

**MODELOS PARA EL ESTUDIO DE
DISTRIBUCION DE VOLTAJE DE
IMPULSO EN TRANSFORMADORES**

Ing. José Luis Muñoz C.

MODELOS PARA EL ESTUDIO DE DISTRIBUCION DE VOLTAJE DE IMPULSO EN TRANSFORMADORES

Ing. José Luis Muñoz C.
Sección Alta Tensión
y Máquinas. I.I.E.E.

RESUMEN

Se analizan las relaciones que deben existir entre los parámetros del modelo y del original a fin de que los fenómenos que ocurren en ambos sean similares. Se presentan los resultados obtenidos en experiencias realizadas con modelos de transformadores nacionales y se discute el rango de aplicación de los dos tipos de modelos comúnmente empleados: el modelo geométrico y el modelo electromagnético.

ABSTRACT

The relations existing between the parameters of a model and an original, so that phenomena occurring in both of them may be similar, is analysed.

Experimental results obtained with national transformer models are presented. Two common types of models are used: the geometrical and the electromagnetical. The useful range of application is discussed.

La aislación de transformadores queda determinada, en parte, por las sollicitaciones producidas por los voltajes de impulso.

El proyectista debe conocer la distribución de estos voltajes, en función del tiempo, en el o los enrollados sometidos a impulso.

El cálculo de esta distribución de voltajes transientes es un problema matemático complejo, que puede resolverse analíticamente sólo haciendo uso de hipótesis simplificatorias. En todo caso es difícil considerar la no uniformidad de los enrollados, la que puede dar lugar a sobretensiones peligrosas.

Por estas razones ha sido necesario el empleo de modelos en el cálculo de estas sollicitaciones, siendo los más importantes el modelo geométrico y el modelo electromagnético.

1. MODELO GEOMETRICO

Este fue el primer tipo de modelo utilizado en el estudio de los fenómenos de impulso en transformadores. En él se reducen las dimensiones del transformador original en un cierto factor de escala.

En este análisis todas las cantidades del transformador (original) se designan con los símbolos usuales con una prima ('), las cantidades correspondientes del modelo se designan con el mismo símbolo con dos primas (") y la relación de magnitud entre cantidades correspondientes se designan con el mismo símbolo sin prima.

TABLA N° 1

Magnitud	Original	Modelo	Factor de escala
Longitud	l'	l''	$l = l''/l'$
Tiempo	t'	t''	$t = t''/t'$
Conductividad	γ'	γ''	$\gamma = \gamma''/\gamma'$
Permitividad	ϵ'	ϵ''	$\epsilon = \epsilon''/\epsilon'$
Permeabilidad	μ'	μ''	$\mu = \mu''/\mu'$
Corriente	I'	I''	$I = I''/I'$
Voltaje	V'	V''	$V = V''/V'$
Inductancia	L'	L''	$L = L''/L'$
Capacidad	C'	C''	$C = C''/C'$
Resistencia	R'	R''	$R = R''/R'$

Las relaciones de similitud que deben existir entre los diversos factores de escala se obtienen, ya sea mediante el empleo del análisis dimensional o a partir de las ecuaciones de Maxwell; en este artículo seguiremos el primer camino.

La intensidad de campo H' en un punto cualquiera del enrollado (original) queda definida por una relación del tipo

$$F(H', t', x', \epsilon', \mu', \gamma') = 0 \tag{1.1}$$

donde:

- H' = intensidad de campo en el punto x' .
- t' = tiempo
- x' = distancia medida a partir del extremo del enrollado donde se aplica el impulso.
- ϵ' = permitividad
- μ' = permeabilidad
- γ' = conductividad

La relación 1.1. puede escribirse en función de parámetros adimensionales llamados parámetros característicos:

$$f[\pi_1, \pi_2, \dots] = 0 \tag{1.2}$$

De acuerdo al teorema de Buckingham (π) existen dos parámetros característicos independientes. Estos parámetros son relaciones monomias entre las variables de la forma

$$\pi^1 = H' l_1 \quad \pi^2 = t_2' \quad \pi^3 = \epsilon' l_3 \quad \pi^4 = \mu' l_4 \quad \pi^5 = \gamma' l_5 \tag{1.3}$$

y sus dimensiones son:

$$[\pi^i] = [H^i]^{I_1} [t^i]^{I_2} [L^i]^{I_3} [\epsilon^i]^{I_4} [\mu^i]^{I_5} [\gamma^i]^{I_6} = [I] \quad 1.3.a$$

Expresando H^i , t^i , L^i , ϵ^i , μ^i , γ^i en función de cuatro magnitudes básicas, por ejemplo, longitud (L), masa (M), tiempo (T) y carga eléctrica (Q) se obtiene:

$$\begin{aligned} [H^i] &= L^{-1} T^{-1} Q^{-1} \\ [t^i] &= T \\ [L^i] &= L \\ [\epsilon^i] &= L^{-1} M^{-1} T^2 Q^2 \\ [\mu^i] &= L M Q^{-2} \\ [\gamma^i] &= L^{-1} M^{-1} T Q^2 \end{aligned} \quad 1.4.$$

$$\begin{aligned} [\pi^i] &= L^{-I_1 + I_2 - 3I_3 + I_4 - 3I_5} T^{-I_1 + I_2 + 2I_3 + I_4} M^{-I_4 + I_5 - I_6} Q^{I_1 + 2I_3 - 2I_5 + 2I_6} \\ &= [I] \end{aligned} \quad (1.5.)$$

Esta última relación será válida sólo si los exponentes de L, T, M y Q son todos nulos, con lo que se obtiene:

$$\begin{aligned} -I_1 + I_2 - 3I_3 + I_4 - 3I_5 &= 0 \\ -I_1 + I_2 + 2I_3 + I_4 &= 0 \\ -I_4 + I_5 - I_6 &= 0 \\ I_1 + 2I_3 - 2I_5 + 2I_6 &= 0 \end{aligned} \quad (1.6.)$$

Se observa que hay un sistema de cuatro ecuaciones con seis incógnitas; por lo tanto, para determinar cada parámetro característico deben asignarse a dos incógnitas cualquiera valores arbitrarios que permitan la solución del sistema:

Si hacemos:

$$a) \quad I_5 = 0, \quad I_6 = 1$$

obtenemos:

$$I_1 = 0, \quad I_2 = -2, \quad I_3 = 2, \quad I_4 = 1, \quad I_5 = 0, \quad I_6 = 1$$

$$\pi_1^i = \frac{\mu^i \epsilon^i L^{i2}}{t^{i2}} \quad 1.7.a$$

$$b) \quad I_5 = 1, \quad I_6 = 0$$

Obtenemos:

$$I_1 = 0, \quad I_2 = 1, \quad I_3 = -2, \quad I_4 = 0, \quad I_5 = 1, \quad I_6 = -1$$

$$\pi_1^i = \frac{t^i}{L^{i2} \mu^i \gamma^i} \quad 1.7.b)$$

Por lo tanto, la relación 1.2. puede escribirse en la forma:

$$f \left[\frac{t^1}{l^{12} \mu^1 \gamma^1}, \frac{\mu^1 \epsilon^1 l^{12}}{t^{12}} \right] = 0$$

Una relación semejante puede escribirse para el modelo. La similitud entre modelo y original se alcanza cuando los parámetros característicos correspondientes son iguales, es decir:

$$\frac{t''}{l''^{12} \mu'' \gamma''} = \frac{t^1}{l^{12} \mu^1 \gamma^1}$$

$$\frac{\mu'' \epsilon'' l''^{12}}{t''^{12}} = \frac{\mu^1 \epsilon^1 l^{12}}{t^{12}}$$

Entre los factores de escala deben existir, por lo tanto, las siguientes relaciones:

$$\frac{t}{l \sqrt{\mu \epsilon}} = 1 \tag{1.8}$$

$$\frac{t}{l^2 \mu \gamma} = 1 \tag{1.9}$$

De las ecuaciones 1.8 y 1.9 se obtiene, por eliminación de t :

$$l = \frac{\sqrt{\epsilon}}{\gamma \sqrt{\mu}}$$

Al construir un modelo por razones prácticas, debe hacerse $\epsilon = \mu = 1$, con lo cual la relación 1.10. se reduce a $l = 1/\gamma$. Como el objetivo principal es construir modelos de dimensiones inferiores al original, al elegir una escala de longitud muy pequeña se presentarán dificultades prácticas por el elevado valor de γ que resulta.

Sin embargo, las ecuaciones 1.8. y 1.9. se aplican simultáneamente sólo cuando se desea reproducir correctamente en el modelo los fenómenos debidos tanto a las corrientes de desplazamiento como a las de conducción. En el estudio de los fenómenos transientes en que interesa lo que ocurre sólo en los primeros microsegundos, puede despreciarse los fenómenos producidos por las corrientes de conducción y por ello sólo es necesario cumplir la relación 1.8.

Esta relación para el caso de $\mu = \epsilon = 1$ se reduce a $t = l$, es decir el factor de escala de los tiempos igual al de las longitudes. De modo que si se emplea un factor de escala de longitudes reducido el frente de las ondas de impulso que deban aplicarse al modelo pueden ser difícil de obtener, debido a que resulta muy escarpado.

La escala de las capacidades queda determinada por $C = l\epsilon$, es decir si el factor de escala de las longitudes es pequeño, el factor de escala de las capacidades también lo será, lo cual puede dar lugar a complicaciones en las medidas.

Resumiendo, podemos decir que el empleo del modelo geométrico sólo es adecuado para el estudio de fenómenos transientes en transformadores, siempre que se emplee un factor de escala de longitudes cercano a la unidad, lo que es posible en transformadores de distribución y de potencia de pequeña capacidad.

2. MODELO ELECTROMAGNETICO

Este tipo de modelo fue desarrollado por P. A. Abetti, a fin de eliminar algunas de las dificultades que presenta el modelo geométrico. En esencia consta de dos partes:

- a) Un circuito equivalente de capacidades concentradas que reproduce los efectos de las capacidades, tanto entre bobinas como entre bobinas y tierra.
- b) Un modelo geométrico del núcleo y bobinas, que representa el efecto de las inductancias propias y mutuas.

Los factores de escala deben elegirse de modo que tanto el modelo como el original tengan las mismas intensidades (H) y densidades de flujo (B) en puntos y tiempos correspondientes, a fin de evitar el problema de la no linealidad de las inductancias.

Si usamos la misma notación empleada anteriormente tenemos:

$$B''(t'') = B'(t') \quad 2.1.a$$

$$H''(t'') = H'(t') \quad 2.1.b$$

Si A' es la sección transversal geométrica del núcleo del original, b' la longitud de su circuito magnético y N' su número de vueltas, se tiene:

$$v' = N' A' \frac{dB'}{dt'} \quad 2.2.a$$

Análogamente, para el modelo:

$$v'' = N'' A'' \frac{dB''}{dt''} \quad 2.2.b$$

Formando el cociente dimensional de las relaciones 2.2., se obtiene la siguiente relación entre los diversos factores de escala:

$$v = \frac{NA}{t} = \frac{N L^2}{t} \quad 2.3.$$

Por otro lado, de la ley circuital de Ampere, se obtiene:

$$N' I' = H' b' \quad \text{para el original} \quad 2.4.a$$

$$N'' I'' = H'' b'' \quad \text{para el modelo} \quad 2.4.b$$

y formando la razón entre las dimensiones de las ecuaciones anteriores, resulta:

$$N I = L \quad 2.5.$$

El factor de escala de las impedancias queda definido por:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{N^2 L}{t} \quad 2.6.$$

Para las inductancias y capacidades se obtiene respectivamente:

$$L = \frac{Z}{\omega} = t Z = N^2 l \quad 2.7$$

$$C = \frac{1}{\omega Z} = \frac{t}{Z} = \frac{t^2}{N^2 l} \quad 2.8$$

El modelo electromagnético tiene tres factores de escala independientes, por ejemplo, la longitud (l), el tiempo (t) y el número de vueltas (N). En la tabla N° 2 se expresan los diversos factores de escala en función de estos tres factores.

TABLA N° 2

Cantidad	Símbolo	Factores de escala en función de l, t, N .
Longitud	l	l
Tiempo	t	t
Número de vueltas	N	N
Intensidad de campo	H	l
Inducción magnética	B	l
Flujo magnético	ϕ	l^2
Tensión	V	$l^2 N t^{-1}$
Corriente	I	$l N^{-1}$
Potencia	P	$l^3 t^{-1}$
Impedancia	Z	$l N^2 t^{-1}$
Inductancia	L	$l N^2$
Capacidad	C	$l^2 l^{-1} N^{-2}$

La escala de las capacidades debe elegirse mayor que la unidad, a fin de compensar las posibles influencias de las capacidades propias del enrollado del modelo.

En la deducción de la relación 2.3. se consideró que la sección geométrica del núcleo era igual a su sección efectiva. Esta igualdad se cumple cuando la escala de los tiempos es cercana a la unidad. En otras palabras, si la onda aplicada al modelo y original tienen la misma forma.

En caso contrario, tiene influencia el efecto de penetración del campo magnético en el núcleo (efecto skin) *.

Si se designan por A'_{ef} y d' la sección efectiva y el espesor de las láminas del núcleo del original se tiene:

$$A'_{ef} = \frac{2a'}{d'} A'$$

*La distancia "a" a la cual penetra una onda de frecuencia "f" en un medio conductor es:

$$a = \frac{1}{\sqrt{\mu \gamma \pi f}}$$

análogamente para el modelo:

$$A'' ef = \frac{2a''}{d''} A''$$

Formando el cociente dimensional de las dos relaciones anteriores y considerando que $d' = d''$, se obtiene:

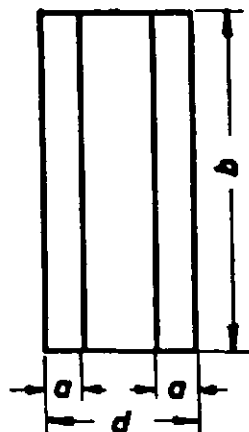


Fig. 1

$$A = \frac{A ef}{a} = \frac{A ef}{\sqrt{t}} = \frac{L^2}{\sqrt{t}}$$

$A ef = L^2$: ya que son las secciones efectivas las que deben ser similares.

En cuanto al factor de escala de los elementos disipativos, podemos decir que ellos dependen, en general, de la geometría y calidad de los materiales.

La escala de las conductancias de los materiales dieléctricos es:

$$G = C \omega \frac{tg \delta''}{tg \delta'} = \frac{t}{N^2 L} \delta \quad 2.10.$$

$$(tg \delta'' = \delta'', \quad tg \delta' = \delta')$$

donde $\delta = \frac{\delta''}{\delta'}$ = factor de escala de ángulos de pérdidas.

Por otro lado, la escala de las conductancias debe ser igual al recíproco de la escala de las impedancias:

$$G = \frac{1}{Z} = \frac{t}{N^2 l} \quad 2.11.$$

Estas dos últimas relaciones se cumplirán simultáneamente si: $\delta \approx 1$, o sea si los condensadores del circuito equivalente tienen el mismo coeficiente de pérdidas que el material aislante del original.

En cuanto a la resistencia, debe considerarse el efecto que la frecuencia tiene sobre ellas, pues las frecuencias correspondientes a los modos propios de oscilar del enrollado son altas.

Si se designa por $R_{..}$ y $R_{..}$, los factores de escala de las resistencias a corriente alterna y continua respectivamente, se cumple:

$$R_{ca} = \frac{R_{ca}''}{R_{ca}'} = \frac{K'' R_{cc}''}{K' R_{cc}'} = K \frac{l}{\gamma l^2} \quad 2.12.$$

siendo:

$$K = \frac{K''}{K'}$$

Además, R_{ca} debe cumplir con la relación encontrada para las impedancias.

$$R_{ca} = \frac{l N^2}{t} \quad 2.13.$$

de ecuaciones 2.12. y 2.13. se obtiene:

$$K = \gamma \frac{l^2 N^2}{t} \quad 2.14.$$

Resulta difícil hacer que esta última relación se cumpla, puesto que los coeficientes K' y K'' son funciones empíricas. Sin embargo, el error que se comete al no quedar a escala las resistencias es despreciable, ya que sólo interesan en estos fenómenos las primeras oscilaciones, en las cuales el amortiguamiento producido por las resistencias es pequeño.

3. EXPERIMENTACION EN LOS MODELOS

A) Modelo electromagnético.

Se construyó un modelo electromagnético de un transformador trifásico de distribución de 75 KVA, 23000/400V, cuyos datos constructivos y dimensiones de la parte activa se indican en Fig. 2.

Como factor de escala para las longitudes se eligió $l = \frac{1}{2}$; con ello se obtienen dimensiones adecuadas para el modelo.

La escala de tiempo se hizo igual a la unidad, pues tiene la ventaja de permitir usar la misma forma de onda de impulso, tanto en el modelo como en el original, con lo cual el efecto de la frecuencia en la disminución no lineal de la sección efectiva del núcleo del original se reproduce a escala en el modelo.

Como tercer factor de escala independiente se eligió el del número de vueltas N , el que se hizo igual a $\frac{1}{3}$. El modelo se construyó manteniendo el número de capas en cada panqueque y reduciendo en cada capa el número de vueltas en un tercio.

Con las elecciones anteriores se obtiene para la red capacitiva un factor de escala igual a 18, factor bastante mayor que la unidad, con lo cual se reducen las posibles influencias de las capacidades propias del enrollado del modelo.

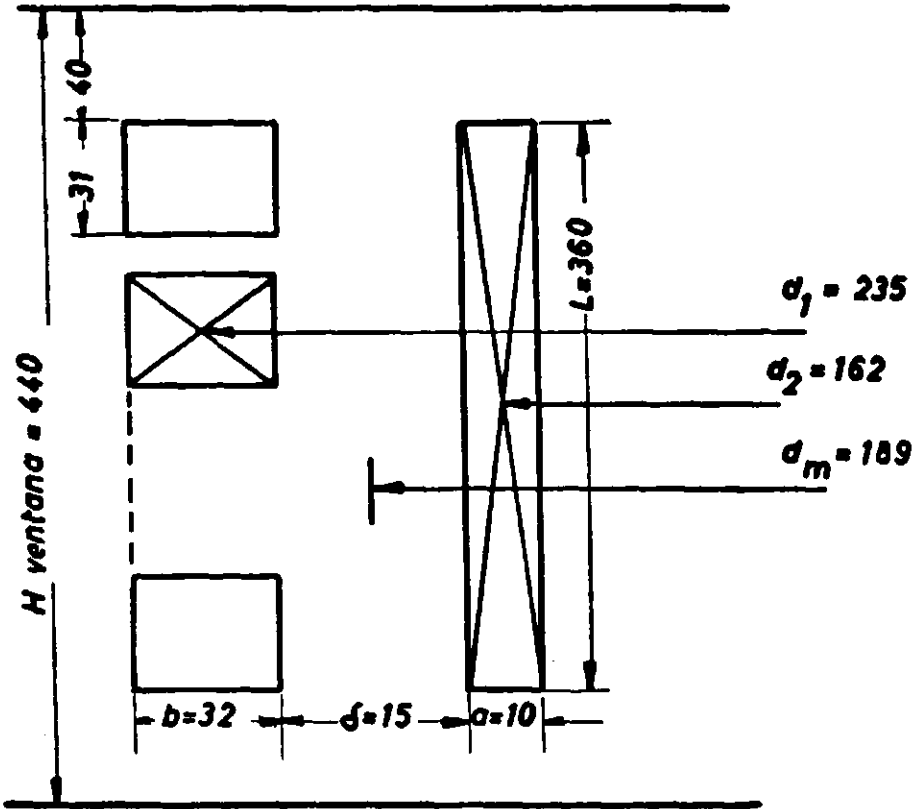


Fig. 2

La red capacitiva equivalente se determinó para cada enrollado, considerando cada panqueque como elemento; con ello se obtiene una red de 10 mallas, cuyos valores aparecen en Fig. 3.

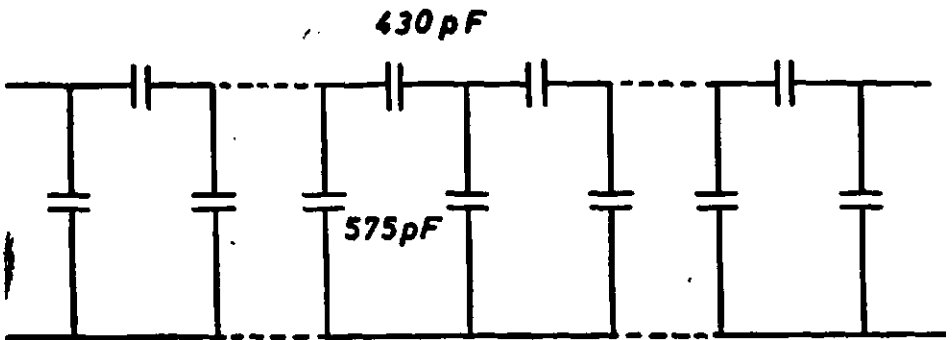


Fig. 3

Los factores de escala restantes se determinan en base a las relaciones dadas en Tabla N° 2, cuyos valores se indican en Tabla N° 3.

TABLA Nº 3

Cantidad	Factor de escala
longitud	$l = \frac{1}{2}$
tiempo	$t = 1$
número de vueltas	$N = \frac{1}{3}$
flujo magnético	$\phi = \frac{1}{4}$
tensión	$V = 0,083$
corriente	$I = 1,5$
potencia	$P = 0,125$
impedancia	$Z = \frac{1}{18}$
inductancia	$L = \frac{1}{18}$
capacidad	$C = \frac{1}{18}$

En este modelo se estudiaron las tensiones que aparecen en diversos puntos del enrollado al aplicar un impulso en un extremo, estando el neutro conectado a tierra (Fig. 4).

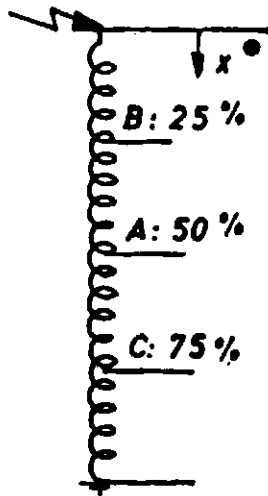


Fig. 4

Los oscilogramas 3.1 al 3.6 representan la tensión a masa en el 50% (A) del enrollado sometido a impulso, tanto para el modelo como para el original. Esta tensión prácticamente representa el primer modo de oscilar del enrollado (con un extremo a tierra).

De los oscilogramas anteriores se han obtenido los siguientes valores.

modelo: V máx.: 67% a los 35 μ seg. $f_{im} = 10$ Kc/s.

original: V máx.: 58% a los 35 μ seg. $f_{io} = 9,7$ Kc/s.

Las curvas de modelo y original son inicialmente prácticamente coincidentes; en tiempos posteriores las diferencias aumentan, debido al diferente amortiguamiento de ambos enrollados. En los primeros microsegundos, en la onda del modelo se aprecian oscilaciones de muy alta frecuencia, que se deben a que la onda aplicada al modelo está distorsionada (por la baja impedancia de onda que presenta el modelo) y a imperfecciones constructivas del modelo.

Los oscilogramas 3.7 al 3.12 representan la diferencia de tensión entre el 25% (B) y 75% (C), tanto en el modelo como en el original. En esta tensión sólo influyen las armónicas pares (el enrollado oscila en medias longitudes de onda) y de éstas, la segunda es la de mayor importancia.

De estos oscilogramas se han obtenido los siguientes valores:

modelo: V máx.: 89% a los 14 μ seg.	$f_{sm} = 25$ Kc/s.
original: V máx.: 74% a los 13 μ seg.	$f_{so} = 21.5$ Kc/s.

Vemos que las diferencias entre estos oscilogramas son mayores que en los anteriores, especialmente en lo concerniente a la amplitud de las tensiones.

Al comparar los voltajes en otros puntos, en especial en las proximidades de los terminales, se obtienen diferencias mayores entre las respuestas del modelo y original. Estas diferencias aumentan a medida que tienen mayor influencia los modos propios de oscilar del enrollado, cuya frecuencia es más elevada.

La elección del factor de escala del número de vueltas $N = 1/3$ se hizo con el objeto de obtener un factor de escala de las capacidades grande; sin embargo, con ello se obtiene un factor de escala de las inductancias $L = 1/18$, con lo cual el modelo resulta bastante sensible a los defectos constructivos.

La red capacitiva equivalente de elementos concentrados se hizo bastante sencilla, por lo cual las armónicas altas quedan notablemente distorsionadas, siendo ello la causa de las diferencias encontradas en las respuestas de modelo y original en las cercanías de los extremos.

B) Modelo geométrico.

Posteriormente se construyó un modelo geométrico de un transformador de 75 KVA, cuyo enrollado es del tipo cilíndrico en capas que se puede observar en Fig. 5.

El modelo geométrico se construyó empleando el mismo núcleo del modelo electromagnético, es decir el factor de escalas de longitudes es $l = 1/3$.

El factor de escala de los tiempos t es igual a $1/3$, de acuerdo a la relación $1,8 (\mu = \epsilon = l)$; o sea, la onda que debe aplicarse al modelo, correspondiente a una de $1 \times 50 \mu$ seg. en el original debe ser de la forma $0,5 \times 25 \mu$ seg.

Los oscilogramas 3.13 al 3.14 dan el voltaje a masa en el 6% del enrollado; los 3.15 y 3.16, la caída de tensión en el 6% inicial y los 3.17 y 3.18, la tensión en el 50% del enrollado.

De esta tabla se deduce que existe una buena correspondencia entre modelo y original, tanto en la forma de onda como amplitud de los voltajes. Las diferencias existentes se explican en parte porque las ondas aplicadas a original y modelo no se corresponden perfectamente.

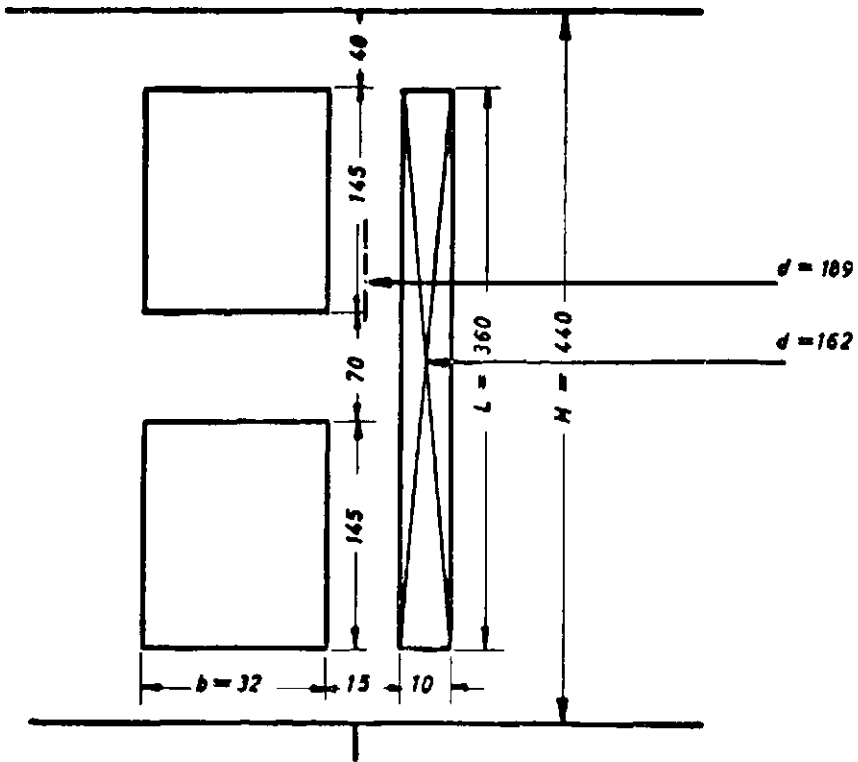


Fig. 5

En la Tabla N° 4 se han llevado los valores más representativos de estos oscilogramas.

TABLA N° 4

	<i>Onda aplicada</i>	<i>Tensión medida</i>	<i>Tensión máx. en % de V aplicado</i>
Modelo	1 × 30	en 6%	91 %
	1 × 30	entre 0% - 6%	5,0%
	1 × 30	en 50%	42 %
Original	1 × 50	en 6%	90,5%
	1 × 50	entre 0% - 6%	5,7%
	1 × 50	en 50%	41 %

4. RANGO DE APLICACION DE LOS MODELOS

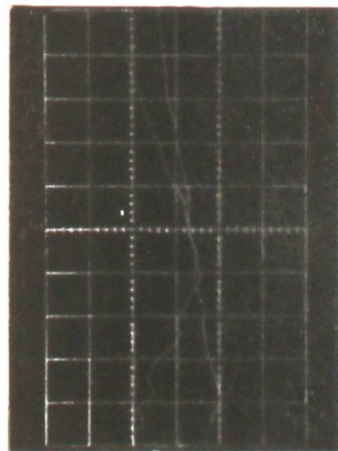
El pequeño número de modelos construidos no permite hacer un estudio cuantitativo de los resultados obtenidos con ellos. Pueden darse, eso sí, algunas conclusiones generales.

Los modelos geométricos tienen la gran ventaja que en su construcción no es necesario el conocimiento previo de las inductancias y capacidades del transformador, basta conocer las dimensiones y materiales empleados. La utilización de estos modelos geométricos está limitada al empleo de un factor de escala de longitudes cercano a la unidad ($\frac{1}{2} - \frac{1}{5}$). Con escalas menores se presentan serios problemas, como por ejemplo, una reducida escala de tiempo. La onda que debe emplearse, correspondiente a una normalizada de $1 \times 50 \mu\text{seg.}$, resulta así de un frente demasiado escarpado, difícil de obtener y medir. Este problema es mayor si se trata de reproducir ondas cortadas.

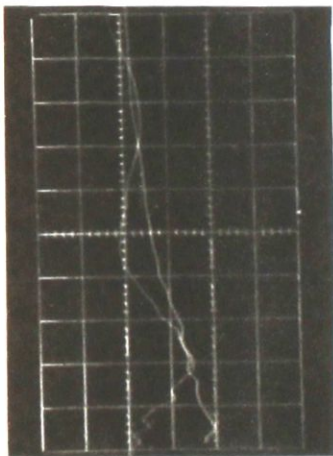
Los modelos electromagnéticos tienen la ventaja fundamental que los factores de los tiempos y las longitudes pueden elegirse en forma independiente. Esto se traduce en un mayor rango de aplicación, puesto que pueden construirse modelos electromagnéticos de transformadores de grandes dimensiones, con factores de escala reducidos. Además, esta independencia permite elegir escalas de tiempos cercana a la unidad o bastante mayores que la unidad. El empleo de modelos con escalas mayores que la unidad permite que los fenómenos de impulso de corta duración se transformen en uno de larga duración, siendo posible el empleo de dispositivos que permiten obtener directamente la distribución de las tensiones.

La principal desventaja de los modelos electromagnéticos es la necesidad de conocer previamente la red capacitiva, vale decir la distribución inicial de tensión a lo largo del enrollado. Fuera de los problemas propios que introduce el conocimiento de esta red, su construcción puede dar lugar a serias dificultades, en especial, si se desea conocer las tensiones en pequeñas fracciones del enrollado; en estos casos la red capacitiva resulta bastante compleja. En transformadores de gran potencia que tienen una capacidad serie elevada, estos problemas son menores; en ellos se desea conocer los voltajes en un número reducido de puntos y basta con una red capacitiva equivalente aproximada.

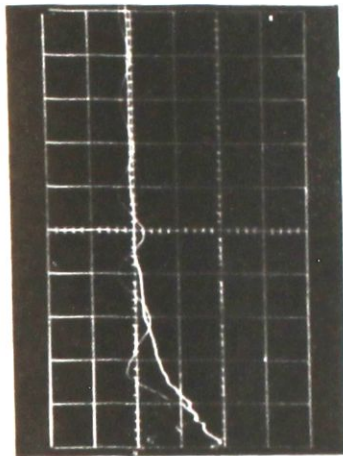
De los resultados anteriores se desprende que en el estudio de fenómenos de impulso en transformadores de distribución o de poder de baja tensión y potencia, que son los que se construyen, el empleo de modelos geométricos es de gran utilidad. Esto es especialmente cierto si se trata de transformadores con enrollados cilíndricos en capas, en los cuales un estudio experimental en el original es difícil de realizar por la dificultad de tener una gran cantidad de derivaciones accesibles.



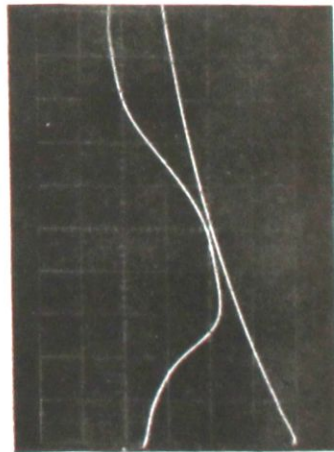
Osc. 3.1 100 uscg



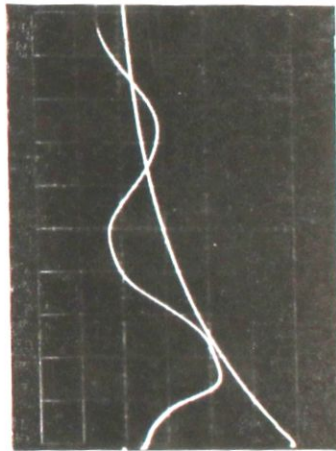
Osc. 3.2 200 uscg



Osc. 3.3 500 uscg

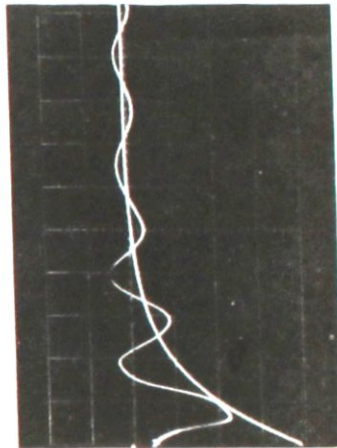


Osc. 3.4 100 uscg



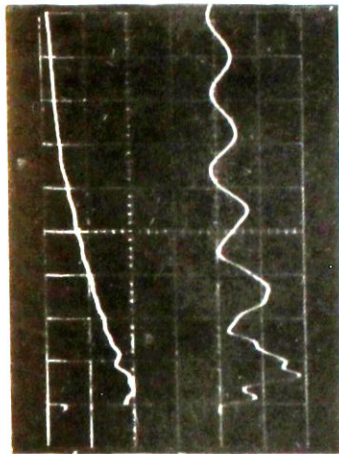
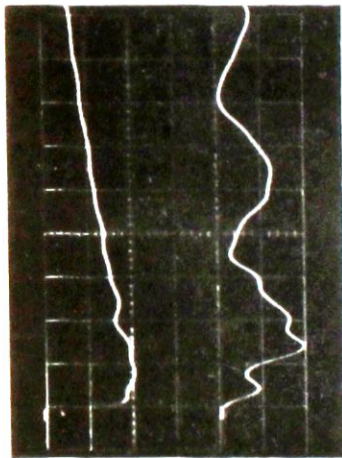
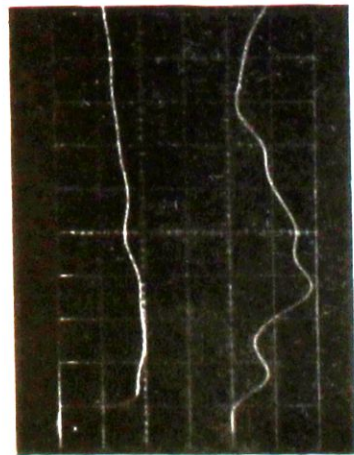
Tensión en 50° c (modelo)

Osc. 3.5 200 uscg



Osc. 3.6 500 uscg

Tension en 50% original

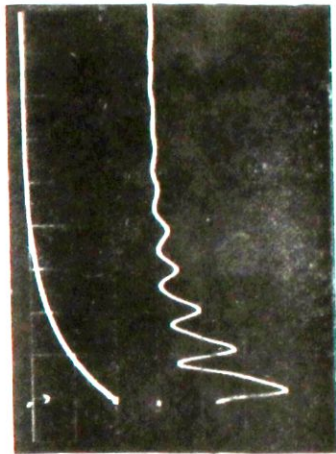
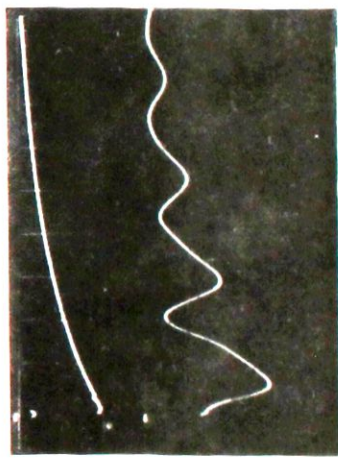
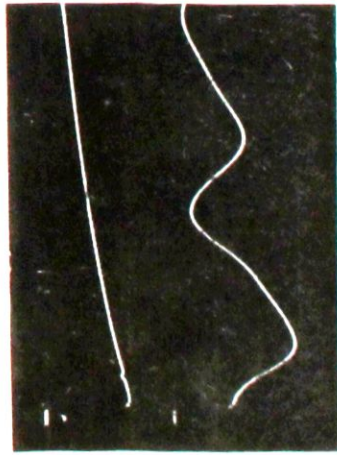


Osc. 37 500 us/g

Osc. 38 1000 us/g

Osc. 39 200 us/g

Diferencia de Tension en 25,73% de Original



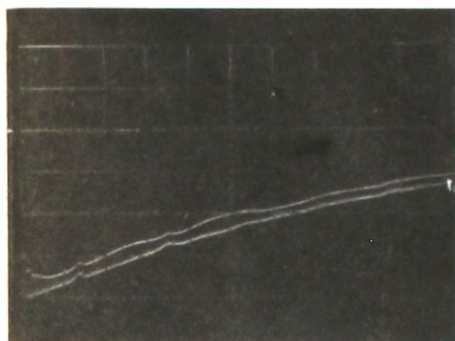
Osc. 310 100 us/g

Osc. 311 200 us/g

Osc. 312 300 us/g

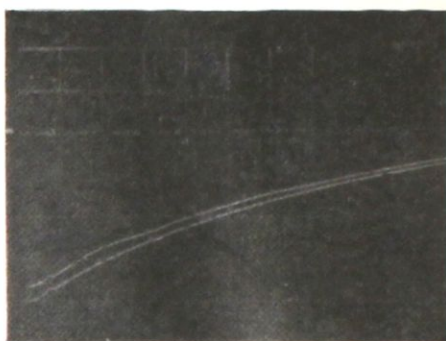
Diferencia de Tension en 27,73% de Original
Atenuacion cony aplicada = 2

MODELO GEOMETRICO



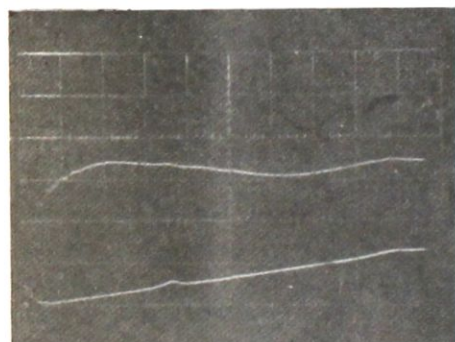
Osc. 3,13 50 useg

ORIGINAL

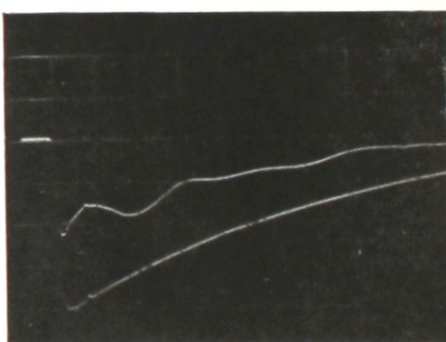


Osc. 3,14 100 useg

Tensión en 6%

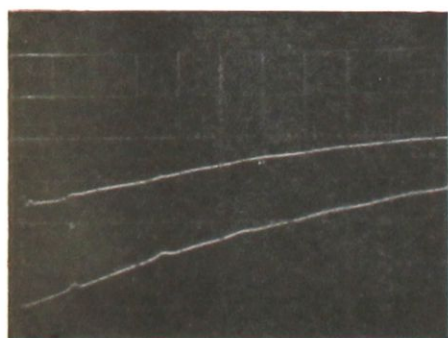


Osc. 3,15 50 useg

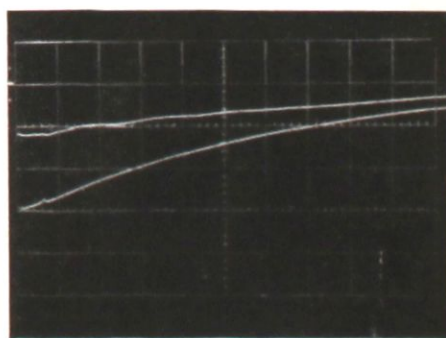


Osc. 3,16 100 useg

Caída de Tensión en 6% inicial



Osc. 3,17 50 useg



Osc. 3,18 100 useg

Tensión en 50%