

## CALCULO DEL TRANSFORMADOR

Los pasos que seguiremos para el cálculo y diseño del Transformador son los siguientes:

- 1) Usando el Software de On Semiconductor, calcularemos las principales variables del Transformador ( $L_{pmax}$ ,  $N=N_p/N_s$ ,  $B_{max}$ ,  $I_{pri rms}$  y  $I_{pri pk}$ ).
- 2) Calcularemos manualmente la cantidad de vueltas mínima y máxima del bobinado Primario  $N_{pmin}$  y  $N_{pmax}$ .
- 3) Calcularemos el Air Gap (or the Gapped core effective inductance  $Alg$ ).

Nota: Si  $B_{max}$  es mayor que 300mT (3000 Gauss), podemos hacer 2 cosas:

- a) Aumentar la sección central del Núcleo (núcleo más grande) o...
- b) Aumentar el número de vueltas del primario  $N_p$ .

Si  $B_{max}$  es menor que 200mT (2000 Gauss) podemos hacer las 2 cosas opuestas a lo anterior (disminuir la sección del núcleo y/o disminuir  $N_p$ )

Los Datos que necesitamos introducir en el Software de On Semiconductor son:

Tensión Nominal:  $V_{in} = 230V$

$V_{inmin} = V_{in} \times 0.8 = 184V \rightarrow$  ( $V_{in}$  menos el 20%)

$V_{inmax} = V_{in} \times 1.20 = 276V \rightarrow$  ( $V_{in}$  más el 20%)

$V_{inmin(pk)} = 184 \times \sqrt{2} = 260V \rightarrow$  ( $V_{inmin(pk)}$ )

$V_{inmax(pk)} = 276 \times \sqrt{2} = 390V \rightarrow$  ( $V_{inmax(pk)}$ )

Modo Operación: DCM (Discontinuous Conduction Mode)

Out1: 5V – 5A (Salida Sensada)

Out2: 12V – 2A

Out3: 16V – 0.1A (Tensión Auxiliar)

Temperatura Ambiente:  $T_a = 40^\circ C$

Ventilación: Natural

### Datos Para el Transformador Obtenidos del Software de On Semiconductor:

El diseño que mejor se adapta a nuestras especificaciones es el 5V5A+12V2A-2.

Los datos obtenidos del Soft de On Semiconductor son:

$L_{pri} = 460\mu H \rightarrow$  Máxima Inductancia Primaria (con una  $L_p$  mayor se entra en CCM)

$N_{pri} = 36$

$N=N_p/N_s = 18$

Max Flux = 286mT

$R_s = 0.529 \Omega$  (resistencia de sentido)

**Para adaptar mejor el diseño, adoptamos :**

$L_{pri} = 440\mu H$  (podría ser 460 $\mu H$  para un Gap mas chico)

$N_{pri} = 36$

Esto nos dá:  $Alg = 1000 L_p/N_p^2 = 1000 \times 460 / (36)^2 = 355nH/T^2 \rightarrow Alg=355nH/T^2$

$N=N_p/N_s = 18$  ( $N$  menor  $\rightarrow$  vamos hacia la saturación)

Esto hace que la SMPS entre en CCM a Low Line & Full Load.

Teniendo en cuenta que:  $1/N = (PIV - V_{out})/V_{inDCmax}$ , quiere decir que si disminuimos  $N$  aumentamos PIV (y viceversa).

En nuestro caso tenemos que la Tensión Inversa de Pico del diodo es:

$PIV = (V_{inDCmax}/N) + V_{out} = (390/18) + 5 = 29.4V$

El valor de  $PIV=29.4V$  está bastante razonable para un diodo con un  $V_{rrm}=35V$

Otro dato importante obtenido de Onsemi Soft es el valor de la resistencia de sentido  $R_s=0.529\Omega$ ; el valor estándar más cercano es  $0.5\Omega$ , dado que la diferencia es tan pequeña, no hace falta alterar los valores de  $I_{pri pk}$  y  $L_{pri}$ .

Valores de resistencias en DigiKey:

Sabemos que  $I_{pri} = 0.9V/R_s \rightarrow I_{pri} = 0.9V/0.5 \Omega = 1.8A$

### Opciones para el Núcleo del Transformador:

**NOTA 1:** Las ecuaciones para obtener  $\mu_e$  y  $Al$  son:

*Effective Permeability:*  $\mu_e = (1/\mu_0) \times (L/n^2) \times \sum l/A \rightarrow$  (donde  $\mu_0$  = Intrinsic Permeability)

*Inductance Factor:*  $Al = 0.4 \pi \mu_e / \sum l/A \rightarrow$  (donde  $\sum l/A$  dato aportado por el fabricante)

Si conocemos la inductancia primaria (en uH) y el número de vueltas del primario, podemos usar la siguiente ecuación:

$Al_g = 1000 L_p/N_p^2$  : Factor de Inductancia con Gapped Core ( $L_p$  en uH y  $Al_g$  en nH/T<sup>2</sup>).

**NOTA 2:** Todos los Core Sets serán "Gapeados" para obtener un Factor de Inductancia de:  $Al_g = 355 \text{ nH/T}^2$

#### MMG Neosid: Material F44 (muy bueno)

Core Type ETD29 - Material F44

Effective Area=76mm<sup>2</sup> – Effective Volume=5376mm<sup>3</sup> -  $\sum l/A=0.93\text{mm}^{-1}$

Gap=0 :  $\mu_e = 1443$  -  $Al=1950 \text{ nH/T}^2$

**MMG Part Number: 32- 580- 44** → Core (half core ungapped)

**MMG Part Number: 59-580-76** → Coil Former (horizontal)

**MMG Part Number: 76-055-95** → Clips

#### Epcos: Material N27 (bueno-regular) – N87 (muy bueno)

Core Type ETD29/16/10 Material N27

Effective Area=76mm<sup>2</sup> – Effective Volume=5350mm<sup>3</sup> -  $\sum l/A=0.93\text{mm}^{-1}$

Gap=0 :  $\mu_e = 1470$  -  $Al=2000 +30/-20 \%$  nH/T<sup>2</sup> -  $P_v < 1.04 \text{ W/set}$  (200mT, 25Khz, 100°C)

**Epcos Part Number: B66358-G-X127** → Core (half core ungapped)

**Epcos Part Number: B66359-B1013-T1** → Coil Former

**Epcos Part Number: B66359-A2000** → Yoke (clips)

#### FERROXCUBE: Usar material 3C90 (normal), 3C94 (pérdidas un poco menores, puede funcionar con un Bpk más alto ) mejor 3F3 (bajas pérdidas hasta 400khz)

Core Type ETD29/16/10 Material 3C94

Effective Area=76mm<sup>2</sup> – Effective Volume=5470mm<sup>3</sup> - Core Factor C1:  $\sum l/A=0.947\text{mm}^{-1}$

Gap=0 :  $\mu_e = 1770$  -  $Al=2350 \pm 25 \%$  nH/T<sup>2</sup>

$P_v < 3 \text{ W/set}$  (200mT, 100Khz, 100°C)

$P_v < 0.5 \text{ W/set}$  (100mT, 100Khz, 100°C)

**Ferroxcube Part Number: ETD29/16/10-3C94** → Core (half core ungapped)

**Ferroxcube Part Number: CPH-ETD29-1S-13P** → Coil Former

**Ferroxcube Part Number: CLI-ETD29** → Mounting Clip

#### TDK: Usar material PC40 (Bueno) – PC44 (Muy bueno) – PC45 (excelente)

Core Type ETD29/16/10 Material PC40

Effective Area=73.6mm<sup>2</sup> – Effective Volume=5200mm<sup>3</sup> - C1:  $\sum l/A=0.959\text{mm}^{-1}$

Gap=0 :  $\mu_e = \text{xxxx}$  -  $Al=2500 \pm 25 \%$  nH/T<sup>2</sup>

$P_v < 2.4 \text{ W/set}$  (200mT, 100Khz, 100°C)

**TDK Part Number: PC40ETD29-Z** → Core (half core ungapped)

**TDK Part Number: xxxxxxxxxxxx** → Coil Former

#### Magnetics Inc.: Usar material P (está okey) o mejor el R (si el precio no es muy alto)

Core Type ETD29 Material P

Effective Area=76mm<sup>2</sup> – Effective Volume=5470mm<sup>3</sup> - C1:  $\sum l/A=\text{xxxxx}$

Gap (see Al value) - :  $\mu_e = \text{xxxx}$  -  $Al=2843 \text{ nH/T}^2$

$P_v < 0.547 \text{ W/set}$  (100mT, 100Khz, 100°C)

**Magnetics Part Number: OP-42929-EC** → Core (half core ungapped)

**Magnetics Part Number: PCB42929FA** → Coil Former

Core Type ETD29 Material R

Effective Area=76mm<sup>2</sup> – Effective Volume=5470mm<sup>3</sup> - C1:  $\sum l/A=xxxxx$

Gap=0 -  $\mu_e = xxxx$  -  $Al=2250 \text{ nH/T}^2$

$P_v < 0.525 \text{ W/set (100mT, 100Khz, 100}^\circ\text{C)}$

$P_v < 3.39 \text{ W/set (200mT, 100Khz, 100}^\circ\text{C)}$

**Magnetics Part Number: OR-42929-EC** → Core (half core ungapped)

**Magnetics Part Number: PCB2929FA** → Coil Former

**Cosmo Ltd.:** Material: CF138 – Core ETD2910 –  $A_e=76\text{mm}^2$  –  $V_e=5377\text{mm}^3$  –  $Al=2350\text{nH}$

**NOTA 2:** Tener en cuenta que:

- 1) Bajo valor de  $L_{pri}$  ( $N_{pri}$  small – Gap big) implica altas corrientes de pico (con problemas de ruido en Stand By)
- 2) Alto valor de  $L_{pri}$  ( $N_{pri}$  big – Gap small) implica bajas corrientes de pico (y menos problemas de ruido), pero posiblemente surjan problemas por una alta inductancia de fuga ( $L_{lk}$ )
- 3) Más número de vueltas primarias (mayor  $N_{pri}$ ) permite una mayor inductancia primaria ( $L_{primax}$ ) antes de entrar en CCM (y viceversa).
- 4) Mayor  $N_{pri}$  → mayor inductancia primaria de fuga (muy malo) y también una mayor tensión  $V(BR)_{DSS}$  en el MOSFET porque si aumenta  $N_{pri}$  → aumenta  $N$  → aumenta  $V_{OR}$  → aumenta  $V(BR)_{DSS}$ .
- 5) Para disminuir la Inductancia de fuga primaria ( $L_{prilk}$ ) debemos disminuir  $N_{pri}$  y también disminuir el Gap (entrehierro) → esto nos lleva a entrar en CCM.
- 6) El problema es que para evitar saturar el núcleo, si disminuimos  $N_{pri}$  debemos aumentar el Gap o elegir un núcleo más grande.

### **Bobinado Primario:**

$N_{pri} = 36$  Turns

Voltage Máximo:  $V_{max} = 390\text{V}$  → ( $V_{inDCmax} = 390\text{VDC}$ )

Inductancia de Fuga:  $L_{leak} = 4.02\mu\text{H}$  (all secondaries shorted)

Maxima Resistencia:  $R_{primax} = 1.316 \text{ ohm}$

Corriente Primaria de Pico:  $I_{pripk} = 1.67\text{A}$

Corriente Primaria RMS :  $I_{pri rms} = 0.45\text{A}$

**Sección bobinado primario: ( $N_{pri} = 36$ )**

Partimos de la base que la capacidad óptima de corriente (**coc**) por unidad de área para el Cu es de  $450 \text{ A/cm}^2$  o sea **coc =  $4.5 \text{ A/mm}^2$** .

La sección de Cu del primario es:  $S_{pri} = \frac{I_{pri rms}}{coc} = \frac{0.45\text{A}}{4.5 \text{ A/mm}^2} = 0.1 \text{ mm}^2$

El diámetro correspondiente es:  $D_{pri} = 2 (S/\pi)^{1/2} = 1.1284 (0.1)^{1/2} = 0.36 \text{ mm}$

**Bobinado Secundario 5V – 5A:** Usamos el mismo **coc =  $4.5 \text{ A/mm}^2$**

$N_{sec1} = 2$  Turns

Voltage Máximo:  $V_{sec1max} = 29.2\text{V}$

Corriente de Pico:  $I_{sec1pk} = 13.2\text{A}$

Corriente Sec1 rms:  $I_{sec1 rms} = 6.6\text{A}$

**Sección bobinado secundario : ( $N_{sec1} = 2$  vueltas)**

La sección de Cu del Sec1 es:  $S_{sec1} = \frac{I_{sec1rms}}{coc} = \frac{6.6A}{4.5 A/mm^2} = 1.47 mm^2$

El diámetro correspondiente es :  $D_{sec1} = 2 (S/\pi)^{1/2} = 1.1284 (1.47)^{1/2} = 1.37 mm$

**Bobinado Secundario 12V – 2A:** Usamos el mismo  $coc = 4.5 A/mm^2$

$N_{sec2} = 5$  Turns

Voltage Máximo:  $V_{sec2max} = 73V$

Corriente de Pico:  $I_{sec2pk} = 5.28A$

Corriente Sec2 rms:  $I_{sec2rms} = 2.65A$

**Sección bobinado secundario : ( $N_{sec2} = 5$  vueltas)**

La sección de Cu del Sec1 es:  $S_{sec2} = \frac{I_{sec2rms}}{coc} = \frac{2.65A}{4.5 A/mm^2} = 0.59 mm^2$

El diámetro correspondiente es :  $D_{sec2} = 2 (S/\pi)^{1/2} = 1.1284 (0.59)^{1/2} = 0.87 mm$

**Bobinado Tension Auxiliar 16V – 0.1A:** Usamos el mismo  $coc = 4.5 A/mm^2$

$N_{sec3} = 6$  Turns

Voltage Máximo:  $V_{sec3max} = 87V$

Corriente de Pico:  $I_{sec3pk} = 0.27A$

Corriente Sec3 rms:  $I_{sec3rms} = 0.14A$

**Sección bobinado secundario : ( $N_{sec3} = 6$  vueltas)**

La sección de Cu del Sec3 es:  $S_{sec3} = \frac{I_{sec3rms}}{coc} = \frac{0.14A}{4.5 A/mm^2} = 0.03 mm^2$

El diámetro correspondiente es :  $D_{sec3} = 2 (S/\pi)^{1/2} = 1.1284 (0.03)^{1/2} = 0.20 mm$

### **Consideraciones sobre el diámetro de los conductores:**

Debemos tener en cuenta que el diámetro del Cu no debe ser mayor que  $D_{PEN}$  (penetration depth) por el problema del skin effect (efecto piel).

Para una frecuencia de 100 kHz tenemos:

$D_{PEN} = 7.6/\sqrt{f} = 0.024 cm \rightarrow D_{PEN} = 0.24 mm$

Teniendo en cuenta que el bobinado está hecho con vueltas unas junto a las otras en cada capa (layer), el espesor efectivo de la capa "layer Thickness" ( $L_{Tef}$ ) es (de acuerdo a las investigaciones de Dowell) 0.85 veces el diámetro del hilo (Cu). (**Eddy Current Losses in Transformer Windings and Circuit Wiring**)

Ahora podemos calcular el Diámetro Máximo  $\varnothing_{max}$  permisible en los conductores de los bobinados para que el Skin Effect no sea un problema:

Lo que se considera óptimo es una  $Fr = R_{ac}/R_{dc} = 1.5$  ; para lograrlo se debe tener una Q como:  $Q = L_{Tef}/D_{PEN} = 1.6$  : Donde  $L_{Tef} = 0.85 \varnothing_{max}$  (para bobinado de una sola capa).

Por lo tanto:  $Q = 0.85 \cdot \varnothing_{max}/0.24 = 1.6 \rightarrow \varnothing_{max} = 1.6 \times 0.24/0.85 \rightarrow \varnothing_{max} = 0.45mm$

O lo que es lo mismo:  $S_{max} = \pi \cdot \varnothing_{max}^2/4 \rightarrow S_{max} = 0.159 mm^2$

**OBSERVACIÓN:** Según AN1024a (International Rectifier) :

$\varnothing_{max} \leq 26AWG - S_{max} = 0.13 mm^2$

donde 26AWG = 0.4mm  $\rightarrow S_{cond} = 0.13mm^2 \rightarrow S_{wire} = 0.17mm^2 \rightarrow 22.12 Turn/cm$

**Bobinado Primario:**  $I_{rms}=0.452A - I_{pk}=1.67$

( $S_{pri} = 0.10 mm^2 - D_{pri} = 0.36mm - N_{pri} = 32$ )

Datos a tener en cuenta:  $\varnothing_{max} = 0.45mm - S_{max} = 0.159 mm^2$

Segun IR:  $\emptyset_{max} \leq 26AWG (0.4mm)$  -  $S_{max} = 0.13 \text{ mm}^2$

Para nuestro caso tenemos:  $D_{pri} < \emptyset_{max} \rightarrow$  **Está OK.**

Por lo tanto en lo que respecta a la sección de Cu, en el Primario podemos usar bobinado unifilar (falta considerar que porción de la altura útil se cubre).

**Desde el punto de vista de la Sección Adoptamos  $D_{pri} = 0.40 \text{ mm}$**

Vamos a ver ahora el número de capas del Bobinado Primario:

Número de capas: La altura útil del yugo central del ETD29/16/10 es de:  $HU = HY - CP$

Donde  $HY=19\text{mm}$  y Creepage Distance (CP) debe ser como mínimo 2mm (ideal 3mm) a cada extremo del bobinado.

$HU = (19 - 2 \cdot CP) \text{ mm} \rightarrow HU = 19 - 2 \times 2.5 = 14 \text{ mm}$

O sea que el número máximo de vueltas por capa (VPCmax) es:

Para calcular el VPC usamos el Diámetro del Hilo:  $D_h = D + 0.05 = 0.4 + 0.07 = 0.47\text{mm}$

$VPC_{max} = HU/D_h = 14/0.47 = 29.8 \text{ vueltas} \rightarrow VPC_{max} < N_{pri} \rightarrow$  **Not Okey**

Por lo tanto debemos usar 2 layers de 18 Turns cada una.

Para que el bobinado cubra todo el Yugo útil ( $HU=14\text{mm}$ ) calcularemos cual debe ser el ancho =  $D'$  de cada vuelta:  $D' = 2HU/N_{pri} = 2 \times 14/32 \rightarrow D' = 0.87\text{mm}$

Podemos usar 2 hilos de  $D=0.3\text{mm}$  ( $D_h=0.4\text{mm}$ ), lo que nos dá:  $D'=0.80\text{mm}$ , la altura del yugo que se cubre con 16 Turns de  $D'=0.80\text{mm}$  es:  $H=16 \times 0.80 = 12.8\text{mm}$ . Por lo tanto la CP será:  $CP=(HY-H)/2=(19-12.8)/2 \rightarrow$  **CP=3.1mm ; Está Perfectamente Okey !**

La nueva Sección del Primario será:  $S'_{pri} = 2 \times 0.7854 \times 0.3^2 = 0.14\text{mm}^2$

**$S'_{pri} = 0.14\text{mm}^2$  ; Está Okey!**  $\rightarrow$  Puesto que  $S'_{pri} > S_{pri}$

Por lo tanto nos queda para el Bobinado Primario:

**$N_{pri} = 36 \text{ Turns (Bifilar)} - 2 \text{ Layers de } 18 \text{ Turns c/u} - D_{pri} = 0.30\text{mm} (D_{total}=0.4\text{mm})$**

**Bobinado secundario 5V- 5A:**

**$(S_{sec1} = 1.47\text{mm}^2 - D_{sec1} = 1.37\text{mm} - N_{sec1} = 2)$**

Datos a tener en cuenta:  $\emptyset_{max} = 0.45\text{mm}$  -  $S_{max} = 0.159 \text{ mm}^2$

Segun IR:  $\emptyset_{max} \leq 26AWG (0.4\text{mm})$  -  $S_{max} = 0.13 \text{ mm}^2$

Para nuestro caso tenemos:  $D_{sec1} \gg \emptyset_{max} \rightarrow$  **¡Not Okey!**

En este caso dada la gran Sección del Conductor podemos usar una "Tira" o "fleje" de cobre con un ancho igual a la altura útil del yugo HU y con un espesor tal de cumplir con la Sección necesaria:

$S_{sec1} = E \times HU = 1.47\text{mm}^2 \rightarrow E = 1.47/HU = 1.47/14$  Finalmente nos queda:

$E = 0.105\text{mm}$  - Adoptamos un espesor Estandar  $E=0.2\text{mm} < D_{pen}$

Finalmente nos queda un "FLEJE" de:  $14 \times 0.2 \text{ mm}$

**$N_{sec1} = 2 \text{ Turns} - 2 \text{ Layers de } 1 \text{ Turn cada una} - \text{Fleje } 14 \times 0.2 \text{ mm}$**

**Bobinado secundario 12V - 2A :**

**$(N_{sec2} = 5 - S_{sec2} = 0.59 \text{ mm}^2 - D_{sec2} = 0.87 \text{ mm})$**

Datos a tener en cuenta:  $\emptyset_{max} = 0.45\text{mm}$  -  $S_{max} = 0.159 \text{ mm}^2$

Segun IR:  $\emptyset_{max} \leq 26AWG (0.4\text{mm})$  -  $S_{max} = 0.13 \text{ mm}^2$

Para nuestro caso tenemos:  $D_{sec2} \gg \emptyset_{max} \rightarrow$  **¡Not Okey!**

Si adoptamos los datos de IR y usamos Hilo de 0.4mm, calcularemos la cantidad de hilos necesarios para alcanzar la  $S_{sec2}=0.59\text{mm}^2$ :

Número Hilos:  $N_h = S_{sec2}/S_{max} = 0.59/0.13 = 4.54$  Hilos

Vamos a ver ahora el número de capas del Bobinado Secundario 2:

La altura útil del yugo central del ETD29/16/10 es de:  $HU = HY - CP$

Donde  $HY=19\text{mm}$  y Creepage Distance (CP) debe ser como mínimo 2mm (ideal 3mm) a cada extremo del bobinado.

$HU = (19 - 2 \cdot CP) \text{ mm} \rightarrow HU = 19 - 2 \times 2.5 = 14 \text{ mm}$

O sea que el número máximo de vueltas por capa (VPCmax) es:

Para calcular el VPC usamos el Diámetro del Hilo:  $D_h = D + 0.07 = 0.4 + 0.07 = 0.47\text{mm}$

Como tenemos un bobinado de 5 hilos:  $D_h = 0.47 \times 5 = 2.35 \text{ mm}$

$VPC_{max} = HU/D_h = 14/2.35 = 5.95$  vueltas  $\rightarrow VPC_{max} > N_{sec2} \rightarrow$  **Está Okey**

Para que el bobinado cubra todo el Yugo útil, podemos aumentar la CP a 3mm, esto nos deja una  $HU=13$ , lo que haremos ahora es bobinar las 5 vueltas espaciadas de tal forma de cubrir los 13 mm.

La nueva Sección del Primario será:  $S'_{sec2} = 5 \times 0.7854 \times 0.4^2 = 0.63\text{mm}^2$

**$S'_{sec2} = 0.63\text{mm}^2$  ¡Está Okey!**  $\rightarrow$  Puesto que  $S'_{sec2} > S_{sec2}$

Finalmente nos queda:

**$N_{sec2} = 5$  Turns - Bobinado de 5 Hilos -  $D_{sec2} = 0.40\text{mm}$  ( $D_{total}=0.47\text{mm}$ )**

**O Litz Wire de 15x30AWG = 18.5AWG (Bobinado Unifilar)**

**Bobinado secundario : 16V – 0.1A :**

**( $N_{sec3} = 6$  -  $S_{sec3} = 0.03\text{mm}^2$  -  $D_{sec3} = 0.20\text{mm}$ )**

Datos a tener en cuenta:  $\varnothing_{max} = 0.45\text{mm}$  -  $S_{max} = 0.159 \text{ mm}^2$

Segun IR:  $\varnothing_{max} \leq 26\text{AWG}$  (0.4mm) -  $S_{max} = 0.13 \text{ mm}^2$

Para nuestro caso tenemos:  **$D_{sec3} < \varnothing_{max} \rightarrow$  ¡Está Okey!**

Tentativamente elegimos un Diámetro Estándar:  $D_{sec3}=0.30 \text{ mm}$ . Vamos a ver cuantas turns de  $D_h=0.30+0.08 \approx 0.40\text{mm}$  entran en el Yugo por Capa:

Para calcular el VPC usamos el Diámetro del Hilo:  $D_h = 0.38\text{mm}$

$VPC_{max} = HU/D_h = 14/0.40 = 35$  vueltas  $\rightarrow VPC_{max} \gg N_{sec2} \rightarrow$  **Not Okey** la altura del yugo cubierta por el bobinado es muy chica.

Con el solo propósito de hacer que el bobinado cubra una altura mayor, probamos usando bobinado multifilar : de 4 hilos  $\rightarrow$  tenemos en total 24 hilos, lo que nos dá una altura de yugo cubierta igual a:

$H=6 \times 4 \times 0.40 = 9.6\text{mm}$

Fijaremos nuestra Creepage Distance  $CP=3\text{mm}$  y distribuiremos las vueltas del bobinado de manera de cubrir toda la Altura Útil ( $HU = 19-6 = 13\text{mm}$ )

Finalmente nos queda:

**$N_{sec3} = 6$  Turns - Bobinado de 4 Hilos -  $D_{sec3} = 0.30\text{mm}$  ( $D_{total}=0.40\text{mm}$ )**

**Instrucciones para el Armado del Bobinado**

La primera capa es la que está sobre la parte central del núcleo.

**1ra Capa: 16 vueltas “Primario” (Bifilar) - - - - -  $\rightarrow D = 0.30 \text{ mm}$**

**2da Capa: 6 vueltas “16V – 0.1A” (4 hilos) - - - -  $\rightarrow D = 0.30 \text{ mm}$**

3ra Capa: 1 vueltas "5V – 5A" FLEJE ----- → 13 x 0.17 mm  
 4ta Capa: 1 vueltas "5V – 5A" FLEJE ----- → 13 x 0.17 mm  
 5ta Capa: 5 vueltas "12V – 2A" (5 Hilos)- - - → D = 0.40 mm  
 6ta Capa: 16 vueltas "Primario" (Bifilar) - - - - - → D = 0.30 mm

**Observación 1:** 1ra y 6ta Capas van en serie (suman en total 32 vueltas).

Vamos a comprobar que las 6 capas entran en las dimensiones (ancho) de la ventana disponible en el Núcleo ETD29/16/10:

**Alto Ventana:** HW = HU = 15 mm

**Ancho Ventana** WW = 4.5 mm

**Espesor Cinta Mylar:** M=0.065mm

**Espesor Barniz Aislante:** 0.05mm (en realidad es menor de 0.04mm)

Redondeando tomamos:

Espesor final alambre Cu de 0.30 → 0.40mm

Espesor final alambre Cu de 0.40 → 0.47mm

Espesor final Fleje Cu (con aislación Kaptón) → 0.34mm

Las 6 capas ocupan un espesor de:

WL = 0.4+2xM+0.4+3xM +1x0.34+1x0.34+1xM+0.47+3xM+0.4+3xM= 2.35+12M

Espesor Bobinas: WL = 2.35+12x0.065 = 3.13mm << 4.5mm → ¡Está Okey!

### Calculo del Air Gap

Usaremos la Fórmula:  $l_g = 40 \cdot \pi \cdot A_e ((N_p^2/1000 \cdot L_p) - (1/AI)) \rightarrow AN-32$  (page 12) Power Integrations Inc.

Donde:  $A_e=0.76\text{cm}^2$  -  $N_p=32$  -  $L_p=420\mu\text{H}$

El factor de Inductancia (AI) lo tomamos del Tipo de Núcleo elegido: En este caso se trata del 32-580-44 (Material F44 de MMG) para el cual:  $AI = 1950 \text{ nH/turn}^2$

$l_g = 40 \cdot \pi \cdot 0.76 ((32^2/1000 \cdot 420) - (1/1950)) = 95.5 (2.438 \cdot 10^{-3} - 5.128 \cdot 10^{-4}) = 0.184 \text{ mm}$

**Finalmente:  $L_g = 0.184\text{mm}$  → Según Power Integrations Inc.**

*Si usamos la Fórmula provista por On Semiconductor, tenemos:*

**$L_g = 1000 (\mu_0 \cdot \mu_a \cdot N^2 \cdot A_e - L_p \cdot l_m) / (L_p \cdot \mu_a)$**

Donde  $\mu_a$ =Amplitude Permeability (Core permeability at high flux excursions) = 2300  
 $\mu_0$  = Air Permeability =  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hy/m}$  -  $A_e$  = Core Effective area =  $76\text{mm}^2 = 76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$   
 $l_m$  = Mean Magnetic Path Length = 70.4mm = 0.0704m

Por lo tanto, sustituyendo tenemos:

$L_g = 1000(4\pi \cdot 10^{-7} \times 2300 \times 32^2 \times 76 \cdot 10^{-6} - 420 \cdot 10^{-6} \times 0.0704) / (420 \cdot 10^{-6} \times 2300) =$

$L_g = 1000 (2.25 \cdot 10^{-4} - 2.957 \cdot 10^{-5}) / (0.966) = 0.202 \text{ mm}$

**Finalmente:  $L_g = 0.202\text{mm}$  → Según On Semiconductor**

**Observaciones:** Hay que tener en cuenta que lo más adecuado es partir de los datos conocidos Inductancia Primaria ( $L_p$ ) o Factor de Inductancia (AI):

$L_p = 420 \mu\text{H}$  → Calculado por el Software de On Semi.

$Alg = 1000 L_p/N_p^2$  : Factor de Inductancia con Gapped Core ( $L_p$  en  $\mu\text{H}$  y  $Alg$  en  $\text{nH/T}^2$ ).

$Alg = 1000 \times 420 / (32)^2 = 410 \text{ nH/T}^2$  (nanohenrios por vueltas al cuadrado)

Para ser más precisos se debe realizar el "gap" con la longitud adecuada de manera que la  $L_p$  o la  $Alg$  sean las correctas.