

Laboratorio N°3

Máquinas e Instalaciones Eléctricas

16 de Octubre de 2025

Tomás Vidal (69854/4)

Mateo Natale (75316/9)

Esteban Fernández Madau (71271/5)

Ignacio Nahuel Chantiri (69869/1)

Ezequiel Bavaro (65396/0)



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA**

1. Introducción:

En este laboratorio se determinan los parámetros eléctricos fundamentales de una máquina síncrona trifásica de rotor liso mediante ensayos indirectos: vacío, cortocircuito y medición de la resistencia de estator. A partir de estas pruebas se obtienen la curva de magnetización, la característica de cortocircuito, la resistencia por fase y la reactancia/impedancia síncrona, con los cuales se construye el circuito equivalente por fase del generador. Este modelo permite predecir el comportamiento de la máquina cerca de su tensión y corriente nominales y constituye la base para análisis de regulación de tensión, caída interna y flujo de potencias.

2. Marco teórico

Una máquina síncrona trifásica es un convertidor electromecánico que, en régimen, gira a velocidad síncrona (fijada por la frecuencia eléctrica y el número de polos) y mantiene acoplados en fase el campo magnético del estator y el campo del rotor. En este trabajo se opera como generador y se obtienen sus parámetros equivalentes a partir de ensayos indirectos, lo que evita llevarla a plena carga y permite deducir el modelo con pruebas seguras y breves.

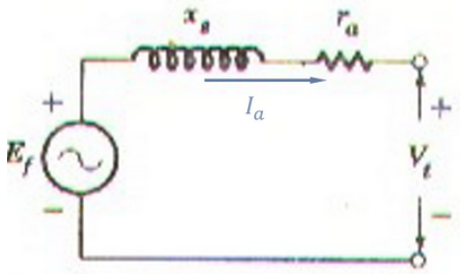


Figura 1: Circuito equivalente del generador

En el modelo monofásico por fase (red equilibrada), el generador se representa por una f.e.m. interna E_0 (proporcional a la excitación de campo) en serie con la resistencia de armadura R_a y la reactancia síncrona X_s . Esta última resume la reacción del inducido y la dispersión. Este circuito equivalente por fase es la base para estimar caídas internas, corrientes y potencias en torno a la tensión nominal. Desde el punto de vista físico, con el estator alimentado (o, en modo generador, por el giro del rotor) se crea un campo giratorio a la frecuencia de red. El rotor, excitado en CC, establece un segundo campo; el par electromagnético resulta de su interacción y, en régimen, el rotor gira sin deslizamiento respecto del campo del estator. En el fasorial, a tensión terminal U_a y frecuencias fijas, la corriente I_a y su ángulo φ dependen de la relación entre E_0 y la caída $jX_s I_a$; al variar la excitación cambia E_0 y, por tanto, el comportamiento en

potencia reactiva Q y el factor de potencia. Cuando se hace girar el generador en vacío y se barre la corriente de excitación I_{exc} , la tensión inducida E_0 crece aproximadamente lineal a bajas excitaciones (zona no saturada, influida por magnetismo remanente) y luego se curva por saturación del hierro. La relación $E_0 - I_{exc}$ es la curva de magnetización, que fija la referencia de tensión nominal en vacío. La saturación impacta la estimación de X_s : en no saturación se usa la recta del entrehierro (U_{eh}), mientras que cerca de tensión nominal se habla de una reactancia síncrona “saturada”.

2.1. Ensayo de vacío

Con la máquina a velocidad nominal y armadura abierta, se mide U_0 en función de I_{exc} y la velocidad. Resulta la curva de magnetización descrita antes. Este ensayo fija la relación entre campo y tensión interna sin efecto de carga (sin corriente de armadura).

2.2. Ensayo de cortocircuito

Con el estator cortocircuitado y a velocidad nominal, se incrementa I_{exc} hasta alcanzar la corriente de armadura nominal. En máquinas reales donde R_a es despreciable, la corriente de cortocircuito queda esencialmente regida por la reactancia y no depende de la frecuencia (porque su efecto se cancela en f.e.m. y reactancia). Se miden I_a , I_{exc} y velocidad.

3. Desarrollo experimental

3.1. Ensayo en vacío

Para el ensayo, se impulsó la máquina hasta llevarla a un punto de operación con su velocidad nominal de 3000rpm, haciéndola funcionar como generador y sin carga, con sus terminales de salida sin conexión. Se fue modificando la corriente de excitación hasta obtener la tensión inducida en su valor nominal, tomando nota de las corrientes de excitación y la tensión inducida resultante; construyendo así la curva de vacío.

3.1.1. Conexión

Se midió corriente de excitación, tensión inducida, y se controló la velocidad del motor.

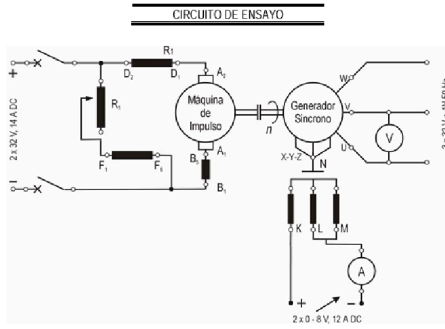


Figura 2: Conexión ensayo de vacío

- Para inyectar y medir la corriente de excitación, se utilizó una fuente digital conectada al circuito de excitación, como se indica en la imagen con los terminales + y -.
- Para medir la tensión inducida, se conectó un multímetro digital en modo voltímetro entre dos fases de salida del generador. Se considera que el generador está en vacío, puesto que la impedancia del multímetro es muy grande.
- La velocidad se monitoreó con el tacómetro que tiene integrado el equipo del motor.
- La máquina de impulso fué un motor de continua conectado al eje del generador sincrónico.

3.1.2. Mediciones

Se elevó la corriente de excitación comenzando desde 0A hasta 10A, en intervalos de 2A, utilizando la fuente digital. En cada intervalo se tomó medida de la tensión inducida, según la indicación del voltímetro.

3.2. Ensayo de cortocircuito

Para este ensayo, se buscará impulsó la máquina hasta su velocidad nominal (3000rpm), funcionando como generador con el bobinado estatórico en cortocircuito. Se mantuvo la velocidad constante y se varió la corriente de excitación hasta obtener la corriente de armadura nominal, tomando nota de las corrientes de excitación y la corriente de armadura resultante; obteniendo así la curva de cortocircuito.

3.2.1. Conexión

Se midió corriente de armadura, corriente de excitación, y se controló la velocidad de la máquina.

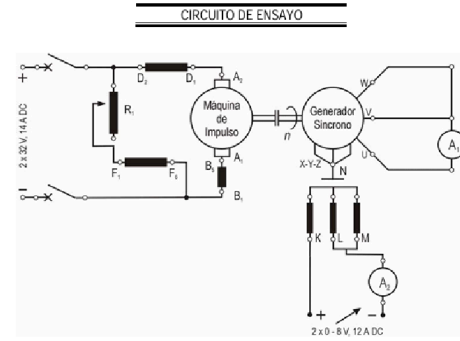


Figura 3: Conexión ensayo de corto circuito

- Para inyectar y medir la corriente de excitación, se utilizó una fuente digital conectada al circuito de excitación, como se indica en la imagen con los terminales + y -.
- Para medir la corriente de armadura, se utilizó un multímetro digital en modo amperímetro, dispuesto como A1 en la imagen.
- Las salidas W, V, U del generador se conectaron entre sí como indica la figura, formando un cortocircuito.
- La velocidad se monitoreó con el tacómetro que tiene integrado el equipo del motor.
- La máquina de impulso fué un motor de continua conectado al eje del generador sincrónico.

3.2.2. Mediciones

Se elevó la corriente de excitación comenzando desde 0A hasta 10A, en intervalos de 2A, utilizando la fuente digital. En cada intervalo se tomó medida de la corriente de armadura según la indicación del amperímetro. Se fué monitoreando la velocidad a modo de verificar que ésta no varíe.

4. Resultados

Los resultados se obtuvieron teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$R_a = \frac{1}{3} * \left(\frac{R_{uv}}{2} + \frac{R_{vw}}{2} + \frac{R_{wu}}{2} \right) \quad (Resistencia\ de\ Armadura) \quad T_a = 21.8^\circ C \quad (1)$$

$$Z_s = \frac{U_0}{\sqrt{3} * I_{cc}} \quad (2)$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 + R_a^2} \quad (3)$$

$$R_{uv} = 0.514; \quad R_{vw} = 0.511; \quad R_{wu} = 0.525; \\ R_a = \frac{1}{3} * \left(\frac{R_{uv}}{2} + \frac{R_{vw}}{2} + \frac{R_{wu}}{2} \right) \quad (4)$$

I_{exc} (A)	U_0 (V)
0	0.4
2	14.4
4	29.2
6	41.8
8	51.3
10	57.9

Tabla 1: Tensión y corriente en ensayo de vacío

I_{exc} (A)	I_{cc} (A)
0	0.08
2	1.42
4	2.77
6	4.2
8	5.46
10	6.83

Tabla 2: Valores de corriente en ensayo de cortocircuito

I_{exc} (A)	Z_s (Ω)	X_s (Ω)
0	2.8668	2.8752
2	5.8548	5.8491
4	6.0861	6.0807
6	5.746	5.7402
8	5.4246	5.4184
10	4.8944	4.8876

Tabla 3: Tensión y corriente en ensayo de vacío

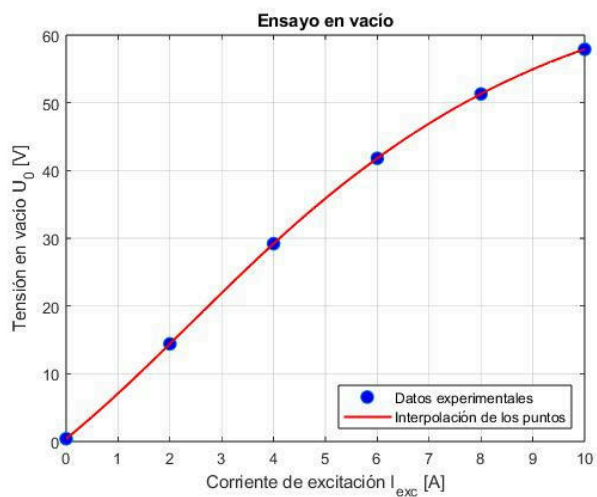


Figura 4: Ensayo vacío

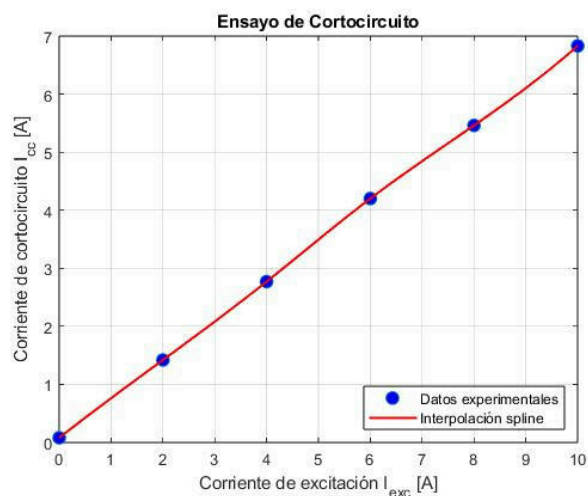


Figura 5: Ensayo cortocircuito

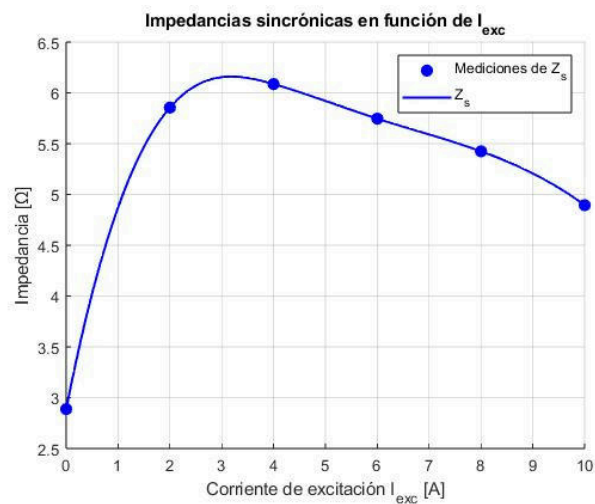


Figura 6: Impedancia sincrónica

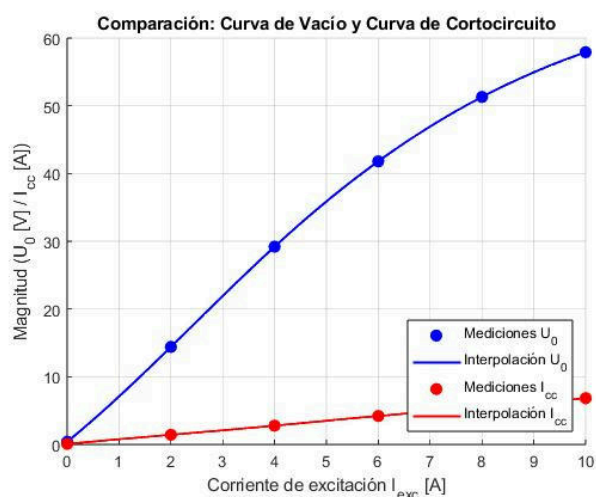


Figura 7: Comparación de los resultados

5. Conclusión

En este laboratorio se determinaron con éxito los parámetros eléctricos fundamentales de una máquina sincrónica trifásica de rotor liso mediante ensayos indirectos en vacío y cortocircuito, junto con la medición de la resistencia del estator. Se obtuvieron la curva de magnetización, que muestra un comportamiento lineal inicial y saturación a altas excitaciones, y la característica de cortocircuito, permitiendo calcular la resistencia de armadura (R_a), la impedancia sincrónica (Z_s) y la reactancia sincrónica (X_s), con valores decrecientes por saturación. Estos resultados validan el circuito equivalente por fase, facilitando el análisis de regulación de tensión y comportamiento bajo carga nominal, y confirman la influencia de la saturación en el rendimiento de la máquina.