fichas técnicas y, en caso de que sea necesario que el diseño del inductor de núcleo de ferrita incluya una separación, de cierto grado de iteración. Las etapas de selección de núcleos de ferrita son las siguientes:

<b>Etapas 1</b>	<b>Etapas 2</b>	<b>Etapas 3</b>	<b>Etapas 4</b>	<b>Etapas 5</b>	<b>Etapas 6</b>	<b>Etapas 7</b>
Seleccionar el tamaño del núcleo de ferrita	Estudiar los materiales de ferrita	Elegir el material de ferrita	Calcular el número de vueltas	Calcular la corriente necesaria	Calcular la densidad de flujo	Determinar si se necesita dejar un espacio

Antes de continuar, debe tenerse en cuenta lo que implica el decidir utilizar núcleos de ferrita en lugar de cualquier otro material. Asegúrate de que este sea el mejor material de ferrita para tu aplicación antes de seguir adelante. La siguiente tabla desglosa las ventajas y desventajas de utilizar un inductor de núcleo de ferrita:

Ventajas de usar un inductor de núcleo de ferrita	Desventajas de los inductores de núcleo de ferrita
<ul style="list-style-type: none"> <li>El campo magnético se amplía y podemos hacer un inductor de núcleo de ferrita con menos vueltas, lo que reduce las pérdidas de cobre.</li> <li>El campo magnético está restringido al núcleo de ferrita, lo que reduce las interferencias con componentes y circuitos cercanos.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>La saturación del núcleo puede resultar un problema. Una densidad del flujo magnético de 400 mT causa pérdidas de saturación.</li> <li>La frecuencia de funcionamiento superior queda limitada debido a otras pérdidas del núcleo (la corriente de Foucault).</li> <li>La desviación de temperatura provoca cambios en la inductancia y puede alterar el rendimiento de un filtro ajustado.</li> </ol>

## Fijar el tamaño del núcleo de ferrita (etapa 1)

### Unparalleled Schematic Capture

Easily design schematics of any complexity.

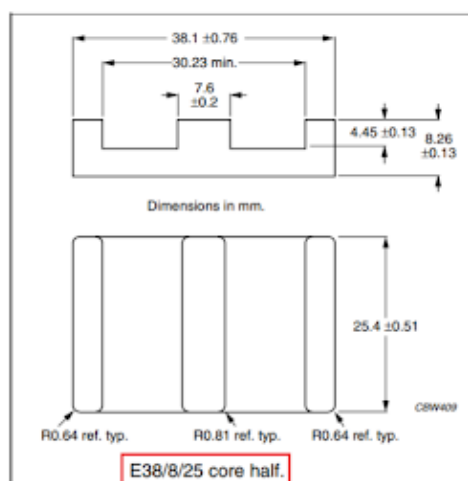
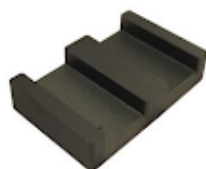
[Learn More](#)

El diseño que utilizamos como base de este artículo apunta a una inductancia de alrededor de 1 mH, y el material de ferrita que consideraremos será uno de tipo plano creado por FerroxCube. El número de componente es E38/8/25 y se necesitan dos mitades para crear un conjunto de núcleo de ferrita completo:

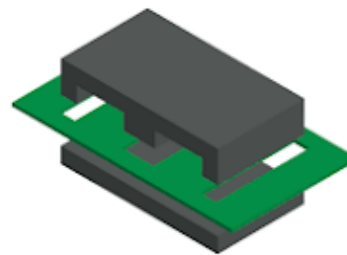
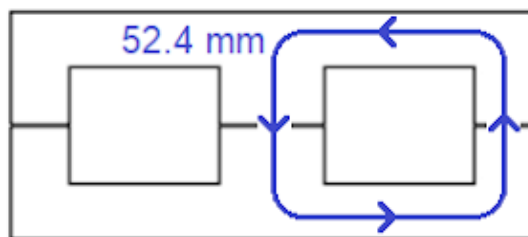
Effective core parameters of a **set of E cores**

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$\Sigma(l/A)$	core factor (C1)	0.272	mm <sup>-1</sup>
$V_e$	effective volume	10200	mm <sup>3</sup>
$l_e$	effective length	52.4	mm
$A_e$	effective area	194	mm <sup>2</sup>
$A_{min}$	minimum area	194	mm <sup>2</sup>
$m$	mass of core half	≈ 25	g

One half of a core set



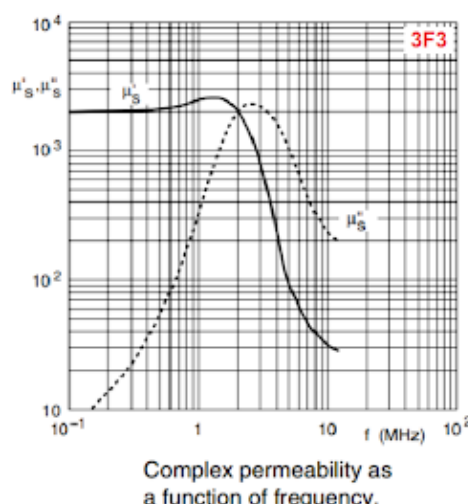
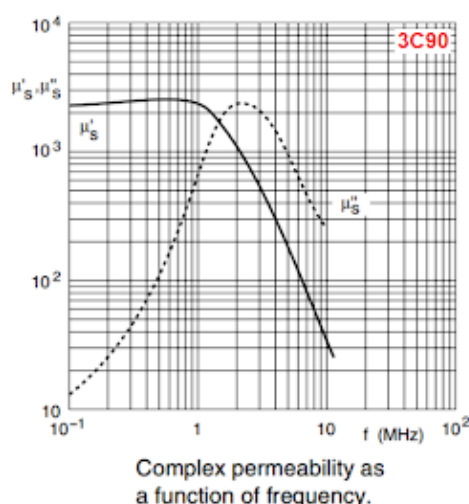
En el recuadro rojo se resalta la longitud efectiva del núcleo ( $l_e$ ); se trata de un valor importante para calcular la densidad de flujo máxima. Es la distancia media de recorrido del flujo magnético cuando se juntan las dos mitades del núcleo de ferrita. Se indica con la línea azul en el siguiente gráfico:



A la derecha se muestra cómo se construirá el conjunto del núcleo de ferrita y la PCB: las pistas de cobre de la PCB formarán el enrollado de la bobina, y es posible que tengamos que apilar varias PCB pequeñas para conseguir el número de vueltas adecuado. Otro objetivo de este diseño de PCB es mantener la altura general del perfil lo más baja posible. Por lo tanto, nos proponemos crear un conjunto de núcleo de ferrita plano.

## Estudiar y elegir el material de ferrita (etapas 2 y 3)

El núcleo E38/8/25 se puede comprar en varios materiales de ferrita diferentes. Los tipos de materiales comunes son el 3C90 y el 3F3. Lo próximo que hay que hacer es examinar estos dos tipos de material de ferrita para ver si se prefiere uno u otro. Primero se ha de comparar la respuesta de frecuencia, es decir, cuán alta es la frecuencia a la que se adecúa el material de ferrita:



Las líneas continuas muestran la permeabilidad magnética del material (el punto "más cómodo" de la ferrita). A 100 kHz, ambos tienen un valor de alrededor de 2000. Esto nos indica lo muy superiores, en comparación con el aire frío, que resultan el (a) concentrar el flujo magnético y (b) restringirlo. Ambos son 2000 veces mejores que el aire, y eso es importante. Pero no hay una gran diferencia entre los dos a 100 kHz, y ambos tienen un rendimiento razonable hasta 1 MHz.

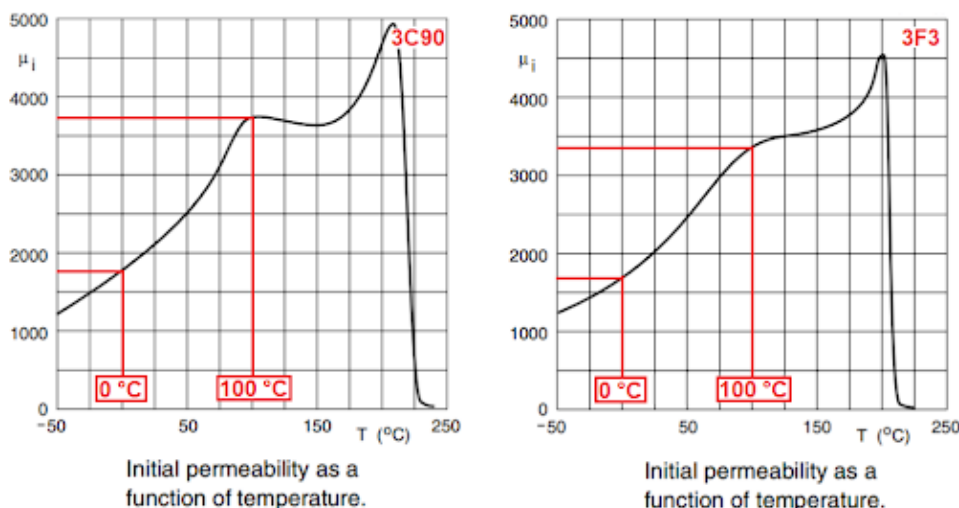
### Part Insights Experience

Access critical supply chain intelligence as you design.

[Learn More](#)

Las líneas punteadas indican las pérdidas de material del núcleo de ferrita y, a 1 MHz, el material 3F3 es un poco mejor que el 3C90.

La siguiente comparación muestra cuánto cambia la permeabilidad magnética con la temperatura del núcleo:



En un rango de funcionamiento típico de 0 °C a 100 °C, el material 3F3 sería la elección preferible. Sin embargo, no mostramos otra comparación que se debe realizar: la de los niveles de saturación del núcleo de ferrita. Pero no la he incluido porque ambos materiales van bastante a la par, y no influye en la decisión de optar por el material 3F3.

## Resumen

Hemos elegido un tipo de núcleo de ferrita llamado E38/8/25 (fabricado por Ferroxcube) y hemos investigado de qué materiales se puede fabricar. Los materiales 3C90 y 3F3 están comúnmente disponibles y, al observar sus especificaciones, nos decidimos por el 3F3 porque ofrece un mejor rendimiento.

Hemos tenido que mirar tres fichas técnicas diferentes para llegar hasta aquí: la ficha técnica del conjunto de núcleo E38/8/25 nos reveló de qué materiales se puede fabricar y también el parámetro crítico llamado longitud efectiva ( $\ell_e$ ). Después, consultamos las fichas técnicas de los dos materiales y realizamos una comparación técnica.

### La gestión de componentes al alcance de todos

Gestiona tus componentes, obtén datos de la cadena de suministro en tiempo real, accede a millones de piezas listas para usar.

Conozca más

## Calcular el número de vueltas (etapa 4)

Volvemos a la ficha técnica del núcleo E38/8/25 y buscamos un número llamado  $A_L$  (el factor de inductancia):

**Core halves for use in combination with an E core**

$A_L$  measured in combination with a non-gapped core half, clamping force for  $A_L$  measurements, 40 ± 15 N, unless stated otherwise.

GRADE	$A_L$ (nH)	$\mu_e$	TOTAL AIR GAP ( $\mu$ m)	TYPE NUMBER
3C90	250 ± 3% <sup>(1)</sup>	≈ 54	≈ 1100	E38/8/25-3C90-E250-E
	315 ± 3% <sup>(1)</sup>	≈ 68	≈ 850	E38/8/25-3C90-E315-E
	400 ± 3% <sup>(1)</sup>	≈ 86	≈ 650	E38/8/25-3C90-E400-E
	630 ± 5%	≈ 136	≈ 400	E38/8/25-3C90-A630-E
	1000 ± 10%	≈ 216	≈ 250	E38/8/25-3C90-A1000-E
	7940 ± 25%	≈ 1720	≈ 0	E38/8/25-3C90
3F3	250 ± 3% <sup>(1)</sup>	≈ 54	≈ 1100	E38/8/25-3F3-E250-E
	315 ± 3% <sup>(1)</sup>	≈ 68	≈ 850	E38/8/25-3F3-E315-E
	400 ± 3% <sup>(1)</sup>	≈ 86	≈ 650	E38/8/25-3F3-E400-E
	630 ± 5%	≈ 136	≈ 400	E38/8/25-3F3-A630-E
	1000 ± 10%	≈ 216	≈ 250	E38/8/25-3F3-A1000-E
	7250 ± 25%	≈ 1570	≈ 0	E38/8/25-3F3

La cifra relevante aquí es el número 7250 que aparece en la parte inferior izquierda. Se dice que, para una vuelta de la bobina de cobre, la inductancia será de 7250 nH (7,25  $\mu$ H). Este es el valor cuando se utilizan dos mitades idénticas de un núcleo plano. También debes tener en cuenta que el valor asociado para la permeabilidad magnética del núcleo ( $\mu_e$ ) es de 1570. Originalmente, en la especificación del material del núcleo de ferrita, se indicaba como 2000; sin embargo, una vez que se moldea en un núcleo, se reduce ligeramente. La "e" de  $\mu_e$  significa "efectiva", es decir,  $\mu_e$  se refiere a la permeabilidad efectiva.

Dado que los materiales de ferrita concentran el flujo magnético y (prácticamente) garantizan que todas las vueltas de la bobina se unan entre sí, podemos decir que la relación entre el número de vueltas y la inductancia es:

$$L = A_L \cdot N^2$$

Nuestra inductancia objetivo es de 1 mH, así que necesitaremos  $\sqrt{\frac{1 \text{ mH}}{7250 \text{ nH}}}$  vueltas. Esto

equivale a 11,7 vueltas, pero no podemos tener vueltas parciales, por lo que probablemente optaríamos por 12 vueltas y "aceptaríamos" una inductancia de 1,044 mH. En función de la naturaleza de tu circuito, podrás redondear hacia arriba o hacia abajo.

## Easy, Powerful, Modern

The world's most trusted PCB design system.

[Learn More](#)

## Calcular la corriente necesaria (etapa 5)

Ya tenemos un conjunto de núcleo de ferrita (y nuestro material de núcleo), y ya hemos calculado el número de vueltas necesario, pero ¿qué corriente necesitamos que fluya y qué problemas puede causar? Demasiada corriente puede conducir a la saturación del núcleo, por lo que tenemos que evitarla, pero necesitamos saber un poco más sobre la aplicación para calcular la corriente. Para este ejemplo, asumimos que la aplicación es un convertidor de CC a CC que utiliza la guía de selección del núcleo de ferrita y bobinas como los núcleos de ferrita del convertidor de retroceso (o "flyback") de DCM.

Debido a que es un circuito "flyback", no nos hace falta analizar ningún aspecto secundario del circuito para calcular la corriente primaria; solo necesitamos conocer la potencia máxima suministrada a la carga y la frecuencia de funcionamiento. Entonces, digamos que la frecuencia de funcionamiento es de 100 kHz y la potencia requerida por la carga es de 40 vatios.

Si dividimos la potencia de carga por la frecuencia, obtenemos la energía en julios que la primaria tiene que almacenar y transferir a la secundaria en cada ciclo de conmutación. Debemos asumir que habrá algunas pérdidas, por lo que aumentaremos la energía un 10 % para compensarlas mejor. Si manipulamos la "conocida" fórmula de energía del inductor ( $E = \frac{1}{2} L \cdot I^2$ ), podemos calcular la corriente máxima que tiene que fluir en la primaria con la siguiente ecuación:

$$I_P = \sqrt{\frac{2 \cdot 110\% \cdot \text{power}}{L_P \cdot \text{frequency}}} = \sqrt{\frac{2.2 \cdot 40 \text{ watts}}{1.044 \text{ mH} \cdot 100 \text{ kHz}}} = 0.918 \text{ amps}$$

*Por supuesto, si tienes en mente un circuito de aplicación diferente para el componente de la bobina, el cálculo de la corriente puede ser más sencillo que el que se muestra arriba. En cualquier caso, todavía deberás calcular la corriente máxima para ver si puede haber un posible problema de saturación del núcleo de ferrita.*

Calculamos 0,918 amperios para nuestra aplicación prevista y sabemos que esta corriente es la corriente de magnetización del núcleo de ferrita del transformador para un convertidor flyback. Por lo tanto, podría saturar el núcleo fácilmente.

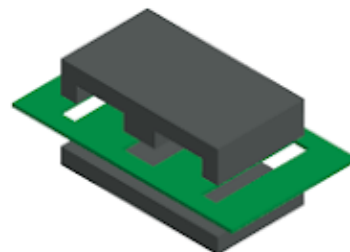
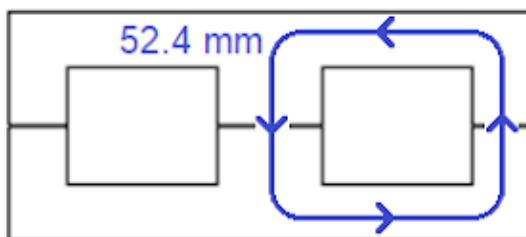
## Easy, Powerful, Modern

The world's most trusted PCB design system.

[Explore Solutions](#)

## Calcular la densidad de flujo (etapa 6)

Para calcular la densidad del flujo, necesitamos utilizar la corriente máxima, el número de vueltas y el valor de la longitud efectiva ( $\ell_e$ ) que encontramos en la etapa 1 (52,4 mm para las dos mitades del núcleo E38/8/25). ¿Recuerdas este gráfico?



El pico de corriente, el número de vueltas y la  $\ell_e$  contribuyen a un valor conocido como fuerza del campo magnético o H:



$$H = \frac{\text{current} \cdot \text{turns}}{l_s} = 210.2 \text{ ampere turns per metre}$$

Por lo tanto, si multiplicamos H por la permeabilidad magnética, obtenemos la densidad de flujo o B. Sabemos que la permeabilidad magnética ( $\mu_e$ ) es de 1570 en comparación con el aire y sabemos (de varias fuentes) que el aire tiene una permeabilidad absoluta de  $1,257 \mu\text{H}$  por metro. Así pues, podemos calcular B de la siguiente manera:

$$B = 210,2 \times 1570 \times 1,257 \times 10^{-6} = 0,4148 \text{ teslas}$$

Esta es la densidad de flujo máxima predicha y sabemos, por la documentación, que es demasiado alta para los núcleos de ferrita. La ferrita se saturará fuertemente alrededor de 0,4 teslas, por lo que tenemos que replantearnos ligeramente lo que estamos haciendo.

## Cloud Storage and Version Control

Store your libraries and design data in one secure, accessible, and version-controlled space.

[Learn More](#)

## Determinar si se necesita dejar un espacio (etapa 7)

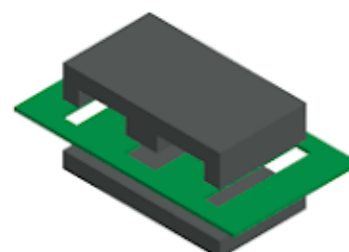
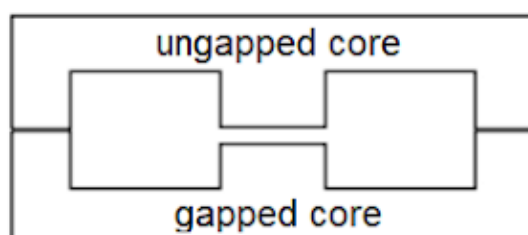
La respuesta corta es que sí, pues tenemos que reducir la densidad de flujo máxima prevista. La buena noticia es que podemos comprar el conjunto de núcleo E38/8/25 ya preajustado. ¿Te acuerdas de este extracto de ficha técnica que hemos visto en la etapa 4?

Core halves for use in combination with an E core

$A_L$  measured in combination with a non-gapped core half, clamping force for  $A_L$  measurements,  $40 \pm 15$  N, unless stated otherwise.

GRADE	$A_L$ (nH)	$\mu_e$	TOTAL AIR GAP ( $\mu\text{m}$ )	TYPE NUMBER
3C90	$250 \pm 3\%$ <sup>(1)</sup>	$\approx 54$	$\approx 1100$	E38/8/25-3C90-E250-E
	$315 \pm 3\%$ <sup>(1)</sup>	$\approx 68$	$\approx 850$	E38/8/25-3C90-E315-E
	$400 \pm 3\%$ <sup>(1)</sup>	$\approx 86$	$\approx 650$	E38/8/25-3C90-E400-E
	$630 \pm 5\%$	$\approx 136$	$\approx 400$	E38/8/25-3C90-A630-E
	$1000 \pm 10\%$	$\approx 216$	$\approx 250$	E38/8/25-3C90-A1000-E
	$7940 \pm 25\%$	$\approx 1720$	$\approx 0$	E38/8/25-3C90
3F3	$250 \pm 3\%$ <sup>(1)</sup>	$\approx 54$	$\approx 1100$	E38/8/25-3F3-E250-E
	$315 \pm 3\%$ <sup>(1)</sup>	$\approx 68$	$\approx 850$	E38/8/25-3F3-E315-E
	$400 \pm 3\%$ <sup>(1)</sup>	$\approx 86$	$\approx 650$	E38/8/25-3F3-E400-E
	$630 \pm 5\%$	$\approx 136$	$\approx 400$	E38/8/25-3F3-A630-E
	$1000 \pm 10\%$	$\approx 216$	$\approx 250$	E38/8/25-3F3-A1000-E
	$7250 \pm 25\%$	$\approx 1570$	$\approx 0$	E38/8/25-3F3

Entonces, en lugar de elegir dos núcleos sin espacios, podríamos elegir un núcleo con un espacio y un núcleo sin espacio. Esto produciría la siguiente estructura para el núcleo:



Así, si elegimos un núcleo con un espacio de 0,25 mm (250  $\mu\text{m}$ ), el valor  $A_L$  se reduce a 1000, y esto significa que necesitamos más vueltas para producir 1 mH de inductancia.

- En la etapa 4, ahora debemos usar 32 vueltas para obtener 1,024 mH.
- Desde la etapa 5, la corriente máxima debe ser de 0,927 amperios (anteriormente, era de 0,918 amperios).
- Desde la etapa 6, la H es ahora de 566,1 amperios-vueltas por metro (anteriormente era 210,2 At/m).

Y luego, podemos recalcular la densidad de flujo máxima usando el valor de la permeabilidad magnética con espacio  $\mu_e$  de 216.

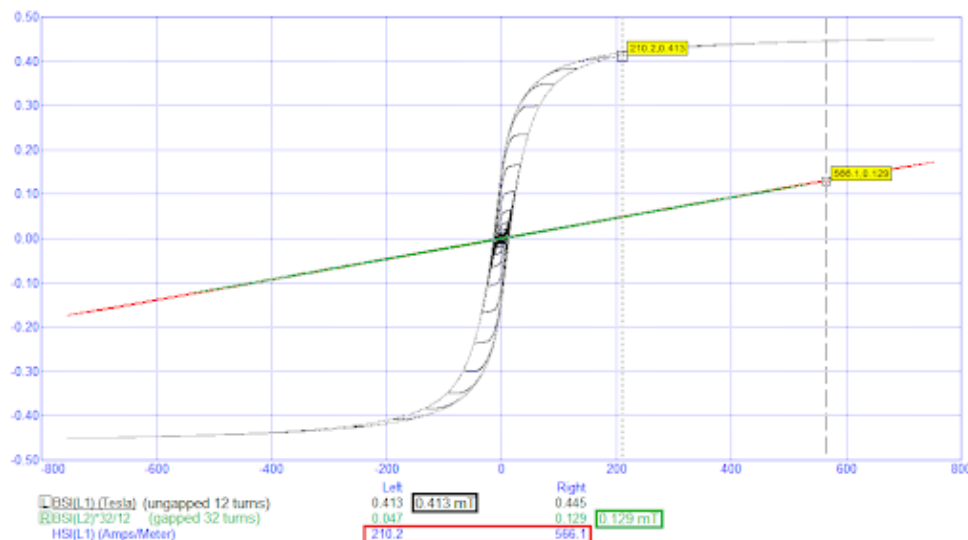
$$B = 566,1 \times 216 \times 1,257 \times 10^{-6} = 0,153 \text{ teslas}$$

## Variant Manager

Meet demands of a globalized market that requires unique versions of your PCBs.

[Learn More](#)

Esto muestra el efecto de, sencillamente, agregar un poco de espacio. En general es deseable tener un valor inferior a 0,2 teslas para nuestro convertidor "flyback", por lo que este es un ajuste cómodo. Esto es lo que nos da una simulación (como una especie de "comprobación de validez"):



Los números concuerdan de una forma bastante razonable. El conjunto de núcleo con espacio con un campo H de 566,1 tiene una densidad de flujo simulada de 129 mT, mientras que el cálculo manual llegó a 153 mT. Para el conjunto de núcleo de 12 vueltas sin espacio con un campo H de 210,2, obtenemos una densidad de flujo simulada de 413 mT (muy cerca del cálculo manual de 414,8 mT).

## Resumen



En primer lugar, lo esencial es que utilices el proceso de diseño correcto al diseñar un núcleo de ferrita de un transformador o al usar un inductor de núcleo de ferrita. En segundo lugar, no hay sustituto para las pruebas finales en el mundo real. Esto es necesario para cualquier componente de la bobina hecho a mano (o casero). Sin embargo, este artículo solo puede mostrarte el proceso y esperamos que, si lo sigues, obtengas buenos resultados. Si durante el proceso de diseño de un núcleo de ferrita te quedas con más información útil sobre el diseño y el espaciado de un inductor de núcleo de ferrita, entonces esto es un adicional para ti.

¿Tienes más preguntas? Ponte en contacto con un experto de Altium y descubre cómo podemos ayudarte en tu próximo diseño de PCB.