

# **Trabajo Práctico n°:4**

## **Diseño de un Inductor con núcleo para fuente conmutada**

**Materia:** Tecnología Electrónica

**Profesor:** Centeno Carlos

**Integrantes:**

Schamun Lucas Gabriel 62378

Ponce Nicolás 64725

Sosa Javier 65337

Sueldo Enrique 62508

**Curso:** 5R2

**CONTENIDO**

Introducción .....	3
Desarrollo .....	3
Diseño: .....	3
Comprobación: .....	7
Ensayos para diferentes núcleos: .....	10
Esquemático: .....	11
Conclusión .....	11



## INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo se analizarán los distintos tipos de núcleos de las bobinas, los parámetros de cada uno y la correcta interpretación de sus respectivas hojas de datos. También las técnicas de diseño de inductores con toroides y la manera de corroborar la adecuada implementación, este concepto será de ayuda en la elaboración de una fuente conmutada.

## DESARROLLO

### MARCO TEÓRICO:

Para la construcción de bobinas fijas que se emplean en circuitos de baja potencia en las bandas de HF y VHF se utilizan casi exclusivamente núcleos toroidales.

Los motivos por los cuales se prefieren las inductancias con este tipo de núcleos a las clásicas bobinas cilíndricas son variados y los podemos resumir:

- Los núcleos toroidales, debido a su forma, no tienen campo magnético disperso y por tanto no es necesario encerrarlos en un blindaje metálico.
- El Q (factor de calidad) de un bobinado sobre un toroide es mayor que sobre una bobina convencional.
- El valor de inductancia depende fielmente del material empleado en el núcleo y del número de espiras, por lo que es muy fácil calcular el valor de la inductancia.
- Con estos se consiguen inductancias muy compactas y de reducido tamaño.
- Además, son muy útiles desde algunos cientos de Hz hasta muy arriba en el espectro de UHF.

El integrado LM2596 es un regulador monolítico que proporcionan todas las funciones activas para un regulador de conmutación descendente (buck), es capaz de conducir una carga 3A, una frecuencia de conmutación de 150KHz. Estos dispositivos están disponibles con tensiones de entradas fijas de entrada 3 V, 5 V, 12 V y una salida ajustable.

### DISEÑO:

- Para probar el inductor, se utilizó el integrado LM2596 (regulador switcher). En la hoja de datos se pueden obtener las especificaciones de diseño.
  - $L = 47\mu H$
  - $I_{max} = 1,5A$
  - $E = 12V$
  - $F = 150 KHz$
- Se eligió un toroide de color amarillo, midiendo los diámetros internos, externos y la altura se lograron obtener los siguientes valores:

$$\varnothing_{ext} = 21mm$$

$$\varnothing_{int} = 11mm$$

$$h = 8mm$$



A partir de esos valores y tomando como referencia las siguientes tablas, se logró obtener el tipo: T-80 Número 24.

TABLA NÚMERO UNO				
TIPO	DIÁMETRO EXTERIOR	DIÁMETRO INTERIOR	ALTURA	DESARROLLO
	mm	mm	mm	mm
T-12	3,1	1,5	1,3	4,2
T-16	4,1	1,8	1,5	5,3
T-20	5,1	2,0	1,8	6,7
T-25	6,4	3,0	2,5	8,4
T-27	6,9	3,4	3,1	9,7
T-30	7,6	3,8	3,3	10,4
T-37	9,4	5,1	3,3	10,9
T-44	11,2	5,8	4,0	13,4
T-50	12,7	7,6	4,8	14,7
T-60	15,2	8,4	4,8	16,4
T-68	17,3	9,4	4,8	17,5
T-80	20,3	12,4	6,4	20,7
T-94	23,9	14,2	7,9	25,5
T-106	26,9	14,2	11,2	35,1
T-130	33,0	19,0	11,2	36,4
T-157	39,9	24,1	14,5	44,8
T-184	46,7	24,4	18,0	58,3
T-200	50,8	31,7	14,0	47,1
T-200A	50,8	31,7	25,4	69,9
T-225	57,1	35,6	14,0	49,5
T-225A	57,1	35,6	25,4	72,3
T-300	76,2	48,8	12,7	52,8
T-300A	76,2	48,8	25,4	78,2
T-400	101,6	57,1	16,5	77,5
T-400A	101,6	57,1	33,0	110,5
T-520	132,1	78,2	20,3	94,5

TABLA NÚMERO DOS		
COLOR(ES)	NÚMERO	FRECUENCIAS
Amarillo-Blanco	26	Hasta 100KHz
Gris	3	50 KHz- 1MHz
Rojo-Blanco	15	0,1 - 3 MHz
Azul	1	0,5-5 MHz
Rojo	2	1 -30 MHz
Amarillo	6	2 - 50 MHz
Negro	10	5- 100 MHz
Azul-Amarillo	12	20 - 200 MHz
Verde-Blanco	17	20-200 MHz
Verde-Naranja	22	20-200 MHz
Marrón	0	50-300 MHz

- Se consideró  $A_l = 450$ ; a partir de la siguiente tabla; con ese valor se pudo calcular el número de vueltas utilizando la siguiente ecuación:

$$A_l = \frac{10000 \cdot L}{N^2}$$

$$\therefore N^2 = \sqrt{\frac{10000 \cdot L}{A_l}} = \sqrt{\frac{10000 \cdot 47}{450}} = 32.31 \text{ vueltas} \cong 32 \text{ vueltas}$$

TABLA NÚMERO TRES									
	26	3	15	1	2	6	10	17	0
T-12		60	50	8	20	17	12	7	3
T-16		61	5	44	22	19	13	8	3
T-20		90	6	52	27	22	16	10	3
T-25		100	100	70	34	27	19	12	5
T-27									
T-30	325	140	93	85	43	36	25	16	6
T-37	275	120	90	80	40	30	25	15	5
T-44	360	180	160	105	52	42	33	19	7
T-50	320	175	135	100	49	40	31	18	6
T-60									
T-68	420	195	180	115	57	47	32	21	8
T-80	450	180	170	115	55	45	32	22	9
T-94	590	248	200	160	84	70	58	32	11
T-106	900	450	345	325	135	116			19
T-130	785	350	250	200	110	96			15
T-157	970	420	330	320	140	115			
T-184	1640	720		500	240				
T-200	895	425		250	120	100			
T-200A	1550				218	180			
T-225	950	424			120	100			
T-225A	1600				215				
T-300	825				115				
T-300A	1600				228				
T-400	1320				185				
T-400A	2600				360				
T-520	1460				20				



- Debido a la corriente máxima, se escogió un cable de 19 [AWG], este presenta una resistividad ( $\rho$ ) de 0.264 [mΩ].

De la tabla WINDING TABLE, se comprobó que tiene un número máximo de 35 vueltas.

SINGLE LAYER WINDING TABLE																		
WIRE SIZE (AWG)	28	26	24	22	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	TOTAL POWER DISSIPATION (WATTS) VS TEMP. RISE		
RESISTIVITY (mΩ/cm)	2.13	1.34	.842	.530	.330	.264	.210	.166	.132	.104	.0828	.0651	.0521	.0413	.0328			
MAXIMUM AMPS 10C°	.64	.90	1.29	1.83	2.62	3.12	3.72	4.45	5.33	6.35	7.60	9.03	10.8	12.9	15.4			
PER ALLOWABLE 25C°	1.07	1.52	2.17	3.09	4.41	5.26	6.27	7.50	8.97	10.7	12.8	15.2	18.2	21.7	26.0			
TEMP RISE 40C°	1.38	1.97	2.81	4.00	5.70	6.81	8.11	9.70	11.6	13.8	16.6	19.7	23.5	28.1	33.6			
PART No.	MLT cm/turn	Surface Area cm²	NUMBER OF TURNS													10C°	25C°	40C°
T16	.80	.80	9	6	4	2	1									.013	.038	.067
T20	.96	1.16	11	8	5	3	2	1								.018	.055	.097
T25	1.19	1.88	18	14	10	7	5	4	3	2	1					.030	.089	.157
T26	1.74	2.67	15	11	8	5	3	2	1							.042	.127	.223
T30	1.44	2.79	25	20	15	11	7	6	5	4	3	2	1	1		.044	.133	.233
T37	1.53	3.77	37	29	22	17	12	11	9	7	6	5	4	3	2	.060	.180	.316
T38	1.92	4.43	31	24	18	13	10	8	7	5	4	3	2	2	1	.071	.211	.371
T44	1.84	5.23	43	34	26	20	15	13	11	9	7	6	5	4	3	.083	.249	.437
T50	2.01	6.86	59	47	37	28	22	19	16	14	12	10	8	7	6	.109	.326	.574
T50B	2.32	7.83	59	47	37	28	22	19	16	14	12	10	8	7	6	.125	.373	.659
T50D	2.95	9.87	59	47	37	28	22	19	16	14	12	10	8	7	6	.157	.470	.826
T51C	2.58	7.56	36	28	22	16	12	10	9	7	6	5	4	3	2	.120	.360	.633
T60	2.48	9.84	67	53	41	32	25	21	19	16	14	12	10	8	7	.156	.468	.824
T60D	3.68	14.3	67	53	41	32	25	21	19	16	14	12	10	8	7	.228	.681	1.20
T68	2.47	11.2	74	59	46	36	28	24	21	18	16	14	12	10	8	.178	.533	.936
T68A	2.77	12.5	74	59	46	36	28	24	21	18	16	14	12	10	8	.198	.594	1.04
T68D	3.41	15.2	74	59	46	36	28	24	21	18	16	14	12	10	8	.241	.722	1.27
T72	3.15	13.3	54	43	33	26	19	17	14	12	11	9	7	6	5	.212	.634	1.11
T80	2.8	15.5	103	82	64	51	39	35	30	27	23	20	17	15	13	.246	.736	1.30
T80B	3.44	18.7	103	82	64	51	39	35	30	27	23	20	17	15	13	.298	.892	1.57

Tras medir con un calibre la sección del conductor, se obtuvo:

$$A_c = 1.18 \text{ mm.}$$

- Utilizando las siguientes ecuaciones, se calcularon las pérdidas en el conductor, en el núcleo y sumando ambas se obtuvo la pérdida total.

$$R_c = \rho \frac{l_c}{A_c} = 0.264 \frac{\text{m}\Omega}{\text{cm}} * 32 * 1.5\text{cm} = 12.67\text{m}\Omega$$

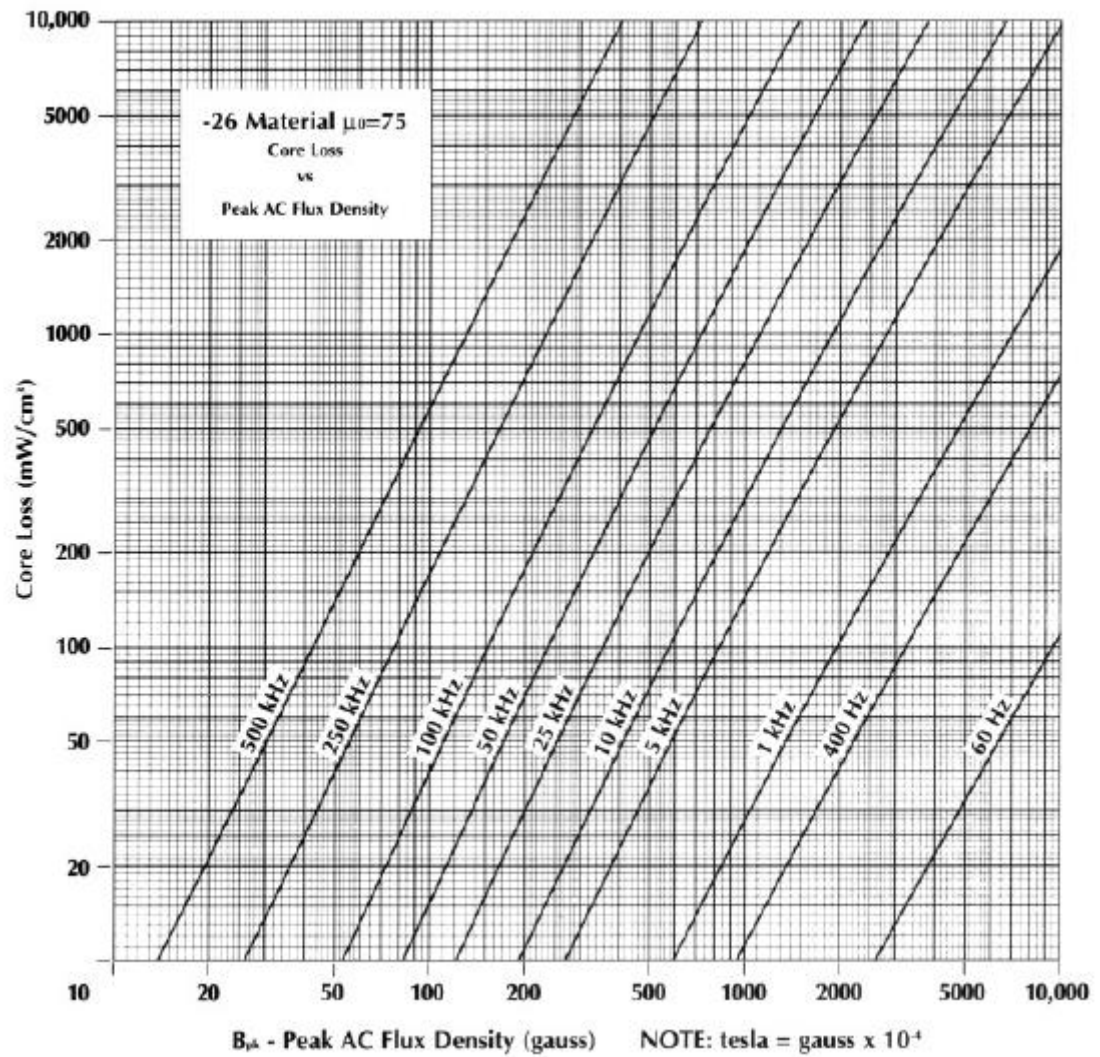
$$P_c = I_e f^2 * R_c = (1.5\text{A})^2 * 12.67\text{m}\Omega = 28.5\text{mW}$$

A posterior se calcula la pérdida en el núcleo a partir del flujo magnético B:

$$B = \frac{E_{pk} * t * 10^8}{N * S} = \frac{13.4\text{V} * 3\mu\text{s} * 10^8}{32 * 0.7853\text{cm}^2} = 159.97\text{Gauss}$$



Con el siguiente gráfico se obtiene el valor de  $P_N$ :



Por lo tanto

$$P_n = 120 \frac{mW}{cm^3}$$

Sumando ambos valores:

$$P_t = P_c + P_n = 148.5mW$$

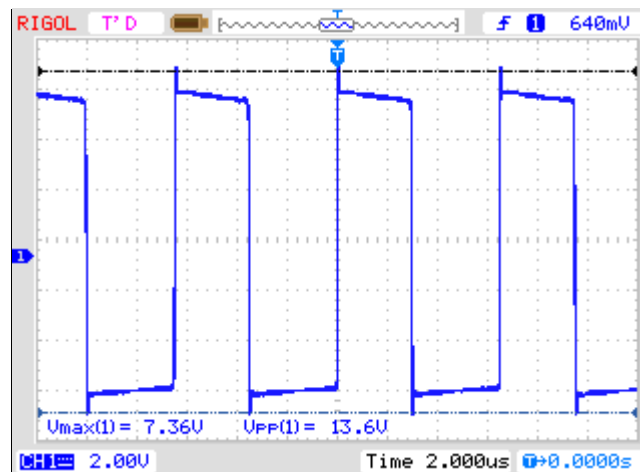


### COMPROBACION:

- Para verificar los valores calculados, se utilizó un puente RLC, con el cual se midió el valor propuesto en el diseño.



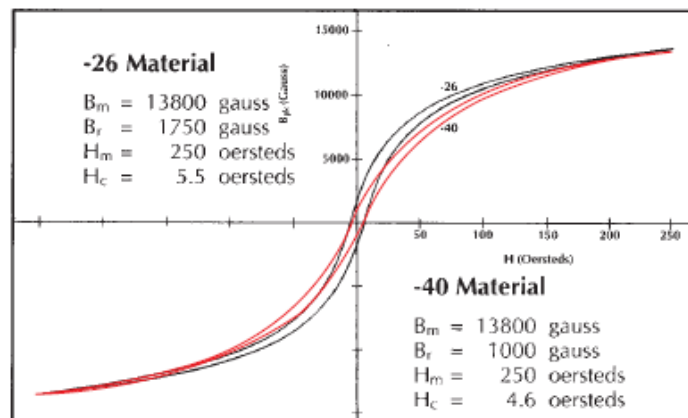
Mediante el circuito implementado, se comprobó que la bobina funcionaba correctamente.



- Para comprobar la máxima densidad de flujo magnético, se corroboró que:

$$B_{max} < B_{sat}$$

Conociendo  $B_{sat} = 13800 \text{ Gauss}$  a partir de la siguiente tabla y  $B_{max} = B_{CA} + B_{CC}$



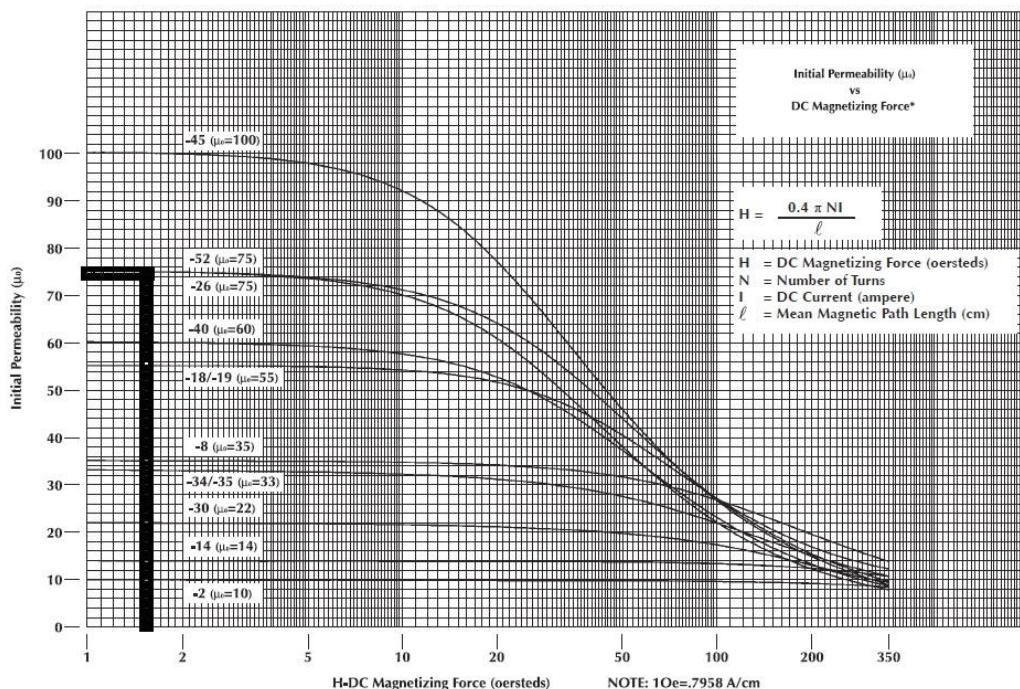




Para obtener  $B_{max}$ , primero calculamos  $H_{CC}$  (Campo magnético en continua)

$$H_{CC} = \frac{0.4 * \pi * N * I_{CC}}{l} = \frac{0.4 * \pi * 32 * 1.5A}{1.5cm * 32} = 1.2566 \left[ \frac{A}{cm} \right]$$

Como  $1[\text{oersteds}] = 0.7958 \left[ \frac{A}{cm} \right]$ , por lo tanto  $H_{CC} = 1.5790 [\text{oersteds}]$ . Con este valor y el número del núcleo (26), obtenemos  $\mu_r$ .



$$\mu_r = 75$$

$$B_{CC} = \mu_r * \mu_0 * H_{CC} = 75 * (4\pi * 10^{-7}) * 1.2566 = 0.000118431 \left[ \frac{A}{cm} \right]$$

$$\therefore B_{CC} = 118.431 [\text{Gauss}]$$

$$B_{CA} = \frac{V * 10^8}{4.44 * f * N * S} = \frac{9v * 10^8}{4.44 * 150KHz * 32 * 0.7853cm^2} = 50.69 \text{ Gauss}$$

$$\therefore B_{max} = B_{CA} + B_{CC} = 118.431 + 50.69 = 169.121 \text{ Gauss}$$

$$169.121 \text{ Gauss} < 13860 \text{ Gauss}$$

De esta manera se verificó que  $B_{max} < B_{sat}$  y no corremos riesgo de que se sature.



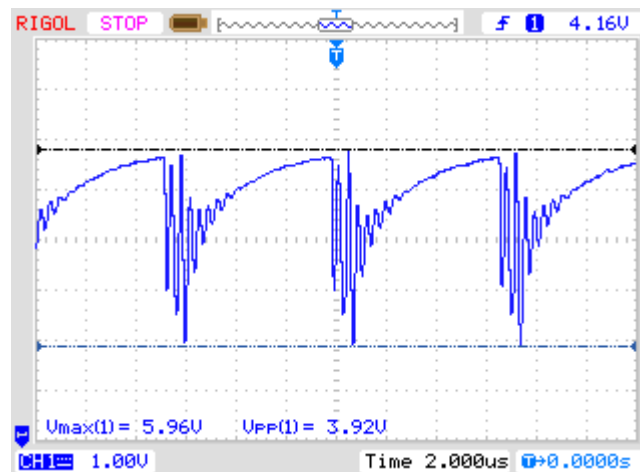


- Para medir el salto de temperatura a plena carga de corriente, se empleó un tester con el agregado de una termocupla, con el que se midieron los siguientes valores:

$$\begin{aligned}T_{ambiente} &= 23^{\circ}\text{C} \\T_{plena\ carga} &= 29^{\circ}\text{C} \\ \Delta T &= 6^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

De esta forma, queda en evidencia un salto de  $6^{\circ}\text{C}$ .

- Para medir el riple de corriente sobre el inductor a plena carga, se hizo uso de una resistencia de  $22\Omega$  en serie con el bobinado, se midió la tensión a bornes de la misma y con la ley de ohm se calculó la corriente. Como la imagen no representa correctamente la forma de onda, se integró la cuadrada observada en la figura anterior.



$$V = R * I \therefore I = \frac{V}{R} = \frac{5.96V}{22\Omega} = 270.90\text{ mA}$$



### Ensayos para diferentes núcleos:

Datos de diferentes toroides.

	<i>T-94/26</i>	<i>T80/26</i>
<i>Colores</i>	Amarillo y blanco	Amarillo y blanco
$\varnothing_{ext}$	24 mm	20.2 mm
$\varnothing_{int}$	14.2 mm	12.6 mm
<i>h</i>	7.92 mm	6.35 mm
$A_l$ del fabricante	$60[nHy/N^2]$	$71[nHy/N^2]$

Inductancia medida para diferente número de vueltas al toroide.

<i>Nº de vueltas</i>	<i>T-94/26</i>	<i>T80/26</i>
5	2.85 [ $\mu Hy$ ]	2.55 [ $\mu Hy$ ]
10	9.25 [ $\mu Hy$ ]	7 [ $\mu Hy$ ]
15	16 [ $\mu Hy$ ]	14 [ $\mu Hy$ ]

Se calculó el factor de inductancia  $A_l$  para diferentes núcleos, utilizando la ecuación:

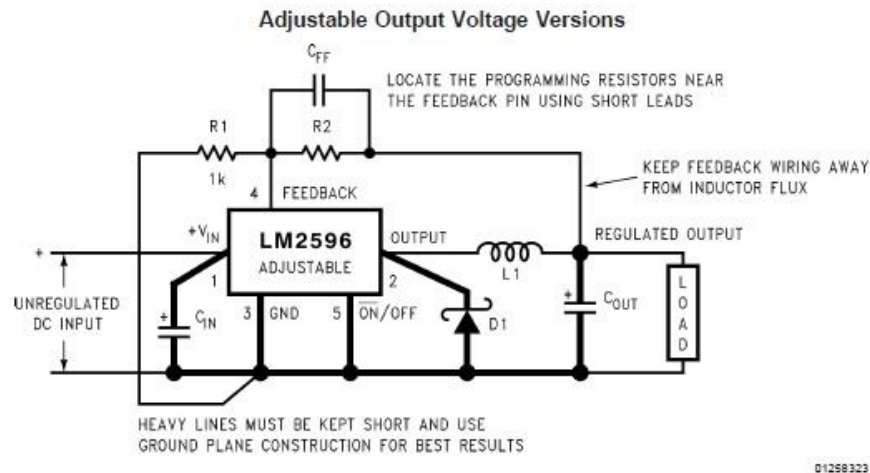
$$A_l = \frac{L[nHy]}{N^2}$$

<i>Nº de vueltas</i>	<i>T-94/26</i>	<i>T80/26</i>
5	114 [ $nHy/N^2$ ]	100 [ $nHy/N^2$ ]
10	92.5 [ $nHy/N^2$ ]	70 [ $nHy/N^2$ ]
15	71.1 [ $nHy/N^2$ ]	62.22 [ $nHy/N^2$ ]



## ESQUEMÁTICO:

El circuito se basó en el integrado LM2596adj cuyo esquemático se encontró en la hoja de datos del fabricante:



$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

where  $V_{REF} = 1.23V$

$$R_2 = R_1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

Select  $R_1$  to be approximately 1 k $\Omega$ , use a 1% resistor for best stability.

$C_{IN}$  — 470  $\mu F$ , 50V, Aluminum Electrolytic Nichicon "PL Series"

$C_{OUT}$  — 220  $\mu F$ , 35V Aluminum Electrolytic, Nichicon "PL Series"

D1 — 5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825

L1 — 88  $\mu H$ , L38

R1 — 1 k $\Omega$ , 1%

$C_{FF}$  — See Application Information Section

## CONCLUSIÓN

Logramos conocer los datos más significativos que permitieron la confección de bobinados sobre núcleos toroidales.

La correcta utilización del puente RLC que permitió medir la inductancia de dicho toroide implementado. Implementando un circuito en base al LM2596, visualizamos a modo de primera impresión, la forma de onda que debería verse al realizar el proyecto de la fuente conmutada.

Medimos el salto de temperatura como así también el ripple ambos a plena carga de corriente.

Por ultimo notamos que la  $A_i$  para diferentes núcleo aumenta al aumentar el número de vueltas del devanado.