

Laboratorio N°4

Máquinas e Instalaciones Eléctricas

10 de Noviembre de 2025

Tomás Vidal (69854/4)

Mateo Natale (75316/9)

Esteban Fernández Madau (71271/5)

Ignacio Nahuel Chantiri (69869/1)



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

1. Introducción

En este trabajo se presentan los resultados del **ensayo directo en carga** realizado sobre un **motor asincrónico trifásico** con rotor jaula de ardilla. El objetivo del ensayo es **caracterizar el comportamiento eléctrico y mecánico del motor** bajo distintos niveles de carga, obteniendo y graficando (en función de la potencia útil P_u) los parámetros de funcionamiento: **rendimiento η** , **factor de potencia $f_p = \cos \varphi$** , **corriente de línea I_y** , **resbalamiento s** , además de la **característica mecánica $n=f(T)$** (velocidad angular vs. cupla). El método consiste en operar el motor a **tensión y frecuencia nominales**, acoplado a un freno o dinamopéndulo para imponer la carga, y medir **potencia trifásica, tensión, corriente y velocidad** en varios puntos de operación.

2. Marco teórico

La **máquina asincrónica trifásica** (motor de inducción) es una máquina eléctrica rotativa en la que el **campo magnético giratorio** producido por el estator induce corrientes en el rotor; de la interacción entre ese campo y las corrientes inducidas resulta el par motor. Su rasgo distintivo es que el rotor gira a una velocidad **inferior** a la del campo: nunca alcanza el sincronismo, de allí el nombre “asincrónica”. La velocidad del campo (o **velocidad sincrónica**) viene fijada por la frecuencia de alimentación f y el número de pares de polos p .

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad (1)$$

mientras que la velocidad de rotor n y el resbalamiento s se relacionan como:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}, n = (1 - s)n_s \quad (2)$$

2.1. Principio de funcionamiento y flujo de potencias:

Al alimentar el estator con un sistema trifásico equilibrado se establece un **campo magnético giratorio**. Ese campo corta las barras del rotor, induce fuerzas electromotrices y corrientes, y desarrolla un **par electromagnético** que tiende a arrastrar al rotor. En régimen, el motor absorbe **potencia eléctrica trifásica P_{abs}** de la red; una parte se disipa en el cobre del estator (**pérdidas $I^2 R$**), otra en el **hierro** (pérdidas magnéticas) y el resto cruza el entrehierro como **potencia electromagnética P_e** . Del lado del rotor, una fracción $P_e s$ se pierde en el cobre rotórico y la fracción restante $P_e(1-s)$ constituye la potencia mecánica interna; descontadas las pérdidas mecánicas (rozamiento y ventilación), se obtiene la potencia útil P_u en el eje. Así, el rendimiento resulta $\eta = \frac{P_u}{P_{abs}}$ y el factor de potencia $f_p = \cos \varphi = \frac{P_u}{\sqrt{3}U_L I_L}$

2.2. Circuito equivalente monofásico:

Para el análisis de régimen se utiliza el **circuito equivalente por fase** reducido al estator, formado por: rama serie ($R_1 + j * X_1$), rama transversal ($R_p \parallel jX_c$) que modela pérdidas en el hierro y magnetización, y la rama del rotor reflejada ($\frac{R_2'}{s} + j * X_2'$). Este circuito es monofásico (una “pata” de la estrella equivalente), aun cuando el motor esté conectado en triángulo, y es el que se identifica a partir de ensayos estándar.

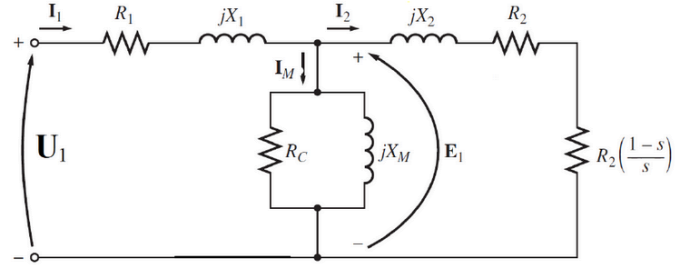


Figura 1: Modelo de la máquina asincrónica trifásica

2.3. Par electromagnético y característica mecánica:

El par puede escribirse, en forma general como:

$$T_e = \frac{P_e}{\Omega_s}, \Omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} \quad (3)$$

y la **cupla útil** resulta de la potencia mecánica útil $P_u = T_u \Omega$ (con $\Omega = 2\pi \frac{n}{60}$). Estas relaciones se usan para pasar de mediciones eléctricas a **magnitudes mecánicas** (y viceversa). Para estudiar la **característica T-s** y localizar el **par máximo**, es habitual convertir la red de estator (incluida la rama de magnetización) a su **equivalente de Thevenin** y escribir el par como función del deslizamiento. En ese marco, el **resbalamiento al par máximo s_m** depende de R_2' y de las impedancias de Thevenin, con expresiones del tipo:

$$s_m = \frac{R_2}{\sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2}}, \text{ (forma típica)} \quad (4)$$

lo cual permite, con datos de placa y un punto de la curva T-n, ajustar R_2' e inferir el comportamiento a carga.

3. Desarrollo experimental

3.1. Ensayo en carga

Se realizó un ensayo directo¹ a un motor asincrónico trifásico (MAT) para obtener las características de entrada y mecánicas de salida para diferentes estados de carga.

Se hizo funcionar al MAT alimentado con su tensión, frecuencia y secuencia nominales. El motor está acoplado a un freno o dínamo-péndulo mediante el cual se pueden determinar sus parámetros de funcionamiento para diferentes estados de carga.

Se realizaron mediciones de los parámetros mecánicos: **peso/ masa y velocidad**, y de los eléctricos: **potencia trifásica de entrada, corriente de línea y tensión de fase**.

- El **peso** se mide a través del dínamo-péndulo, por lo que se puede calcular la masa por la relación.
- La **tensión nominal** se obtiene conectándolo a la red, y se midió con un voltímetro en una de las fases.
- La **potencia total** se midió empleando 3 vatímetros.
- Se midió la **corriente de línea** con un amperímetro en una de las líneas.
- La velocidad se midió con el dínamo-tacómetro acoplado al eje del motor.

3.2. Conexión

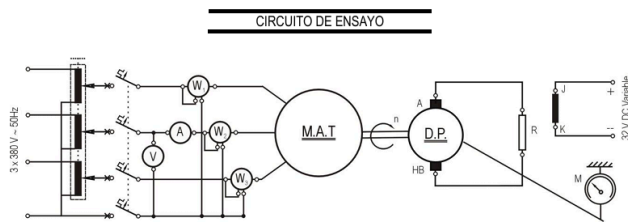


Figura 2: Conexión del ensayo

3.3. Medición

Se llevó la máquina a su punto de operación nominal gradualmente ejerciendo un freno, de tal forma que genere distintas fracciones de la cupla nominal ($0, \frac{1}{4}, \frac{2}{4}, \frac{3}{4}, 1$), en cada

uno de estos puntos se midieron los parámetros mencionado previamente (**peso, potencia, corriente, velocidad y tensión**).

4. Resultados

Las siguientes tablas se hicieron empleando las siguientes expresiones:

$$\text{Potencia útil} \quad P_U = M \cdot g \cdot l \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot n \cdot \frac{1}{1000}$$

$$\text{Potencia de entrada} \quad P_E = \sum_i^3 P_i$$

$$\text{Rendimiento} \quad \eta = \frac{P_U}{P_E}$$

$$\text{Factor de Potencia} \quad f_p = \frac{P_E}{3 \cdot U_f \cdot I_l}$$

$$\text{Resbalamiento} \quad s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

T	U _f	P ₁ [kW]	P ₂ [kW]	P ₃ [kW]	I [A]	M [g]	n [rpm]
0	127	0,2	0,16	0,15	2,4	182	1471
1/4	127	0,32	0,25	0,29	2,8	545	1460
2/4	127	0,52	0,46	0,52	3,2	1121	1436
3/4	127	0,68	0,64	0,74	3,8	1670	1413
4/4	127	0,9	0,88	0,98	4,8	2240	1383
5/4	127	-	-	-	-	-	-

Tabla 1: Datos experimentales

Fracción T_u	P_u [kW]	P_e [kW]	η [%]	f_p	s [%]	I [A]
0	0.085	0.51	16.7	0.056	1,93	2.4
1/4	0.255	0.86	29.7	0.089	2,67	2.8
2/4	0.525	1.5	35.0	0.123	4,27	3.2
3/4	0.796	2.06	38.6	0.143	5,8	3.8
4/4	1.107	2.76	40.1	0.151	7,8	4.8

Tabla 2: Parámetros de funcionamiento

¹El ensayo directo se define como aquel en el que el equipo bajo prueba es solicitado en condiciones normales de funcionamiento mediante una carga que permite medir directamente las magnitudes buscadas.

Fracción Tu	n [rpm]	P _u [kW]	T _u = P _u / ω [N·m]
0	1471	0.085	0.552
1/4	1460	0.253	1.655
2/4	1436	0.513	3.411
3/4	1413	0.751	5.075
4/4	1383	0.987	6.815

Tabla 3: Característica mecánica

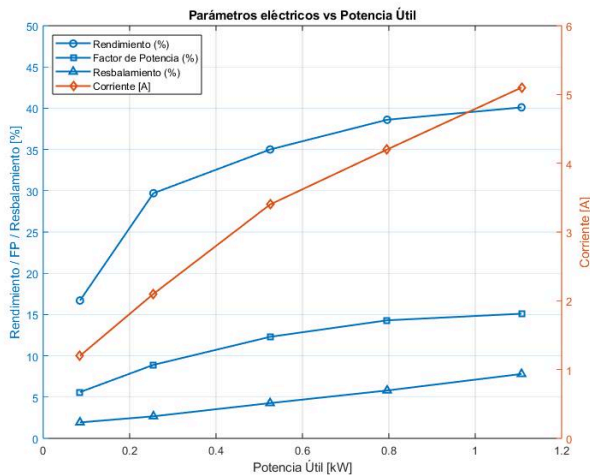


Figura 3: Comparativa de los parámetros eléctricos y mecánicos

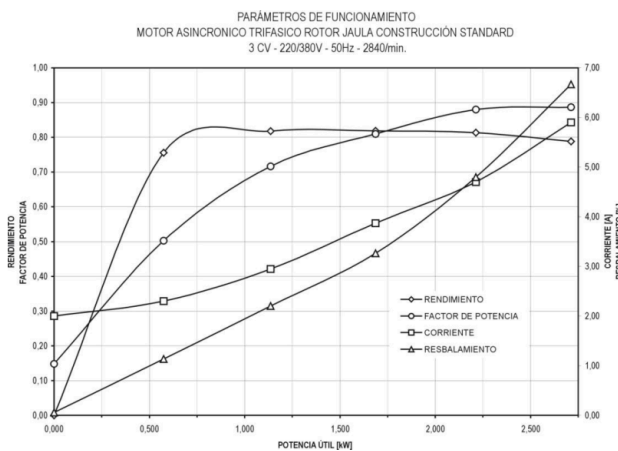


Figura 4: Características de la máquina (provisto por el fabricante)

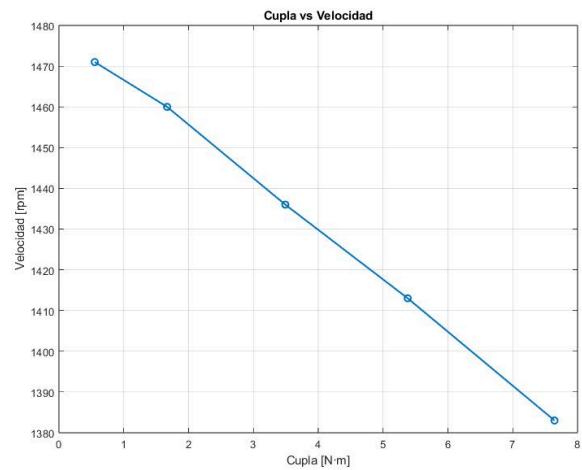


Figura 5: Característica mecánica del MAT

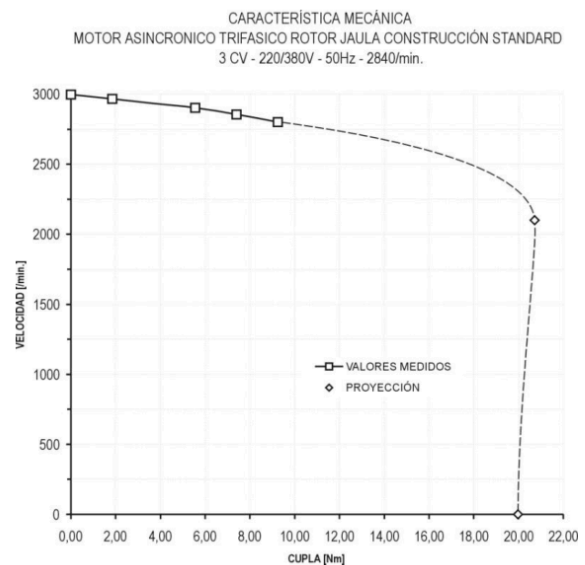


Figura 6: Característica mecánica del MAT (provisto por el fabricante)

5. Conclusión

El ensayo directo en carga permitió caracterizar el comportamiento del motor asincrónico trifásico, obteniendo curvas representativas de rendimiento (η), factor de potencia (f_p), corriente (I), resbalamiento (s) y par útil (T_u) en función de la potencia útil (P_u). Sin embargo, comparados con el gráfico del fabricante en el apunte del ensayo directo, los valores no fueron los esperados: la potencia por fase medida con los vatímetros resultó más alta de lo previsto, lo que disminuyó el rendimiento.

No se pudo medir el punto de $T = \frac{5}{4}$ de la carga nominal debido al sobrecalentamiento del freno, limitando el análisis

hasta carga plena. A pesar de las discrepancias en eficiencia y esta restricción operativa, los datos experimentales son consistentes con el modelo teórico y validan el flujo de potencias, consolidando los objetivos del ensayo.