

## **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  $\eta$** , **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  $I^2R$** ), 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  $f_p = \cos \varphi = \frac{P_{abs}}{\sqrt{3}U_L I_L}$

## 2.2. Circuito equivalente monofásico:

Para el análisis de régimen se utiliza el **circuito equivalente por fase** reducido al estator, formado por: rama serie ( $R_1 + jX_1$ ), rama transversal ( $R_p \parallel jX$ ) que modela pérdidas en el hierro y magnetización, y la rama del rotor reflejada ( $\frac{R_2'}{s} + jX_2'$ ). 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.

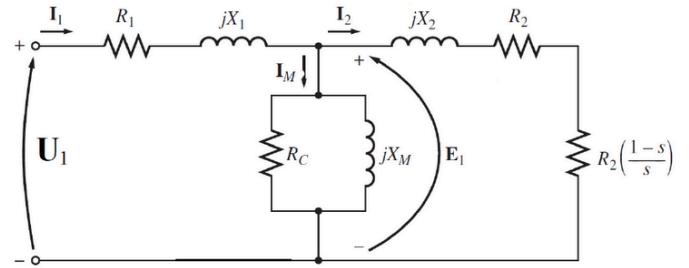


Figura 1: Modelo de la máquina asincrónica trifásica

### 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  $P_u = T_u$  (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-s, ajustar  $R_2'$  e inferir el comportamiento a carga.

### 3. Desarrollo experimental

#### 3.1. Ensayo en carga

Se realizó un ensayo directo<sup>1</sup> 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 dinamo-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 dinamo-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 dinamo-tacómetro acoplado al eje del motor.

#### 3.2. Conexionado

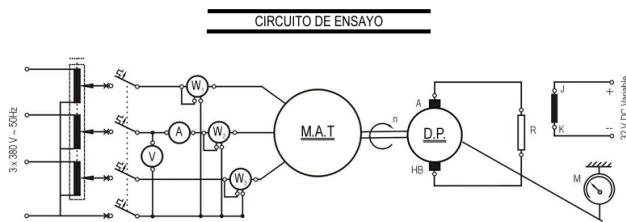


Figura 2: Conexión del ensayo

#### 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 mencionados previamente (**peso, potencia, corriente, velocidad y tensión**).

### 4. Resultados

Las siguientes tablas se hicieron empleando las siguientes expresiones:

Potencia útil	$P_U = M \cdot g \cdot l \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot n \cdot \frac{l}{1000}$
Potencia de entrada	$P_E = \sum_i^3 P_i$
Rendimiento	$\eta = \frac{P_U}{P_E}$
Factor de Potencia	$f_p = \frac{P_E}{3 \cdot U_f \cdot I_l}$
Resbalamiento	$s = \frac{n_s - n}{n_s}$

T	U_f	P <sub>1</sub> [kW]	P <sub>2</sub> [kW]	P <sub>3</sub> [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 <sub>u</sub>	P <sub>u</sub> [kW]	P <sub>e</sub> [kW]	η [%]	f <sub>p</sub>	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

<sup>1</sup>El **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

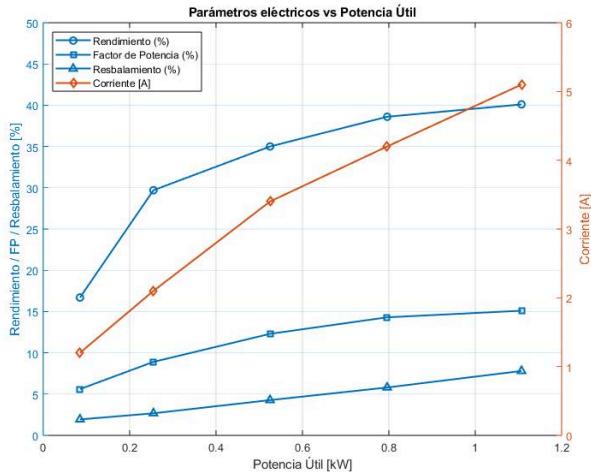


Figura 3: Comparativa de los parámetros eléctricos y mecánicos

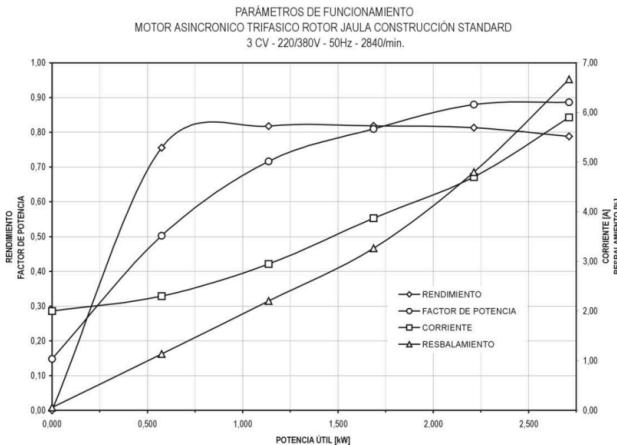


Figura 4: Características de la máquina (provisto por el fabricante)

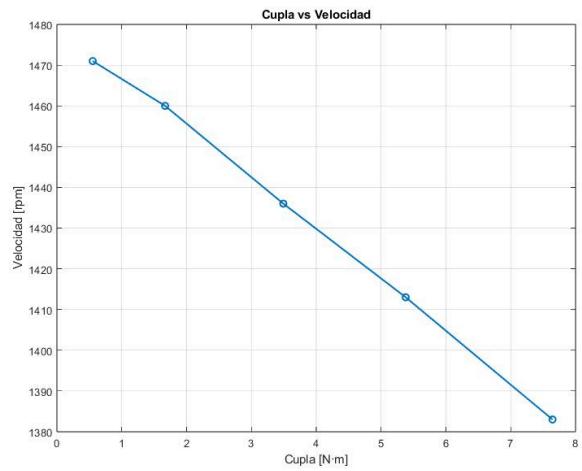


Figura 5: Característica mecánica del MAT

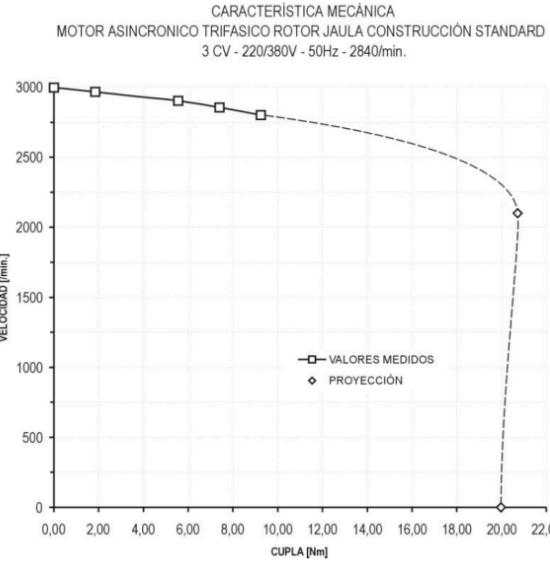


Figura 6: Característica mecánica del MAT (provisto por el fabricante)

## 5. Conclusión

El ensayo directo en carga permitió caracterizar el comportamiento del motor asincrónico trifásico, obteniendo curvas representativas de rendimiento ( $\eta$ ), 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.