TRAB
IID2002
P4

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE ELECTRICIDAD INDUSTRIAL

GUIAS DE LABORATORIO DE ELECTRICIDAD INDUSTRIAL

Prof. Julian M. Pérez Monteverde

Caracas Noviembre de 2002

Asistente

INDICE

	Pág N°
1. Intrucción.	1
2. Práctica N°1. Transformadores Monofásicos.	2
3. Práctica N°2. Eficiencia y Regulación del Transformador.	11
4. Práctica N°3. Bancos Trifásicos.	14
5. Práctica N°4. Motor de Inducción.	17
6. Práctica N°5. Generados Sincrónico.	24
7. Práctica N°6. Generador de Corriente Continua.	29

Introducción

El diseño de las máquinas eléctricas (Transformadores y máquinas rotativas) está inspirado, primeramente en las pruebas que deberían pasar para cumplir con las normas y especificaciones de la industria y los clientes.

Las pruebas en los transformadores (extensibles muchas de ellas a las máquinas rotativas) que se realizan actualmente, son el resultado del trabajo e investigación de muchas asociaciones de ingenieros privadas o públicas, empresas de electricidad, consultoras de ingeniería, fabricantes de transformadores y organizaciones de normalización. Estas pruebas son constantemente revisadas, obteniéndose datos más precisos a partir de equipos cada vez más sofisticados.

En el Laboratorio de Electricidad Industrial se tratan de reproducir las pruebas más comunes que se realizan a las máquinas eléctricas, distribuidas en seis prácticas que incluyen los siguientes tópicos:

- Pruebas eléctricas al transformador monofásico.
- Características de funcionamiento del transformador: Eficiencia y Regulación.
- Conexiones trifásicas con transformadores monofásicos.
- Pruebas eléctricas al motor trifásico de inducción.
- Características de vacío y cortocircuito de los generadores sincrónicos.
- Características de vacío y carga de los generadores de corriente continua.

PRÁCTICA Nº 1. TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS.

OBJETIVO:

Identificación los terminales y verificar la continuidad de las bobinas del transformador, estado de su aislamiento, relación de transformación, polaridad y realizar las pruebas de vacío y cortocircuito para determinar sus pérdidas y los parámetros del circuito equivalente.

PROCEDIMIENTO:

1. **Lectura de los datos de placa (nominales) del transformador:**

   Antes de comenzar a trabajar con un transformador se deben conocer los datos de diseño, que por norma deben estar impresos en la placa de características. Entre los datos más importantes se encuentran:

   a) Capacidad Nominal en kVA.
   b) Tensiones nominales (primarias y secundarias).
   c) % de impedancia (impedancia por unidad).
   d) Temperatura de operación.
   e) Frecuencia nominal (frecuencia a la cual son calculados los parámetros y las pérdidas).
   f) Diagrama de conexiones.

   Esta información permitirá trabajar con el transformador entre límites nominales de seguridad.

2. **Identificación y verificación de continuidad de las bobinas:**

   El propósito es identificar los extremos de las bobinas en transformadores multitensión y verificar la continuidad de las conexiones y bobinas.

   Con la ayuda de un ohmmímetro, se verifica la continuidad entre los bornes del transformador. Los extremos de las bobinas se encontrarán entre los bornes donde exista continuidad (lectura diferente de ∞ en el ohmmímetro). Para

transformadores de tipo industrial se puede establecer la configuración de acuerdo a la American National Standard Institute (ANSI) C57.12.00:

Símbolo: E/2E

Ejemplo: 120/240

Diagrama Típico:

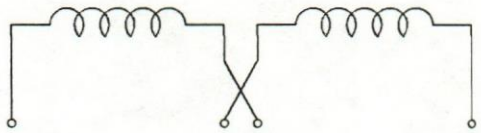


Figura 1.

Uso: E/2E indica una bobina cuyas secciones pueden ser conectadas para operar a E voltios, o conectadas en serie para operar a 2E voltios. También conectadas en serie con un terminal en el centro para operación a tres hilos con 2E voltios entre los terminales extremos y E voltios entre el centro y cada uno de los extremos.

Símbolo: 2E/E

Ejemplo: 240/120

Diagrama Típico:

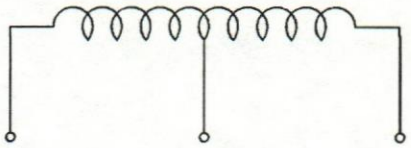


Figura 2.

Uso: 2E/E indica una bobina para 2E voltios, dos hilos y kVA total entre los terminales extremos, o para 2E/E voltios, tres hilos con ½ kVA disponible desde el centro a cada uno de los extremos.

Símbolo: VxV_1

Ejemplo: 240x480

Diagrama Típico:

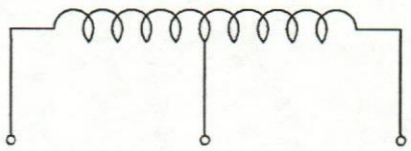


Figura 3.

Uso: VxV_1 indica una bobina para operación en serie o paralelo solamente pero no disponible para servicio a tres hilos.

Comentario: Esta prueba es realizada frecuentemente en campo porque requiere muy pocos equipos y es muy fácil de realizar. El resultado de la prueba de continuidad pudiera indicar que existe un mal contacto entre terminales pero no contribuye en gran medida a identificar problemas en el transformador.

3. **Prueba de aislamiento:**

El propósito es verificar que no existan partes del circuito magnético del transformador cortocircuitadas o accidentalmente puestas a tierra.

El núcleo de los transformadores de potencia es laminado, y las terminaciones son aisladas para mantener una baja circulación de corriente interna. La estructura externa soporta elementos que permanecen aislados del núcleo para prevenir elevadas corrientes fluyendo entre las láminas y su soporte. Los defectos en el aislamiento pueden provocar un excesivo calentamiento del núcleo, daños en las láminas, incremento de las pérdidas de vacío, riesgos de cortocircuito o descargas eléctricas que pudieran ocasionar fallas de operación y riesgos al usuario.

Procedimiento de verificación:

a) Una vez identificadas las bobinas, se selecciona un par del mismo lado, se colocan en serie y se identifican como **Primario.** Las otras dos bobinas se colocan en serie y se identifican como **Secundario**.
b) Con un Megger (Megohmmetro) se mide el aislamiento entre las bobinas primarias y secundarias.
c) También se mide el aislamiento entre cada grupo de bobinas (Primarias y Secundarias) y la cubierta o carcasa del transformador.

El valor de aislamiento medido con un magohmmetro con capacidad de suministrar una tensión de prueba (TP) igual a TP=2*Tensión nominal+100V, debe ser igual o cercano a infinito, indicando que el transformador se encuentra en buenas condiciones.

Comentario: Muchas especificaciones de transformadores incluyen la colocación de una conexión a tierra del núcleo para que esta prueba pueda ser realizada en campo. Como control de calidad, se aplica una tensión de 1000V a los transformadores para verificar que ninguna parte del núcleo está accidentalmente puesta a tierra.

4. Relación de Transformación:

Propósito: Verificar que el transformador tiene el correcto número de vueltas en cada bobina. Cuando se tienen transformadores con tomas o derivaciones (taps), también se verifica que las conexiones de los circuitos internos del cambiador estén correctas.

Se aplica tensión reducida V_1 (menor a la nominal) a una bobina del transformador (primario) y se mide con el voltímetro la tensión inducida V_2 en la otra bobina (secundario) como se indica en la Figura 4; si el valor medido es mayor que la tensión aplicada, el secundario corresponderá al lado de Alta Tensión, en caso contrario será el lado de Baja Tensión.

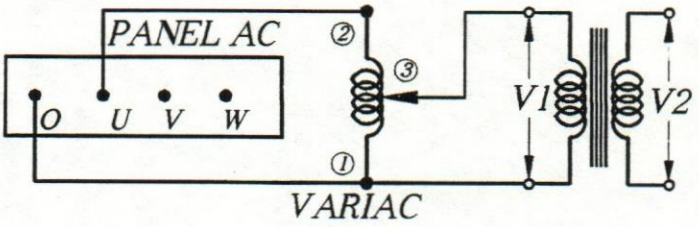


Figura 4.

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2}$$

Si $\alpha > 1$ el transformador es reductor de tensión

Si $\alpha < 1$ el transformador es elevador de tensión

Comentario: Esta prueba es frecuentemente realizada en campo y para ello se utiliza un solo equipo llamado Probador de Relación de Transformador, que en sus siglas en Inglés corresponden a TTR (Transformer Test Ratio). Esta

prueba constituye un buen control de calidad para la operación de las bobinas y los cambiadores de derivación.

5. **Prueba de Polaridad:**

Propósito: Verificar las conexiones internas y la relación de fases entre las bobinas.

Para conocer la polaridad relativa instantánea de las bobinas del transformador se sigue el siguiente procedimiento:

a) Se escoge una bobina de Alta Tensión y se marca uno de sus extremos con un punto (bobina de referencia).
b) Se conecta la bobina de Baja Tensión en serie con la bobina de referencia por el extremo no marcado.
c) Se aplica tensión nominal o menor (VH) a la bobina de referencia (A.T.) y se mide con un voltímetro la tensión (V) entre los extremos no unidos de ambas bobinas.

La identificación se hará de acuerdo a lo mostrado en las figuras 5, 6 y 7; y los extremos con puntos serán etiquetados con números impares (H1, H3, X1, X3).

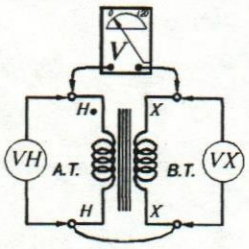


Figura 5

Polaridad Desconocida

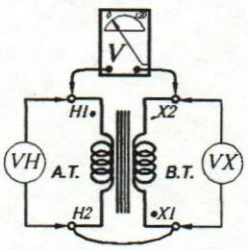


Figura 6

V>VH: Polaridad Aditiva

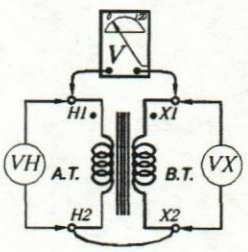


Figura 7

V<VH: Polaridad Sustractiva

Si V > VH la polaridad es aditiva V = VH + VX

Si V < VH la polaridad es sustractiva V = VH – VX

6. Prueba de Vacío:

Propósito: Verificar que las pérdidas del núcleo cumplen con los valores garantizados por el fabricante y para probar que el hierro es de buena calidad.

Instalando el circuito mostrado en la figura 8, se aplica tensión nominal al lado de Baja Tensión del transformador dejando abierto el lado de Alta Tensión. Se mide Tensión, Corriente y Potencia de vacío, necesarios para el cálculo de los parámetros R_{fe} y X_m que representan al núcleo del transformador en su circuito equivalente.

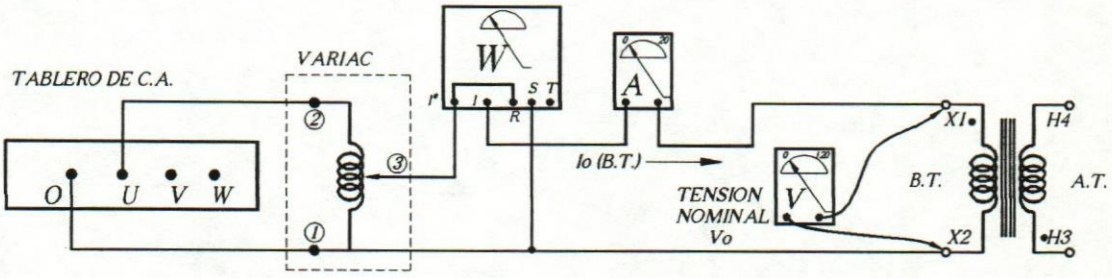


Figura 8.

Comentario: Esta prueba requiere de muchos equipos como para poderla realizar en campo. Pérdidas excesivas en el núcleo a menudo indican discrepancias en las bobinas tales como cortocircuitos entre espiras o deficiencias en el circuito magnético. También las puestas a tierra accidentales en el núcleo de hierro pudieran incrementar estos valores.

7. Prueba de Corto-Circuito:

Propósito: Verificar garantías, cálculos de diseño y calidad de fabricación.

Con el circuito mostrado en la figura 9, conectando las bobinas de Alta Tensión para obtener la menor corriente nominal, se aplica tensión reducida (comenzando por 0 V) a los terminales de Alta Tensión del transformador hasta que circule la corriente nominal con el lado de Baja Tensión en cortocircuito. La corriente nominal debe ser calculada previamente con la siguiente ecuación:

$$In_{Alta} = \frac{kVA_{nominal_del_transfomador} \cdot 1000}{V_{nominal_lado_de_alta_tensión}}$$

Se mide Corriente, Tensión y Potencia, necesarios para el cálculo de Rcc y Xcc que representan a las bobinas del transformador en su circuito equivalente.

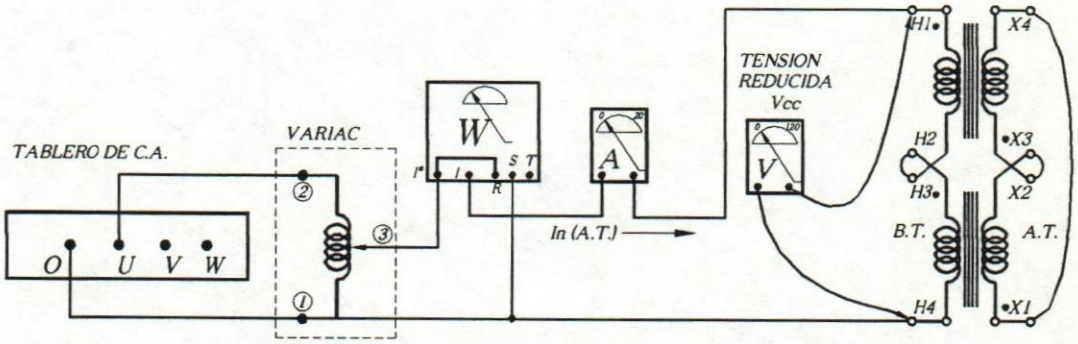


Figura 9

Comentario: Esta prueba no es usualmente realizada en campo. Los valores anormales de pérdidas puede ser una indicación de fallas durante el transporte o pérdidas de campo magnético en algún lugar inesperado.

POST LABORATORIO:

1) Cálculo de los parámetros Rcc, Xcc, Rfe y Xm que representan al transformador en su circuito equivalente.

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{V_{cc}^2}\,;\; X_{cc} = \sqrt{\left(\frac{V_{cc}}{I_{cc}}\right)^2 - R_{cc}^2}\,; \qquad Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}}$$

$$R_{fe} = \frac{V_o^2}{P_o}\,;\; X_m = \frac{V_o}{I_\mu}\,; \qquad I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_r^2}\,; \qquad I_r = \frac{V_0}{R_{fe}}$$

2) Cálculo del valor práctico (a temperatura de operación) de la Impedancia por unidad: Z_{pu}.

$$Zpu = \frac{V_{cc}}{Vn} * 100\,; \qquad Zpu_{135°C} = Zpu\,\frac{234{,}5°C + 135°C}{234{,}5°C + 25°C}$$

3) Valores aproximados de R1 y R2, asumiendo R1 = R2'.

$$R_{cc} = R_1 + R_2'; \qquad R_1 = R_2' = \frac{R_{cc}}{2}; \qquad R_2' = a^2 R_2; \qquad R_2 = \frac{R_{cc}}{2a^2}$$

4) Porcentaje (%) que representa la corriente de Vacío (Io) respecto a la corriente nominal (In) de Baja Tensión en la prueba de vacío.

$$\% = \frac{I_0}{I_n} 100;$$ Este valor debe estar entre: (0,6 - 6)% de In

5) Porcentaje (%) que representa la tensión reducida de cortocircuito (Vcc) respecto a la tensión nominal (Vn) de Alta Tensión en la prueba de cortocircuito.

$$\% = \frac{V_{cc}}{V_n} 100;$$ Este valor debe estar entre: (2 - 8)% de Vn

BIBLIOGRAFIA:

- **COVENIN 536-85.** Transformadores de distribución sumergidos en líquidos aislantes.
- **COVENIN 781-77.** Transformadores en aceite, sumergibles para redes de distribución.
- **ANSI C57.12.00.** IEEE Standard General Requirements for Liquid Immersed Transfromer.
- **ANSI C57.12.70.** IEEE Standard for Terminal Marking and Connections.
- **ANSI C57.12.80.** IEEE Standard Terminology.
- **ANSI C57.12.90.** IEEE Standard Test Code.
- **NEMA Tr-1.** Transformer Standard.
- **A.E. Fitzgerald, Ch. Kingsley, Jr, S. D. Umans.** Máquinas Eléctricas, Quinta edición, 1992 Mc Graw Hill Interamericana S.A. México. Secciones 2-4 y 2-5.
- **Irving L. Kosov.** Máquinas Eléctricas y Transformadores, Segunda edición, 1993 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Secciones 14-5, 14-6 y 14-12.

- **Stephen J. Chapman.** Máquinas Eléctricas, Tercera edición, 2000 Mc Graw Hill Interamericana S.A. Colombia. Sección 2-5.
- **Donald V. Richardson, Arthur J. Caisse Jr.** Máquinas Eléctricas Rotativas y Transformadores, Cuarta edición, 1997 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Secciones 15-2, 16-2, 16-3, 16-5, 16-6 y 17-1,

PRÁCTICA N° 2. EFICIENCIA Y REGULACIÓN DEL TRANSFORMADOR.

OBJETIVO:

Determinar el Rendimiento y Regulación de un transformador para varias condiciones de carga y diferentes factores de potencia.

PROCEDIMIENTO:

Se instala el circuito mostrado en la Figura N° 1, para medir Tensión, Corriente y Potencia, válidas para el cálculo de la Regulación y el Rendimiento.

Se aplica tensión por el lado de Alta Tensión y se conectan las impedancias respectivas en el lado de Baja Tensión según el factor de potencia que se desee obtener (resistivo, inductivo-resistivo o capacitivo-resistivo). Variando la corriente de carga desde cero hasta la nominal; se toma nota de la tensión, corriente y potencia de salida para diferentes valores de carga.

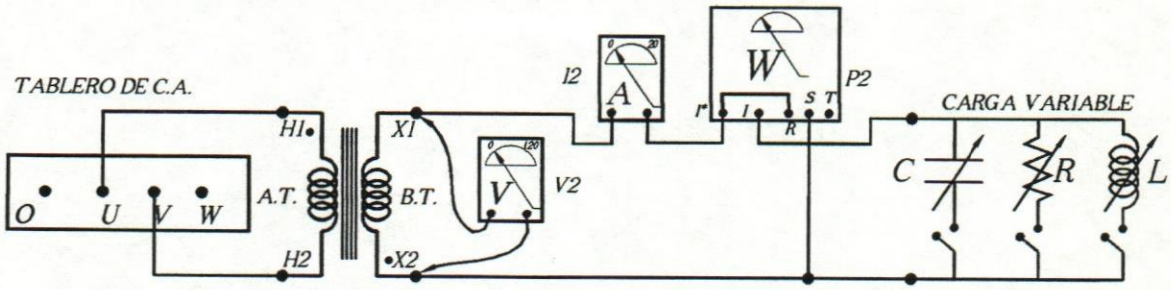


Figura N° 1

El valor de la corriente nominal secundaria (de carga) del transformador se determina mediante la siguiente ecuación:

$$I_{n(BT)} = \frac{S_n}{V_{n(BT)}}$$

Donde: In = Corriente nominal de carga.

Sn = Potencia nominal del transformador.

Vn = Tensión nominal de Baja Tensión.

POST-LABORATORIO:

1) Con los datos medidos se calcula el factor de potencia de cada corriente de carga:

$$Cos\varphi = \frac{P_2}{V_2 . I_2}$$

2) El rendimiento del transformador para cada condición de carga:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{pérdidas}} .100 \qquad \text{donde:} \qquad P_{pérdidas} = P_{Hierro} + P_{Cu}$$

$P_{Hierro} \approx P_0$ y $P_{Cu} = \left(\frac{I_2}{I_{2n}}\right)^2 . P_{cc}$

P_0= Pérdidas en vacío (de la Prueba de Vacío P1)

P_{Cu}= Pérdidas en el Cobre.

P_{cc}= Pérdidas de Cortocircuito (de la Prueba de Cortocircuito P1)

I_{2n}=Corriente nominal secundaria.

3) La regulación para cada condición de carga:

$$R_{reg} = \frac{E_{20} - V_2}{V_2} .100$$

Donde: E_{20} = Tensión secundaria con $I_2 = 0$

4) Cómo es la Regulación para diferentes factores de potencia. Dibuje los diagramas vectoriales para cada caso.
5) Cómo varía el Rendimiento con la corriente y el factor de potencia.
6) Explique la utilidad de las Pruebas de Vacío y Cortocircuito en la determinación del Rendimiento y la Regulación.
7) Explique si es posible que exista regulación cero y negativa.
8) Explique porqué en ciertos casos se colocan condensadores en paralelo con la salida de los transformadores.

BIBLIOGRAFIA:

- **ANSI C57.12.80.** IEEE Standard Terminology.
- **Irving L. Kosov.** Máquinas Eléctricas y Transformadores, Segunda edición, 1993 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Secciones 14-6 y 14-17.
- **Stephen J. Chapman.** Máquinas Eléctricas, Tercera edición, 2000 Mc Graw Hill Interamericana S.A. Colombia. Sección 2-7.
- **Donald V. Richardson, Arthur J. Caisse Jr.** Máquinas Eléctricas Rotativas y Transformadores, Cuarta edición, 1997 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Secciones 16-4 y 16-7.

PRÁCTICA N° 3. <u>BANCOS TRIFÁSICOS.</u>

OBJETIVO:

Conocer algunos tipos de conexiones trifásicas realizadas con transformadores monofásicos.

1. **<u>Conexión Estrella-Estrella (Y-Y)</u>:**

   Efectúe las conexiones de la Figura N° 1 para obtener una configuración Estrella-Estrella con tres transformadores monofásicos alimentados por el lado de Alta Tensión dejando el lado de Baja Tensión en vacío.

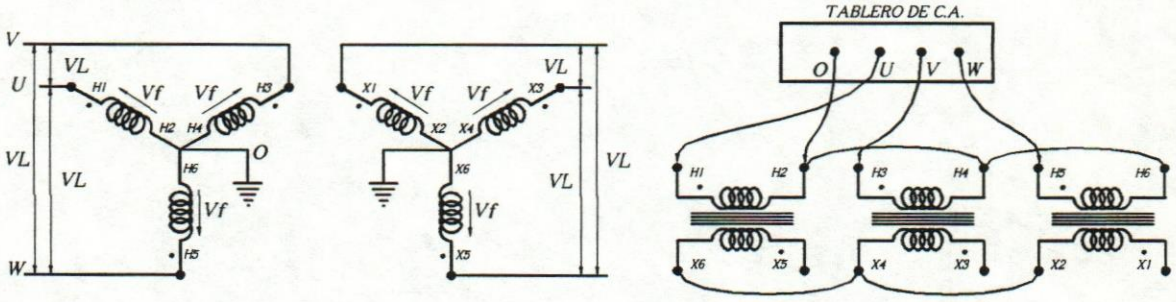


Figura N° 1

2. **<u>Conexión Delta-Estrella (Δ-Y)</u>:**

   Efectúe las conexiones de la Figura N° 2 para obtener una configuración **Delta-Estrella** con tres transformadores monofásicos alimentados por el lado de Alta Tensión dejando el lado de Baja Tensión en vacío.

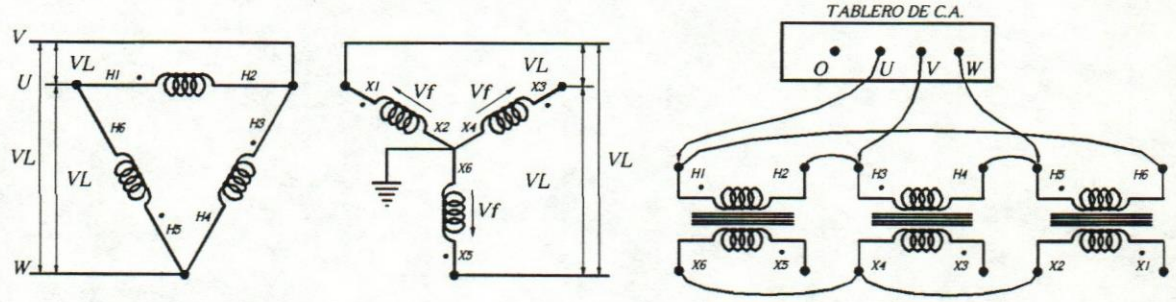


Figura N° 2

3. **Conexión Delta-Delta (Δ-Δ):**

Efectúe las conexiones de la Figura N° 3 para obtener una configuración Delta-Delta con tres transformadores monofásicos alimentados por el lado de Alta Tensión dejando el lado de Baja Tensión en vacío.

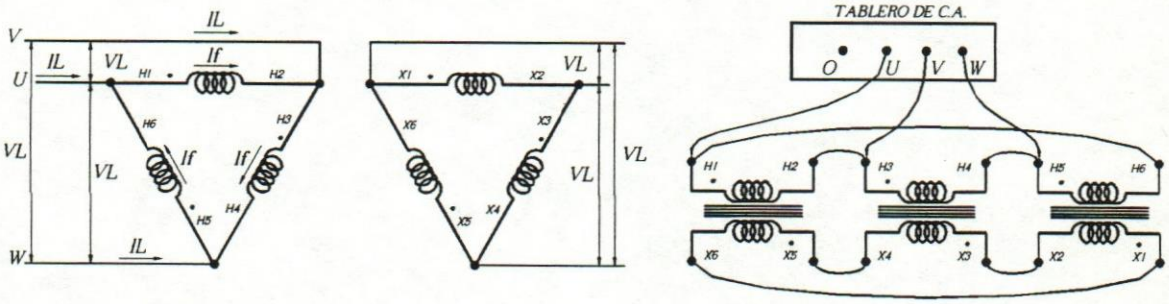


Figura N° 3

POST-LABORATORIO:

1) Con los datos de tensión de la placa del transformador, determine las relaciones de transformación teóricas monofásicas y trifásicas para las diferentes configuraciones.
2) Demuestre que existe una relación de $\sqrt{3}$ entre las tensiones de línea y fase en las configuraciones estrella.
3) Demuestre que existe una relación $\sqrt{3}$ entre las corrientes de línea y fase en las configuraciones delta.
4) Calcule los errores de las mediciones en función de los resultados teóricos.

BIBLIOGRAFIA:

- **A.E. Fitzgerald, Ch. Kingsley, Jr, S. D. Umans.** Máquinas Eléctricas, Quinta edición, 1992 Mc Graw Hill Interamericana S.A. México. Sección 2-7.
- **Irving L. Kosov.** Máquinas Eléctricas y Transformadores, Segunda edición, 1993 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Sección 14-14.
- **Stephen J. Chapman.** Máquinas Eléctricas, Tercera edición, 2000 Mc Graw Hill Interamericana S.A. Colombia. Sección 2-10.

- **Donald V. Richardson, Arthur J. Caisse Jr.** Máquinas Eléctricas Rotativas y Transformadores, Cuarta edición, 1997 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Sección 18-2.

PRÁCTICA N° 4. MOTOR DE INDUCCIÓN.

OBJETIVO:

Realizar las pruebas de Vacío y Rotor Bloqueado para determinar el circuito equivalente de un Motor de Inducción tipo Rotor en Cortocircuito o "Jaula de Ardilla". Calcular el deslizamiento nominal.

PROCEDIMIENTO:

El circuito equivalente del Motor de Inducción se muestra en la Fig. N° 1. En esta práctica se realizarán las pruebas necesarias para calcular el valor de los parámetros de dicho circuito.

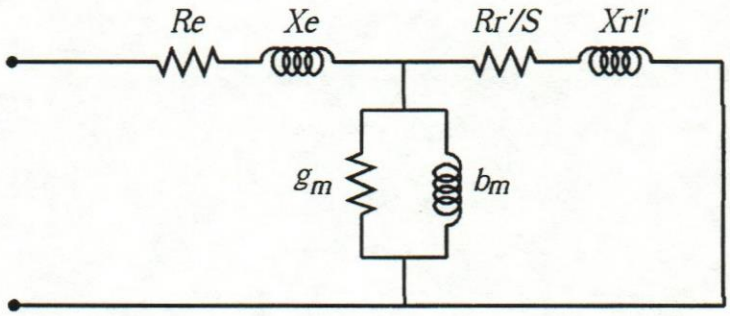


Figura N° 1

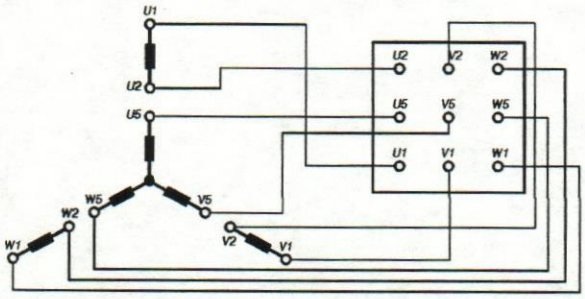
Donde:

Re	=	Resistencia del cobre del estator (armadura)
R_r'	=	Resistencia del cobre del rotor, referida al estator
Xe	=	Reactancia de dispersión del estator
X_{rl}'	=	Reactancia de dispersión del rotor referida al estator
gm	=	Conductancia de pérdidas en el hierro
bm	=	Susceptancia de magnetización
S	=	Deslizamiento

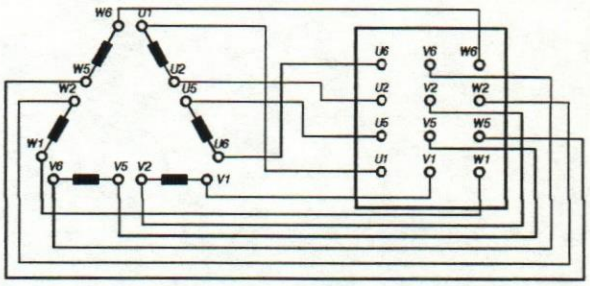
1. **<u>Medición de la Resistencia del estator (armadura)</u>:**

La conexión típica en bornes de los motores trifásicos con Rotor en Cortocircuito es como sigue:

9 Bornes de conexión



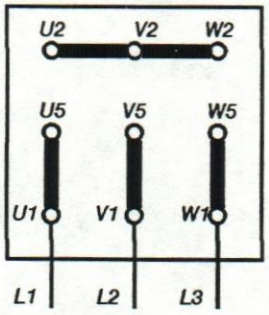
12 Bornes de Conexión



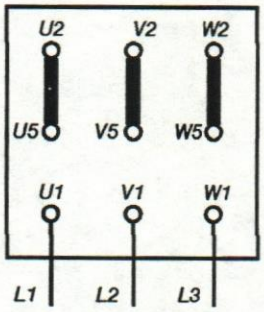
En la caja de bornes se harán las conexiones necesarias dependiendo de la tensión de trabajo.

Para nueve (9) bornes:

Y- en paralelo con arranque directo: 220V

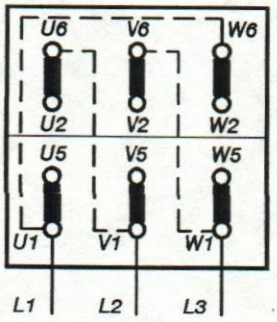


Y- en serie con arranque directo: 440V

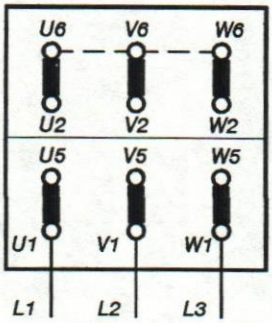


Para doce (12) bornes:

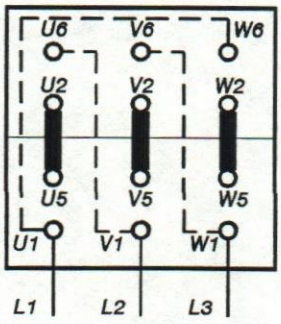
Δ - paralelo: 220V



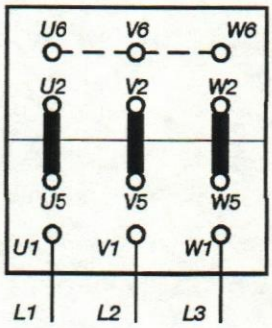
Y – paralelo: 220V



Δ - serie: 440V



Y- serie: 440V



Se verifica en la placa de características los diagramas de conexión de las bobinas y se conectan de acuerdo a la tensión de trabajo y número de bornes. Se instala el circuito de la Figura 2, a dos terminales cualquiera del estator (armadura) y se hace pasar una corriente muy pequeña para no producir calentamiento de las bobinas.

La resistencia del estator se determina a través de la medición de tensión y corriente en el circuito.

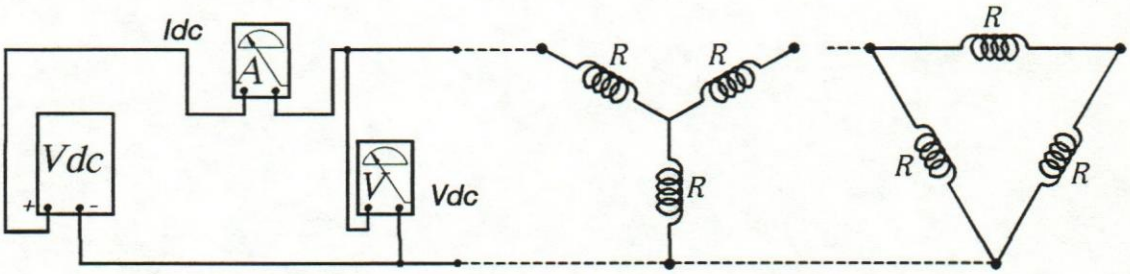


Figura N° 2

R se determina como sigue:

$$R_{DC} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \; ; \qquad R_{DC} = 2R \Rightarrow R = \frac{R_{DC}}{2}$$ (R por fase para conexión Y)

$$R_{DC} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \; ; \qquad R_{DC} = \frac{2}{3}R \Rightarrow R = \frac{3}{2}R_{DC}$$ (R por fase para conexión Δ)

La resistencia efectiva por fase será R_e corregida a la temperatura de operación:

$$R_e = R\frac{T_k + T.O.}{T_k + T.A.},$$ donde: Tk=234,5°C; T.O.= Temp. de Operación;

T.A.= Temp. ambiente

Nota: La Temperatura de Operación se halla a partir de la temperatura ambiente más la elevación de temperatura que aparece en placa (T.A +°C rise)

2. Prueba de Vacío:

Con el circuito de la Figura N° 3 instalado y el motor en vacío (sin carga conectada), se alimenta con tensión variable hasta lograr la tensión nominal. Para cinco (5) valores de tensión, incluida la nominal, se mide tensión, corriente y potencia.

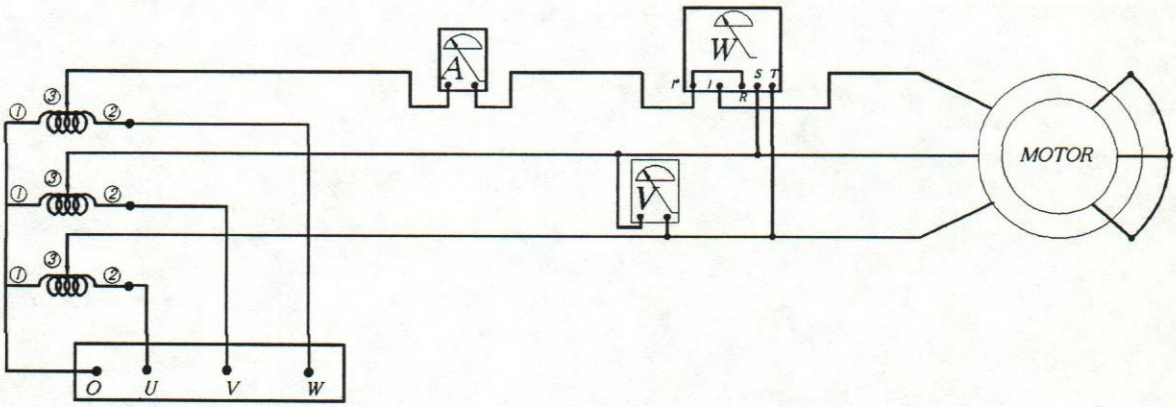


Figura N° 3

La lectura de potencia del vatímetro será: $P_O = P_H + P_M + 3I_o^2 R_e$

donde: Po = Potencia consumida en vacío

Ph = Pérdidas en el hierro

Pm = Pérdidas mecánicas (fricción, ventilación, etc.)

Io = Corriente en vacío

para cada caso se calcula: $P = P_H + P_M = P_O - 3I_o^2 R_e$ y luego se grafica la variación de potencia "P" en función de V_O^2. A partir de los cinco puntos se grafica una recta como la de la Figura N° 4; la cual se proyecta hasta interceptarla con la ordenada. En este punto $V_O^2 = 0$, lo cual implica que Ph = 0; en consecuencia el valor de arranque de la curva corresponde a Pm.

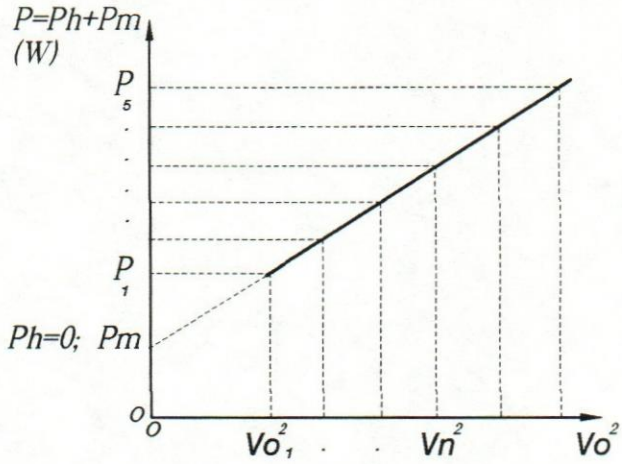


Figura N° 4

Conocidas las pérdidas mecánicas Pm, se pueden determinar las pérdidas en el hierro a tensión nominal:

$P_H = Po - Pm - 3I_0^2 R_e$ (valores de Po e Io para tensión nominal)

con las pérdidas en el hierro se calculan los parámetros del hierro:

$Ym = \frac{I_0}{E_{rl}}$ $gm = \frac{P_H}{3E_{rl}^2}$ $bm = \sqrt{Y_m^2 - gm^2}$

para: $E_{rl} = \frac{V_0}{\sqrt{3}} - IoZ_e$ donde: $Z_e = \sqrt{R_e^2 + X_e^2}$; $\alpha_o = ar\cos\frac{P_o}{\sqrt{3}V_o I_o}$;

$\alpha_e = arctg\frac{X_e}{R_e}$

3. **<u>Prueba a Rotor Bloqueado</u>:**

Con el mismo circuito de la Figura N° 3 y con el rotor del motor bloqueado, para que S=1, se procede a aumentar la tensión de alimentación desde 0 V hasta el valor de tensión que permita la circulación de corriente nominal; en estas condiciones Pm=0 y Ph≈0, el valor de potencia de entrada corresponderá a las pérdidas en el cobre. Mida la tensión, corriente y potencia de entrada.

Con los valores medidos se obtiene:

$$Z_{RB} = \frac{V_{RB}}{\sqrt{3}I_{RB}}; \quad R_{RB} = \frac{P_{RB}}{3I_{RB}^2}; \qquad X_{RB} = \sqrt{Z_{RB}^2 - R_{RB}^2}$$

$$R_{RB} = R_e + R_{rl}^{'} \quad => \quad R_{rl}^{'} = R_{RB} - R_e$$

$X_{RB} = x_e + x_{rl}^{'}$ la manera de separar x_e y $x_{rl}^{'}$ dependerá de la clase del motor, según la siguiente tabla:

Clase del Motor	x_e	$x_{rl}^{'}$
A	$0{,}5X_{RB}$	$0{,}5X_{RB}$
B	$0{,}4X_{RB}$	$0{,}6X_{RB}$
C	$0{,}3X_{RB}$	$0{,}7X_{RB}$
D	$0{,}5X_{RB}$	$0{,}5X_{RB}$

POST-LABORATORIO:

1) Con los datos de placa, calcule el deslizamiento del motor a la velocidad nominal.
2) Con los datos medidos determine los parámetros Re, Xe, Rr', Xrl', bm y gm, que representan al estator, el rotor y el núcleo de hierro respectivamente, en el circuito equivalente del motor de Inducción.
3) ¿Cómo se transforma el circuito equivalente del motor de inducción durante la prueba de vacío?. Dibuje el circuito resultante.
4) ¿Cómo se transforma el circuito equivalente del motor de inducción durante la prueba de rotor bloqueado?. Dibuje el circuito resultante.
5) Explique, utilizando los circuitos equivalentes resultantes obtenidos en los puntos anteriores (b y c), algunos factores que incida en que un motor de inducción tenga elevado consumo de corriente (varias veces por encima de la nominal) durante su arranque y luego ésta disminuya drásticamente una vez alcanzada la velocidad nominal.

6) En base a lo anterior, explique algún método para reducir el consumo de corriente durante el arranque.

BIBLIOGRAFIA:

- **COVENIN 862.** Máquinas Eléctricas Rotativas.
- **COVENIN 570.** Disposiciones generales para máquinas eléctricas.
- **BBC - Brown Boveri de Venezuela, S.A**. Motores Eléctricos. Manual de Montaje e Instrucciones.
- **A.E. Fitzgerald, Ch. Kingsley, Jr, S. D. Umans.** Máquinas Eléctricas, Quinta edición, 1992 Mc Graw Hill Interamericana S.A. México. Secciones 7-3 y 7-6.
- **Irving L. Kosov.** Máquinas Eléctricas y Transformadores, Segunda edición, 1993 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Secciones 9-12, 9-14, 9-15 y 9-21.
- **Stephen J. Chapman.** Máquinas Eléctricas, Tercera edición, 2000 Mc Graw Hill Interamericana S.A. Colombia. Secciones 7-3, 7-8 y 7-11.
- **Donald V. Richardson, Arthur J. Caisse Jr.** Máquinas Eléctricas Rotativas y Transformadores, Cuarta edición, 1997 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Secciones 19-2 y 20-1.

PRÁCTICA N° 5. GENERADOR SINCRÓNICO

OBJETIVO:

Efectuar las pruebas de Vacío y Cortocircuito para determinar las curvas características del mismo nombre y aplicar un método que nos permita determinar gráficamente la impedancia sincrónica (Zs) del generador.

1. **Prueba de Vacío:** Con esta prueba se obtiene la curva característica de vacío, Figura N° 1, la cual es una medición de la tensión generada en vacío, en función de la corriente de excitación del rotor.

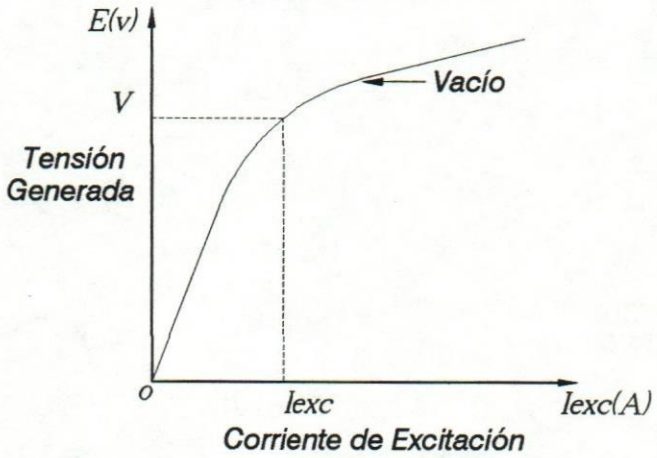


Figura 1

PROCEDIMIENTO:

Se instala el circuito mostrado en la Figura 2, y se hace girar el generador hasta su velocidad sincrónica mediante un motor impulsor, manteniendo la velocidad constante durante toda la prueba. Se mide la tensión generada por el estator cuando la corriente de excitación es cero (circuito de excitación abierto); se cierra el circuito de excitación, y se mide nuevamente la tensión aumentando la corriente de excitación en pasos y tomando nota de la tensión generada en vacío, hasta alcanzar una tensión que supere a la nominal en aproximadamente un 36%.

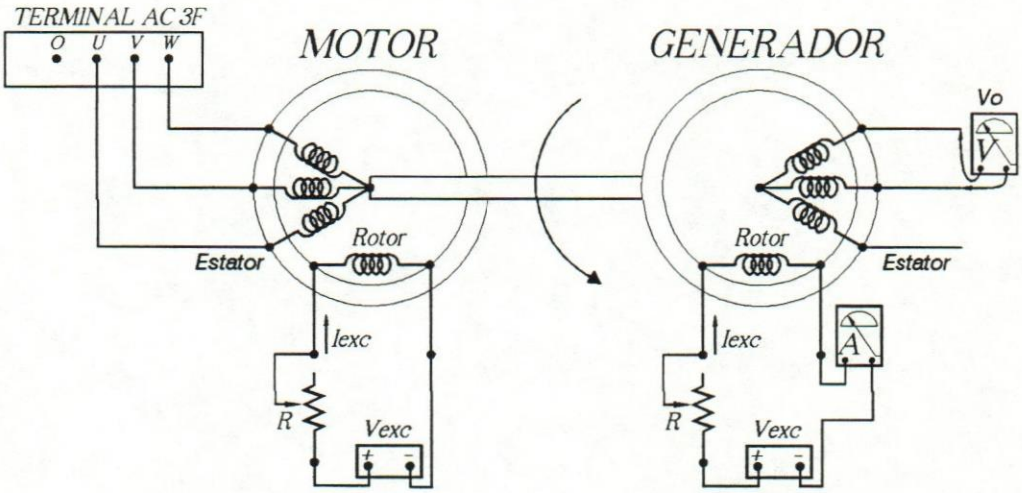


Figura 2

2. **<u>Prueba de Corto-Circuito</u>:** Con esta prueba se obtiene la curva característica de cortocircuito, Figura 3, que relaciona la corriente del estator (armadura) del generador con la corriente de excitación.

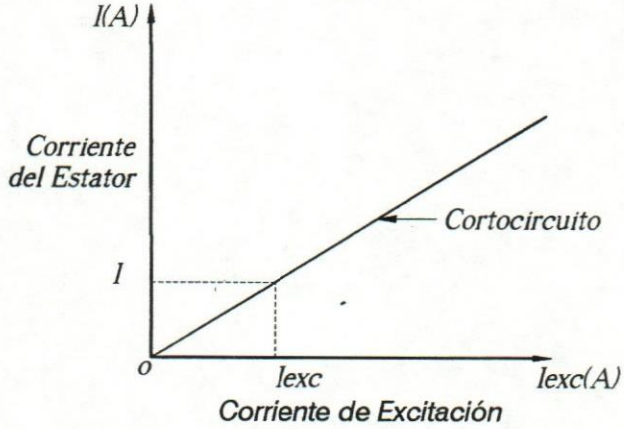


Figura 3

PROCEDIMIENTO:

Se monte el circuito de la Figura 4, y se hace girar el generador, mediante un motor impulsor hasta su velocidad sincrónica, manteniéndola constante hasta finalizar la prueba. Se mide la corriente que circula por los terminales del estator con los bornes cortocircuitados y por el circuito de excitación del rotor, variando la

corriente de excitación (Iexc) desde cero hasta un valor que permita obtener la corriente nominal (In) del estator.

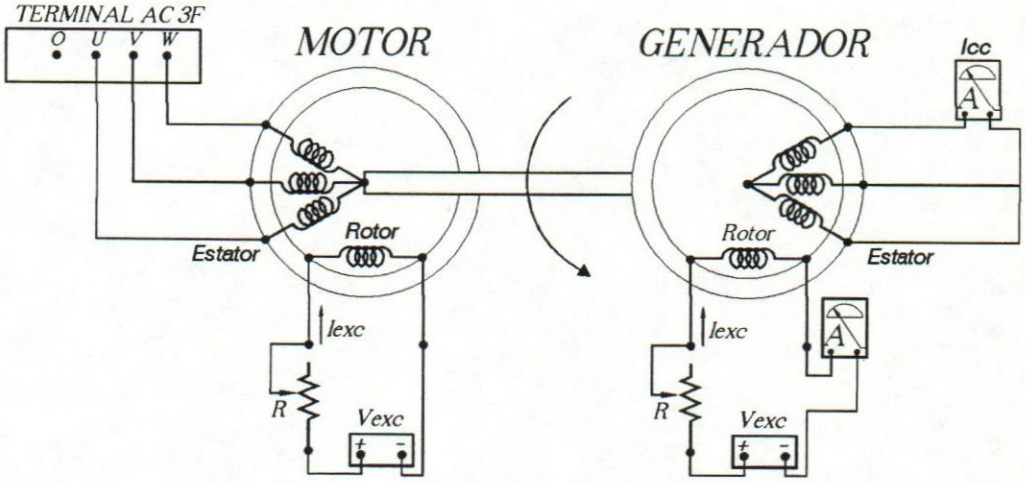


Figura 4

Con los datos obtenidos se grafican las características de vacío (Eg vs Iexc), cortocircuito (Icc vs Iexc) y la Impedancia Sincrónica (Zs vs Iexc). Todos en una sola gráfica.

Los valores de la impedancia sincrónica Zs para cada corriente de excitación Iexc, se calculan con la siguiente ecuación:

$$Z_s = \frac{V}{\sqrt{3}I}$$

V = Tensión en bornes

I = Corriente de cortocircuito

Los valores de V e I se obtienen gráficamente, tomando para un mismo valor de corriente de excitación, los correspondientes valores de Vo e Icc como se muestra en la Figura 5.

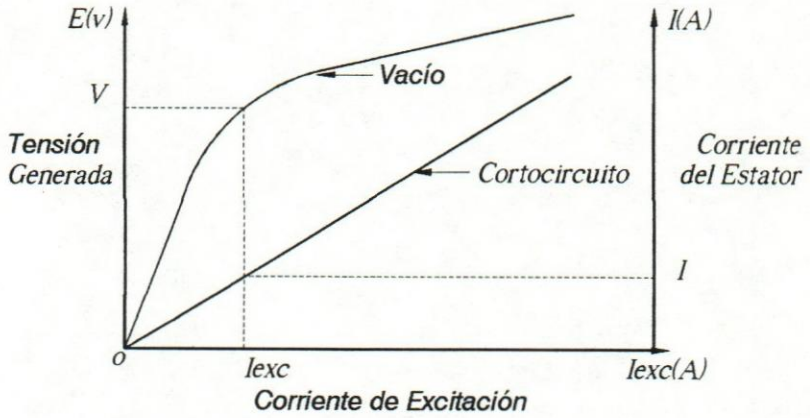


Figura N° 5

POST-LABORATORIO:

1) Analice cómo varía la Impedancia Sincrónica respecto a la corriente de excitación.
2) Explique por qué se produce la saturación del núcleo del rotor en la prueba de vacío.
3) Explique por qué no se produce la saturación del núcleo del rotor en la prueba de cortocircuito.

BIBLIOGRAFIA:

- **COVENIN 862.** Máquinas Eléctricas Rotativas.
- **COVENIN 570.** Disposiciones generales para máquinas eléctricas.
- **A.E. Fitzgerald, Ch. Kingsley, Jr, S. D. Umans.** Máquinas Eléctricas, Quinta edición, 1992 Mc Graw Hill Interamericana S.A. México. Secciones 5-2 y 5-3.
- **Irving L. Kosov.** Máquinas Eléctricas y Transformadores, Segunda edición, 1993 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Secciones 6-5, 6-9, 8-4 y 8-5.
- **Stephen J. Chapman.** Máquinas Eléctricas, Tercera edición, 2000 Mc Graw Hill Interamericana S.A. Colombia. Secciones 6-3, 6-4 y 6-5.

- **Donald V. Richardson, Arthur J. Caisse Jr.** Máquinas Eléctricas Rotativas y Transformadores, Cuarta edición, 1997 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Sección 13-8.

PRÁCTICA N° 6. GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA.

OBJETIVO:

Identificar las Bobinas Serie y Derivación (paralelo) de una Máquina de Corriente Continua tipo compuesto (compound) y determinar su característica de Vacío y Carga, conectado como Generador Derivación.

1. **Identificación de las bobinas:** Las máquinas de Corriente Continua tipo compuesto poseen bobinas tipo serie y tipo derivación. Para conectar la máquina como Generador Derivación, se debe identificar previamente la bobina correspondiente. Una forma segura sería midiendo la resistencia de la bobina del campo con un ohmmetro. Otro método práctico y muy sencillo es a través del circuito de la Figura 1, en el cual se utiliza un bombillo y una fuente de tensión AC. Una vez instalado el circuito, se cierra el interruptor y si el bombillo ilumina intensamente se habrá encontrado la bobina serie y se identifican sus terminales con S_1 y S_2; si por el contrario el bombillo no enciende o ilumina muy poco, se habrá encontrado la bobina derivación y se identifican sus terminales con F_1 y F_2.

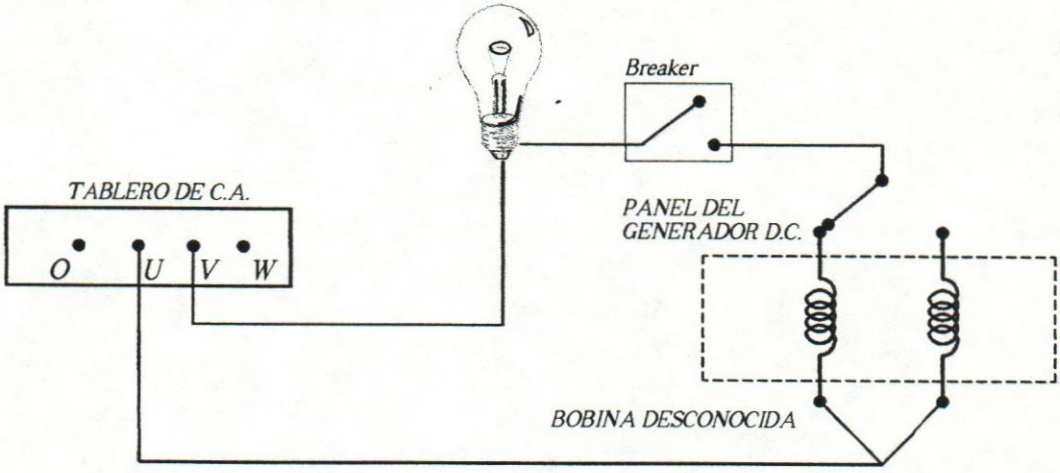


Figura N° 1

2. **Característica de Vacío:** Esta gráfica permite conocer la forma como varía la tensión generada en vacío respecto a la corriente de excitación, para una velocidad de giro constante. La forma de la gráfica se muestra en la Figura 2.

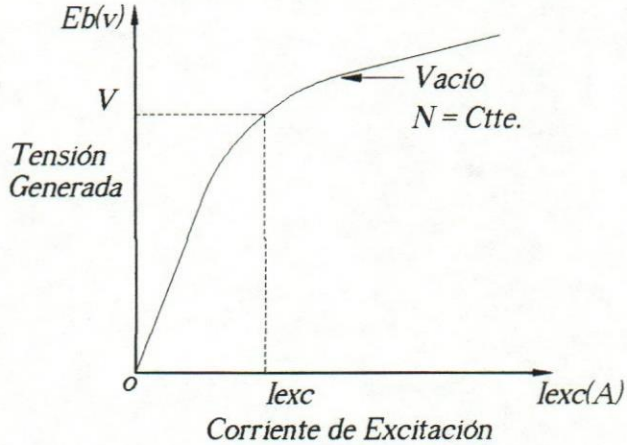


Figura 2

Para obtener la característica de vacío se instala el circuito que se muestra en la Figura 3, con el generador autoexcitado en derivación.

Con el circuito de excitación abierto se mide la tensión remanente, indispensable para que el generador pueda trabajar autoexcitado, luego se cierra el circuito y se mide la tensión generada y las correspondientes corrientes de excitación que se obtienen al variar la resistencia R_f en pasos hasta lograr aproximadamente 1,6 la tensión nominal Vn.

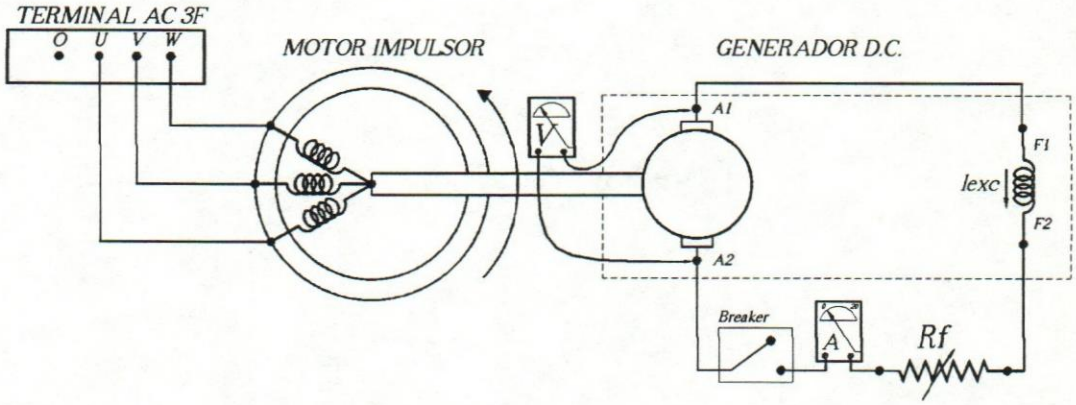


Figura 3

3. **Característica de carga:** Esta gráfica representa cómo varía la tensión en los bornes (E_b) del generador desde su condición de vacío (sin carga) hasta plena carga, para velocidad y excitación constante. La gráfica correspondiente se muestra en la Figura 4.

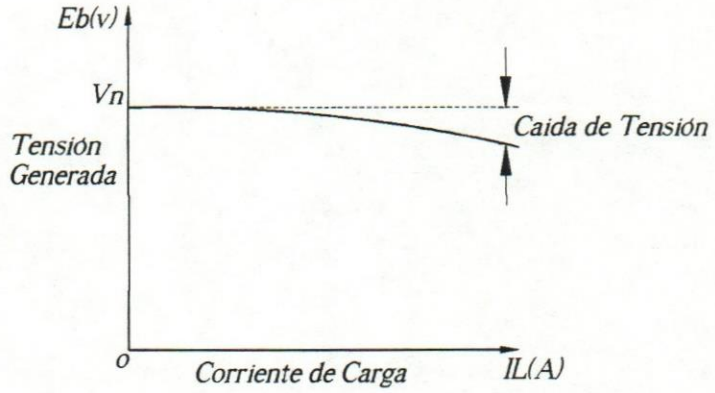


Figura 4

Se agrega, en paralelo con los terminales de la armadura (inducido) del generador, la carga conformada por resistencias variables y un amperímetro para medir la corriente de salida, como se muestra en la Figura 5. Se arranca el motor impulsor y se varía la corriente de excitación hasta obtener un valor de tensión nominal para una corriente de carga I_L igual a cero (0). Se Conectan las resistencias de carga variables R_L al máximo y se mide nuevamente la tensión en bornes y la corriente de carga. Se procede luego a variar R_L para diferentes valores de corriente de carga, midiendo la corriente de salida I_L y la tensión de bornes E_b , manteniendo constante la resistencia Rf que limita la corriente de excitación.

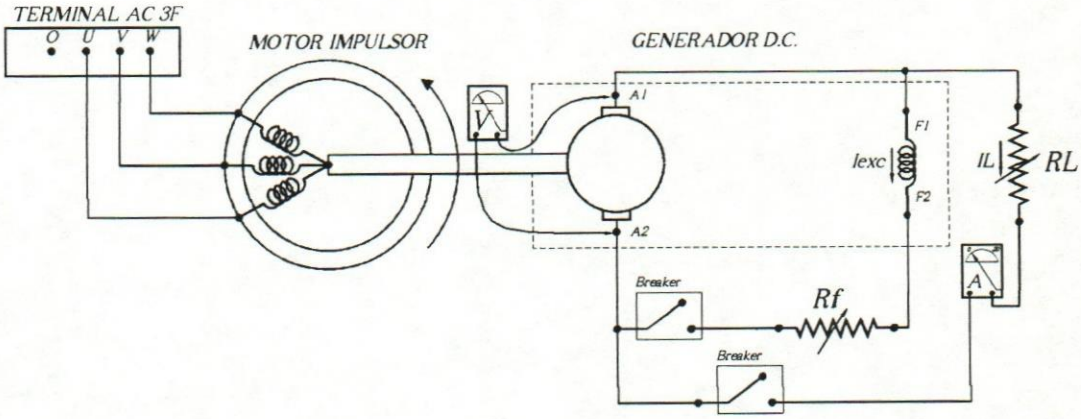


Figura 4

POST-LABORATORIO:

1) Comente los resultados obtenidos en la identificación de las bobinas de la máquina de Corriente Continua tipo Compuesto.
2) Con los datos medidos, grafique las características de vacío y carga del generador DC autoexcitado en derivación. Analice las gráficas obtenidas.
3) Explique brevemente porqué disminuye la tensión en bornes al aumentar la corriente de carga, sin variar manualmente la corriente de excitación.

BIBLIOGRAFIA:

- **COVENIN 570.** Disposiciones generales para máquinas eléctricas.
- **A.E. Fitzgerald, Ch. Kingsley, Jr, S. D. Umans.** Máquinas Eléctricas, Quinta edición, 1992 Mc Graw Hill Interamericana S.A. México. Secciones 9-1 y 9-6.
- **Irving L. Kosov.** Máquinas Eléctricas y Transformadores, Segunda edición, 1993 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Secciones 3-2, 3-3, 3-5, 3-7, 3-9, 3-11 y 3-12.
- **Stephen J. Chapman.** Máquinas Eléctricas, Tercera edición, 2000 Mc Graw Hill Interamericana S.A. Colombia. Secciones 9-2, 9-3, 9-13, 9-14, 9-15 y 9-16.
- **Donald V. Richardson, Arthur J. Caisse Jr.** Máquinas Eléctricas Rotativas y Transformadores, Cuarta edición, 1997 Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Secciones 4-2, 4-4 y 4-8.