



Tecnun - Escuela Superior de Ingenieros

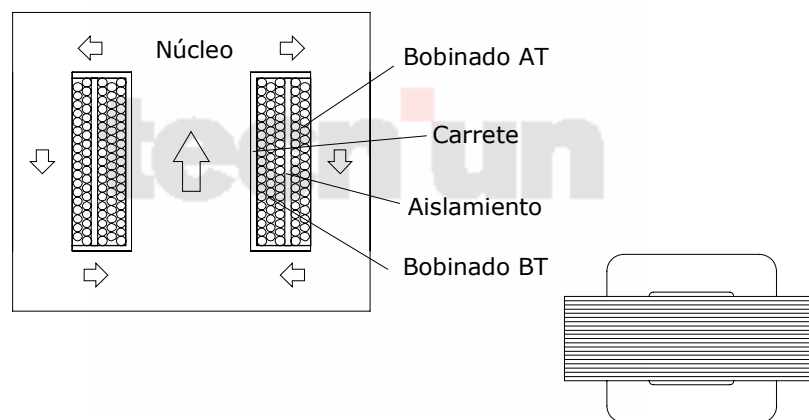
## DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO *Introducción*

- Esquema Básico de Transformador



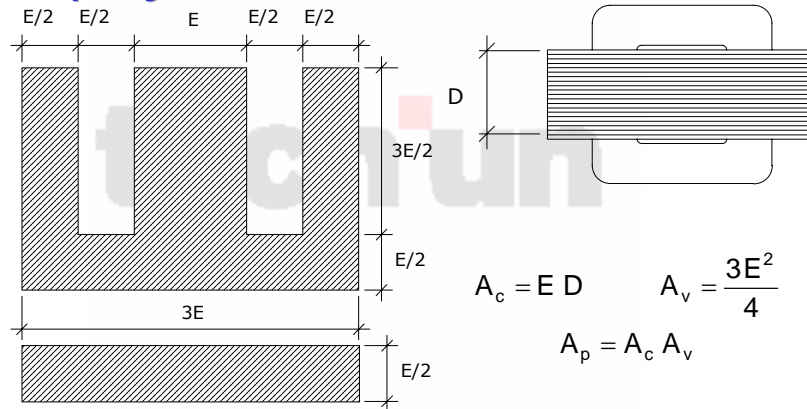
TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

Introducción

- Chapas y Núcleo



TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

Datos

- Datos de Partida

- **Potencia Nominal**
  - $S_N$
- **Tensiones Nominales**
  - $V_{1N}$  y  $V_{2N}$
- **Tensión de Vacío**
  - $V_{20}$
- **Calentamiento Permitido**
  - $\Delta\theta$

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

Objetivos

- **Objetivos del Trabajo**
  - **Diseñar y Fabricar un transformador monofásico**
    - Máximo rendimiento para  $\alpha=1$  y  $\cos\phi=1$
    - Mínimo peso
    - Mínimo coste
  - **Realizar Ensayos**
  - **Contrastar Resultados**

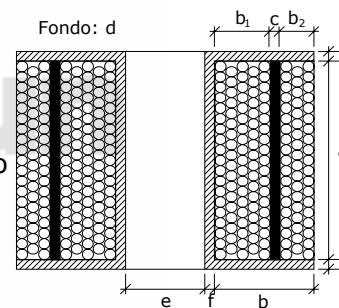
TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

Bobinas

- **Parámetros de Bobinados (1)**
  - **Dimensiones Geométricas**
    - a: altura de la bobina
      - $a \approx 0.98(3E/2 - 2f)$
    - b: espesor de la bobina
      - $b_1$  y  $b_2 \rightarrow$  dos bobinados
    - d (D): profundidad del núcleo
      - Número de chapas
    - e (E): anchura del núcleo
      - Tipo de chapa magnética
    - f: espesor del carrete
    - c: espesor del aislamiento entre bobinados



TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



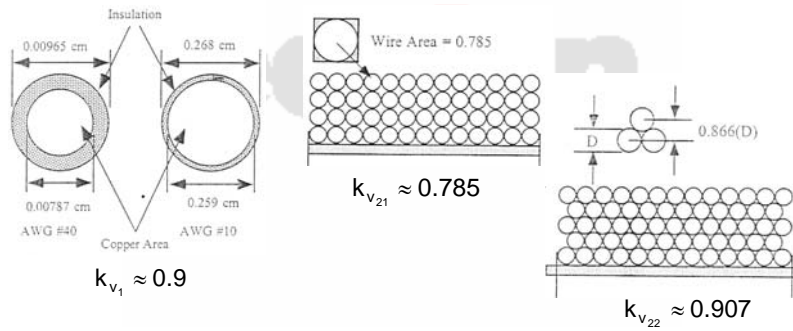
# TRAFO MONOFÁSICO

*Bobinas*

- **Parámetros de Bobinados (2)**

- **Coeficientes (1)**

- Llenado de ventana  $\rightarrow 0.4 \leq k_v \leq 0.6$



**TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS**



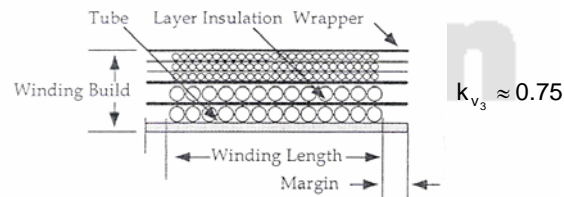
# TRAFO MONOFÁSICO

*Bobinas*

- **Parámetros de Bobinados (3)**

- **Coeficientes (2)**

- Llenado de ventana  $\rightarrow 0.4 \leq k_v \leq 0.6$



$$k_v = k_{v_1} k_{v_2} k_{v_3}$$

$$0.4 \leq k_v \leq 0.6$$

**TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS**



## TRAFO MONOFÁSICO

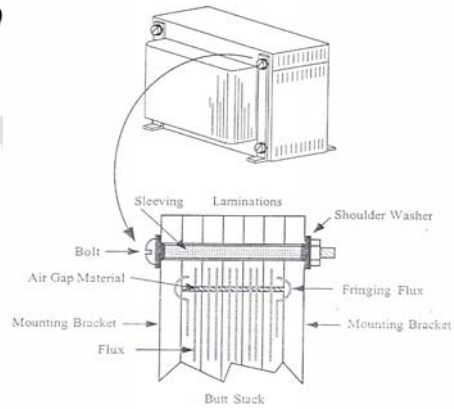
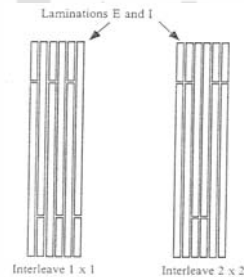
Bobinas

### • Parámetros de Bobinados (4)

#### - Coeficientes (y 3)

- Apilado de Núcleo

$$0.95 \leq kh \leq 0.98$$



TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

Bobinas

### • Parámetros de Bobinados (5)

#### - Relaciones entre Parámetros (1)

$$N_{E_k} \approx \frac{1}{2} \left( \frac{2a}{D_{cond_k}} - 1 \right) \quad N_{C_k} \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \left( \frac{b_k}{D_{cond_k}} - 1 \right) + 1$$

$$a \approx \frac{D_{cond_1}}{2} (1 + 2N_{E_1}) \approx \frac{D_{cond_2}}{2} (1 + 2N_{E_2})$$

$$b_k \approx \frac{D_{cond_k}}{2} (2 + (N_{C_k} - 1)\sqrt{3})$$

Con  $k=1,2$  y siendo

$N_{Ck}$ : número de capas de cada bobina

$N_{Ek}$ : número de espiras por capa de cada bobina

$N_k$ : número de espiras de cada bobina

$D_{conk}$ : diámetro exterior del conductor de cada bobina

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

Bobinas

- **Parámetros de Bobinados (6)**

- **Relaciones entre Parámetros (2)**

$$l_{\text{media}} = 2(d + 2f) + 2(e + 2f) + \pi b = \text{MLT} \quad \text{bobina única}$$

$$l_{\text{media}_1} = 2(d + 2f) + 2(e + 2f) + \pi b_1 = \text{MLT}_1 \quad \text{bobina interior}$$

$$l_{\text{media}_2} = l_{\text{media}_1} + \pi(b_1 + b_2 + 2c) = \text{MLT}_2 \quad \text{bobina exterior}$$

siendo

-  $\text{LMT}_k = l_{\text{media}_k} \rightarrow$  longitud media espira de bobina k

- **Resistencia (R)**

$$R_{C_k} = \rho \frac{l_{\text{media}_k} N_k}{S_{Cu_k}} \quad R_{F_k} \approx 0.20 R_k$$

siendo

$\rho_{Cu}$ :  $1.77 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$

$S_{Cu_k}$ : sección transversal del conductor k

**TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS**



## TRAFO MONOFÁSICO

Bobinas

- **Parámetros de Bobinados (y 7)**

- **Relaciones entre Parámetros (y 3)**

- Inductancia de dispersión de Flujo ( $L_d$ )

$$L_p = \frac{1.2 \text{ MLT } N_1^2}{a} \left( c + \frac{b_1 + b_2}{3} \right) 10^{-8} \text{ (H)}$$

siendo

-  $L_p$ : Inductancia equivalente en el primario

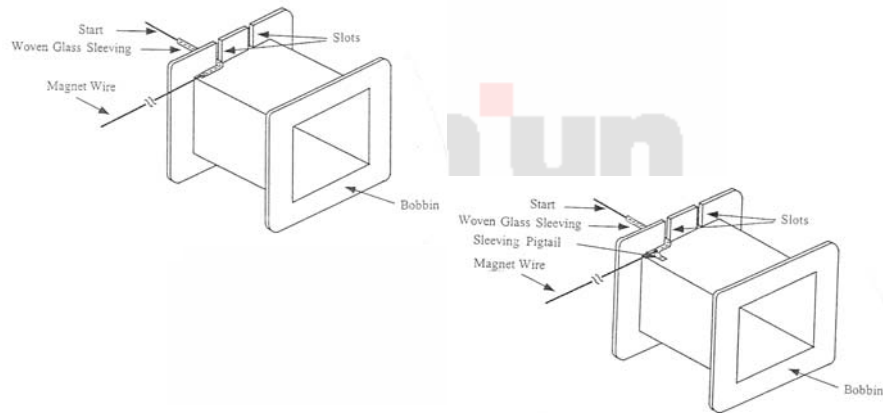
**TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS**



## TRAFO MONOFÁSICO

*Bobinado*

### • Procedimiento de Bobinado (1)



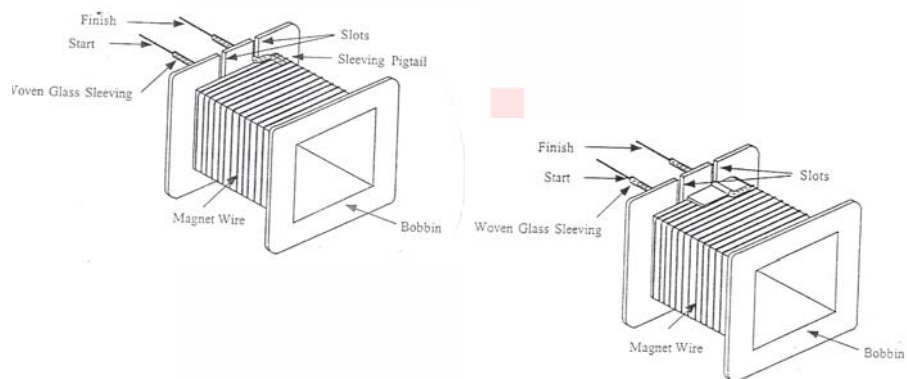
**TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS**



## TRAFO MONOFÁSICO

*Bobinado*

### • Procedimiento de Bobinado (2)



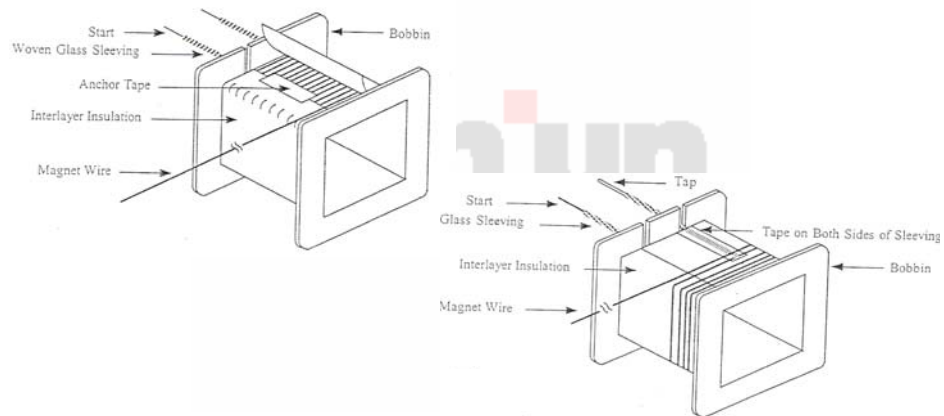
**TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS**



## TRAFO MONOFÁSICO

*Bobinado*

### • Procedimiento de Bobinado (3)



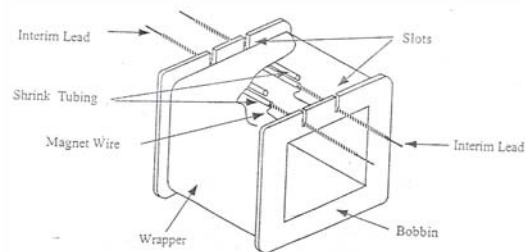
**TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS**



## TRAFO MONOFÁSICO

*Bobinado*

### • Procedimiento de Bobinado (y 4)



**TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS**



## TRAFO MONOFÁSICO

Diseño

- **Proceso de Diseño–Cálculo (1)**

- **Área Producto**

$$A_P = \left[ \frac{10000 S_N}{4,44 (x/(x+1)) k_h k_v k_J f B_{\max}} \right]^{8/7}$$

siendo:

- Ap: área producto
- Sn: potencia nominal
- f: frecuencia
- Bmax: valor de pico de la inducción
- kh: factor de apilamiento
- kv: factor de relleno
- x: coeficiente de J
- kj: constante de calentamiento

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

Diseño

- **Proceso de Diseño–Cálculo (2)**

- **Elección tipo de chapa**

- D≈E

- **Elección y características del Núcleo**

- Valor de D real (de acuerdo con carrete)
    - Chapa normal o de bajas pérdidas
    - MLT de la chapa
    - Volumen y peso del núcleo
    - Pérdidas en el hierro → gc e Ic
    - Im y Lm → bm (tablas o cálculo en CM)

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

*Diseño*

- **Proceso de Diseño–Cálculo (3)**

- **Bobinados (1)**

- Densidad de Corriente  $J = k_J A_p^{-1/8} \rightarrow \begin{cases} J_1 = xJ \\ J_2 = J \end{cases}$

siendo:

Ap: área producto

x: coeficiente de J

kj: constante de calentamiento

366 para 25 °C

534 para 50 °C

603 para 60 °C

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

*Diseño*

- **Proceso de Diseño–Cálculo (4)**

- **Bobinados (y 2)**

- Densidades de Corriente: J1 y J2
    - Secciones conductores: scu
    - Números de espiras (Nc y Ne):
      - N1 → con V1N
      - N2 → con V2o
    - LMT1 y LMT2
    - R1 y R2
    - Ld en secundario

- **Comprobación ventana**

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

*Diseño*

- **Proceso de Diseño–Cálculo (y 5)**
  - **Cálculos Analíticos del transformador**
    - Magnitudes características:
      - $\Delta V$ ,  $r$ ,  $PhN$ ,  $PcuN$ , ...
    - Ensayos
      - Vacío, cortocircuito, carga nominal
    - Cálculo de valores objetivo
      - Rendimiento
      - Peso y coste
  - **Comprobación rendimiento**
    - Si no es bueno → modificar entradas e iterar

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

*Fabricación*

- **Proceso de Fabricación (1)**
  - **Tomar carrete**
  - **Bobinar BT**
    - Según presentación y Jose
    - Aislamiento entre capas (?)
    - Sacar terminales al exterior
  - **Aislamiento entre bobinados**
  - **Bobinar AT**
    - Según presentación y Jose
    - Aislamiento entre capas (?)
    - Sacar terminales al exterior

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

*Fabricación*

- **Proceso de Fabricación (y 2)**
  - ***Poner Núcleo apilado***
    - Rellenar con más chapas si es posible → ↓ Ph
  - ***Colocar estructura***
    - Varilla roscada, bridas, pletinas, tornillos, arandelas, tuercas, terminales, ...

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS



## TRAFO MONOFÁSICO

*Ensayos*

- **Ensayos Reales del Transformador**
  - ***Vacío***
  - ***Cortocircuito***
  - ***Carga Nominal***
  - ***Calentamiento Nominal***
  - ***Rendimiento Nominal***
- **Comparativa y Conclusiones**

TRABAJO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS