

Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Inductores Núcleo Laminado

► Método de Hanna

- El método supone despreciar el valor de ΔB de la corriente alterna.

$$L = \frac{0,4 * \pi * N^2 * S_h}{l_h} * \mu_0 * 10^{-8} [H]$$

- Donde N , S_h y l_h y μ_0 son incógnitas.
- El método consiste en dar valor a alguna de ellas.
- Sacamos S_h en base a la potencia

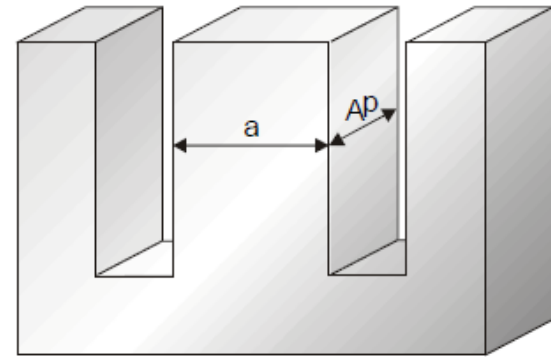
$$S_h = 1,2 \text{ a } 2 * \sqrt{P}$$

Inductores Núcleo Laminado

- Despejamos a sabiendo que Ap puede valer entre 1 y $1,5 * a$

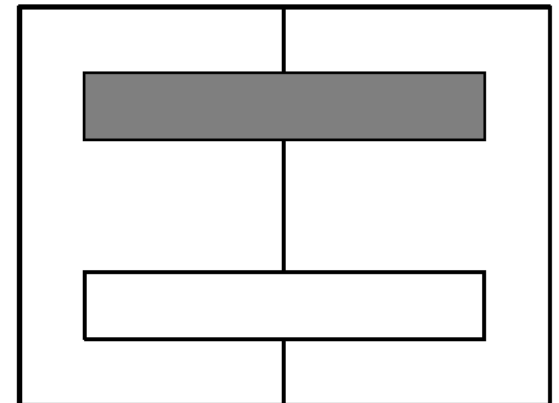
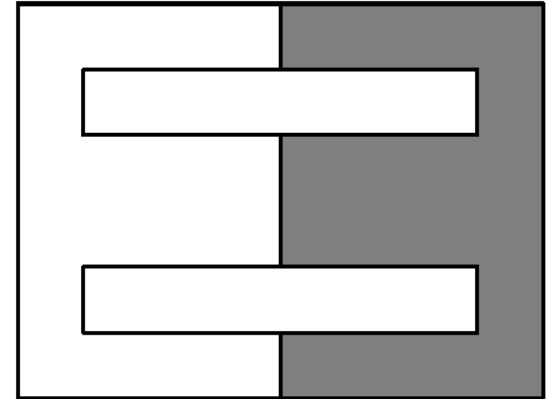
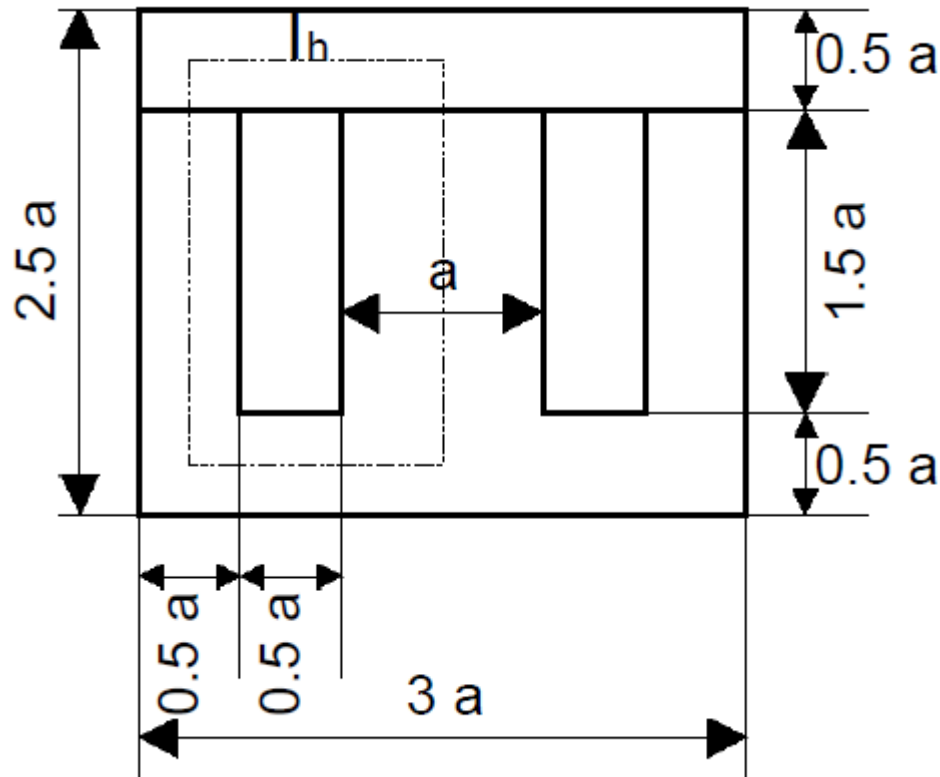
$$S_h = 0,95 * a * Ap$$

- Conociendo S_h y I_h



Inductores Núcleo Laminado

- Conociendo S_h y
- $l_h = 6 \cdot a$ (laminación comercial)



Inductores Núcleo Laminado

- Quedan por determinar N y μ_0
- Hacer μ_0 máximo

$$\mu_0 = \frac{1}{\mu_{\Delta}} - \frac{l_a}{l_h}$$

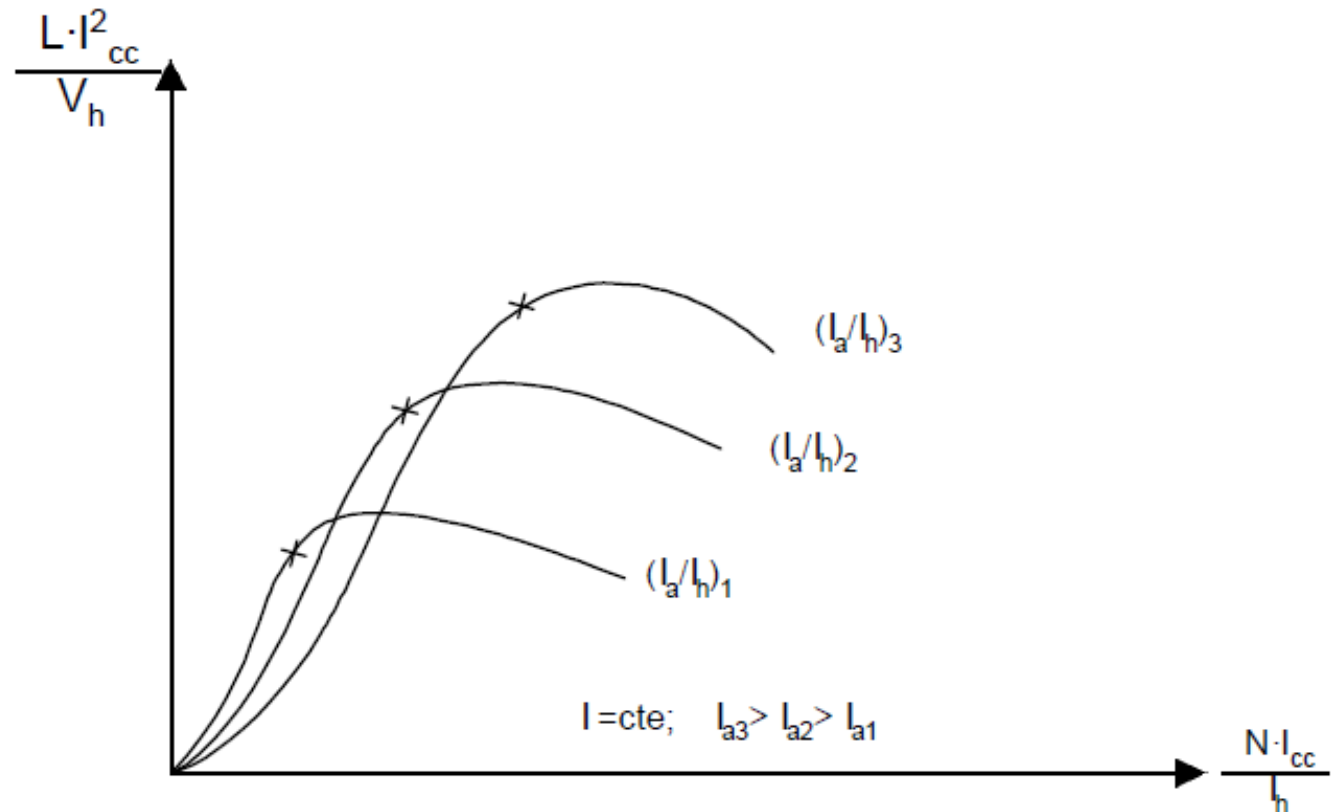
- Procesando matemáticamente se pueden graficar las relaciones

$$\frac{L * I_{CC}^2}{V_h}$$

$$\frac{N * I_{CC}}{l_h}$$

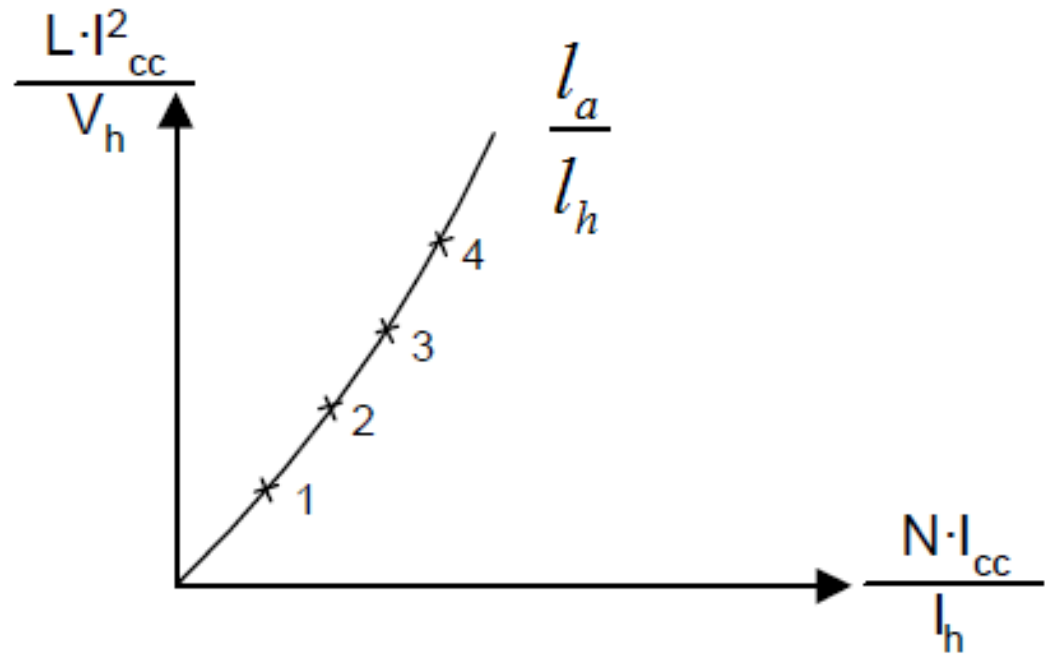
Inductores Núcleo Laminado

- Variando B se puede obtener un grupo de gráficas



Inductores Núcleo Laminado

- Donde se puede determinar los valores óptimos.



- Sabiendo que

$$S_h * l_h = V_h$$

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Proyecto de Inductor con Método Hanna
- ▶ Datos
 - Inductancia deseada L
 - Corriente continua circulante I_{cc}
 - Tensión Alterna aplicada E_{ca}
 - Frecuencia de Trabajo f .
- ▶ Desarrollo

1 – Determinación de la sección de la laminación

S_h .

- Partimos de

$$\hat{I}_{ca} = \frac{\hat{E}_{ca}}{\omega * L}$$

Inductores Núcleo Laminado

- Luego se obtiene la potencia

$$P = \frac{\hat{E}_{ca} * \hat{I}_{ca}}{2}$$

- Y finalmente la sección buscada

$$S_h = 1,2 \text{ a } 2 * \sqrt{P}$$

2 – Elección de la laminación en base al valor encontrado anteriormente.

- Determinar a , A_p y l_h

$$a = \sqrt{\frac{S_h}{0,95}}$$

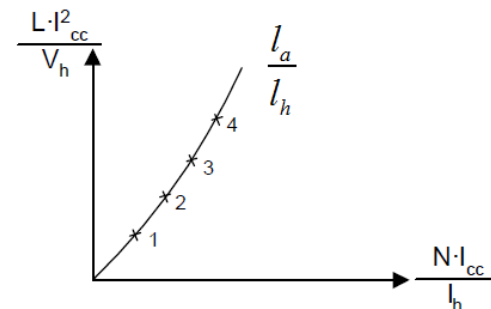
Inductores Núcleo Laminado

- Con el valor de a , se determina el A_p y la longitud magnética en base a la laminación comercial seleccionada.

$$V_h = S_h * l_h = 0,95 * A_p * a * l_h$$

3 – Determinación de N y I_a

- Se calcula L y I_{cc}^2
- Con este dato se obtiene el N mínimo para hallar la envolvente a las curvas



Inductores Núcleo Laminado

4 – Determinación de la sección del conductor.

- Tener en cuenta las componentes de CC y de CA

$$I_{ef} = \sqrt{I_{ca}^2 + I_{cc}^2}$$

- Elección del valor de densidad de corriente y sección del conductor

$$J_{adm} = 2 \text{ a } 3 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

$$S_c = \frac{I_{ef}}{J}$$

Inductores Núcleo Laminado

5 – Verificación de la sección de la ventana.

- Se verifica que la distribución del devanado sea la correcta.
- Que no sea muy grande la laminación elegida.
Pérdida económica
- Que no sea de menor dimensión, ya que no entraría el bobinado.

6 – Sobre elevación de temperatura.

- Ajustar el valor de J de ser necesario.

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Método de diseño empleando Curvas M
 - En el método anterior la no verificación del AB puede llevar a un diseño antieconómico.
 - Partiendo de :

$$L = \frac{0,4 * \pi * N^2 * S_h}{l_h} * \frac{1}{\frac{1}{\mu_{\Delta}} + \frac{l_a}{l_h}} * 10^{-8} [Hy]$$

- Y procesando matemáticamente quedaría

$$K = \frac{L * I_{cc}^2}{V_h}$$

$$C = 0,4 * \pi * 10^{-8}$$

$$F^2 = \frac{N^2 * I_{cc}^2}{l_h^2}$$

$$\mu_0 = \frac{1}{\frac{1}{\mu_{\Delta}} + \frac{l_a}{l_h}}$$

Inductores Núcleo Laminado

- Y procesando matemáticamente quedaría

$$K = \frac{L * I_{cc}^2}{V_h}$$

$$C = 0,4 * \pi * 10^{-8}$$

$$F^2 = \frac{N^2 * I_{cc}^2}{l_h^2}$$

$$\mu_0 = \frac{1}{\frac{1}{\mu_{\Delta}} + \frac{l_a}{l_h}}$$

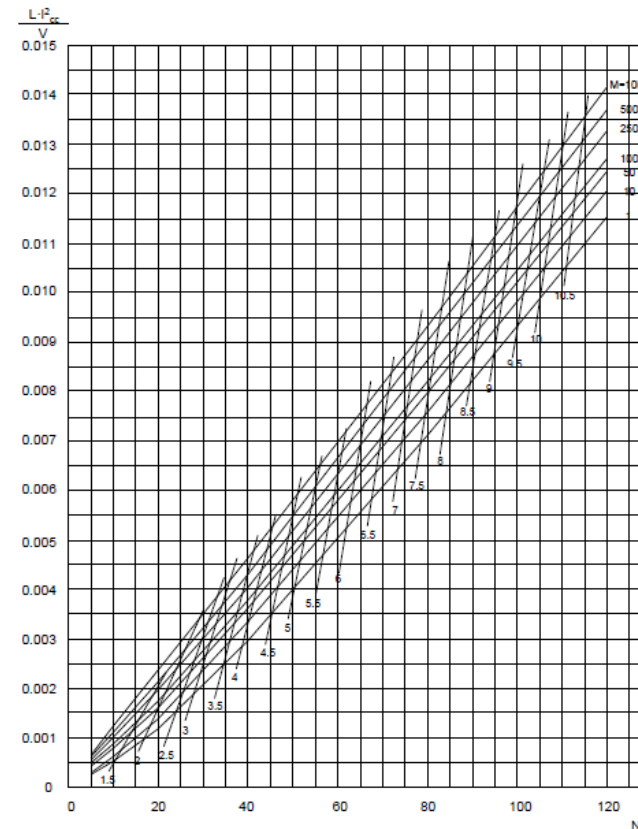
- De donde se puede obtener la relación

$$K = C * \mu_0 * F^2$$

- Si se evalúan para distintos valores
 - F → valor dado
 - V_h será mínimo si μ₀ es máximo

Inductores Núcleo Laminado

- Entonces el desafío es obtener un entrehierro que permita la $B_{\text{pico a pico}}$ con μ_0 máximo para tener la L de diseño con el menor volumen de hierro posible.



Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Proyecto de Inductor mediante Curvas M
- ▶ Datos
 - Inductancia deseada L
 - Corriente continua circulante I_{cc}
 - Tensión de alterna aplicada E_{ca}
 - Frecuencia de trabajo f
- ▶ Desarrollo
 - 1 – Determinación de la sección de la laminación.

$$\hat{I}_{ca} = \frac{\hat{E}_{ca}}{\omega * L}$$

Inductores Núcleo Laminado

- Se obtiene la potencia

$$P = \frac{\hat{E}_{ca} * \hat{I}_{ca}}{2}$$

- Y de ahí la sección

$$S_h = 1,2 a^2 * \sqrt{P}$$

2 – Determinación de la laminación

- Con el valor de a, se determina el A_p y la longitud magnética en base a la laminación comercial seleccionada.

$$a = \sqrt{\frac{S_h}{0,95}}$$

$$V_h = S_h * l_h = 0,95 * A_p * a * l_h$$

Inductores Núcleo Laminado

3 – Calculo de

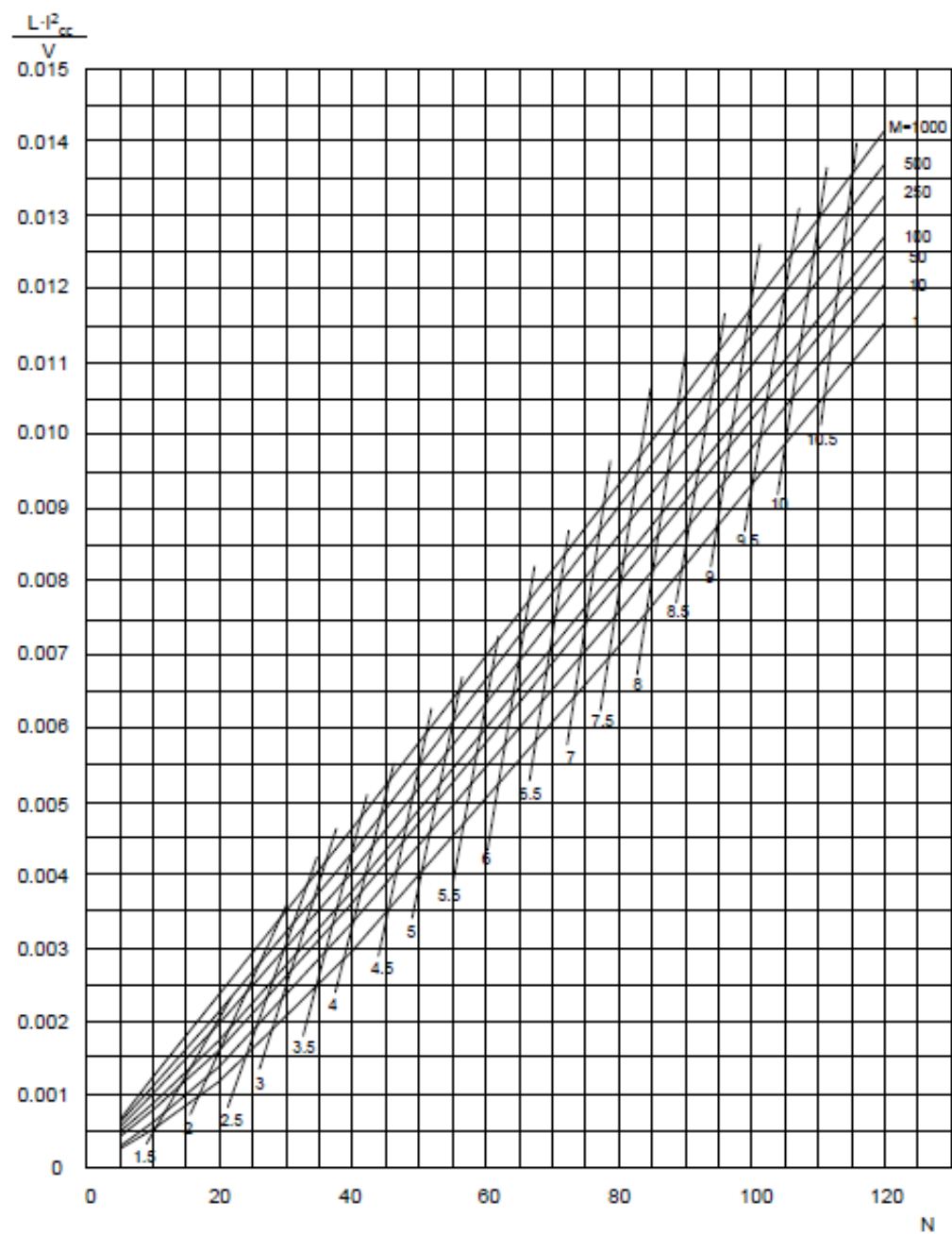
$$\frac{L * I_{CC}^2}{C_h}$$

$$M = \frac{\hat{E} * I_{CC} * 10^{-8}}{\omega * V_h}$$

4 – Uso de las curvas M para determinar

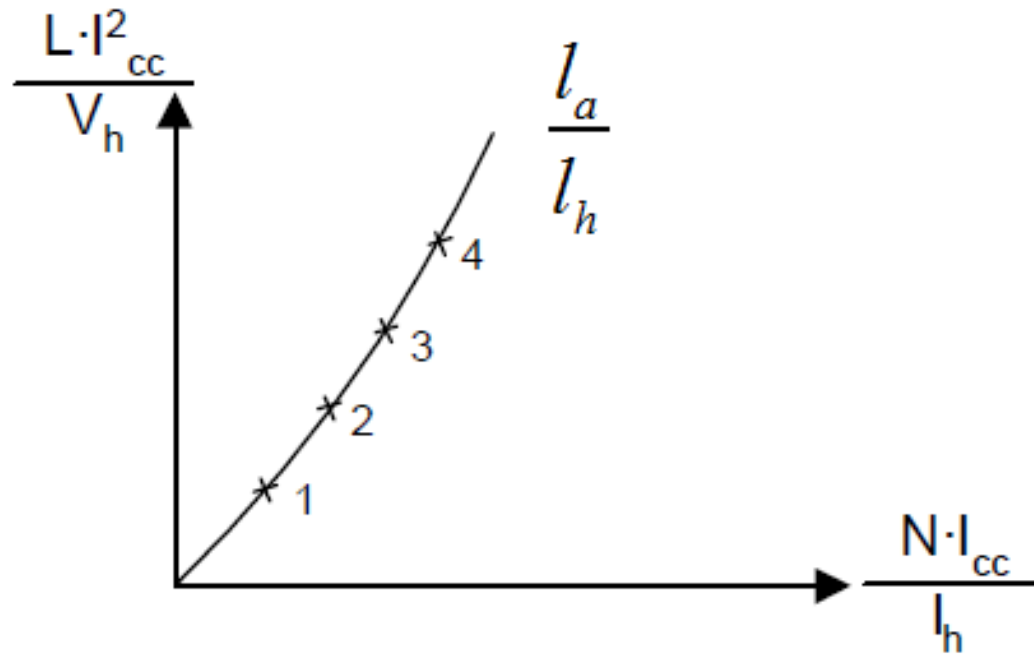
- Entro a la curva con el valor de ordenada calculado hasta llegar a la curva con el valor de M calculado.
- Saco las abscisas que resulte y obtengo N.

$$N = \frac{F * I_b}{I_{CC}}$$



Inductores Núcleo Laminado

- Además de la curva determino la relación óptima



Inductores Núcleo Laminado

5 – Determinación de la sección del conductor

$$I_{ef}^2 = I_{cc}^2 + I_{ca}^2$$

$$J_{adm} = 2 \text{ a } 3 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

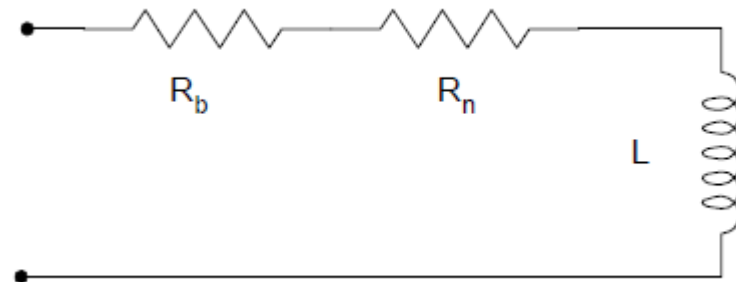
$$S_c = \frac{I_{ef}}{J}$$

6 – Verificación de la sección de la ventana

7 – Análisis de la sobreelevación de temperatura.

Inductores Alto Q

- ▶ Proyecto de Inductor de Alto Q
- ▶ Datos
 - Inductancia deseada L
 - Tensión trabajo E
 - Frecuencia de trabajo f
 - Dimensiones máximas
- ▶ Circuito Equivalente



Inductores Alto Q

► Rn

- Representa la resistencia equivalente de las pérdidas en el núcleo

$$R_n = \frac{W}{I} \left[\frac{W}{A} \right]$$

- Las pérdidas totales para una frecuencia determinada

$$W = K * B^2 * P$$

- K → constante que depende de la frecuencia y de las chapas
- B → inducción máxima en Gauss
- P → Peso en kg del núcleo

Inductores Alto Q

- Para un $Q > 10$

$$I = \frac{E}{2 * \pi * f * L}$$

- Entonces

$$R_n = \frac{K * B^2 * P}{E^2} * (2 * \pi * f * L)^2$$

- Además

$$R_b = \rho * \frac{N * t}{S} [\Omega]$$

- $N \rightarrow$ numero de vueltas
- $T \rightarrow$ longitud de la espira [cm]
 $S \rightarrow$ Sección de la espira [cm²]
 $P \rightarrow$ resistividad del cobre

Inductores Alto Q

- Teniendo en cuenta la sección de la ventana F .

$$S = \frac{0,3 * F}{N}$$

- Considerando la resistividad del cobre

$$R_b = \frac{N^2 * t}{0,3 * F} * 1,73 * 10^6$$

- Y sabiendo que

$$N = \frac{E * 10^8}{4,44 * B * f * S_h}$$

- Queda finalmente

$$R_b = \frac{30 * E^2 * t * 10^8}{F * B^2 * f^2 * S_h}$$

Inductores Alto Q

- Como el valor de Q es :

$$Q = \frac{2 * \pi * f * L}{R_n + R_b}$$

- Donde el valor máximo de Q se da para la combinación mínima de resistencias.
- Analizando combinaciones de R y de laminaciones

$$B = 94 * \frac{E}{f} * \frac{1}{\sqrt{S_h * L}} \sqrt[4]{\frac{t}{F * P * K}}$$

- B → Inducción
- Sh → Sección de la laminación
- F → Sección de la ventana
- P → Peso del núcleo

Inductores Alto Q

- La sección del cobre será:

$$S = \frac{0,3 * F}{N}$$

- O también:

- $F \rightarrow$ en cm
- $D_c \rightarrow$ en mm

$$D_c = 6,3 \sqrt{\frac{F}{N}}$$

- Además se puede determinar

$$L = \frac{0,4 * \pi * N^2 * S_h * 10^{-8}}{l_h * \left(\frac{1}{\mu_{\Delta}} + \frac{l_a}{l_h} \right)} \Rightarrow l_a = \left(\frac{0,4 * \pi * N^2 * S_h * 10^{-8}}{L} \right) - \frac{l_h}{\mu_{\Delta}}$$