



TRANSFORMADORES: SU CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN

Capítulo 11 : TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS

Docentes:

- *Mg. Claudio Dimenna*
- *Ing. Juan Carlos Stecca*

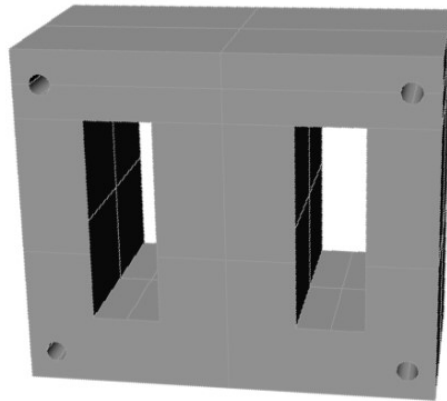
CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO

La totalidad de los transformadores pequeños, y cuya aplicación se encuentra especialmente en fuentes de alimentación, el núcleo de hierro que se utiliza es exclusivamente del tipo acorazado, con laminación estandarizada, y ventilación por aire convectivo.

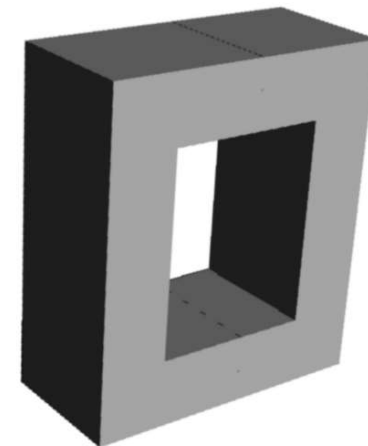
Pueden construirse transformadores de hasta potencias del orden de 2 kVA.

Para transformadores de mayor potencia (del orden de 4 o 5 kVA), de aplicación en soldadoras eléctricas y cargadores de baterías, se utilizan los núcleos del tipo de ventana, construyéndose el mismo con tiras o flejes de chapa silicio, con ventilación por aire natural o forzado.

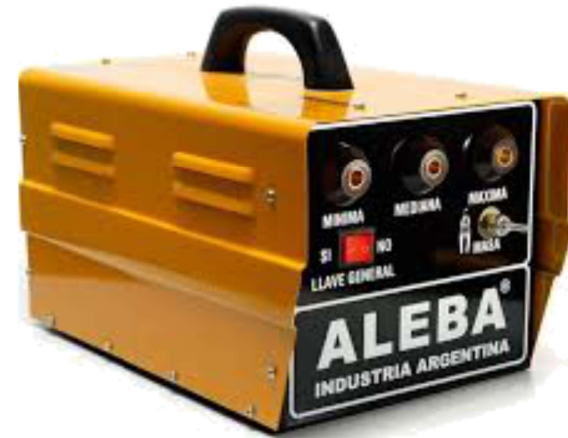
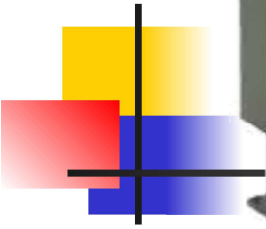
Los núcleos de ambos sistemas constructivos se muestran a continuación:



Núcleo acorazado



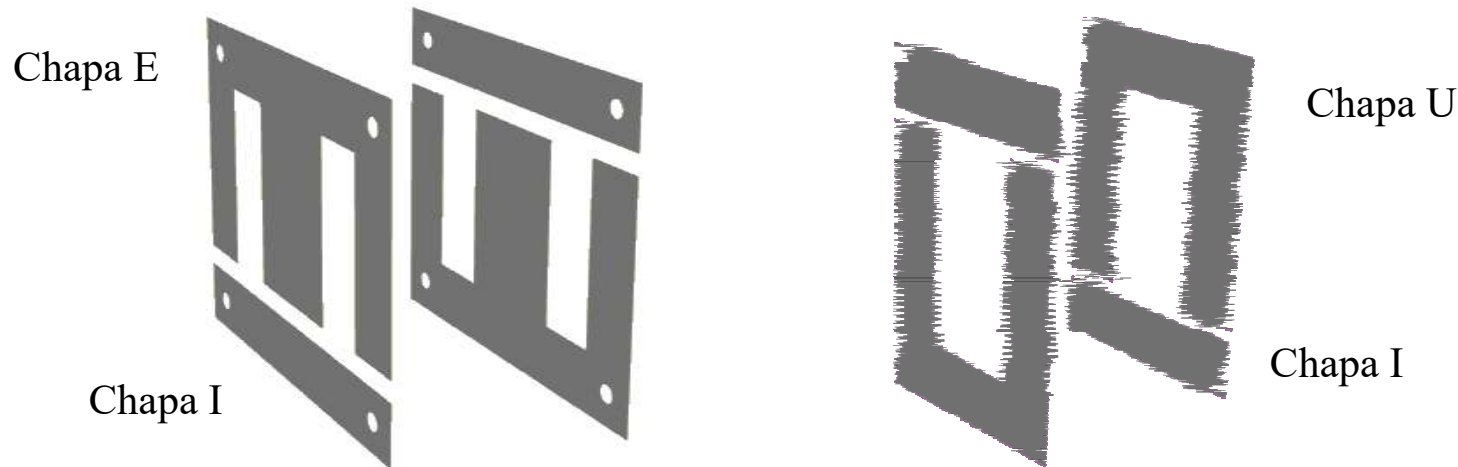
Núcleo ventana



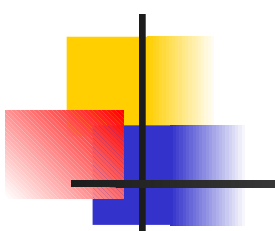
Capítulo 11 - TRANSF. MONOFÁSICOS

EL núcleo no es macizo, sino que esta formado por chapas de acero silicio (con el 2 a 4% y con espesores de 0,35 o 0,5 mm), superpuestas, y aisladas eléctricamente entre sí por el recubrimiento aislante de fábrica de la chapas.

Para formar el núcleo, las chapas se construyen cortadas con formas de “E”, “I” (para los acorazados), y “U” e “I” (para los de ventana), colocando alternadamente una sección U para construir un núcleo del tipo ventana, o “E” para construir un acorazado, junto con laminación cortada en forma de sección “I”.



El tipo de núcleo acorazado es el de menor corriente de vacío. Debido a su diseño, minimiza el flujo disperso y la reactancia de dispersión, logrando con ello tener menores caídas de tensión en carga que un transformador del tipo ventana.



En el caso del transformador acorazado, el flujo magnético de la columna central se bifurca en los yugos hacia ambos lados, en forma simétrica, razón por la cual las secciones de las columnas laterales es la mitad de la central.

A efectos de trabajar con igual inducción magnética (B_{max}) en todo el núcleo, la sección de los yugos y columnas laterales tienen la mitad de la sección de columna central.

CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE HIERRO

Vimos que la tensión inducida en una bobina era:

$$V = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot B_{max} \cdot S_n \cdot 10^{-4}$$

La tensión específica (Ee) es la **relación entre la tensión y el número de espiras** (volts/espira), cuyo valor es igual para el primario y el secundario, con lo cual la ecuación anterior la podemos expresar como:



$$Ve = \frac{V}{N} \qquad Ve = 4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_n \cdot 10^{-4} \quad \text{Ec 1}$$

Despejando S_n la sección de hierro

$$S_n = \frac{Ve}{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot 10^{-4}} \quad \text{Ec 2}$$

$$(Ve)^2 = \frac{V}{N} \cdot 4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_n \cdot 10^{-4}$$

Multiplicando y dividiendo por la corriente:

$$(Ve)^2 = \frac{V \cdot I}{N \cdot I} \cdot 4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_n \cdot 10^{-4}$$

Siendo $S_N = V \cdot I$ la potencia aparente

$$(Ve)^2 = \frac{S_N}{N \cdot I} \cdot 4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_n \cdot 10^{-4}$$

$$(Ve)^2 = S_N \cdot \frac{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_n \cdot 10^{-4}}{N \cdot I}$$

$$Ve = \sqrt{S_N} \cdot \sqrt{\frac{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_n \cdot 10^{-4}}{N \cdot I}} \quad Ve = \sqrt{S_N} \cdot A$$

Siendo $A = \sqrt{\frac{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_n \cdot 10^{-4}}{N \cdot I}}$

Recordando la Ec.2: $S_n = \frac{Ve}{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot 10^{-4}} \rightarrow S_n = \frac{\sqrt{S_N} \cdot A}{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot 10^{-4}}$

$$S_n = \sqrt{S_N} \cdot \left(\frac{A}{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot 10^{-4}} \right)$$

El coeficiente A , de acuerdo a ensayos prácticos vale 0,025.

Trabajando con una inducción de 1,2T (por no ser laminación de grano orientado), y una $f= 50$ Hz, la superficie aproximada de hierro vale:

Siendo:

S_n la sección neta de hierro en cm^2

S_N la potencia nominal aparente, en VA.

$$S_n \cong \sqrt{S_N}$$

La expresión anterior nos permite determinar la **sección neta** de hierro a utilizar en un transformador monofásico (acorazado o ventana), o la **sección de una columna de un transformador trifásico, a construir con laminación de grano no orientado** ($B_{max} = 1,2 T$), siendo S_N es la potencia de la columna.

CÁLCULO DE LOS ARROLLAMIENTOS

Como vimos la tensión por espira era:

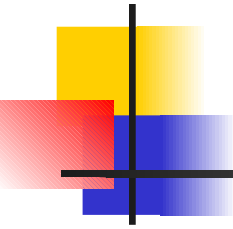
$$Ve = \frac{V}{N} = 4,44 \cdot f \cdot B_{max} \cdot S_n \cdot 10^{-4} \quad (\text{volts/espira})$$

$$\frac{1}{Ve} = \frac{10^4}{4,44 \cdot f \cdot B_{max} \cdot S_n} \quad (\text{espiras/volt})$$

Para una inducción de $1,2 T$ y $f = 50 \text{ Hz}$

$$\frac{1}{Ve} = \frac{38}{S_n} \quad (\text{espiras/volt})$$

Ecuación que nos permite calcular con Ve el número de espiras de ambos arrollamientos, conociendo S_n en cm^2 .



Para la determinación de las secciones primarias y secundarias, utilizaremos la potencia aparente (S_N), las tensiones de los arrollamientos y la densidad de corriente, que para transformadores de pequeña potencia suele estimarse con buenos resultados un “ J ” entre 3 a 5 A/mm².

El valor de “ J ” puede modificarse de acuerdo al régimen de funcionamiento del transformador y a la temperatura límite que alcanzará.

CONSTRUCCIÓN DE LOS ARROLLAMIENTOS

Hay dos formas típicas de bobinados para transformadores los **concéntricos** y en **galletas** o bobinas separadas para primario y secundario.

El núcleo adoptado, con su forma, determina la elección de uno u otro tipo.

Bobinado concéntrico: este tipo se usa por lo general cuando el núcleo del transformador es del tipo acorazado (aunque no excluyente) y para potencias relativamente pequeñas, hasta 1,5 ó 2 *kVA* como máximo, utilizando carretes y laminación estandarizada.



Bobinado en galletas: este tipo constructivo se usa (en general, y también no excluyente) cuando el núcleo del transformador es del tipo ventana, por lo general para potencias más importantes ($S_N > 2$ kVA).

Es conveniente adoptar bobinados concéntricos, a efectos de minimizar el flujo disperso y en consecuencia la corriente de vacío.

En ese caso, los dos bobinados (primario y secundario), se disponen en forma concéntrica, se aíslan entre sí con aislación cuyo grosor depende de la diferencia de potencial entre ambos, y que por lo general es de prespan.

Cuando uno de los bobinados es de tensión elevada (por encima de los 1000 V), el bobinado de baja tensión se ubica en la parte interna por las siguientes razones:

- Aumenta las distancias dieléctricas entre el bobinado de alta tensión del núcleo.
- Causa mucho menos flujo disperso, como sería el caso cuando los dos bobinados estuvieran separados (por razones dieléctricas) del núcleo.

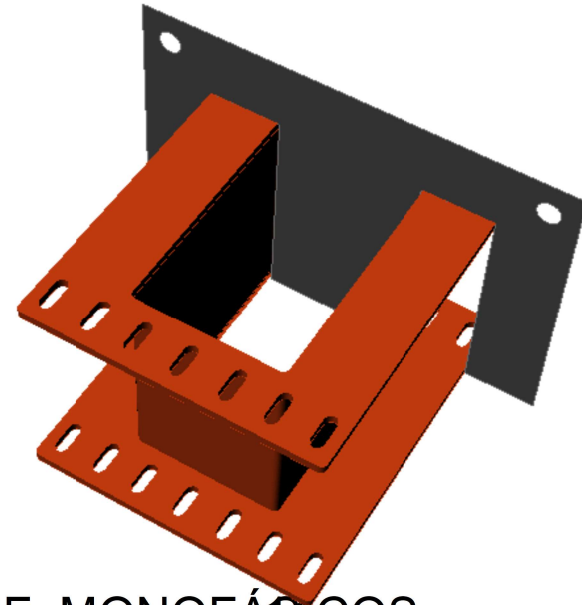
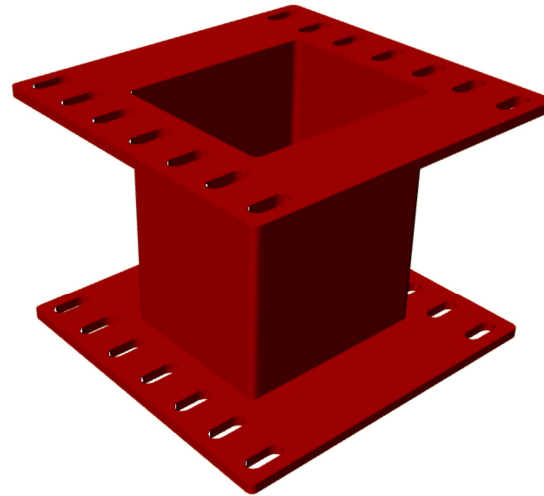
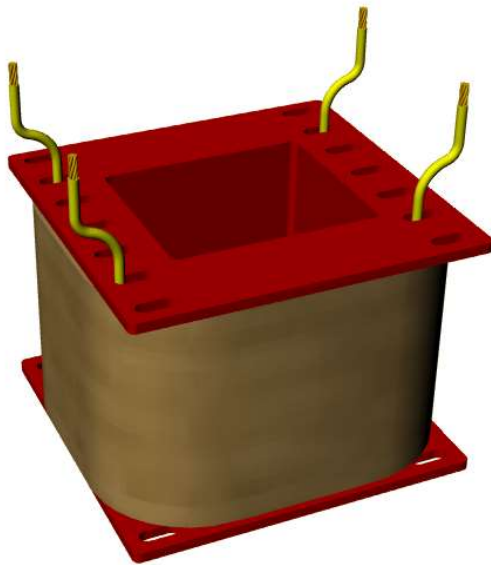
CONSTRUCCIÓN DEL NÚCLEO

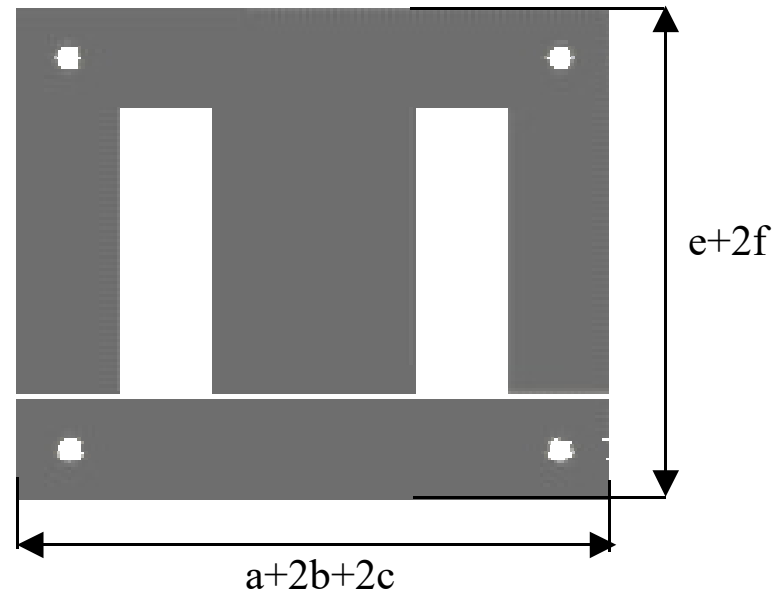
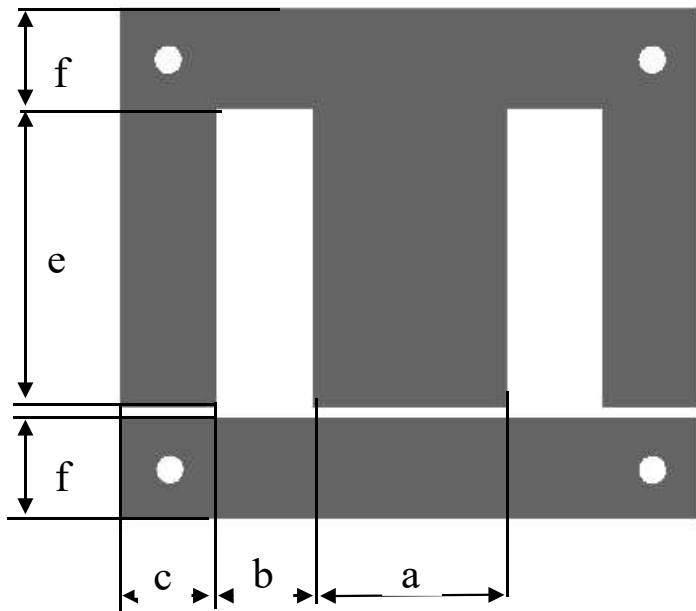
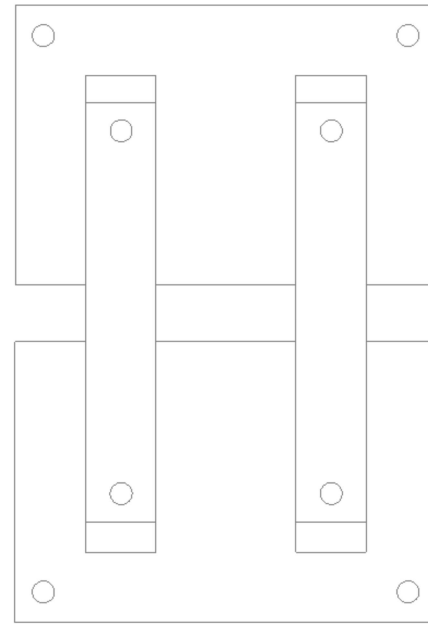
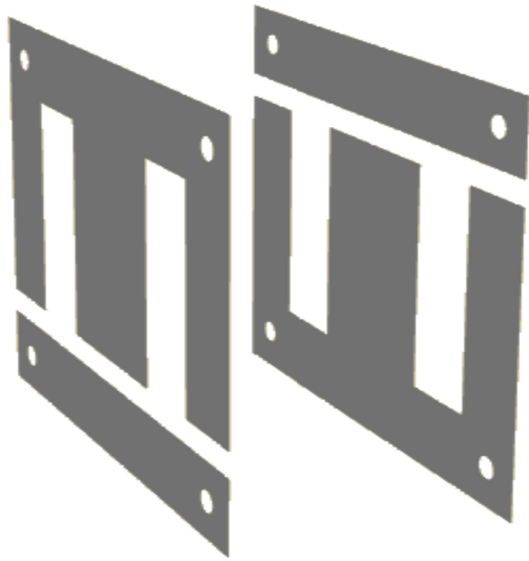
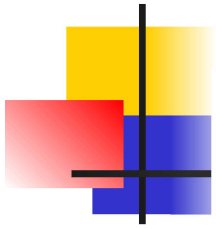
El factor de apilado, para las calidades actuales de fabricación de la laminación, puede considerarse 0,95 para espesores de laminación estándar (0,35 mm).

En general, suele no tenerse en cuenta en el cálculo de estos pequeños transformadores.

Actualmente **la laminación y los carretes que alojarán los arrollamientos se encuentran normalizados.** Están fabricados con material Polipropileno reforzado con carga mineral (temperatura máxima de uso 105°C.) .

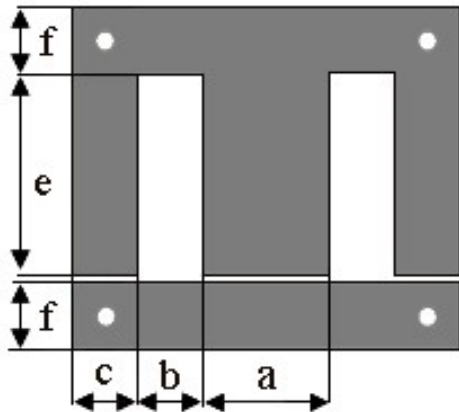
Para cada medida de laminación, hay carretes con distintos "apilados" que permiten cubrir varias potencias con la misma laminación





Nota 1: El peso de laminación indicado en la tabla, tiene en cuenta las chapas E e I, para un ancho de columna "a" y un apilado de laminación también igual a "a".

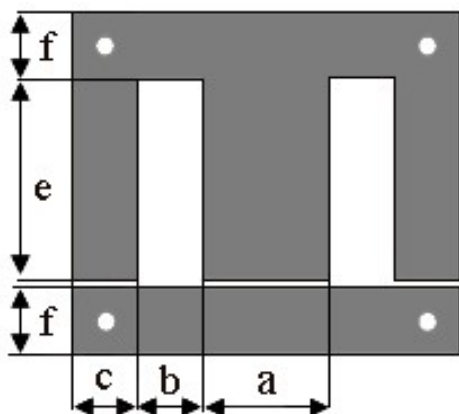
Nota 2: En la columna "Carretes comerciales" se indican las medidas interiores de los mismos para lograr el apilado adecuado.



Lam.	a	b	c	e	f	Peso para sección a x a	Carretes comerciales
Nº	mm	mm	mm	mm	mm	kg.	mm
14	3,3	3,5	2	7	2	0,05	3,4x3,4
18	4,8	4,8	2,5	11	2,5	0,01	4,9x5,5
63	6,3	5,3	3	10,4	3	0,02	6,5x6,5
37	9,9	7,75	4,7	19	4,75	0,04	10x10
25	12,5	8	6,5	20	8	0,1	12,5x12,5/17
75	19	9,5	9,5	28,5	9,5	0,3	20x20/26
77	22	12	11	34	12	0,5	22x22/26/30
111	25,4	12,7	12,7	38,1	12,7	0,65	26x26/30/36/44
112	28,6	14,3	14,3	43	14,3	0,95	29x29/33/40/46
125	32	16	16	48	16	1,25	33x33/39/44/54/59
30	33	27	16,5	97	17,5	2,35	33x33

En caso de usar secciones rectangulares en lugar de cuadradas, se deberá proporcionar para hallar el peso total.

Mas info: www.pryde.com.ar/productos.php



Lam.	a	b	c	e	f	Peso para sección a x a	Carretes comerciales
N°	mm	mm	mm	mm	mm	kg.	mm
200	33	27	16,5	65	17,5	1,85	33x33/40
100	33	27	16,5	49	17,5	1,65	100x100/112
155	38	19	19	57	19	2,25	28x28/38/43/60
60	40	20	20	60	20	2,55	40x40/50
155E	42	21	21	63	21	3,1	42x42/50/60
150	45	28,5	22,5	117	22,5	5,2	150x150/162
500	64	32	32	96	32	10,5	64x64/80
600	50	25	25	75	25	4,95	50x50/60/80
700	64	32	32	192	32	16,5	64x64
800	82	41	41	123	41	21	82x82
850	85	41	41	246	41	34,5	85x85

Como podemos hacer para encontrar la potencia, y estimar la cantidad de hierro utilizado para construir estos transformadores de nuestro Laboratorio????

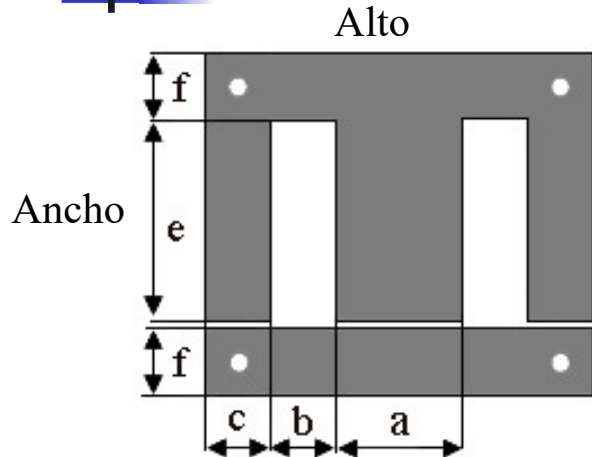
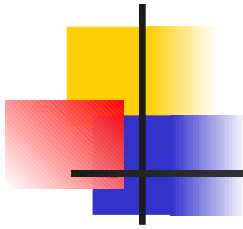


TRAFO 1
Alto = 150 mm
Ancho = 125 mm
Apilado = 60 mm



Capítulo 11 - TRANSF. MONOFÁSICOS

Lam.	a	b	c	e	f	Peso para sección a x a	Carretes comerciales
150	45	28,5	22,5	117	22,5	5,2	150x150/162
500	64	32	32	96	32	10,5	64x64/80
600	50	25	25	75	25	4,95	50x50/60/80
700	64	32	32	192	32	16,5	64x64
800	82	41	41	123	41	21	82x82



$e+2f=125\text{mm}$
Ancho: 125 mm

Apilado: 60 mm

$a+2b+2c=150\text{ mm}$

Alto: 150 mm

Laminación 600
Carrete 50x60



$$S_n \cong \sqrt{S_N}$$

$$S_N = S_n^2 = (6\text{cm} \cdot 5\text{cm})^2 = 900\text{W}$$

Peso (50x50)=4,95 kg

$$\text{PesoFe}(50x60) = \frac{4,95 \cdot 60}{50} = 5,95\text{Kg}$$

Capítulo 11 - TRANSF. MONOFÁSICOS

EJERCICIO:

Dimensionar un transformador monofásico de 1200 VA, refrigerado en aire, ciclo de trabajo continuo, con la relación de tensiones: $E_1 = 380$ y $E_2 = 110$ Vca.

Calcular:

1. Laminación normalizada a utilizar.
2. Número de espiras de las bobinas primaria y secundaria.
3. Secciones de los conductores en ambas bobinas.
4. Peso del hierro y del cobre.

1) Laminación normalizada a utilizar.

$$S_n = \sqrt{S_N} \quad S_n = \sqrt{1200} = 34,6 \text{ cm}^2$$

Necesitamos como **mínimo 35 cm²**, atendiendo a que despreciamos el factor de apilado

Para esa sección de hierro podemos utilizar la siguiente laminación normalizada, que seleccionamos de la tabla vista:

Lam.	a	b	c	e	f	Peso para sección a x a	Carretes comerciales
N°	mm	mm	mm	mm	mm	kg.	mm
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
150	45	28,5	22,5	117	22,5	5,2	150x150/162
500	64	32	32	96	32	10,5	64x64/80
600	50	25	25	75	25	4,95	50x50/60/80
700	64	32	32	192	32	16,5	64x64
800	82	41	41	123	41	21	82x82
850	85	41	41	246	41	34,5	85x85

Min 35 cm²

Lam 500, de 64 mm de ancho de columna

- 64 mm de apilado = 40,9 cm² → SI
- 80 mm de apilado = 51,2 cm² → SI

Lam 600, de 50 mm de ancho de columna

- 50 mm de apilado = 25 cm² → NO
- 60 mm de apilado = 30 cm² → NO
- 80 mm de apilado = 40 cm² → SI

Dado que el trafo será de régimen continuo, **se elige la laminación 500, dado que para la misma sección se requiere menor apilado**, a efectos de tener mayor disipación de temperatura de los bobinados. El carrete será **500x64**

2) Número de espiras de las bobinas primaria y secundaria.

$$\frac{1}{V_e} = \frac{38}{S_n} \cdot (\text{espira / volts}) \quad \frac{1}{V_e} = \frac{38}{40} \cdot (\text{espira / volts}) \quad \frac{1}{V_e} = 0,95 \cdot (\text{espira / volts})$$

$$\text{Espiras primarias} = N_1 = 0,95 \text{ e/v} \cdot 380 \text{ v} = 361 \text{ espiras}$$

Dado que se exige que la tensión de salida en carga sea de 110V, se considera un 5% adicional en la tensión de vacío por la caída interna:

$$\text{Espiras secundarias} = N_2 = 0,95 \text{ e/v} \cdot 110 \text{ v} \cdot 1,05 = 110 \text{ espiras}$$

3) Secciones de los conductores en ambas bobinas.

Dado que se trata de un trafo de servicio continuo adoptamos $J = 3 \text{ A/mm}^2$

$$S_1 = \frac{S_N}{J \cdot V_1} \quad S_1 = \frac{1200}{3 \cdot 380} = 1,05 \text{ mm}^2 \quad D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{3,1416}} = 1,15 \text{ mm} \quad \text{Adoptamos } 1,1 \text{ mm}$$

$$S_2 = \frac{S_N}{J \cdot V_2} \quad S_2 = \frac{1200}{3 \cdot 110} = 3,63 \text{ mm}^2 \quad D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_2}{3,1416}} = 2,15 \text{ mm} \quad \text{Mucho diámetro}$$

Si bien se puede "moldear" el alambre del primario en el carrete, el secundario no, Por ello se trabajará con dos conductores en paralelo en el secundario:

$$S2// = \frac{S2}{2} = \frac{3,63}{2} = 1,815 \quad D2// = \sqrt{\frac{4.S2/2}{3,1416}} = 1,5mm$$

Adoptamos//de 1,5 mm

Adoptamos para el secundario 110 espiras de alambre doble (en paralelo) de 1,5 mm de diámetro, es decir en total la bobina tendrá 220 conductores (110 espiras)

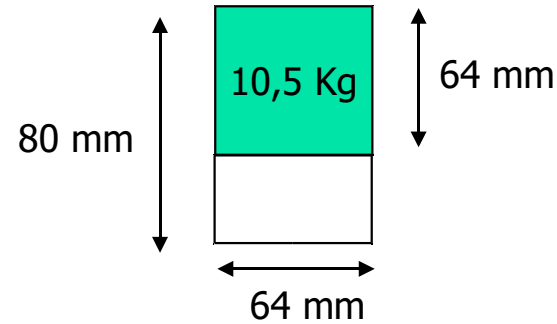
4) Peso del hierro y del cobre

Lam.	a	b	c	e	f	Peso para sección a x a	Carretes comerciales
Nº	mm	mm	mm	mm	mm	kg.	mm
----	----	----	----	----	----	----	----
500	64	32	32	96	32	10,5	64x64/80
----	----	----	----	----	----	----	----

De acuerdo a la tabla, para la sección de hierro que utilizamos (64 x 64 mm) Tiene un peso de hierro (E + I) de **10,5 Kg.= *Peso Fe***

De haber utilizado un carrete de mayor apilado (80 mm por ejemplo) tendríamos un peso de hierro de:

$$Peso_{FE} = \frac{10,5 \cdot 80}{64} = 16,8 Kg$$



Capas del PRIMARIO:

Ancho carrete = $e - 4 \text{ mm}$ (2 esp. carrete)

Diámetro conductor

Aislación conductor

Espiras por capa = $96 \text{ mm} / (1,1 + 0,2) \text{ mm} = 73 \text{ espiras/capa}$

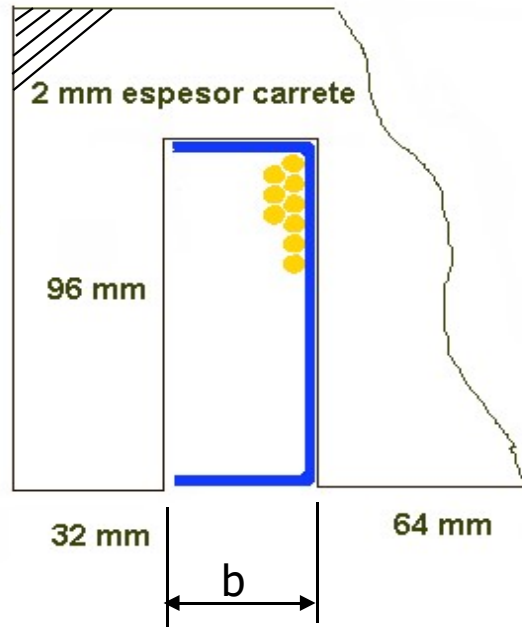
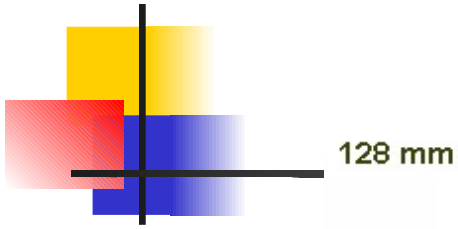
Nº capas = $361 \text{ esp.} / 73 \text{ esp./capa} = 4,94$ **5 capas**

SECUNDARIO:

Espiras por capa = $96 \text{ mm} / (1,5 + 0,2) \text{ mm} = 56 \text{ conductores/capa} = 28 \text{ esp/capa}$

Nº capas = $(110 \text{ esp.} \times 2 \text{ conductores/esp}) / 56 \text{ conductores/capa}$

Nº capas = 3,9 **4 capas**



Resistividades a 20°C:

$$\rho_{\text{cobre}} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{\text{aluminio}} = 0,0282 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

Pesos específicos:

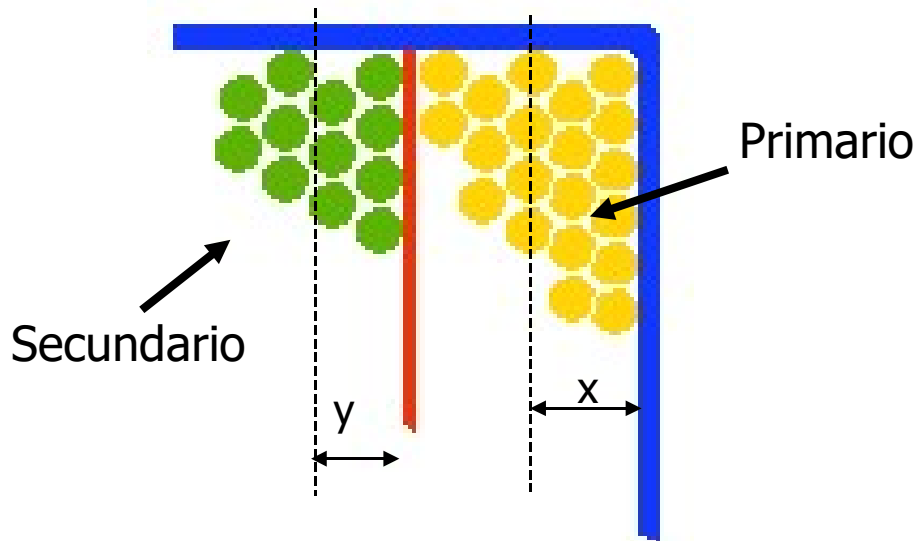
$$Pe_{\text{cobre}} = 8,9 \text{ kg}/\text{dm}^3$$

$$Pe_{\text{aluminio}} = 2,6 \text{ kg}/\text{dm}^3$$

$$Pe_{\text{hierro}} = 7,8 \text{ kg}/\text{dm}^3$$

x = apilado medio primario

y = apilado medio secundario



Cálculo de los pesos de cobre:

"a" ancho del carrete= 64 mm

"b" apilado de laminación= 64 mm

Primario: n=5, D=1,1mm:

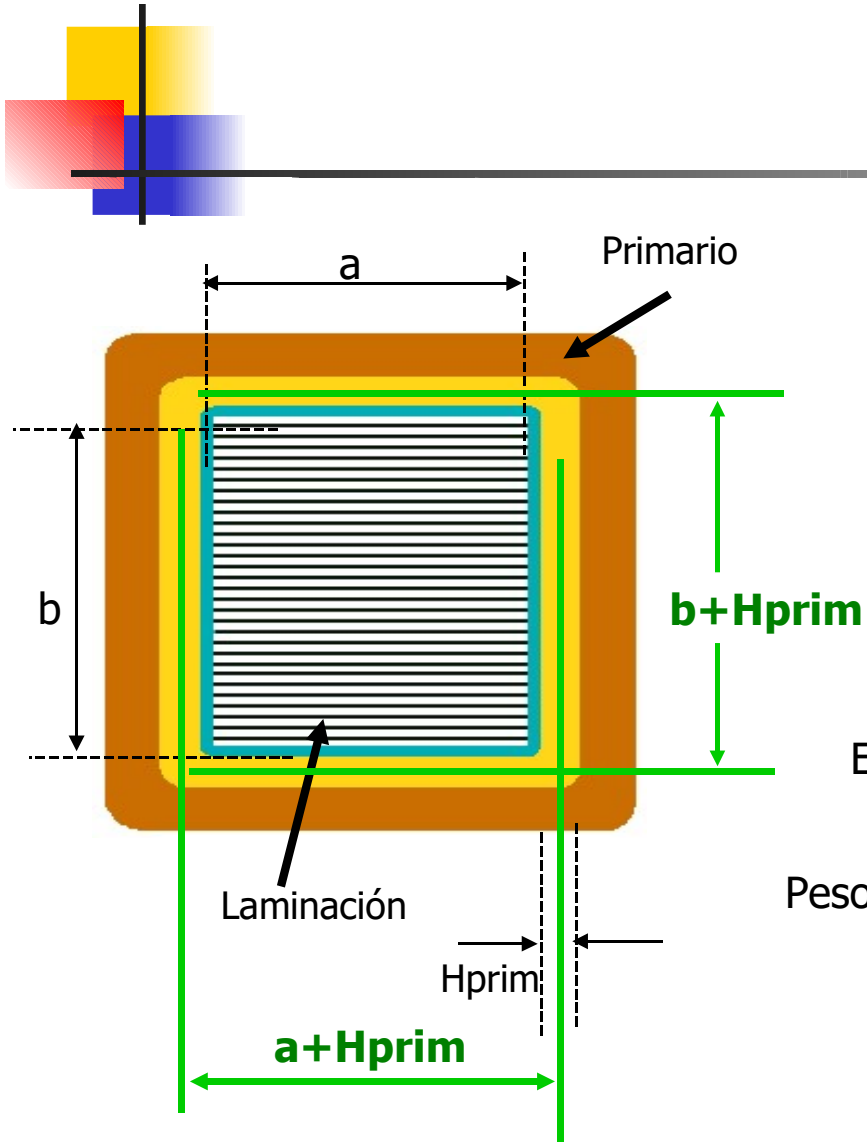
$$H=D (0,134 +n 0,866)$$

$$H_{prim}=1,1\text{mm} \cdot (0,134 + 5 \cdot 0,866) = 4,9 \text{ mm}$$

$$\text{Esp med} = 2 \cdot \left[\begin{matrix} a & H_{prim} & b & H_{prim} \\ \swarrow & \downarrow & \swarrow & \downarrow \end{matrix} \right] \cdot \left[(64+4,9) + (64+4,9) \right] \text{ mm} = 275,6 \text{ mm}$$

$$\text{Peso} = 0,000105 \text{ dm}^2 \cdot 361 \text{ esp} \cdot 8,9 \text{ kg/dm}^3 \cdot 2,756 \text{ dm/esp}$$

Peso cu prim=0,92 kg



"a" ancho del carrete= 64 mm

"b" apilado de laminación= 64 mm

Secundario: n=4, D=1,5 mm:

Hsec. para (n=4),(D=1,5mm), :

$$Hsec = 1,5mm \cdot (0,134 + 4 \cdot 0,866) = 5,4 \text{ mm}$$

$$Esp \text{ med} = 2(64 + 2 \cdot 2,4,9 + 5,4) + 2(64 + 2 \cdot 2,4,9 + 5,4) \text{ mm}$$

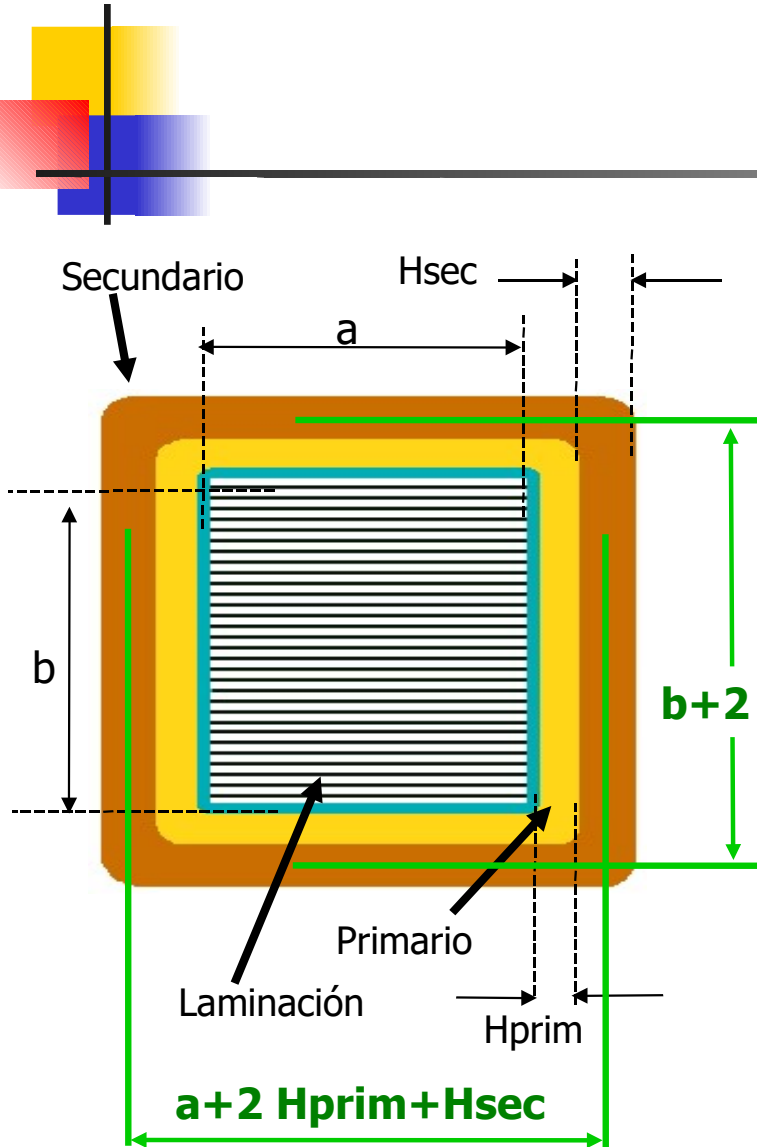
a 2 Hprim Hsec b 2 Hprim Hsec

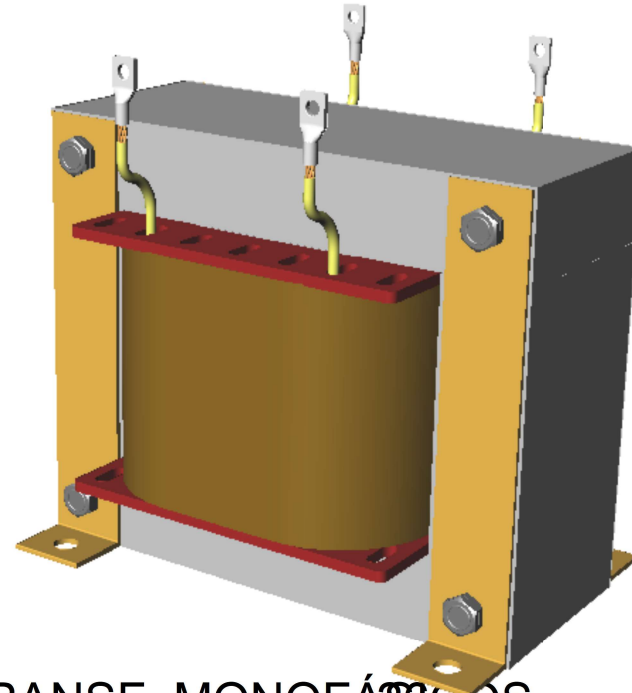
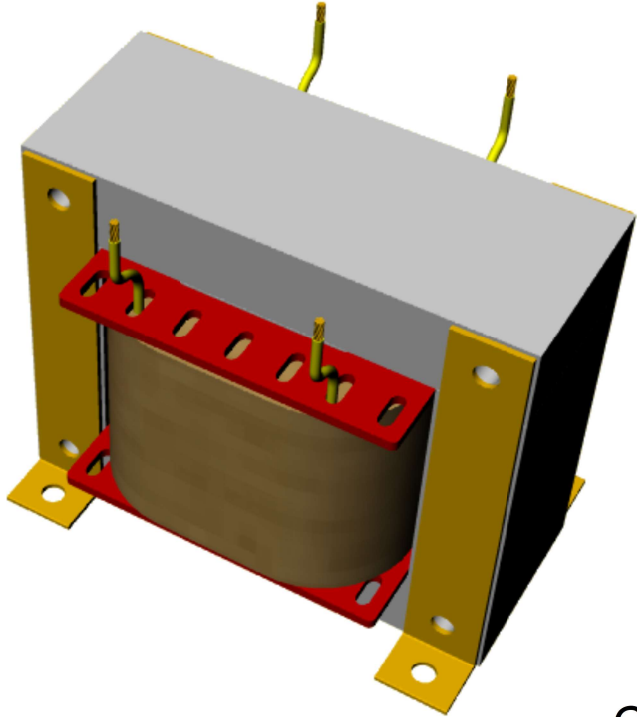
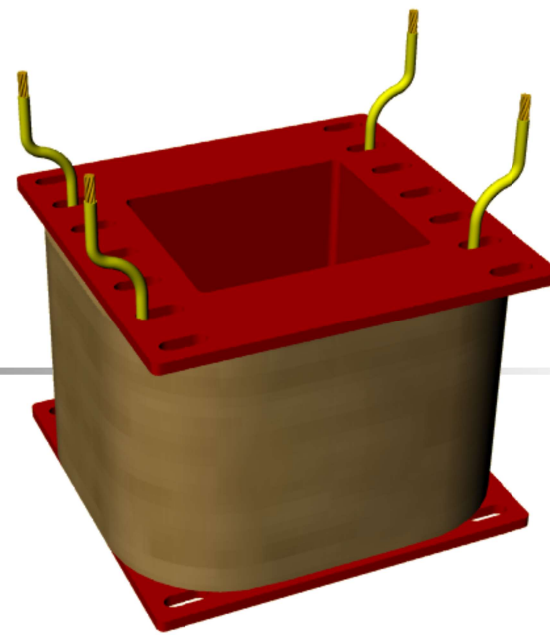
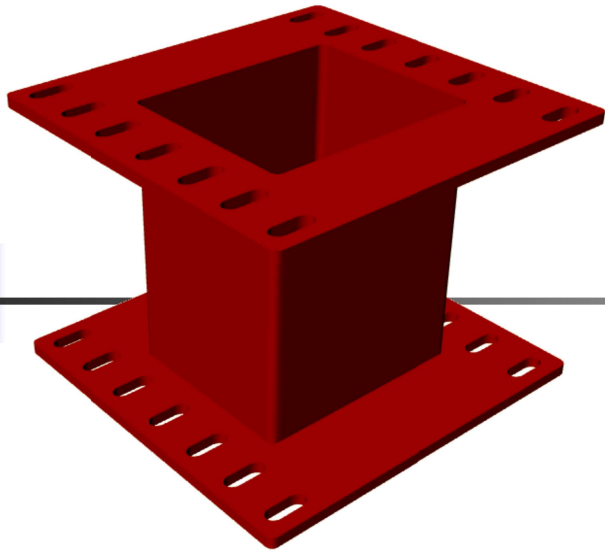
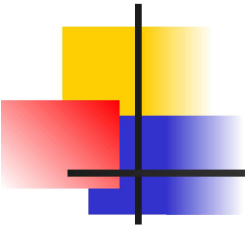
$$Esp \text{ med} = 317 \text{ mm} = 3,17 \text{ dm}$$

Con 110 esp, 220 cond:

$$Peso = 0,0001815 \text{ dm}^2 \cdot 220 \text{ cond} \cdot 8,9 \text{ kg/dm}^3 \cdot 3,17 \text{ dm}$$

Peso cu sec=1,12 kg





EJERCICIO

Diseñar un transformador monofásico, utilizando laminación normalizada de hierro silicio de las siguientes características:

Potencia nominal: 1,5 kVA

Tensión primaria: 220 V

Tensión secundaria 1: 3 V – 0,9 kVA

Tensión secundaria 2: 150 V - 0,6 kVA

Arrollamiento primario y secundarios en cobre

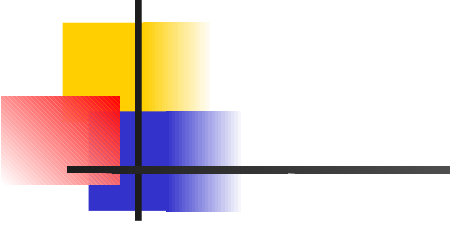
Servicio intermitente.

$$S_n = \sqrt{S_N} \longrightarrow S_n = \sqrt{1500VA} = 38,73cm^2$$

Se requiere una **sección mínima de hierro de 40 cm²**.

Se seleccionará una laminación que permita tener una sección de hierro cuadrada o levemente rectangular, eligiendo **mayor apilado que ancho** del núcleo (a efectos de disminuir flujos dispersos).

Con esa consideración se selecciona de la tabla la laminación posible.



Lam. N°	a mm	b mm	c mm	e m	f mm	Peso (axa) Kg.	Carretes
							comerciales
14	3,3	3,5	2	7	2	0,05	
18	4,8	4,8	2,5	11	2,5	0,01	4x5,5
----	----	----	----	----	----	----	----
150	45	28,5	22,5	117	22,5	5,2	150x150/162
500	64	32	32	96	32	10,5	64x64/80
600	50	25	25	75	25	4,95	50x50/60/80
700	64	32	32	192	32	16,5	
800	82	41	41	123	41	21	
850	85	41	41	246	41	34,5	

Podemos utilizar:

Lam. N° 500 con $a = 6,4$ cm con lo cual apilado debe ser 6 cm para la sección requerida.
Lam. N° 600 con $a = 5$ cm, con lo cual apilado debe ser 7,7 cm para obtener la sección requerida.

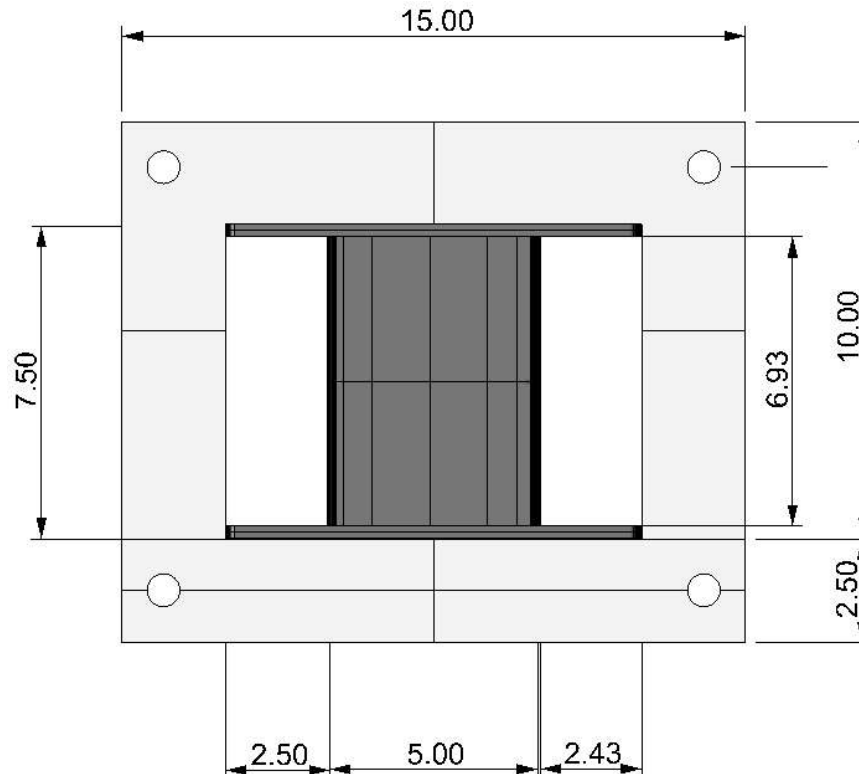
Laminaciones con valores menores de ancho de columna "a" implica mayor apilado, dificultando la refrigeración del transformador, además de ser mas reducidas las distancias "e" y "b" para ubicación del bobinado.

En contrapartida, laminaciones con valores mayores de "a" permiten apilados menores, mejorando la ventilación, la ubicación del bobinado por tener mayor ventana, pero haciendo un transformador en general mas voluminoso, incrementándose el flujo disperso.

En base al criterio anterior se adopta laminación N° 600, para la cual se disponen de carretes normalizados que permiten apilados de 5, 6 u 8 cm.

Dado que se requieren como mínimo $38,7 \text{ cm}^2$ será necesario utilizar el carrete de 8 cm de apilado, el cual permite tener una sección de hierro de **$S_n = 40 \text{ cm}^2$** .

Medidas en cm



Arrollamiento primario:

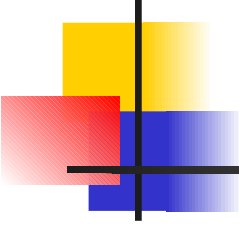
La potencia del transformador es de 1500 VA, y el arrollamiento primario transfiere a los dos secundarios la potencia asignadas a cada secundario por medio del circuito magnético, por ello la corriente del primario es:

$$I_1 = \frac{S_N}{V_1} = \frac{1500VA}{220V} = 6,8A$$

A efectos de tener en cuenta el espacio reducido para la ubicación de los tres arrollamientos, y que el funcionamiento de transformador es intermitente, se considera una densidad de corriente de $J= 4,5 \text{ A/mm}^2$, y se requiere una sección del primario de:

$$S_1 = \frac{6,8A}{4,5A/mm^2} = 1,51mm^2 \quad d_1 = \sqrt{\frac{4.S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.1,51}{3,14}} = 1,39mm$$

Indudablemente moldear un conductor de ese diámetro en las aristas a 90 grados del carrete ofrecerá dificultades, además de tener este bobinado un bajo factor de ocupación. Por ello **se resuelve utilizar para el primario dos conductores en paralelo de igual sección:**



$$d'_1 = \sqrt{\frac{4.S_1/2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.1,36/2}{3,14}} = 0,93mm \cong 0,95mm \quad \text{Cada conductor}$$

El número de espiras del primario será:

$$\frac{1}{V_e} = \frac{38}{S_n} \cdot (\text{espira} / \text{volts}) \quad \frac{1}{V_e} = \frac{38}{40} (e/V) = 0,95(e/V)$$

Para $V_1 = 220V$ (cte) $N_1 = 0,95(e/V) \cdot 220V = 209 \text{espiras}$

Arrollamiento secundario 1 (3 V) – (en vacío):

Este arrollamiento entrega una potencia de 0,9 kVA a la tensión de $3V = V_{21}$. Determinaremos el número de espiras de este arrollamiento (N_{21}) mediante la relación de transformación:

$$\frac{N_1}{N_{21}} = \frac{V_1}{V_{21}} \quad N_{21} = \frac{N_1 \cdot V_{21}}{V_1} = \frac{209e \cdot 3V}{220v} = 2,85 \text{espiras} \approx 3 \text{espiras}$$

Al redondear el número de espiras secundarias en vueltas completas, hace falta recalcular las espiras primarias:

$$N_1 = \frac{V_1 \cdot N_{21}}{V_{21}} = \frac{220V \cdot 3\text{esp}}{3V} = 220\text{espiras}$$

La corriente en este secundario a plena carga vale:

$$I_{21} = \frac{900VA}{3V} = 300A \quad S_{21} = \frac{300A}{4,5A/mm^2} = 66,6.mm^2$$

Indudablemente para esta elevada sección se debe recurrir a utilizar una pletina o cinta, cuyas medidas se definirán más adelante en función del espacio disponible en la laminación.

Arrollamiento secundario 2 (150 V) – (en vacío):

Entrega una potencia de 0,6 kVA a una tensión de 150V (V_{22}). El número de espiras será:

$$N_{22} = \frac{N_1 \cdot V_{22}}{V_1} = \frac{220e \cdot 150V}{220V} = 150\text{espiras}$$

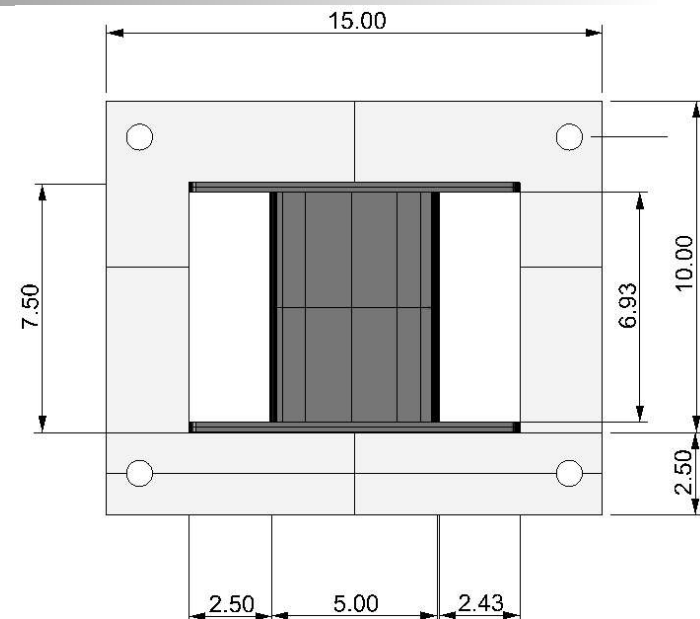
$$I_{22} = \frac{600VA}{150V} = 4A$$

$$S_{22} = \frac{4A}{4,5A/mm^2} = 0,89mm^2 \approx 0,9mm^2$$

$$d'_{22} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{22}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,9}{3,14}} = 1,07mm \approx 1,1mm$$

Distribución de bobinados:

El espacio disponible para los arrollamientos es de 6,9 cm de alto por 2,4 cm de apilado de conductores. Además dado que todos los arrollamientos son de baja tensión (<1000V), se resuelve colocar el primario debajo de los secundarios, es decir el mas cerca del núcleo.



Bobinado primario:

$$cond./capa.prim. = \frac{69mm}{0,95mm + 0,2mm(aislación)} = 60(cond/capa) = 30(espiras/capa)$$

$$N^{\circ}capasprimarias = \frac{220espiras}{30esp/capa} = 7,33capas \approx 8capas$$

Se adopta un conductor de mayor diámetro (1 mm con aislación de 0,1mm) a efectos de tratar de ocupar la octava capa con la mayor cantidad de espiras. De esta forma también disminuimos levemente la densidad de corriente. Entonces:

$$\text{conductores / capa. primario} = \frac{69\text{mm}}{1\text{mm} + 0,2(\text{aislación})} = 57,5 \text{conductores / capa}$$

Se adoptan 56 conductores por capa (28 espiras primarias), con lo cual:

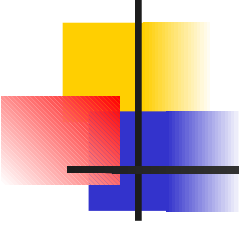
$$N^{\circ} \text{capas primarias} = \frac{220 \text{espiras}}{28 \text{esp / capa}} = 7,86 \text{capas} \approx 8 \text{capas}$$

Considerando una aislación entre capas de prespan de 0,15 mm la altura del bobinado primario será:

$$\text{Altura} = 8 \text{ capas} \times 1,2 \text{ mm} + 7 \text{ aislaciones} \times 0,15 \text{ mm} = 10,65 \text{ mm} \approx 11 \text{ mm}$$

Bobinado secundario 2 (150 V) – (en vacío):

$$\text{espiras / capa. secundario 2} = \frac{69\text{mm}}{1,1 + 0,2(\text{aislación})} = 53 \text{espiras / capa}$$

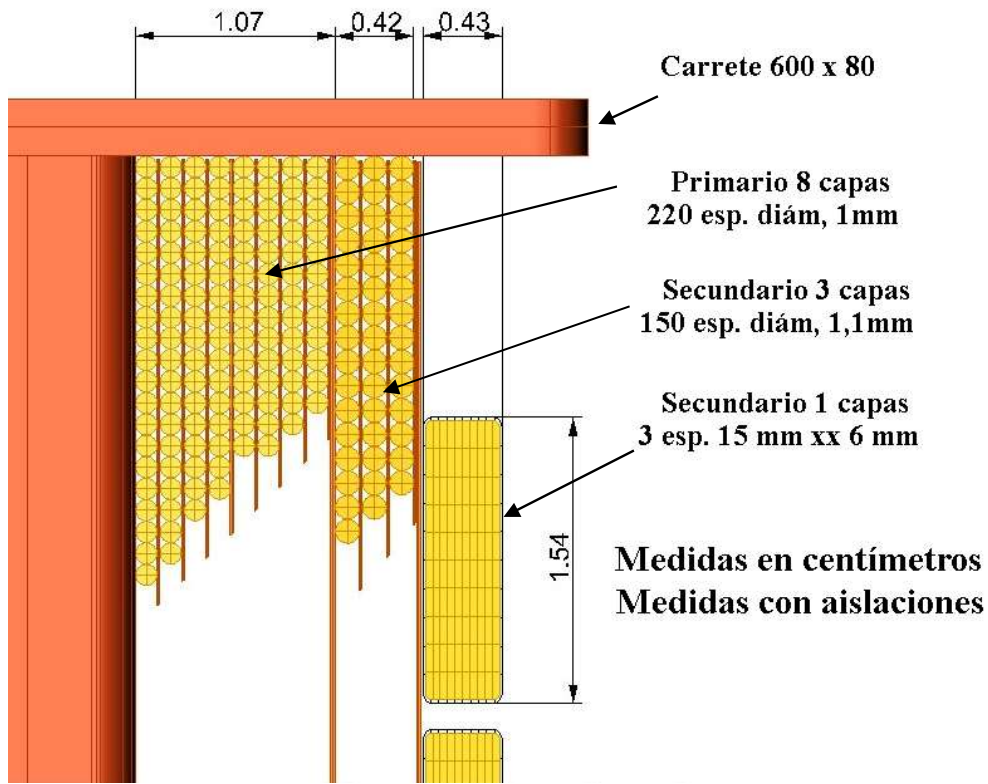

$$N^{\circ} \text{ capas. secundarias } 2 = \frac{150 \text{ espiras}}{53 \text{ esp / capa}} = 2,83 \text{ capas.} \cong 3 \text{ capas}$$

La altura del bobinado será:

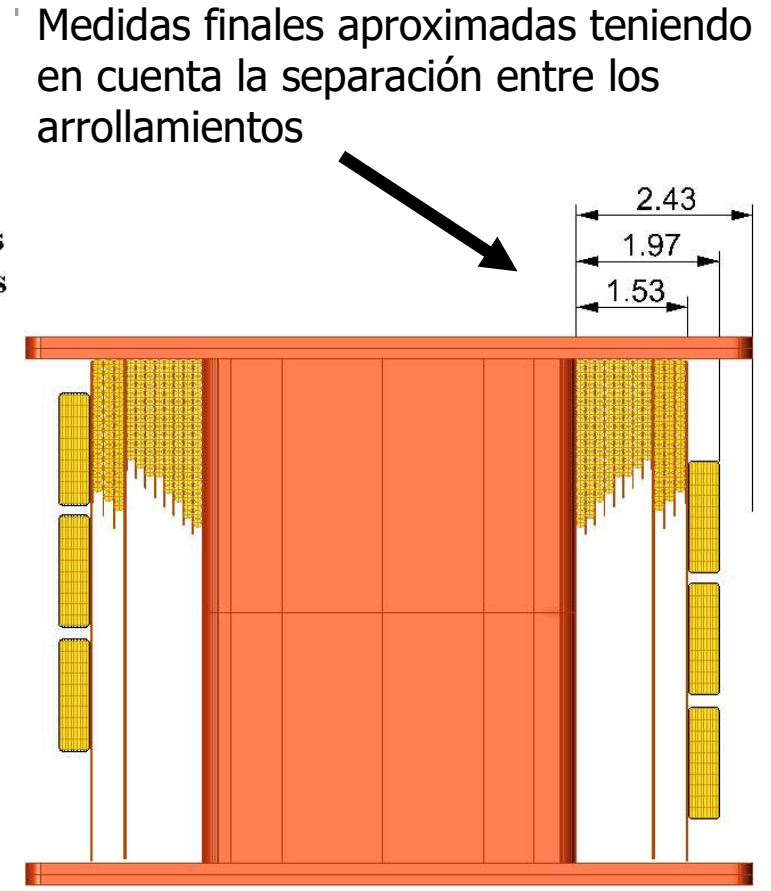
$$\text{Altura} = 3 \text{ capas} \times 1,3 \text{ mm (diam+aislac)} + 2 \text{ aislaciones} \times 0,15 \text{ mm} = 4,2 \text{ mm}$$

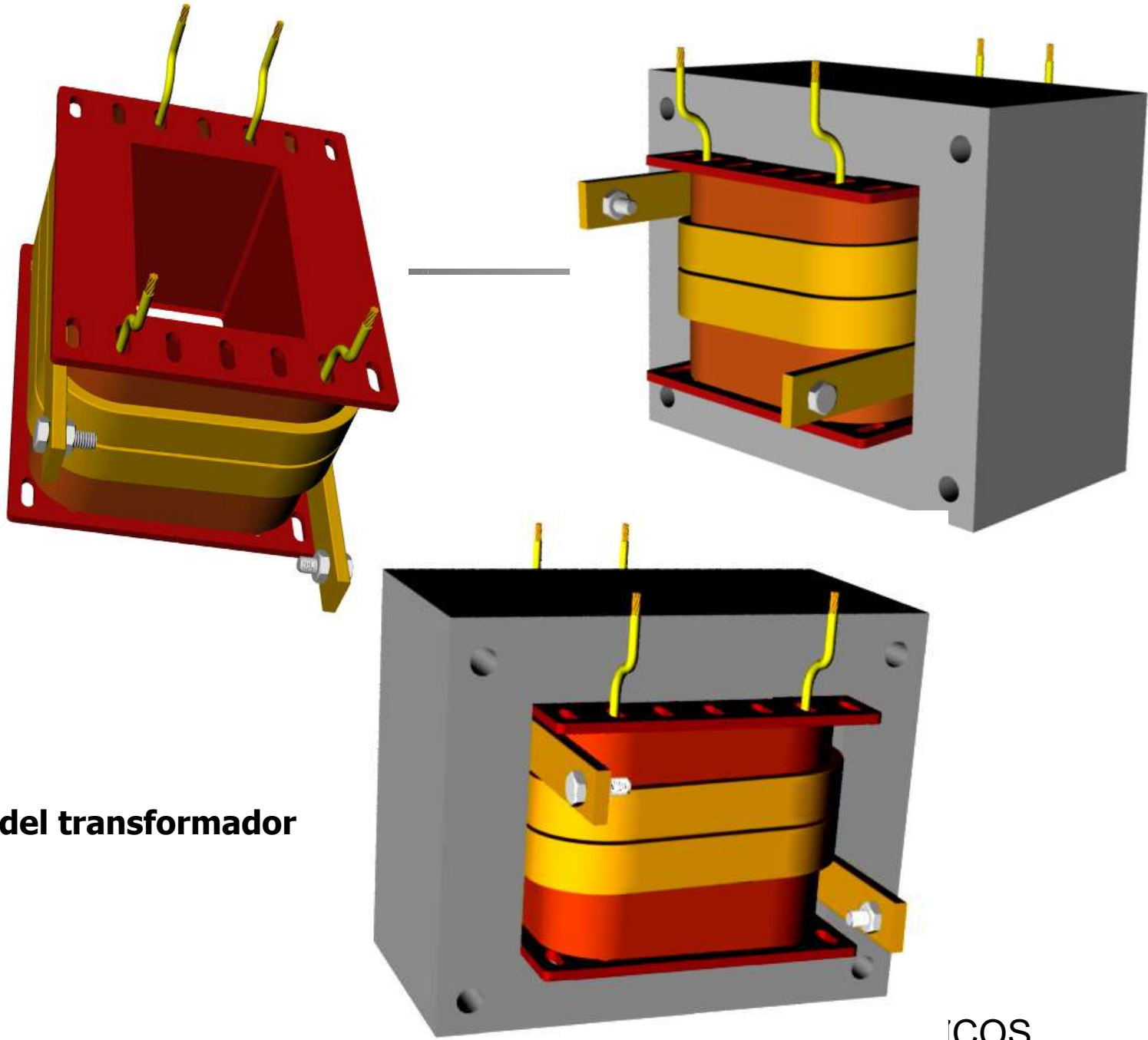
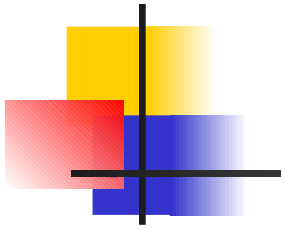
Bobinado secundario 1 (3 V) – (en vacío):

Se requiere una sección mínima de 66,6 mm² y solo 3 vueltas, disponiéndose de un alto de carrete de 69 mm, por lo cual se adopta planchuela revestida con doble capa de aislación de 15 mm de ancho y 4 mm de espesor (60 mm²) disponiéndose este arrollamiento por encima de los bobinados primario y secundario 2 a efectos de utilizar los mayores radios de curvatura de la planchuela.



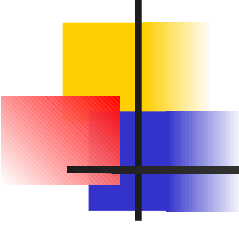
Armado del transformador





Armado del transformador

ICOS



**Con este último tema damos por finalizado
el cursado de la asignatura**

Esperamos que los contenidos vistos les hayan resultado de interés, y que contribuyan a la consolidación de temas vistos en otras materias, y a la formación profesional de Uds.

De nuestra parte hemos puesto nuestro mayor esfuerzo para tratar de transmitirle nuestra experiencia y conocimiento en el tema.

Muchas gracias por la atención que siempre nos brindaron