



Guía de estudio

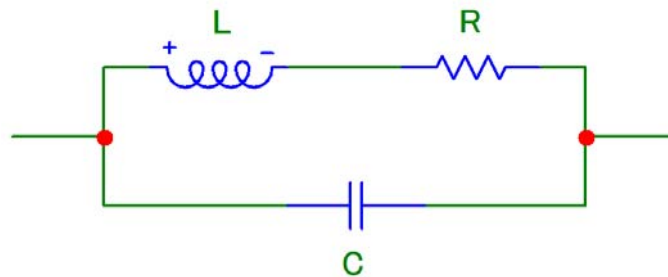
Alumno:

Tema: Construcción de bobina

Fecha: Segundo Semestre – Año 2014

### 1. – Inductor. Modelo de inductor real. Diseño de inductor. Consideraciones de forma. Construcción y medición de inductores. [Componentes electrónicos pasivos - Diego Gil]

De manera similar a lo que ocurre con el capacitor, para el inductor vamos a encontrar un comportamiento real distinto al ideal, que puede ser modelado por el siguiente circuito:

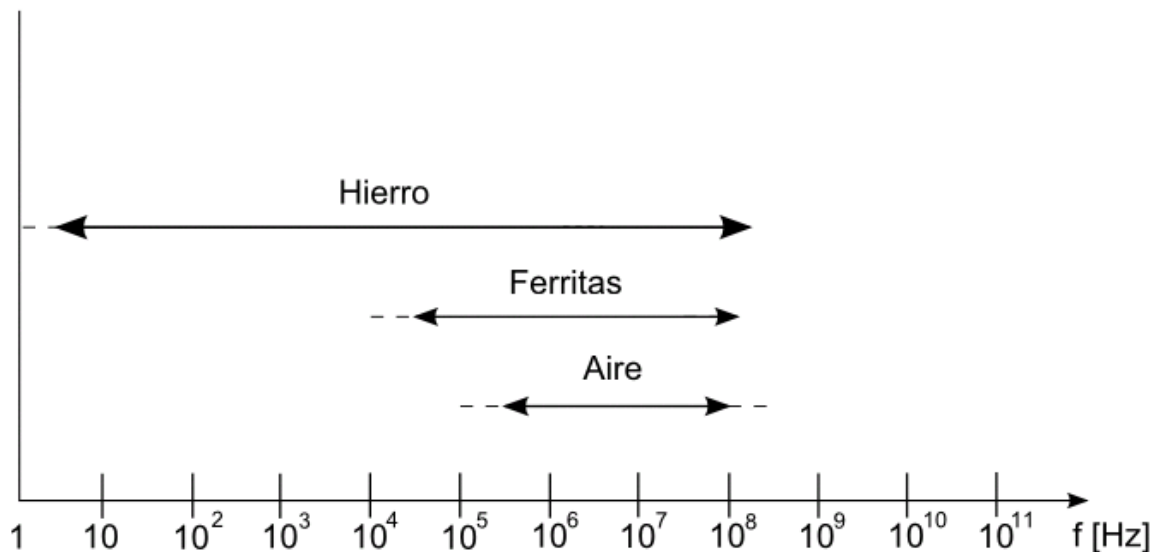


Donde L: es la inductancia de la bobina; [Hy]

C: capacitancia parásita distribuida de la bobina; [F]

R: resistencia óhmica del conductor la bobina, incluye el efecto skin y pérdidas por corrientes de Foucault e histéresis; [ $\Omega$ ].

Rango de frecuencias de acuerdo al material de los núcleos magnéticos:



Algunos valores obtenidos del fabricante AMIDON:

IRON POWDER TOROIDS (Toroides de polvo de hierro):

Material (fabricante)	Frecuencia mínima	Frecuencia máxima	$\mu_r$
0	100 Mhz	300 Mhz	1
1	0,5 Mhz	5 Mhz	20
12	50 Mhz	200 Mhz	4
17	20 Mhz	200 Mhz	4
2	2 Mhz	30 Mhz	10
15	0,1 Mhz	2 Mhz	25
3	0,05 Mhz	0,5 Mhz	35
6	10 Mhz	50 Mhz	8
7	3 Mhz	35 Mhz	9

FERRITE TOROIDS (Toroides de ferrita):

Material (fabricante)	Frecuencia Mínima	Frecuencia máxima	Uso
61	-	25 Mhz	Supresión de ruido, de 200 Mhz – 1000 Mhz.
67	-	50 Mhz	Supresión de ruido por encima de 1000 Mhz.
68	-	100 Mhz	-

FERRITE RODS (Barras de ferrita):

Material (fabricante)	Frecuencia Mínima	Frecuencia máxima	Uso
33	100 Khz	1 Mhz	-

Diseño y construcción de un inductor:

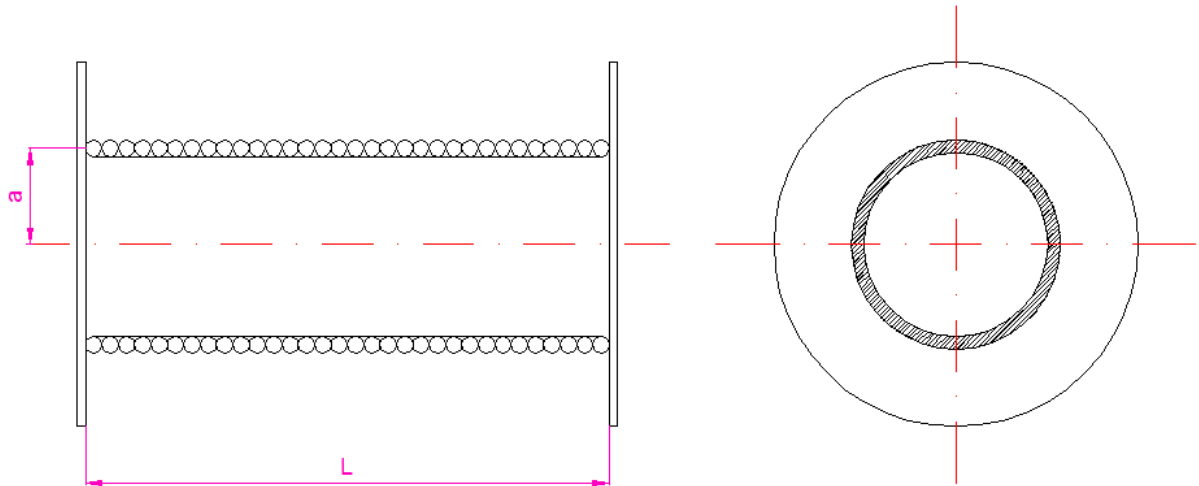
Muchas veces es necesaria una bobina de un valor de inductancia que no puede ser encontrada en el mercado; es por eso que resulta valioso el poder construir una bobina acorde a los valores necesarios y con un margen aceptable de error.

Para ello, vamos a utilizar la siguiente guía.

Inicialmente, se dan las principales fórmulas para calcular la inductancia de bobinas de una sola capa. Este puede considerarse como un problema de análisis, es decir, dada una bobina de geometría conocida, determinar su inductancia. El problema de diseño, sin embargo, es un problema de síntesis en el cual se da la inductancia deseada y es necesario determinar su geometría. Aquí se tratarán únicamente bobinas de sección circular.

### Bobina de una sola capa:

En la siguiente figura se muestra esquemáticamente un solenoide ideal de una sola capa con núcleo de aire:



Sea  $N$  el número de espiras,  $L$  la longitud del solenoide, y " $a$ " el radio medio del solenoide.

Es importante destacar que TODAS las longitudes a utilizar en TODAS las fórmulas están tomadas en pulgadas. (1"=2,54 [cm]).

Un solenoide ideal es aquel donde el bobinado es muy largo y de poco diámetro; además suponen que la aislación no ocupa lugar entre dos espiras contiguas.

Para el caso del solenoide ideal de una capa, tenemos la siguiente fórmula para la inductancia a baja frecuencia:

$$L_s = 0,10028 \frac{a^2 N^2}{L} \quad [\mu\text{Hy}]$$

Para solenoides no largos, es necesario aplicar una corrección a causa de los efectos en los extremos y la influencia de los parámetros reales en el valor de la inductancia; para esto afectamos la fórmula anterior por el valor  $K$ :

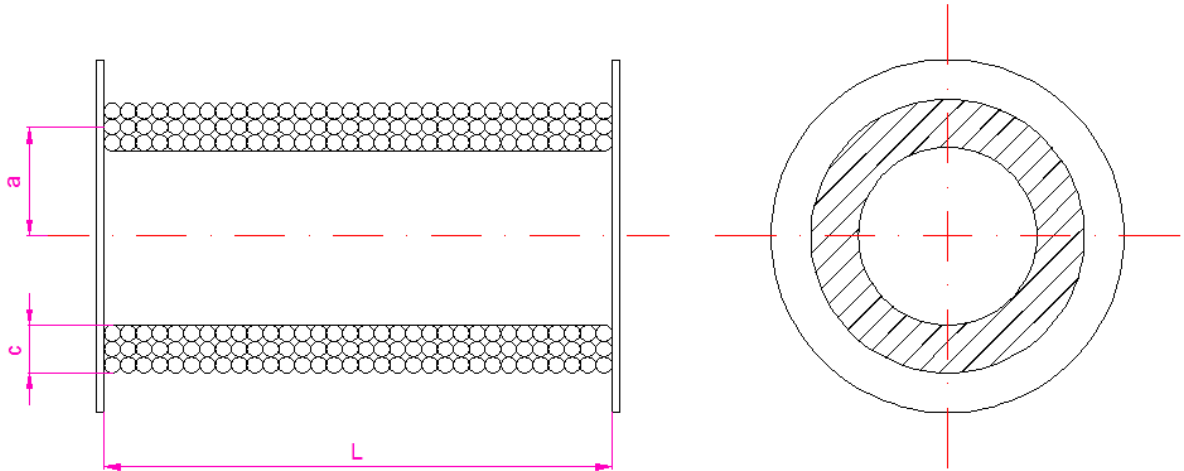
$$L'_s = K 0,10028 \frac{a^2 N^2}{L} \quad [\mu\text{Hy}]$$

Este valor se denomina "constante de Nagaoka", quien lo computa en un gráfico. Es necesario aclarar que este valor es una función de la relación  $2a/L$ .

En la gráfica de la "constante de Nagaoka" las escalas de la izquierda y la inferior corresponden a la curva inferior, en tanto que las escalas de la derecha y la superior corresponden a la curva superior.

### Bobina de múltiples capas:

Ahora veremos una inductancia real de varias capas, con alambre de sección circular y no larga, como la mostrada en la figura:



Sea  $N$  el número de espiras, " $c$ " el espesor del bobinado, " $a$ " el radio medio de la bobina, " $L$ " la longitud del bobinado.

El cálculo de la inductancia real se obtiene del solenoide no largo de una capa, introduciendo una corrección mediante la siguiente fórmula:

$$L_{real} = L'_s - \frac{0,0319caN^2(0,693 + B_s)}{L} \quad [\mu\text{Hy}]$$

Donde  $B_s$  es otra constante que presenta la diferencia en la inductancia mutua de las espiras de una bobina real respecto a las de una ideal.

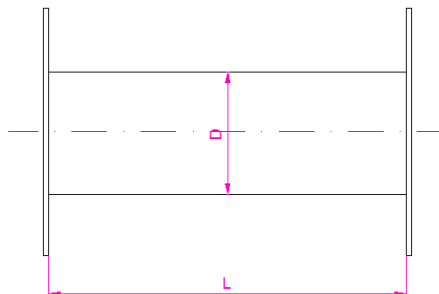
Esta constante  $B_s$  es una función de la relación  $L/c$ .

Para comprender el procedimiento, vamos a realizar un ejemplo.

### Ejemplo:

Construya una bobina de valor 250 [ $\mu\text{Hy}$ ].

Dispone de un carrete de dimensiones:  $D=29$  [mm] y  $L=66$  [mm].



### Resolución:

- 1) Como primera medida, lo que debemos hacer es pasar los valores en milímetros a pulgadas, puesto que todas las fórmulas a usar están obtenidas para pulgadas, en lo que se refiere a la dimensión longitud.

$$D = 29 \text{ [mm]} = 1,14''$$

$$L = 66 \text{ [mm]} = 2,60''$$

- 2) Seleccionamos un diámetro de alambre de cobre con el cual vamos a bobinar. Se debe emplear un criterio a la hora de la selección, para facilitar el bobinado y a la vez que el diámetro no sea tan pequeño como para que represente una alta resistencia al circuito. Como criterio general, deseamos el menor diámetro posible de alambre (considerar la resistencia del mismo, de modo que no interfiera en el circuito).

Para nuestro ejemplo general, seleccionamos  $d = 0,9$  [mm].

Debemos tener en cuenta el aislante del alambre, por lo que consideramos el 10% del diámetro seleccionado. En nuestro caso será:  $d_{\text{aislación}} = 0,09$  [mm].

Si los sumamos, obtendremos el diámetro final de nuestro alambre, que utilizaremos para calcular los demás parámetros:  $d = 0,99$  [mm] = 0,039"

- 3) Calculemos el número de espiras por una capa.

Primero debemos obtener el valor de "a", que si observamos el dibujo visto en la teoría, vale:

$$a = \frac{d}{2} + \frac{D}{2} = \frac{0,039}{2} + \frac{1,14}{2} = 0,5895"$$

Luego obtenemos de N de la siguiente expresión:

$$L_s = 0,10028 \frac{a^2 N^2}{L} \quad [\mu\text{Hy}]$$

De donde despejamos N:

$$N = \sqrt{\frac{L_s L}{0,10028 a^2}} = \sqrt{\frac{250 * 2,60}{0,10028 * 0,5895^2}} = 136,57 \cong 137$$

- 4) Como nuestro solenoide es corto, debemos afectarlo por el coeficiente de Nagaoka.

Para ello utilizaremos el gráfico donde se encuentra el mismo. En uno de sus ejes entramos con el valor:

$$\frac{2a}{L} = \frac{2 * 0,5895}{2,60} = 0,453$$

Intersectamos la curva superior (puesto que el valor 0,453 está ubicado en el eje horizontal superior), y allí obtenemos el valor de K en el eje vertical derecho.

$$K = 0,835$$

- 5) Ahora necesitamos afectar la expresión de  $L_s$  por el factor K, utilizando la expresión:

$$L'_s = K 0,10028 \frac{a^2 N^2}{L} \quad [\mu\text{Hy}]$$

Con  $L'_s = 250$  [ $\mu\text{Hy}$ ], obtenemos el nuevo valor de N:

$$N = \sqrt{\frac{L'_s L}{K 0,10028 a^2}} = \sqrt{\frac{250 * 2,60}{0,835 * 0,10028 * 0,5895^2}} = 149,46 \cong 150$$

- 6) Como la longitud de nuestro carrete no es lo suficientemente largo para realizar una capa de bobinado, tendremos que realizarlo en varias capas. Por eso debemos corregir ciertos valores.

Supongamos que nuestra bobina tendrá 3 capas.

$$c = 3d = 3 * 0,039 = 0,117''$$

Recordemos que a "c" lo obtenemos al multiplicar el número de capas por el diámetro del alambre. Al acumular 3 capas, nuestro "a" se incrementará, pues es la distancia media del bobinado y el centro del carrete.

$$a = \frac{c}{2} + \frac{D}{2} = \frac{0,117}{2} + \frac{1,14}{2} = 0,6285''$$

- 7) Ahora necesitamos obtener la constante  $B_s$ , la que obtenemos del ábaco al ingresar con el valor de:

$$\frac{L}{c} = \frac{2,60}{0,117} = 22,23$$

Al intersectar con la curva, obtenemos el valor de  $B_s$ , de donde obtenemos que  $B_s = 0,3$ .

- 8) Debido a que hemos pasado de un diseño de una bobina de una sola capa, para una de 3 capas, hemos encontrado distintos coeficientes que afectaron la expresión inicial. Es por eso que ahora debemos obtener el valor de la inductancia  $L'_s$  que luego utilizaremos luego para simular ese valor como si fuera el deseado para calcular la bobina de una capa.

$$L_{real} = L'_s - \frac{0,0319caN^2(0,693 + B_s)}{L}$$
$$250 = L'_s - \frac{0,0319 * 0,117 * 0,628 * 150^2(0,693 + 0,3)}{2,60}$$

$$L'_s = 270 \quad [\mu\text{Hy}]$$

- 9) Ahora procederemos a verificar el número de vueltas  $N$ , donde en la siguiente expresión introduciremos el  $L'_s$  calculado en el punto 8) puesto que este valor (270  $[\mu\text{Hy}]$ ) de inductancia para una bobina de una capa, equivale a una inductancia de 250  $[\mu\text{Hy}]$  para una bobina de 3 capas. Por lo que si el número de vueltas para las dos bobinas son iguales, quiere decir que esa equivalencia es válida.

$$L'_s = K 0,10028 \frac{a^2 N^2}{L}$$

Como nuestro  $a = 0,628''$ ; debemos obtener el nuevo  $K$ . Procediendo de la misma manera ya descrita, obtenemos  $K = 0,83$ .

Ahora sí comprobemos el valor de  $N$ :

$$N = \sqrt{\frac{L'_s L}{K 0,10028 a^2}} = \sqrt{\frac{270 * 2,60}{0,83 * 0,10028 * 0,628^2}} = 146,12 \cong 147$$

Si recordamos el  $N$  obtenido al principio, para una capa valía 150, mientras que el valor obtenido luego de haber hecho la transformación a 3 capas nos da 147. Este error se debe al suponer 3 capas. Para corregirlo, suponemos un número de capas menor.

Si suponemos un número de capas de 2, y realizamos de nuevo los cálculos, el  $N$  obtenido al final nos da que vale 149,0 y el obtenido al principio originalmente para una capa 150, un error pequeño.

Por lo que podemos definir que se necesitan entonces, un total de 149 vueltas y 2 capas.

- 10) Para obtener la longitud del alambre, calculamos aproximadamente la longitud de una vuelta, con un diámetro medio de  $D' = 2a = 2 \cdot 0,6285'' = 1,257''$ . Si multiplicamos esto por  $\pi$  y el número de vueltas, obtendremos la longitud del alambre para la bobina:

$$\text{Long. Alambre} = \pi D' N = \pi \cdot 1,257'' \cdot 149 = 588,4'' = 14,9 \text{ [m]}.$$

- 11) Como en el local donde compraremos el alambre no podemos pedir por longitud de alambre, sino por peso, es necesario tener una tabla del fabricante en donde nos indique el peso en gramos por metro.

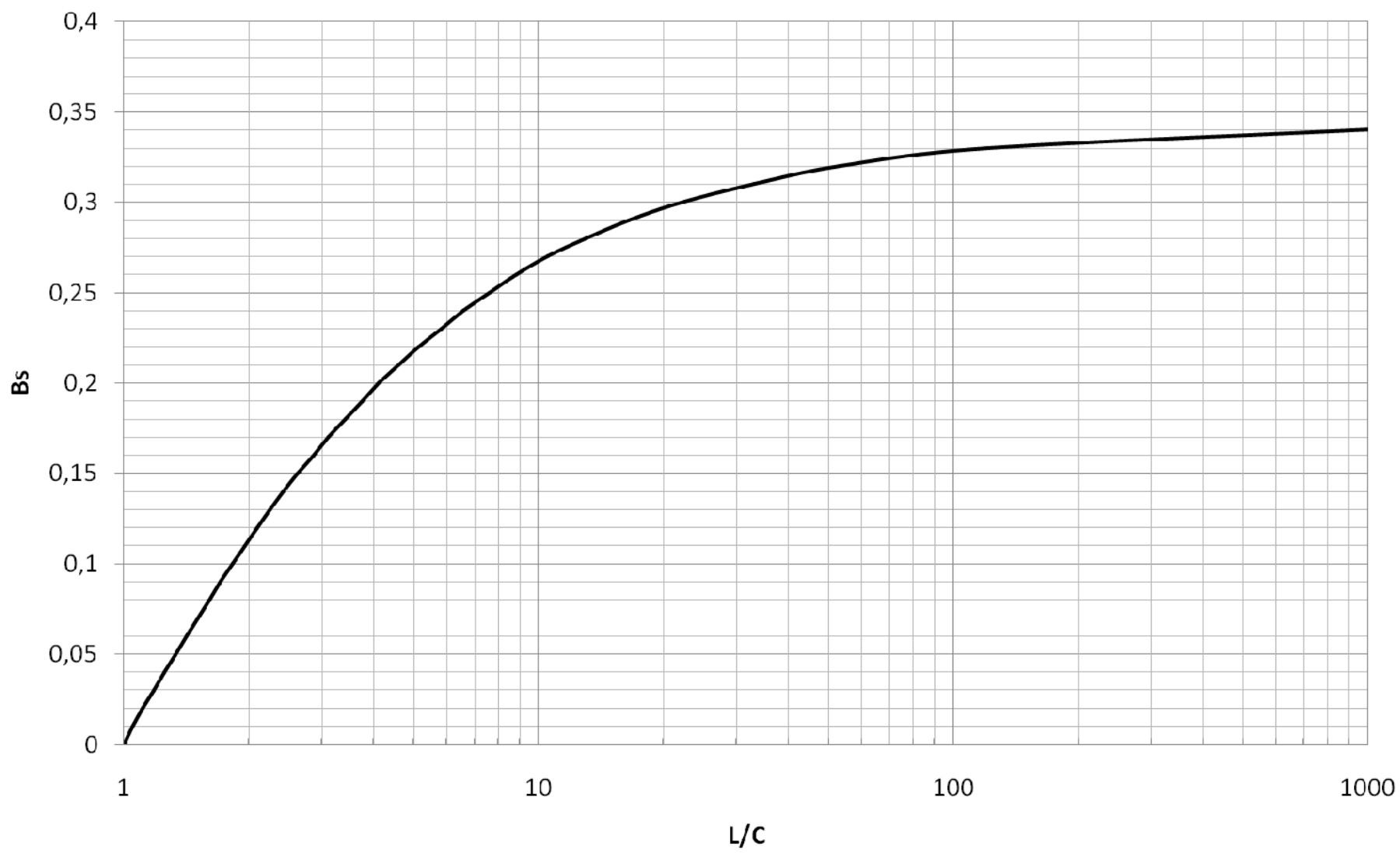
Para nuestro alambre de diámetro 0,9 [mm] el peso en gramos por metro es de 5,662 [gr/m].

Por lo que el peso total será de  $5,662 \cdot 14,9 = 84,36$  [gr].

- 12) Para finalizar, procederemos al armado de la bobina. Es recomendable enderezar el alambre de cobre antes de comenzar el bobinado, puesto que así se reducirá la separación entre espiras. Recordemos que deseamos una bobina lo más compacta y uniforme posible en su construcción.

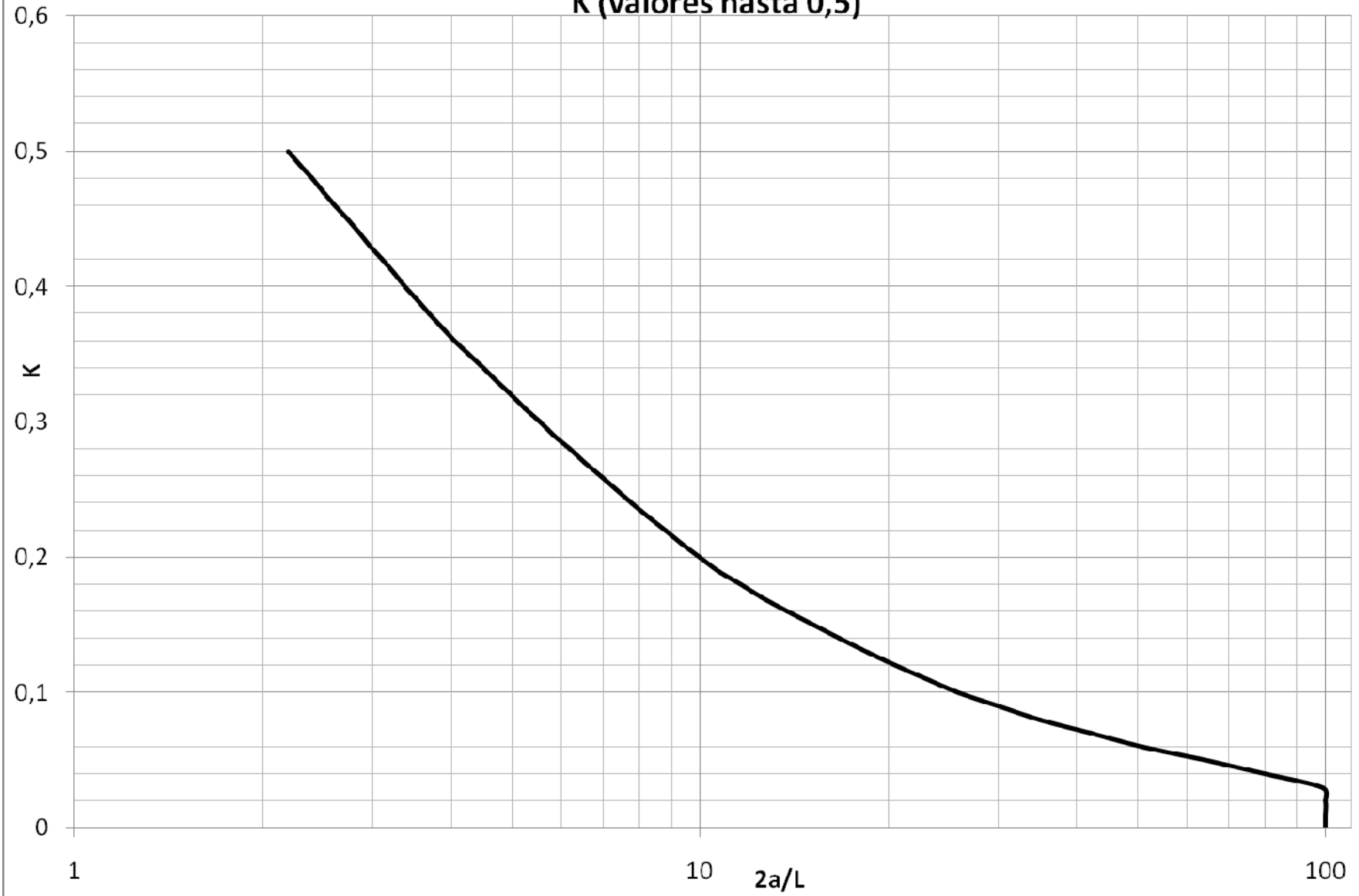
**Apéndice:** Curvas de  $B_s$  y  $K$  para el diseño de bobinas

**Bs**





**K (valores hasta 0,5)**



### K (valores mayores a 0,5)

