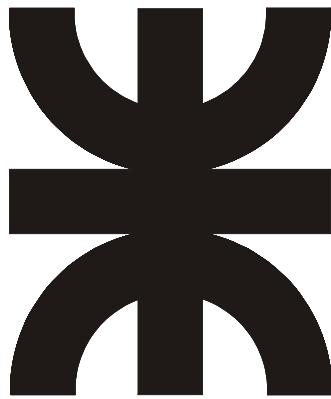

TRABAJO PRACTICO DE TECNOLOGIA ELECTRONICA N°4



Profesores:

ING. CENTENO CARLOS AUGUSTO
ING. GONZALEZ DONDO DIEGO

Alumnos:

Ghigi, German 59911

Martínez, Camilo 62987

Vazquez, Luis 54219

Rojas, Santiago 50459

Curso: 5R2

Año: 2017



Introducción:

En este trabajo práctico se diseña un inductor para fuente conmutada realizada en la asignatura “Electrónica de Potencia”. Las especificaciones para el cálculo de dicho inductor las obtenemos a partir de lo que exige la fuente conmutada.

Objetivos:

- Aprender técnicas de diseño de inductores con núcleo.
- Verificación de la calidad del bobinado.
- Familiarización con los distintos tipos de núcleos.
- Interpretación de los datos de los fabricantes de núcleos.
- Determinación de los parámetros del núcleo. Ensayos.
- Diseño de un inductor para una fuente conmutada.



Marco teórico.

Un **inductor**, **bobina** o **reactor** es un componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

Construcción:

Un inductor está constituido normalmente por una bobina de conductor, típicamente alambre o hilo de cobre esmaltado. Existen inductores con núcleo de aire o con núcleo hecho de material ferroso (por ejemplo, acero magnético), para incrementar su capacidad de magnetismo.

El inductor consta de las siguientes partes:

- **Devanado inductor:** Es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.
- **Culata:** Es una pieza de sustancia ferromagnética, no rodeada por devanados, y destinada a unir los polos de la máquina.
- **Núcleo:** Es la parte del circuito magnético rodeada por el devanado inductor.

También pueden fabricarse pequeños inductores, que se usan para frecuencias muy altas, con un conductor pasando a través de un cilindro de ferrita o granulado.



Expresión de la inductancia:

$$L = \mu_r \cdot \mu_o \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

L: Inductancia [Hy].

μ_o : Permeabilidad del vacío.

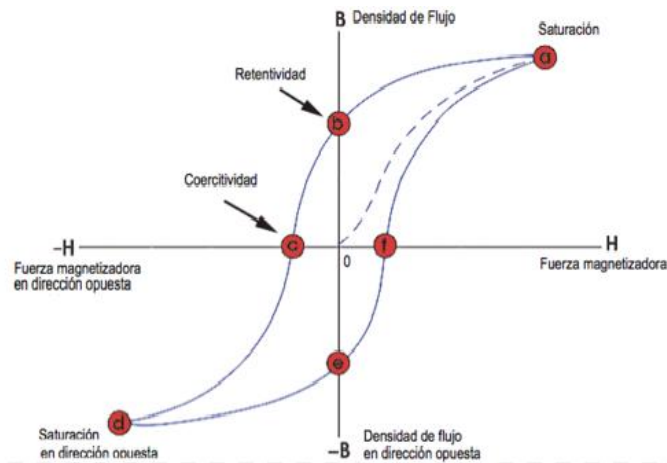
μ_r : Permeabilidad relativa.

N: Número de espiras.

S: Sección del núcleo[cm²].

l: longitud media del circuito magnético[cm].

Ciclo de histéresis:



La curva de histéresis muestra la curva de magnetización de un material. Sea cual sea el material específico, la forma tiene características similares.

- Al principio, la magnetización requiere un mayor esfuerzo eléctrico. Este intervalo es la llamada zona reversible.
- En un determinado punto, la magnetización se produce de forma proporcional. En ese punto se inicia la denominada zona lineal.
- Finalmente, se llega un instante a partir del cual, por mucha fuerza magnética que induzcamos al material, ya no se magnetiza más. Este es el llamado punto de inducción de saturación, que determina el inicio de la llamada zona de saturación.

Densidad de flujo en continua.

$$N \cdot I_{cc} = B_{cc} \cdot S \cdot R$$

$$B_{cc} = \frac{N \cdot I_{cc}}{S \cdot R}$$

Bcc: Densidad de flujo[gauss].

Icc: intensidad de cc[A].



Densidad de flujo en alterna.

$$E_{ef} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot B_{ca} \cdot S \cdot 10^8$$

$$B_{ca} = \frac{E_{ef} \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot N \cdot S}$$

E_{ef} = Tension eficaz aplicada[v].

f: Frecuencia [Hz].

B_{ca} : Densidad de flujo[gauss].

Factor de inductancia.

$$A_L = \frac{\mu_0}{\frac{lm}{\mu \cdot \Delta \cdot Sm} + \frac{la}{Sa}} \left[\frac{mHy}{vueltas^2} \right]$$

Inductancia.

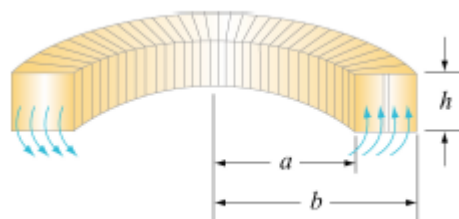
$$L = A_L \cdot N^2$$

Energía almacenada.

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{max}^2 [mJoules]$$

Inductancia en un toroide.

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



$$A_L = \frac{\mu_0 \cdot h}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

Desarrollo del práctico.

Para el diseño del inductor para fuente conmutada se tienen los siguientes datos:

- Tensión aplicada en alterna: $V_i = 50v$
- Tensión continua en la salida: $V_o = 24v$
- Máxima cc en la salida: 2,5 A
- $F_t = 80 \text{ KHz}$



Núcleo toroide usado: **Amarillo y blanco**. T90 – 26

TOROIDAL CORES

COLOR CODE

-2	Red/Clear
-8	Yellow/Red
-14	Black/Red
-18	Green/Red
-19	Red/Green
-26	Yellow/White
-30	Green/Gray
-34	Gray/Blue
-35	Yellow/Gray
-40	Green/Yellow
-45	Black/Black
-52	Green/Blue

Refer to page 4 for tolerances.

TYPICAL PART NO.

T 106-26

OD in 100th inches
Micrometals Mix No.
Letter Indicates Alternate Height
Code Area For Other Characteristics

Note: For information on Mix 0, 1, 3, 4, 6, 7, 10, 12, 15, 17, and 42 see Micrometals RF Catalog.
For information on -60, -61, -63, -66, -70 and -M125 see Micrometals 200C Series Catalog.

MICROMETALS Part No.	A _L nH/N ²	MAGNETIC DIMENSIONS					
		OD in/mm	ID in/mm	Ht in/mm	ℓ cm	A cm ²	V cm ³
T90-8/90	30.0	.900/22.9	.550/14.0	.375/9.53	5.78	.395	2.28
T90-18	47.0						
T90-19	47.0						
T90-26	70.0						

Características de *Micrometals*

Tiempo de apagado máximo($T_{off(Máx)}$): Tiempo en que no hay señal en el inductor.

$$T_{off(máx)} = \frac{1 - \frac{V_o}{V_i}}{2 \cdot f} = \frac{1 - 0,48}{160 \text{ kHz}} = 3,25 \mu s$$

Entonces:

$$L = \frac{V_o \cdot T_{off(Máx)}}{0,25 \cdot I_o(Máx)} = 124,8 \mu H y$$

Determinación del número de vueltas:

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{124,8 \mu Hy}{70 \frac{nHy}{N^2}}} = 42 \text{ vueltas}$$

Corriente de paso:

$$I_{rms} = I_o \sqrt{D_{máx}/2} = 2,5 \sqrt{0,4} = 1,58 A$$

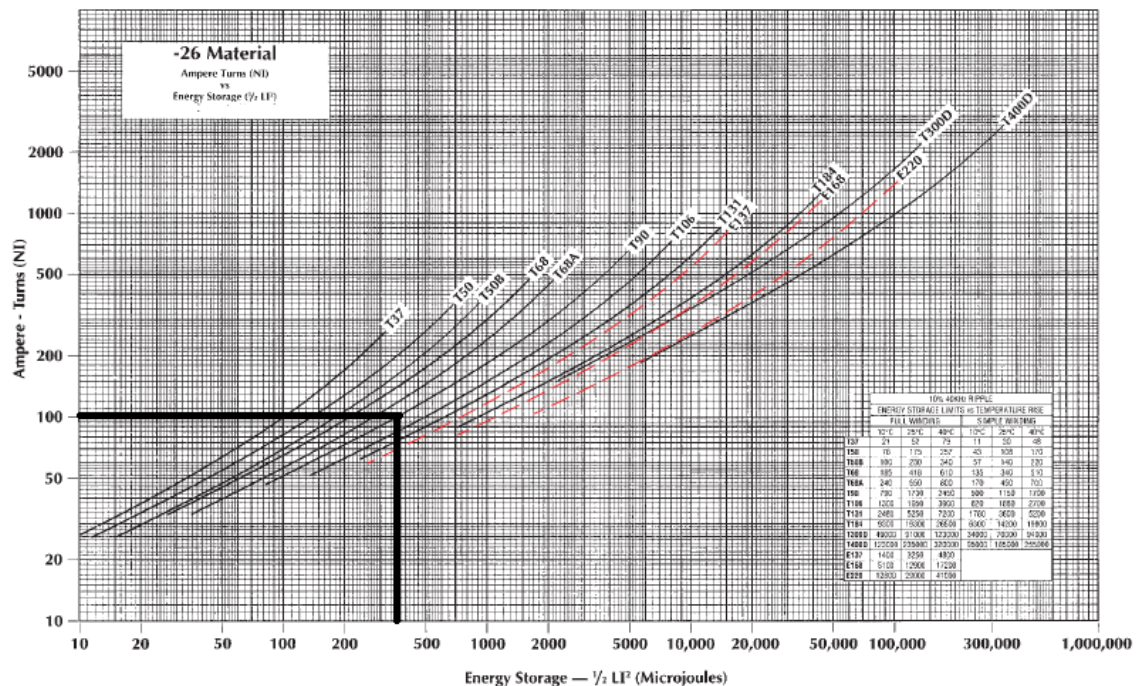


Diámetro del alambre:

$$\phi_L = \sqrt{I_{rms} \frac{4}{\pi \cdot J}} = \sqrt{\frac{4,1,58 [A]}{\pi \cdot 420 [\frac{A}{cm^2}]} = 0,7 [mm]}$$

Cantidad de energía remanente:

$$E = L \frac{1}{2} I_{Máx}^2 = 0,124 mHy \cdot \frac{6,25}{2} A = 387,5 \mu Joules$$



Entonces $N \cdot I = 100$ amper vueltas, lo que despejando N tenemos el número de vueltas que son 40 vueltas, un valor aproximado al que calculamos anteriormente.

Comprobación de la máxima densidad de flujo magnético B_{max} .

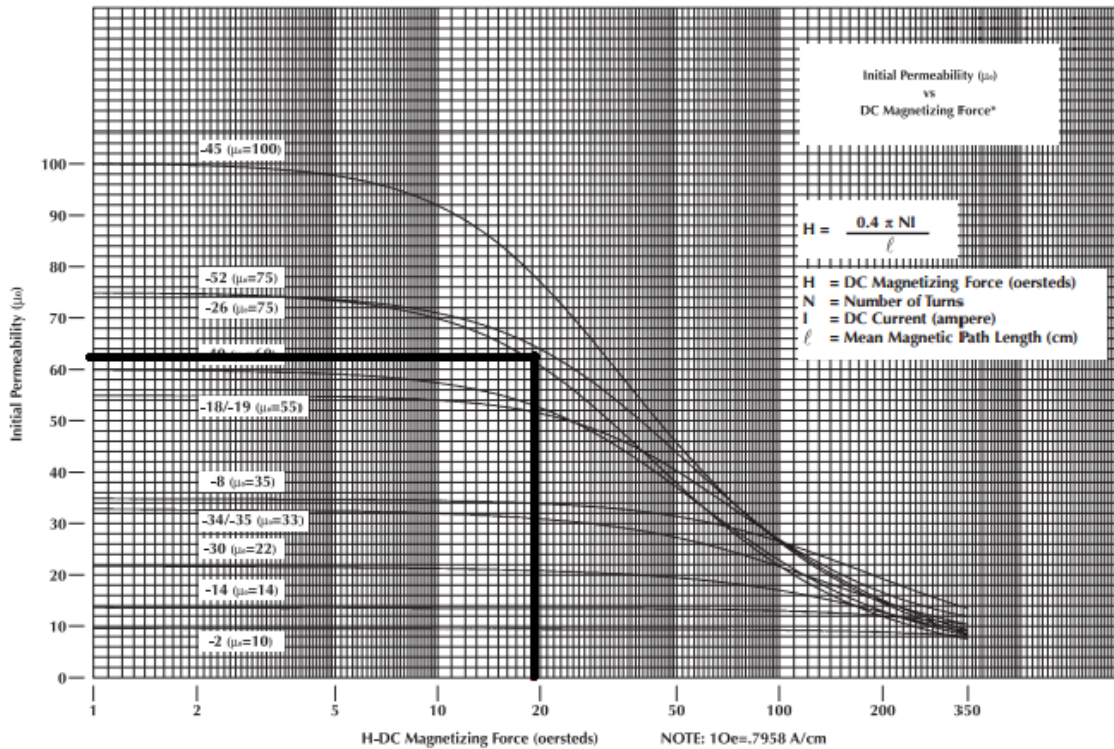
En esta comprobación se asegura de que la densidad de flujo magnético no supere la densidad de saturación del núcleo. Entonces B_{cc} (densidad de flujo en cc) se obtiene en la hoja de datos.

$$H_{cc} = \frac{0,4 \pi N I}{l}$$



$$H_{cc} = \frac{0,4 \pi 42 \cdot 1,58A}{5,78 \text{ cm}} = 14,42 \left[\frac{A}{cm} \right]$$

Y como $1[\text{oersteds}] = 0,7958$. Nos queda que $H_{cc} = 18,129[\text{oersteds}]$. Llevamos este valor al siguiente gráfico con el fin de obtener la permeabilidad inicial.



Por lo tanto $\mu_r = 63$.

$$B_{cc} = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H_{cc} = 0,001141 [\text{A/cm}]$$

$$B_{cc} = 1141 [\text{Gauss}]$$

Con el fin de obtener $B_{\text{máx}}$ es necesario determinar B_{ca} ya que:

$$B_{\text{máx}} = B_{cc} + B_{ca}$$

$$\text{Entonces } B_{ca} = \Delta B / 2$$

$$\text{Y } \Delta B = \frac{E \cdot T \cdot 10^8}{S \cdot N}$$

- E: tensión en el inductor.
- T: duración del pico de tensión.
- S: sección del núcleo.
- N: número de vueltas.



$$\Delta B = \frac{50V \cdot 1,3 \mu S \cdot 10^8}{0,395 \text{ cm}^2 \cdot 42} = 391,8 [\text{Gauss}]$$

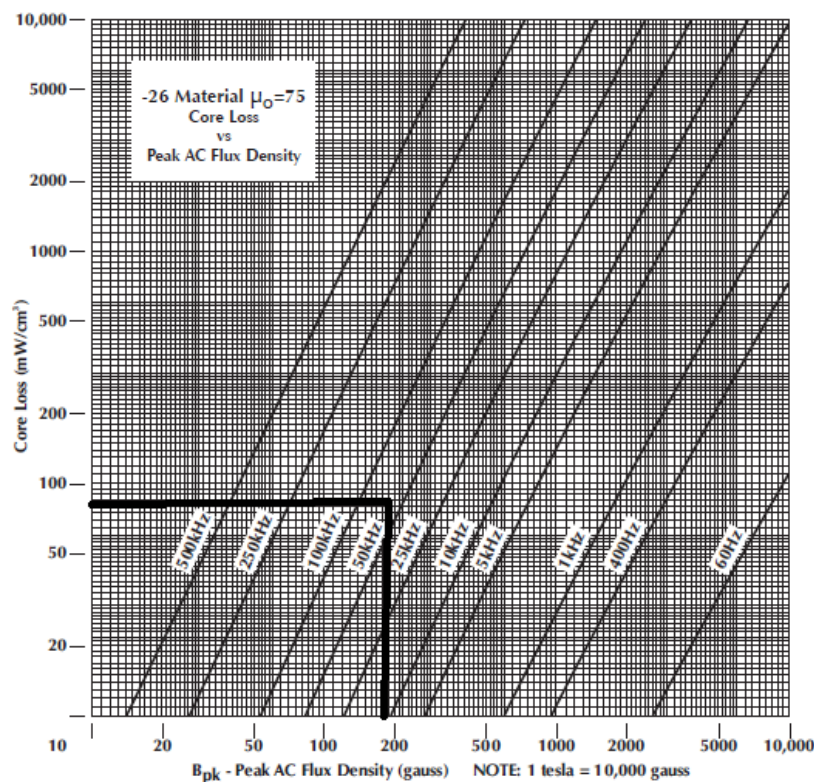
Por lo tanto tenemos que:

$$B_{\text{máx}} = 195,9 + 1141 [\text{Gauss}] = 1336,9 [\text{Gauss}]$$

Como $B(\text{sat}) = 13800 [\text{Gauss}]$, no corremos el riesgo de que se sature.

Perdidas en el núcleo.

Del manual de *micrometals* obtenemos la siguiente gráfica, que sirve para calcular las pérdidas en el núcleo.



Ubicando el valor de $B_{\text{ca(Máx)}}$ en el gráfico obtenemos la pérdida de en nucleo por unidad de volumen.

$$\text{Pérdida de en núcleo: } 80 \left[\frac{\text{mW}}{\text{cm}^3} \right] \cdot 2,28 \text{ cm}^3 = 182,4 \text{ mW}$$

Pérdidas en el conductor.

Las pérdidas en el cobre vienen dadas por la siguiente ecuación: $P_c = I^2 \cdot R_c$

$$R_c = \rho \cdot \frac{l}{A} = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm} \cdot \frac{176 \text{ cm}}{0,0037 \text{ cm}^2}$$

Donde:

- ρ = Resistividad del conductor
- l = longitud total del conductor



- A = sección del conductor

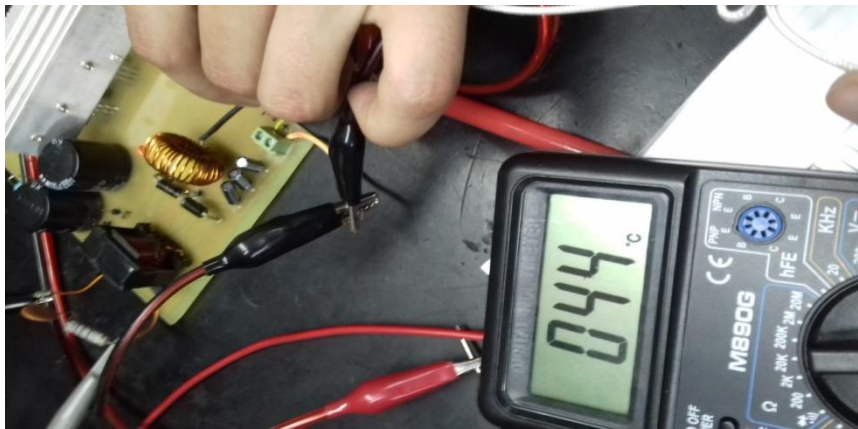
$$R_c = 0,22 \, \Omega$$

$$P_c = 1,58^2 \cdot 0,22 \Omega = 0,55 \, \text{W}$$

$$P_T = P_n + P_c = 0,18 \text{W} + 0,55 \text{W} = 730 \, [\text{mWatt}]$$

Medición del salto de temperatura.

Se procede a medir el salto de temperatura, cuando la corriente está al máximo. La temperatura ambiente era de 25°C. Por lo tanto el salto es también de 19°C.



Temperatura en la bobina.

Comprobación del salto de Temperatura:

Según el fabricante el área de disipación del inductor T90 es de: 22,4 cm²

$$\Delta T = \left(\frac{P_T}{Area} \right)^{0,833}$$

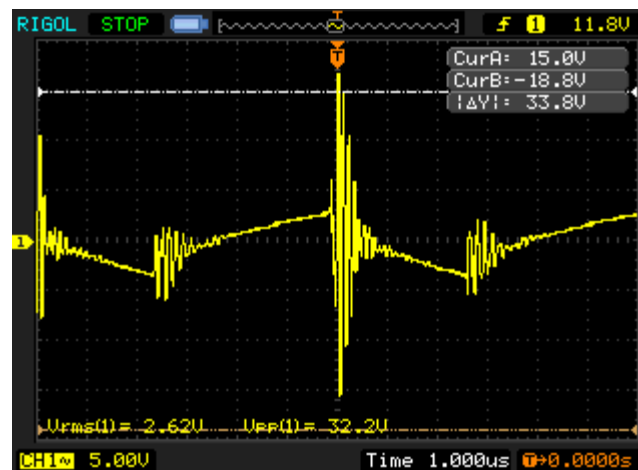
$$\Delta T = \left(\frac{730 \, [\text{mW}]}{22,4 \, [\text{cm}^2]} \right)^{0,833} = 18,21 \, ^\circ\text{C}$$

Un valor muy aproximado al calculado.

Medición en la salida.



Nota: Corriente en la carga medida en amper.
Voltaje en la carga medida en Voltios.

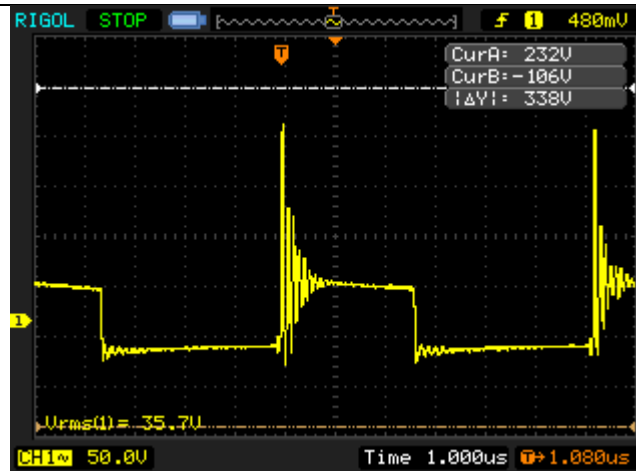


Tensión en la resistencia en serie con la bobina.

Esta tensión fue medida sobre una resistencia de 15Ω . Por lo tanto la corriente en la bobina será de:

$$I_L = \frac{2.62V \times 10}{15\Omega} = 1.74A$$

Lo que nos da un valor aproximado al calculado.



Tensión en la bobina

Determinación de A_L .

En esta parte se comprobará que el A_L de los diferentes núcleos que vamos a utilizar es de valor similar al que da el fabricante.



Núcleos a ensayar.

De acuerdo a las mediciones de L , se realizó las siguientes tablas.

T90 - 45			
Vueltas (N)	Inductancia (L) [μ Hy]	Al [nHy/N]	Al (fabricante)
5	2,9	116	85
10	9,3	93	85
15	15,5	68,8	85
Al Promedio:		92,6	85



T80 -26			
Vueltas (N)	Inductancia (L) [μ Hy]	Al [nHy/N]	Al (fabricante)
5	2,5	100	71
10	7	70	71
15	14	62,22	71
Al Promedio:		77,4	71

Conclusión.

- Al finalizar este trabajo práctico, aprendimos a diseñar inductores con cualquier tipo de núcleo toroidal. En nuestro caso el inductor diseñado para la fuente conmutada fue correcto ya que coincidían los valores calculados con los valores llevados a la práctica.
- La hoja de datos de *Micrometals* es muy útil ya que tiene la información necesaria para el diseño del inductor y para la comprobación de diseño del mismo. Cabe destacar que el cálculo del flujo magnético máximo es muy importante ya que si supera el flujo magnético de saturación puede generar problemas en nuestro circuito.
- Con respecto a la última actividad podemos concluir que los resultados obtenidos son parecidos a los especificados por el fabricante, las diferencias pueden ser por la forma en que se bobinó el núcleo ya que si se enrolla con separación entre el núcleo y el hilo conductor puede haber errores en la medición de la inductancia.
- Es muy importante a la hora de realizar el trabajo práctico tener en cuenta las siguientes consideraciones:
 - **Corriente máxima:** dada por las limitaciones físicas del hilo conductor (resistencia y máxima disipación de potencia).
 - **Interferencia:** los campos magnéticos de los inductores pueden afectar el comportamiento del resto de los componentes del circuito, especialmente de otros inductores. La proximidad de dos inductores puede dar origen a una inductancia mutua que causará efectos no deseados, razón por la cual los diseñadores tienden a elegir capacitores sobre inductores para realizar tareas similares.
 - **Prueba:** factores como el desgaste, el sobrecalentamiento y la corriente excesiva pueden ocasionar cortocircuitos entre las espiras o inclusive circuitos abiertos. Esta última condición se verifica fácilmente con un óhmetro, pero la condición de cortocircuito entre espiras es más difícil de determinar dada su inherente baja resistencia entre terminales.