

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES  
D.T.O. DE ELECTRÓNICA

Cátedra:

Máquinas e Instalaciones Eléctricas

**TRABAJO PRACTICO N°2**  
**ENSAYO INDIRECTO EN**  
**TRANSFORMADORES**

Curso 2007

Coordinador : Ing. Matricali Jorge A.

-  
-

**1.- Introducción :**

La determinación de las características principales de un transformador y su confrontación con las de diseño o de pedido son el objeto de los ensayos sobre los mismos. El estudio comparativo de las mismas permite ajustar los programas de calculo o verificar el cumplimiento de condiciones contractuales.

Cualquiera sea el fin de nuestro estudio existe cierta cantidad de ensayos que permiten evaluar distintos aspectos

del transformador.

El comportamiento eléctrico en condiciones de funcionamiento normal es uno de los aspectos fundamentales y es el objeto de esta practica.

Podemos determinar este comportamiento en forma directa poniendo el transformador en condiciones normales de tensión y frecuencia de alimentación y variar la corriente desde cero a plena carga, mientras medimos en forma exhaustiva tensión, corriente y potencia; dos obstáculos limitan las posibilidades de este ensayo:

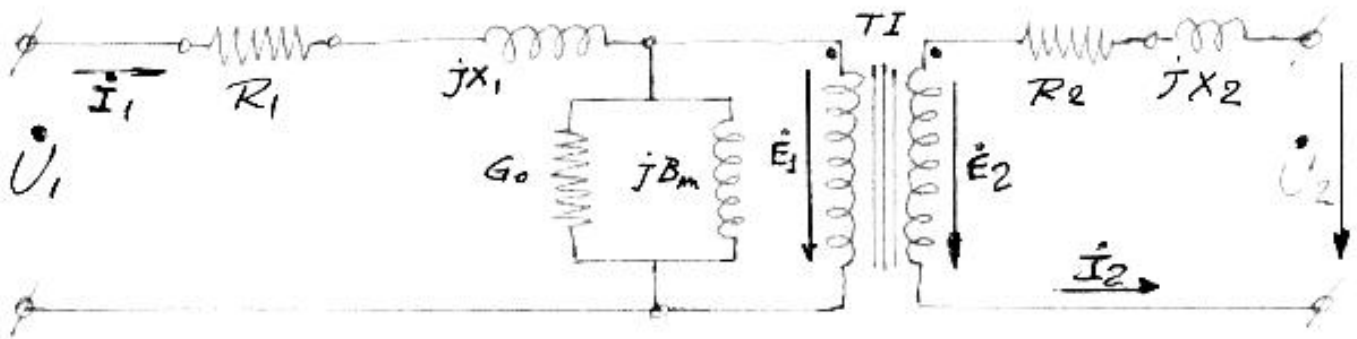
1\* : Es bastante difícil para el fabricante o el comprador definir estas características a priori en forma de curvas o tablas a contrastar, y

2\* : Para la ejecución es necesario poseer fuentes y cargas de potencia, tensión y frecuencia compatibles con la maquina a ensayar.

## 1.2.- Circuito equivalente.

### 1.2.1.-Descripción del circuito equivalente.

Como se ha visto en la teoría el circuito eléctrico equivalente es el mostrado.



Este circuito bien puede representar a un transformador monofásico como a una fase de un transformador trifásico en su equivalente estrella.

Los parámetros del circuito son:

$R_1$  = Resistencia del devanado primario.

$X_1$  = reactancia de dispersión del devanado primario.

$G_0$  = conductancia de pérdidas del núcleo.

$B_m$  = susceptancia magnetizante.

$R_2$  = Resistencia del devanado secundario.

$X_2$  = reactancia de dispersión del devanado secundario.

$TI$  = transformador ideal.

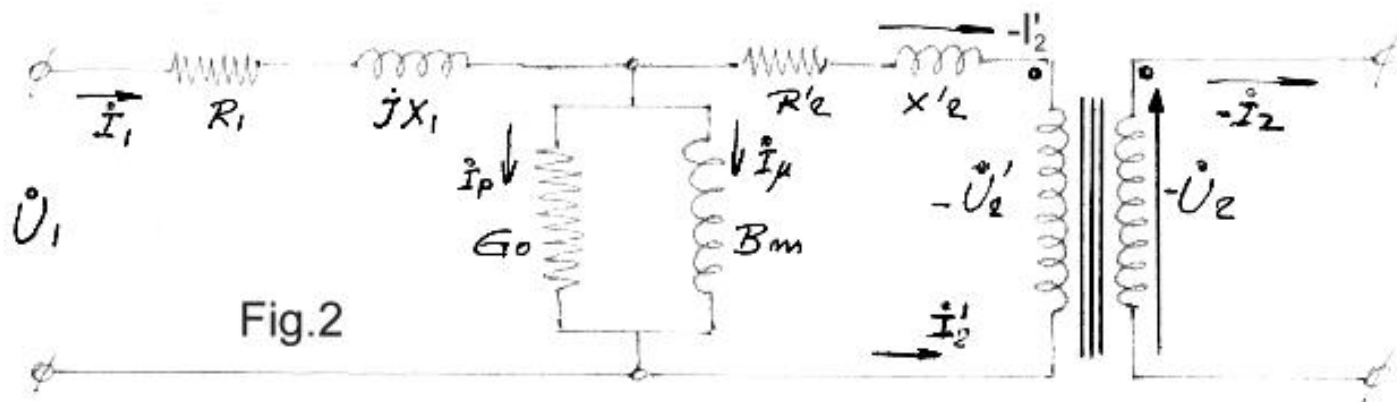


Fig.2

Normalmente el circuito equivalente se presenta con parámetros referidos a un solo lado, primario o secundario, como se muestra en la figura, donde  $R'_2$  es la resistencia del devanado secundario referida al primario y  $X'_2$  es la reactancia de dispersión del secundario referida al primario. El transformador ideal TI se ha desplazado hacia la derecha; usualmente se omite en los circuitos equivalentes reducidos dibujar el TI porque se sobrentiende su presencia; por ahora lo conservaremos para fijar conceptualmente su función de elemento de vinculación entre ambos lados.

De acuerdo a lo visto en la teoría, las expresiones fasoriales que representan el circuito anterior en funcionamiento son:

$$U_1 = (R_1 + j X_1) \cdot I_1 + (R'_2 + j X'_2) \cdot I'_2 - U'_2 \quad [1]$$

$$I_1 = I_p + I_m + I'_2 = I_0 + I'_2 \quad [2]$$

$$a = U'_2 / U_2 = I_2 / I'_2 \quad [3]$$

En la ecuación 1, la tensión secundaria  $U'_2$  es negativa debido a la conversión electromagnética puesta en juego dando origen a un desfase de  $180^\circ$ . La corriente de carga  $I_2$  sufre el mismo proceso.

La ecuación [2] define que la combinación de la corriente de pérdida y la magnetizante dan origen a la corriente de vacío, que oscila entre el 3 % y el 6 % de la corriente nominal.

La ecuación [3] define la relación de transformación "a", que queda expresada tanto por la relación de tensiones como por la de corrientes de ambos lados. Sin embargo normalmente la relación de transformación se define en función de las fuerzas electromotrices de ambos lados del T1 (circuito no reducido). De modo que E1 esta aplicado en los nodos de la rama derivación y E2 sobre los bornes secundarios del T1. Si reducimos el secundario al primario, E2 se transformara en E' 2 coincidente con E1 ubicándose la transformada en coincidencia con E1. En la figura se muestra el circuito equivalente con la anotación referente a esta f.e.m.

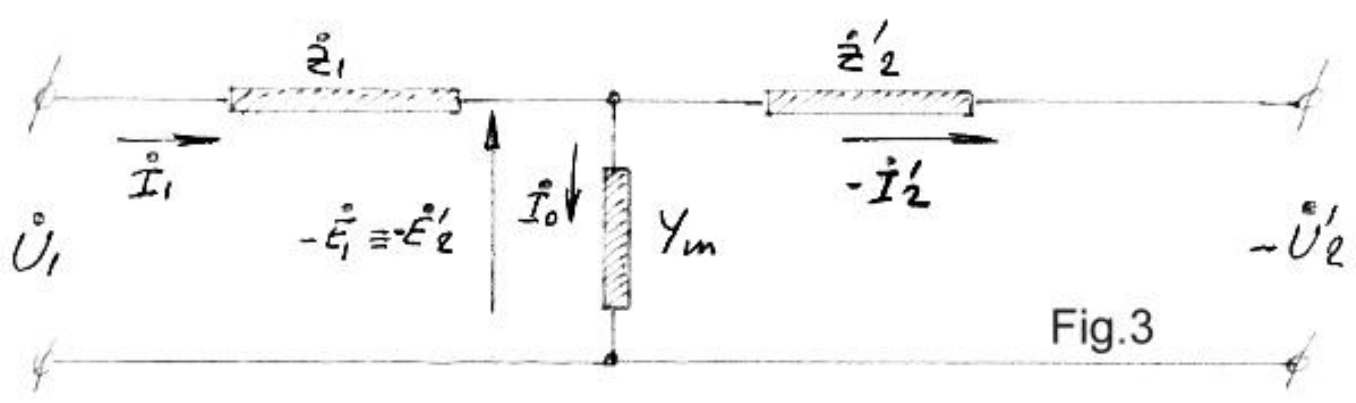


Fig.3

Surgen aquí las siguientes expresiones fasoriales que completan las anteriores:

$$U_1 = I_1 \cdot Z_1 - E_1 \quad [4]$$

$$U'_2 = E'_2 + I'_2 \cdot Z'_2 \quad [5]$$

De la combinación de las dos ecuaciones anteriores surge la ecuación [1].

Podemos en estas condiciones elaborar los fasoriales que interpretan el comportamiento del transformador en carga, como se muestra abajo a la derecha el fasorial corresponde al circuito reducido con carga inductiva y a la izquierda el correspondiente al circuito no reducido.

### 1.2.2 - Determinación de los parámetros del circuito equivalente.

Si con el transformador sin carga, aplicamos al primario la tensión nominal, la corriente que se tome de la línea será limitada por la impedancia de la rama primaria y la rama derivación (excitación).

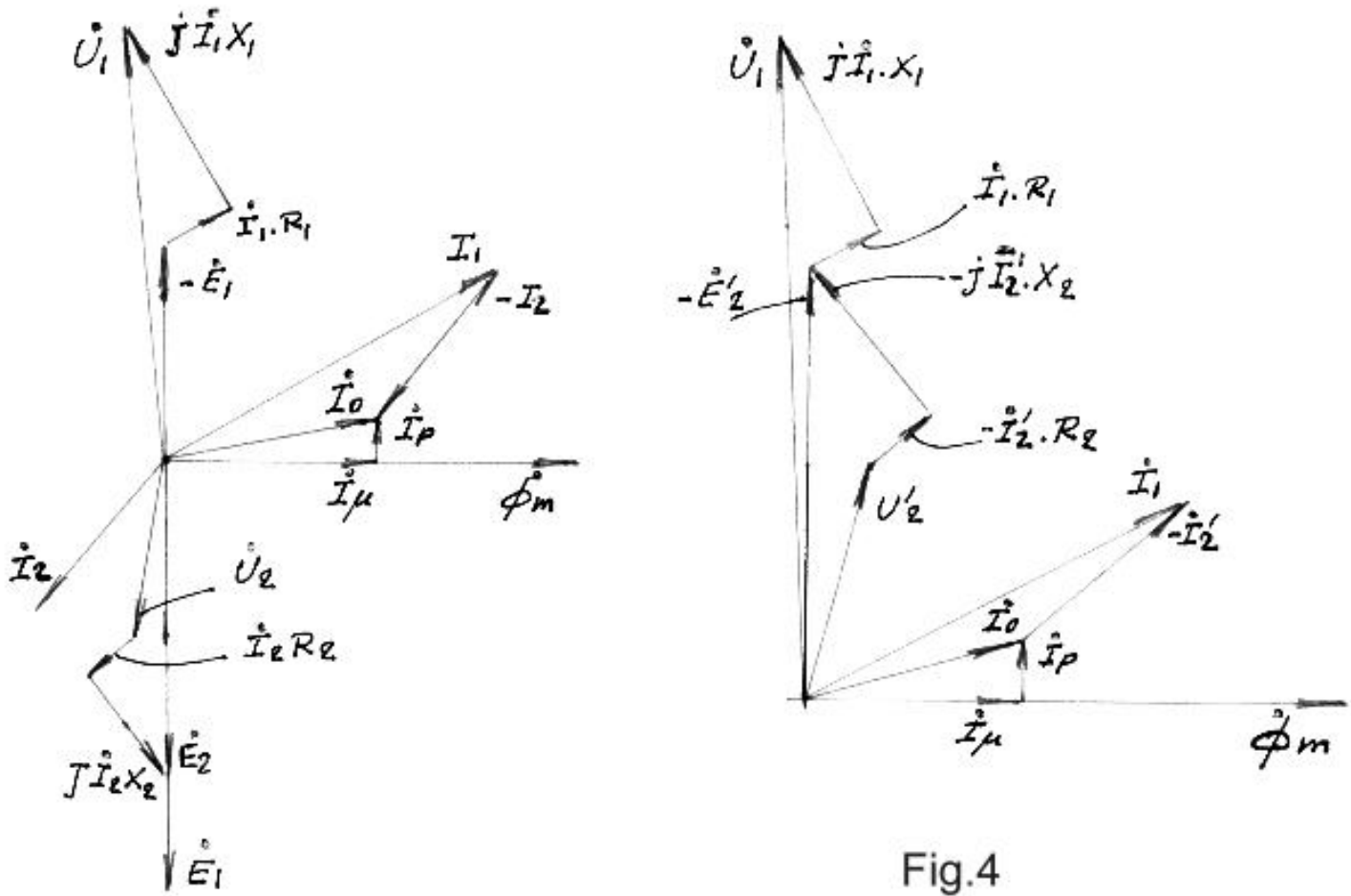
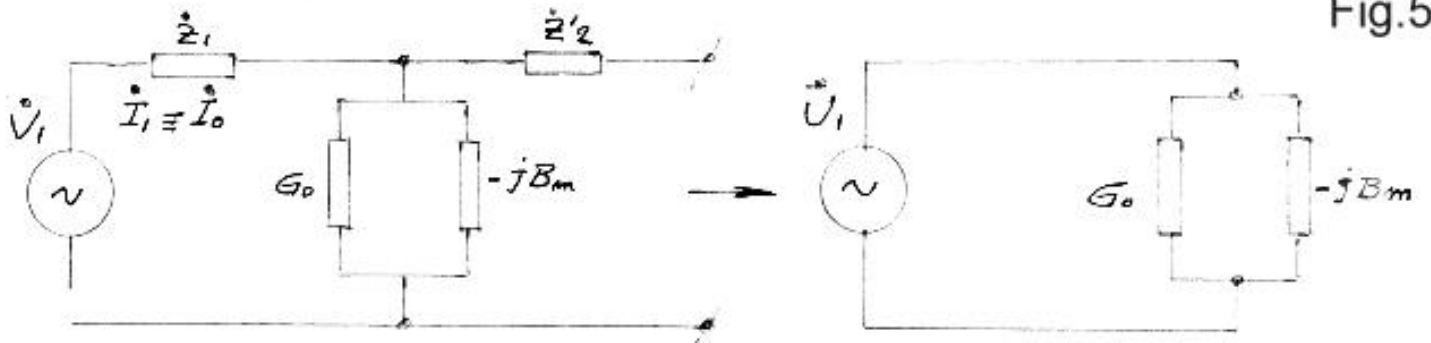


Fig.4

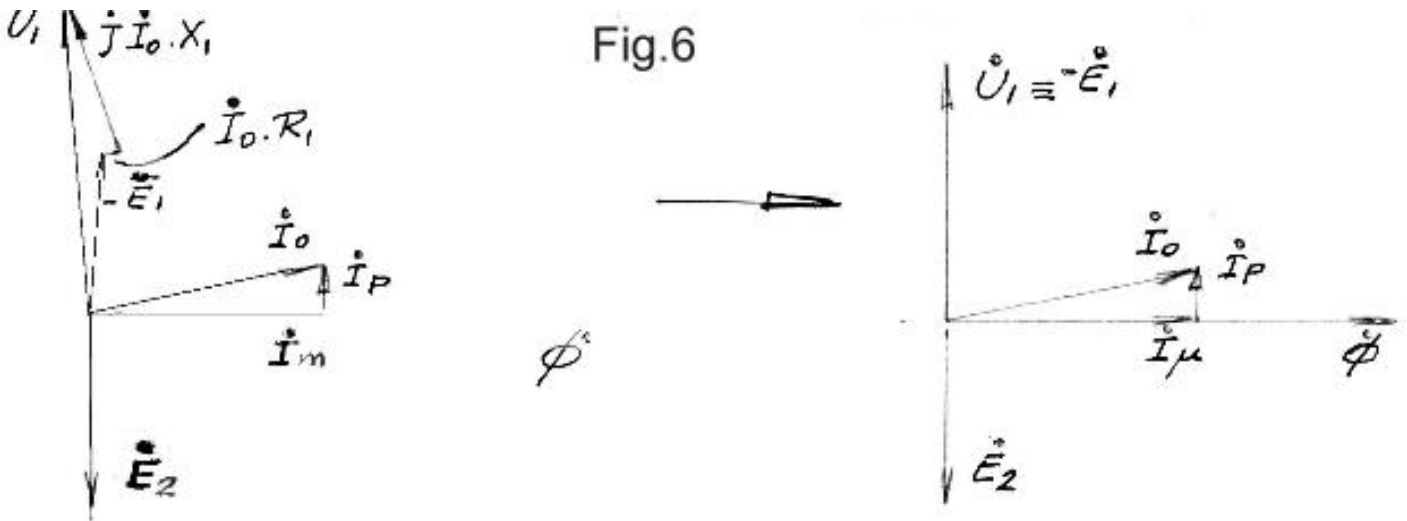
En los transformadores normales, el valor de la rama derivación es mucho mayor que el de la rama primaria (en una relación que es del orden de 1000 a 1), por lo tanto toda la caída de tensión se produce sobre la combinación  $G_0, B_m$ . Es lícito entonces despreciar el efecto de  $Z_1$ , como observamos en la figura y en los fasoriales asociados.

Fig.5



Circuito eléctrico equivalente simplificado del transformador en vacío.

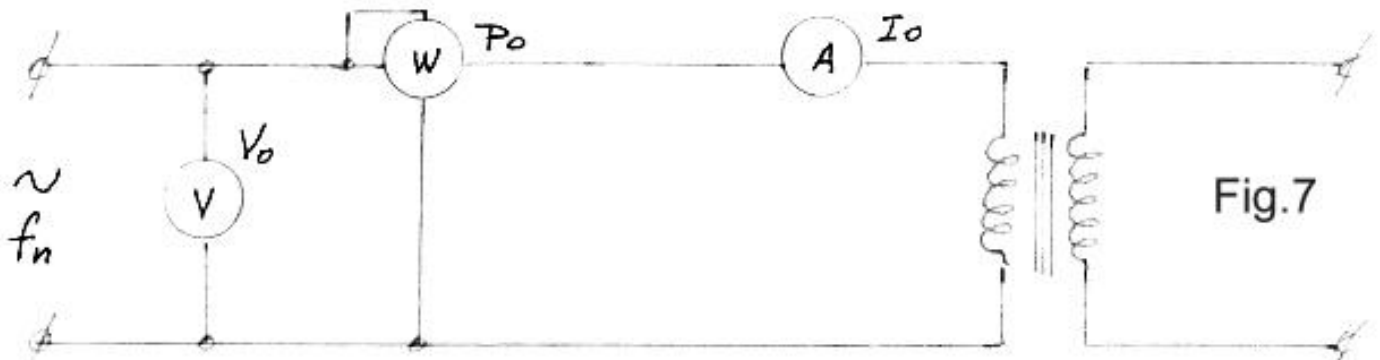
Fig.6



Diagramas fasoriales correspondientes a los circuitos anteriores.

Es necesario evaluar en cada ensayo la posibilidad de simplificar el circuito equivalente; aunque siempre es permitido hacerlo, a veces es conveniente contabilizar la caída de tensión  $I_1 \cdot Z_1$  y obtener más precisamente el valor de  $E_1$  y por ende los valores de  $G_0$  y  $B_m$ . Como no conocemos los valores de  $R_1$  y  $Z_1$  debemos realizar un segundo ensayo que se explicara más adelante.

Para conocer la impedancia de un circuito pasivo y sus componentes activos y reactivos, debemos determinar los parámetros tensión, corriente y potencia consumida. El esquema circuital, en su versión monofásica, es el siguiente :



Disposición del ensayo en vacío.

Este ensayo llamado "en vacío", permite además mostrar (alimentando con distintas tensiones), como dependen  $G_0$  y  $B_m$  de la tensión inducida.

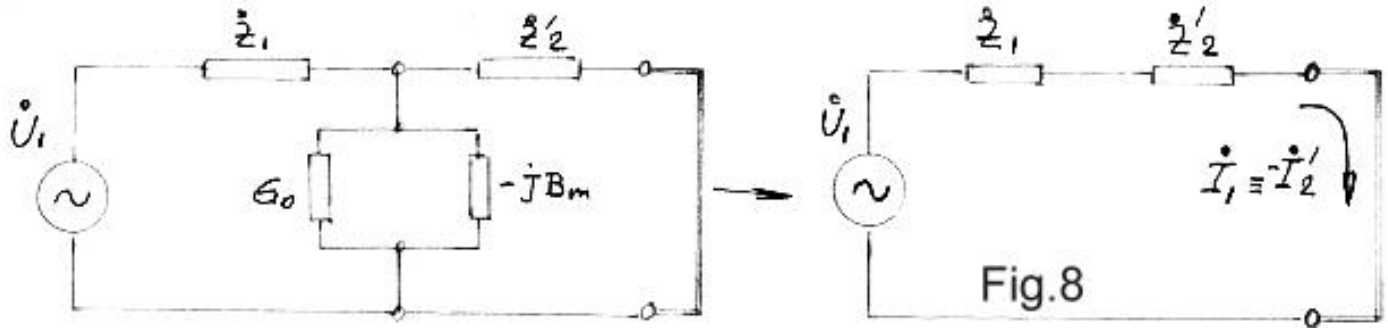
Las siguientes expresiones son las que permiten obtener estos parámetros considerando que  $E_1$  coincide con  $U_1$ .

$$G_0 = P_0 / U_0 \quad [6]$$

$$Y_0 = I_0 / U_0 = (G_0^2 + B_m^2)^{1/2} \quad [7]$$

$$B_m = (Y_0^2 - G_0^2)^{1/2} \quad [8]$$

Si, previa desconexión de la tensión de alimentación, cortocircuitamos el secundario y alimentamos con una tensión tal que circule la corriente nominal por sus arrollamientos, vemos que el transformador funciona en un estado particular; la tensión aplicada tendrá un valor muy reducido (alrededor de 5 %) debido a que las impedancias que limitan la corriente son las  $Z_1$  y  $Z_2$  de pequeño valor, por lo que la rama derivación toma una corriente insignificante, lo que permite simplificar el circuito prescindiendo de dicha rama, como se ve en la figura .



Circuito equivalente simplificado de un transformador en cortocircuito.

Asimismo vemos como se simplifica el fasorial, donde no se indican los fasores  $I_p$ ,  $I_m$  e  $I_0$ . Por ser de valores tan pequeños que resultan irrepresentables, es por esto que se considera  $I_1$  e  $I_2$  de igual modulo y dirección. Se muestra  $\phi_m$  aunque su modulo es muy reducido en relación con los valores de tensión nominal como referencia.

Usando un circuito de medida similar al utilizado en vacío, aunque adaptado a los nuevos valores de impedancia, determinamos los parámetros del circuito.

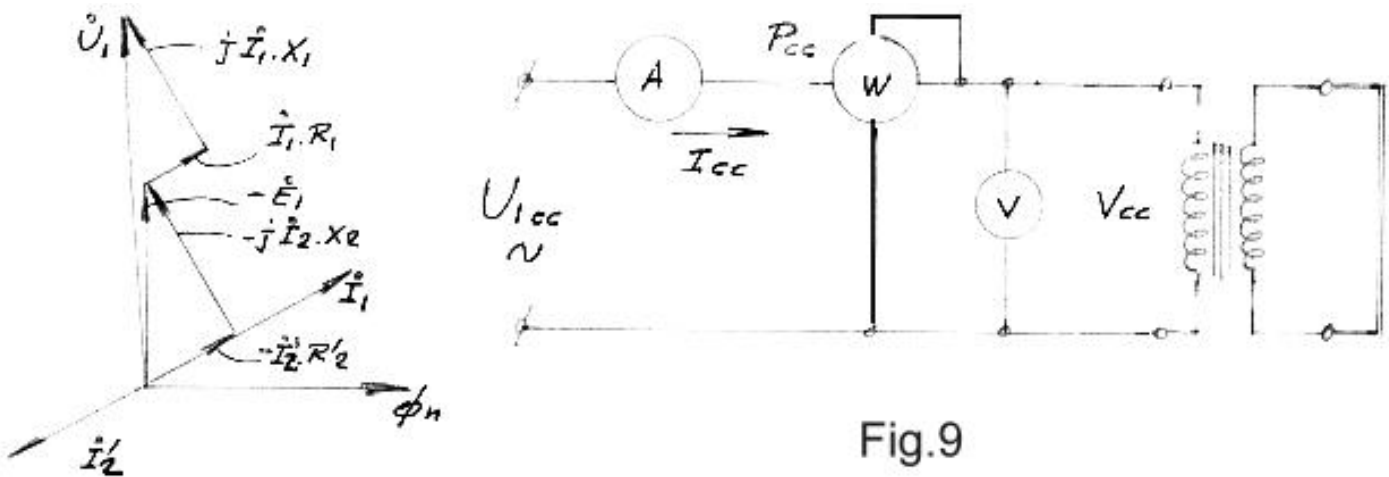


Fig.9

Disposición para el ensayo en cortocircuito.

Debemos señalar que en forma primaria solo podemos determinar  $R_1$ ,  $R'_2$  y  $X_1$ ,  $X'_2$ , sin poder discriminar que parte pertenece al primario y que parte corresponde al secundario, necesitando de una ecuación adicional para separar las partes (luego se tratara).

Este ensayo, llamado de cortocircuito, permite determinar las partes activa y reactiva de  $Z_1$  y  $Z'_2$ , llamados respectivamente  $R_{eq}$  y  $X_{eq}$  a través de las siguientes expresiones:

$$R_{eq} = P_{cc} / I_{cc}^2 \quad [9]$$

$$Z_{eq} = U_{cc} / I_{cc} = (R_{eq}^2 + X_{eq}^2)^{1/2} \quad [10]$$

$$X_{eq} = (Z_{eq}^2 - R_{eq}^2)^{1/2} \quad [11]$$

La repartición de  $R_{eq}$  y  $X_{eq}$  entre primario y secundario se puede realizar con cierta validez suponiendo la legitimidad de las siguientes relaciones:

$$R_1 / R_2 = X_1 / X_2 = R_{cd1} / R_{cd2} \quad [12]$$

Donde  $R_{cd1}$  y  $R_{cd2}$  son las resistencias de los devanados primarios y secundarios respectivamente medidas con corriente continua. Se verifican entonces las siguientes expresiones:

$$R_1 = K_1 \cdot R_{eq} \quad [13]$$

$$R_2 = K_2 \cdot R_{eq} \quad [14]$$

$$X_1 = K_1 \cdot X_{eq} \quad [15]$$

$$X_2 = K_2 \cdot X_{eq} \quad [16]$$

Siendo :

$$K_1 = R_{cd1} / (R_{cd1} + a^2 \cdot R_{cd2}) \quad [17]$$

$$K_2 = R_{cd2} / (R_{cd1} + a^2 \cdot R_{cd2}) \quad [18]$$

Gracias a este artificio podemos concluir con la evaluación de todos los parámetros del circuito equivalente del transformador en ensayo.

## **2. Preparación previa a la ejecución de los ensayos.**

Los ensayos a realizar, tanto los de vacío como los de cortocircuito, se rigen a nivel nacional por la Norma IRAM 2106.

Desde el punto de vista de la corrección del error sistemático las conexiones propuestas por la Norma resultan las mejores, pero si las correcciones no se llevan a cabo las disposiciones a adoptar, que minimizan los errores sistemáticos, son las anteriormente indicadas.

## **2. 1. Ensayo en vacío.**

Con el transformador sin carga haremos varias mediciones partiendo del 25 % de la tensión nominal hasta alcanzar el 110 % de la misma.

### **2. 1. 1. Elección del lado de medición y alimentación.**

La elección del lado de alimentación para el ensayo parte de consideraciones de orden práctico, como son la disponibilidad de tensiones, instrumental y aparatos de maniobra en el laboratorio. Conviene trabajar con la tensión que más se aproxima a las de suministro en el laboratorio y de estas la menor. Por ejemplo un transformador de relación 13,2 / 0,4 KV. es más fácil disponer de 400 V. que de 13,2 KV., pero aun disponiendo de esta última tensión, es más fácil instrumentar el ensayo en 400 V. desde el punto de vista del instrumental y de la maniobra.

### **2. 1. 2. Elección del medio de regulación de tensión.**

La Norma indica que el ensayo se debe realizar con una onda de tensión sinusoidal acotando la deformación máxima y dando pautas de corrección cuando esto no se cumple.

Siendo la corriente de excitación una onda de fuerte contenido de armónicos superiores (recordar la explicación teórica) son prohibidos los métodos de regulación por caída de tensión, ya sea resistencias o reactancias en serie.

Las posibilidades son: transformador con tomas, transformador de salida variable en forma continua o generador de excitación variable.

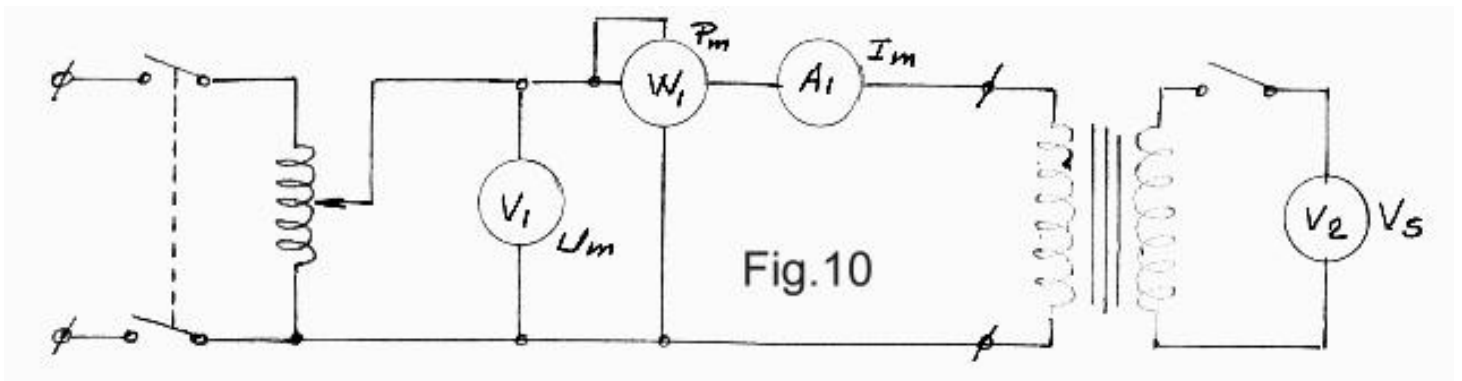
### **2. 1. 3. Circuito a utilizar en el ensayo.**

Según lo indica la Norma IRAM 2106 las bobinas del voltímetro como del wattímetro se conectan del lado de la carga.

En nuestro caso las impedancias de las bobinas amperométricas son muy pequeñas comparadas con la de la rama de excitación del transformador. Al conectar dichas bobinas del lado de la carga hace que las bobinas voltimétricas capten prácticamente toda la tensión y por otro lado la corriente medida con amperímetro y wattímetro es la verdadera.

Esta última disposición es la que usaremos en el ensayo y se muestra la disposición para un transformador monofásico.





## 2. 1. 4.. Correcciones de las mediciones.

En el caso monofásico la corriente medida  $I_m$  resulta ser la verdadera con más o menos el error propio del instrumento, que se halla acotado por su clase. En cambio la potencia medida no solo es la consumida por el transformador, sino también la que se disipa en la bobina del amperímetro (error sistemático) correspondiendo hacer la siguiente corrección:

$$P_0 = P_m - R_a \cdot I_m \quad [19]$$

La tensión medida también está afectada por un error sistemático en el cual están incluidas las caídas de tensión de las bobinas amperométricas del wattímetro y el amperímetro. Corresponde utilizar las impedancias de las bobinas y hacer la suma geométrica de las caídas de tensión, pero se comete un error de segundo orden si usamos los módulos de tensión, corriente e impedancia.

$$U_0 = U_m - I_m \cdot (Z_{wa} + Z_a) \quad [20]$$

Estas correcciones se realizan en muy pocos casos ya que estos errores son de pequeña magnitud; sin embargo es necesario tenerlas en cuenta puesto que la precisión exigida (2%) lo hace necesario.

La potencia medida siempre debe corregirse.

## 2. 1. 5.- Expresiones de calculo.

En los circuitos propuestos se muestra sobre el secundario un voltímetro cuya función será la de medir la tensión secundaria para la obtención de la relación de transformación. Utilizando las tensiones de fase (considerando el caso más general) la relación de transformación está dada por :

$$a = U_0 / U_S \quad [21]$$

El factor de potencia vendrá expresado por:

$$\cos \varphi_0 = P_0 / (U_0 \cdot I_m)$$

En el caso monofásico será simplemente la potencia corregida.

La admitancia, la conductancia y la susceptancia quedan expresadas por las ecuaciones 6, 7, y 8.

## 2.2. - Ensayo en cortocircuito.

En este ensayo se realizarán mediciones para distintas intensidades, partiendo del 25 % hasta el 120 % de la corriente nominal.

### 2.2.1. Elección del lado de alimentación.

Las consideraciones realizadas en el punto 2.1.1 sobre la tensión también son válidas en cuanto a la corriente. Se debe considerar el reducido valor de la tensión a aplicar (5 % de  $U_n$ ) y la disponibilidad de suministro de la corriente necesaria a dicha tensión.

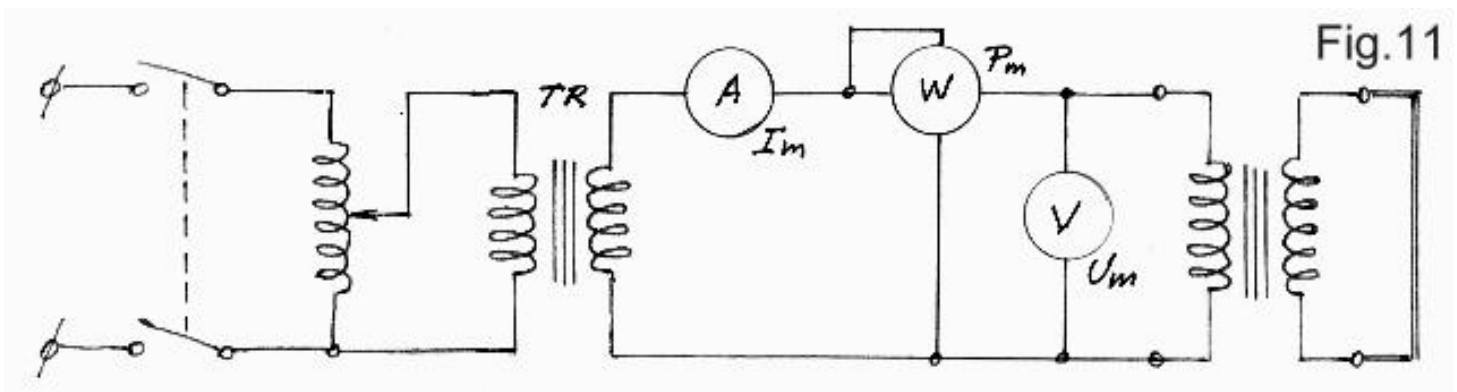
### 2.2.2. Elección del medio de regulación de la corriente.

Es necesario para este ensayo disponer de una fuente de tensión de frecuencia nominal, forma sinusoidal y corriente igual o mayor que la necesaria; es preferible disponer de una fuente que tenga ajustes de tensión que sean casi continuos. Cuando se utilizan autotransformadores variables en tensiones muy reducidas puede suceder que se haga imposible el ajuste a los valores necesarios ya que los valores de tensión entre espiras son de valor elevado (en forma relativa). En ese caso se dispone un transformador adaptador (reductor) para reducir la tensión y regular el lado de alta del transformador auxiliar.

### 2.2.3. Circuito a utilizar en el ensayo.

Las normas IRAM indican que la bobina amperométrica del wattímetro y del amperímetro deben conectarse del lado de la carga mientras que la bobina voltimétrica del wattímetro y del voltímetro se conectan del lado de la fuente.

Sin embargo a fin de disminuir el error sistemático como en el caso anterior, utilizaremos el esquema circuital que se indica a continuación:



Circuito de ensayo de un transformador monofásico en cortocircuito.

### 2.2.4. Corrección de la medición.

Sobre el caso monofásico, la tensión medida  $U_m$  es la verdadera, no así la potencia medida  $P_m$  que será la suma de las pérdidas en el transformador en cortocircuito más la potencia disipada en la bobina del voltímetro y la potencia disipada en la bobina voltimétrica del wattímetro. Para corregir estos errores se usa la siguiente expresión:

$$P_{cc} = P_m - U_m^2/R_v - U_m^2/R_{wv} \quad [22]$$

Otro tanto sucede con la corriente medida  $I_m$  que además de computar la corriente que circula por el transformador también lo hace con las corrientes drenadas por las bobinas voltimétricas del wattímetro y del voltímetro. La expresión que nos da la corriente desafectada del error sistemático es :

$$I_{cc} = I_m - U_m/R_{wv} - U_m/R_v \quad [23]$$

## 2.2.5. Expresiones de calculo.

El factor de potencia quedara expresado del siguiente modo:

$$\cos \phi_{cc} = P_{cc} / (U_{cc} \cdot I_{cc}) \quad [24]$$

$P_{cc}$  corresponde a la potencia corregida.

La resistencia, impedancia y reactancia inductiva equivalentes quedan expresadas por las ecuaciones 9, 10 y 11 respectivamente. En ellas, para el caso trifásico, se usan valores de fase.

Las perdidas obtenidas en el ensayo se deben referir a una temperatura que la Norma especifica como de referencia a fin de hacer comparables las conclusiones y por ende las maquinas objeto del ensayo.

La Norma establece, para cada tipo de aislación una temperatura de referencia determinada (75°C. o 115°C.). Explicaremos el proceso para 75°C. ya que es el caso mas frecuente el ensayar transformadores secos en nuestro laboratorio.

En cada grupo de mediciones se mide también la temperatura del arrollamiento, por variación de resistencia. Conociendo esta temperatura, mediante la siguiente expresión hallamos (para una resistencia  $R_{t1}$ ) la correspondiente resistencia a una temperatura  $t_2$ .

$$R_{t_2} = (235 + t_2) / (235 + t_1) \cdot R_{t_1} \quad [25]$$

Las perdidas a la temperatura  $t_2$  serán:

$$Pr_{t_2} = (R_{p_{t_2}} \cdot I_p^2 + R_{s_{t_2}} \cdot I_s^2) \cdot n \quad [26]$$

$n = 1$  (monofásico)

Esto nos permitirá separar las perdidas óhmicas de las adicionales ya que hallaremos primero la resistencia en corriente continua a la temperatura de equilibrio con la del ambiente; luego mediremos la misma resistencia inmediatamente después del ensayo. Luego las perdidas adicionales serán las que resulten de la diferencia entre la perdida en cortocircuito menos las perdidas óhmicas medidas según la ecuación 26.

$$Pa_{t_2} = P_{cc_{t_2}} - Pr_{t_2} \quad [27]$$

Disponiendo las perdidas  $Pr_{t_2}$  y  $Pa_{t_2}$  por separado, podremos constituir las perdidas de cortocircuito correspondientes a 75°C. La norma da la siguiente expresión valida tanto para cobre como para aluminio, como material de los devanados.

$$P_{cc_{75^\circ C}} = \frac{310}{235 + t_1} \cdot Pr_{t_2} + \frac{235 + t_2}{310} \cdot Pa_{t_2} \quad [28]$$

De este modo la componente activa de la tensión de cortocircuito a 75°C. quedara expresada por:

$$U_{r75^{\circ}C} = P_{cc75^{\circ}C} / (n \cdot I_{cc}) \quad [29]$$

Donde  $n$  es el número de fases e  $I_{cc}$  la corriente de cortocircuito a tensión de cortocircuito, es decir la corriente nominal. La componente reactiva de cortocircuito no depende de la temperatura, por lo tanto:

$$U_x = X_{eq} \cdot I_{cc} \quad [30]$$

Finalmente la tensión de cortocircuito a  $75^{\circ}C$ . queda expresada por:

$$U_{cc75^{\circ}C} = U_{r75^{\circ}C} + U_x \quad [31]$$

Se definen también dos tensiones de cortocircuito: en tanto por ciento y en "por unidad", refiriéndolas a la tensión nominal de fase

$$U_{cc} (\%) = (U_{cc75^{\circ}C} / U_{n_{fase}}) \cdot 100 \quad [32]$$

$$U_{cc_{p.u.}} = U_{cc75^{\circ}C} / U_{n_{fase}} \quad [33]$$

Para separar las componentes resistivas o inductivas de cada lado del transformador hacemos uso de las ecuaciones 12 a 18.

## **3 . Desarrollo del ensayo.**

Se dispondrán los instrumentos y equipos necesarios para cualquiera de los ensayos de forma tal que sea fácil la lectura y rápida y segura la operación de los últimos.

Se tendrá cuidado en la elección de los alcances de los instrumentos y el estado inicial de los equipos a maniobrar. La fragilidad del instrumental es tal que cualquier descuido puede comprometer su existencia o alterar su condición de funcionamiento. En los wattímetros debe cuidarse la polaridad de las conexiones.

Se elaborara un cuadro de valores medidos y calculados para ambos ensayos (vacío y cortocircuito) según los cuadros mostrados al final de esta guía. Si se cambia de escala un instrumento, anotar su nuevo factor de la escala y la nueva impedancia que se usa, para corregir el error sistemático.

### **3 . 1 . Listado del instrumental y equipo.**

Se hará un cuidadoso listado de todos los elementos utilizados identificándolos o individualizándolos de manera precisa. Para ello se tomara nota de la denominación del equipo, sus características, identificación en el esquema circuitual del ensayo y número de inventario.

## **4 . Elaboración del informe.**

Para el ensayo en vacío se representara gráficamente sobre un mismo par de ejes la potencia, corriente y factor de potencia en función de la tensión aplicada. En otro gráfico se representara la relación de transformación, la conductancia de pérdidas y la susceptancia magnetizante en función de la tensión aplicada. En todas las representaciones se marcaran los puntos correspondientes a la tensión nominal.

Con los valores obtenidos en el ensayo de cortocircuito, se dispondrán en un mismo gráfico la potencia, la tensión y el factor de potencia en función de la corriente. En esta representación se indicaran los valores correspondientes

a la corriente nominal. En el segundo gráfico se trazaran la impedancia, la reactancia y resistencia equivalentes en función de la corriente.

Se dibujaran los circuitos equivalentes para vacío y cortocircuito, indicando los valores de los parámetros que corresponden a las condiciones nominales de funcionamiento.

Luego, calculando las resistencias y reactancias de cada arrollamiento, cuyo calculo debe explicitarse, se dibujara el circuito equivalente completo no reducido indicando los valores de sus parámetros correspondientes al funcionamiento en condiciones nominales.

Seguidamente se dibujaran los diagramas fasoriales en escala correspondientes a los tres circuitos equivalentes recién mencionados.

Finalmente en hoja aparte se efectuaran las consideraciones finales sobre las distintas gráficas elaboradas y sobre los distintos parámetros calculados, analizando y explicando el comportamiento de estos últimos frente a las variaciones de las magnitudes eléctricas controladas.

## **5. Rendimiento y Regulación de un Transformador.**

El rendimiento y la regulación son características influyentes en el comportamiento global de la máquina y son las características de comportamiento emergentes de las características de los parámetros de sus circuitos equivalentes.

### **5.1. Rendimiento**

Se representará el rendimiento en función de la corriente o carga para factores de potencia 1, y 0,8 (inductivo y capacitivo) sobre un mismo gráfico. Para ello se aplicará la expresión derivada de la teoría.

$$\eta = 1 - \frac{P_{0 \text{ p.u.}} + k_{\text{car}} \cdot P_{\text{cc}75^\circ\text{C p.u.}}}{k_{\text{car}} \cdot \cos\phi + P_{0 \text{ p.u.}} + k_{\text{car}} \cdot P_{\text{cc}75^\circ\text{C p.u.}}} \quad [34]$$

$$k_{\text{car}} \cdot \cos\phi + P_{0 \text{ p.u.}} + k_{\text{car}} \cdot P_{\text{cc}75^\circ\text{C p.u.}}$$

Donde:

$P_{0 \text{ p.u.}}$  es la pérdida en el hierro a tensión nominal expresada en tanto por unidad, esto es referida a la potencia nominal.

$k_{\text{car}}$  es el factor de carga, relación entre la corriente de carga y la corriente nominal. ( $k_{\text{car}} = I_2 / I_{n2}$ ).

$P_{\text{cc}75^\circ\text{C p.u.}}$  es la pérdida en el cobre a corriente nominal, expresada en tanto por unidad.

En dicho gráfico se indicara el valor máximo del rendimiento dado por:

$$I_2(\eta_{\text{max}}) = I_{n2} \frac{P_{0 \text{ nominal}}}{P_{\text{cc}75^\circ\text{C p.u. nominal}}} \quad [35]$$

Donde:

$P_{0 \text{ nominal}}$  es la potencia de vacío a tensión nominal.

$P_{\text{cc}75^\circ\text{C p.u. nominal}}$  es la potencia de cortocircuito para la corriente nominal.

## 5.2. Regulación.:

Se representara gráficamente la regulación de tensión en función de la corriente de carga para factores de potencia de 1 y 0,9 (inductivo y capacitivo). Se aplicara la siguiente expresión:

$$\Delta U_{p.u.} = (ucc_r \cdot \cos\phi + ucc_x \cdot \text{sen}\phi) \cdot k_{car} + 1/2 (ucc_r \cdot \text{sen}\phi - ucc_x \cdot \cos\phi)^2 \cdot k_{car}^2 \quad [36]$$

$$\Delta U_{p.u.} = (ucc_r \cdot \cos\phi - ucc_x \cdot \text{sen}\phi) \cdot k_{car} + 1/2 (ucc_r \cdot \text{sen}\phi + ucc_x \cdot \cos\phi)^2 \cdot k_{car}^2 \quad [36]$$

Donde los signos superiores serán empleados con cargas inductivas y los inferiores con cargas capacitivas (tomando  $\text{sen}\phi$  y  $\cos\phi$  en modulo). Además  $ucc_r$  es la resistencia equivalente en p.u. y referida a  $75^\circ\text{C}$ , y  $ucc_x$  es la reactancia de dispersión equivalente en p.u.

## ENSAYO DE VACIO. TABLA DE VALORES.

			1	2	3	4	5	6
	U	%	25	50	75	90	100	110
	U	V	55	110	165	198	220	242
MEDIDOS	Um	K						
		V						
	Im	K						
		A						
	Pm	K						
		W						
	Us	K						
		V						
	Temp. Arroll.	C						
CALCULADOS	U	V						
	P	W						
	Uo	V						

Po	W						
A	-						
Cos	-						
Go							
Bm							

## ENSAYO DE CORTOCIRCUITO. TABLA DE VALORES.

Nº de mediciones			1	2	3	4	5	6
	I	%	25	50	75	100	110	120
	I	A	4.9	9.8	14.7	19.6	21.56	23.52
MEDIDOS	Im	K						
		V						
	Um	K						
		A						
	Pm	K						
		W						
		Temp. Arroll.	°C					
CALCULADOS	I	A						
	Icc	A						

P	W						
Pcc	W						
Cos	-						
Zeq							
Xeq							
Req							
Pcc 75° C.	W						
Ucc 75° C.	V						
Ucc %	%						