

**ENSAYOS PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE UN
MOTOR ASÍNCRONO SEGÚN LA NORMA UNE-EN 60034-2-1: 2009**

Responsable del ensayo: _____

Fecha del ensayo: _____

Datos del motor a ensayar:

Referencia del motor a ensayar: _____

Potencia asignada (P_N): _____ kW

Velocidad asignada (n_N): _____ r.p.m.

Tensión asignada (V_{1NL}): _____ / _____ V

Frecuencia asignada (f_1): _____ Hz

Corriente asignada (I_{1NL}): _____ / _____ A

Factor de potencia asignado ($\cos \phi_{1N}$): _____

Par asignado (M_N): _____ Nm $\left(M_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{\frac{2\pi}{60} n_N} \right)$

Referencias de los aparatos de medida utilizados:

Voltímetro: _____

Amperímetro: _____

Vatímetro: _____

Frecuencímetro: _____

Termómetro: _____

Medidor de resistencia: _____

Medidor de aislamiento: _____

Medidor de par: _____

Tacómetro: _____

Resistencias de aislamiento:

$R_{U-V} =$ _____ $M\Omega$

$R_{V-W} =$ _____ $M\Omega$

$R_{W-U} =$ _____ $M\Omega$

$R_{U-C} =$ _____ $M\Omega$

$R_{V-C} =$ _____ $M\Omega$

$R_{W-C} =$ _____ $M\Omega$

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética
ENSAYOS PARA EL RENDIMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO

Ensayos en carga: **Conexión del motor:** _____

(Antes de empezar estos ensayos medir las resistencias de fase y θ_{ci} y anotarlas en la página siguiente)

Ensayo: $M_u/M_N \approx$	Ec.			1			
$M_u \approx$ (Nm)	--						
θ_c (°C)	--						
f_1 (Hz)	--						
M_u (Nm)	--						
n (r.p.m.)	--						
V_{IRS} (V)	--						
V_{1ST} (V)	--						
V_{1TR} (V)	--						
I_{IR} (A)	--						
I_{IS} (A)	--						
I_{IT} (A)	--						
P_{1I} (W)	--						
P_{1II} (W)	--						
V_1 (V)	(1a)						
I_1 (A)	(1b)						
P_1 (W)	(2)	(1)					(2)
$\cos \varphi_1$	(3)						
$\text{Sen } \varphi_1$	--						
s	(4)						
R_1 (Ω)	(5)						
θ_w (°C)	(6)						
k_θ	(7)						
$I_1 \times R_1$ (V)	--						
E_r (V)	(8)						
P_u (W)	(9)						
P_{Cu1} (W)	(10)						
P_{Fe} (W)	An. 3						
P_a (W)	(11)						
P_{Cu2} (W)	(12)						
P_{Lr} (W)	(13)						
M_u^2 (Nm) ²	--						
P_{LL} (W)	(14)						
$P_{Cu1\theta}$ (W)	(15)						
s_θ	(16)						
$P_{a\theta}$ (W)	(17)						
$P_{Cu2\theta}$ (W)	(18)						
P_p (W)	(19)						
η (%)	(20)						

(1): $P_{li} =$ _____ W (2): $P_{lf} =$ _____ W $P_m =$ _____ W (Anexo 2)

Medidas inicial y final de la resistencia:

$$R_{Ui} = \text{_____ } \Omega \quad R_{Vi} = \text{_____ } \Omega \quad R_{Wi} = \text{_____ } \Omega \quad \theta_{ci} = \text{_____ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{Uf} = \text{_____ } \Omega \quad R_{Vf} = \text{_____ } \Omega \quad R_{Wf} = \text{_____ } \Omega \quad \theta_{cf} = \text{_____ } ^\circ\text{C}$$

Cálculos relativos a las resistencias y temperaturas:

$$R_{li} = \frac{R_{Ui} + R_{Vi} + R_{Wi}}{3} = \text{_____ } \Omega \quad \theta_{wi} = \text{_____ } ^\circ\text{C (Ec. (6))}$$

$$R_{lf} = \frac{R_{Uf} + R_{Vf} + R_{Wf}}{3} = \text{_____ } \Omega \quad \theta_{wf} = \text{_____ } ^\circ\text{C (Ec. (6))}$$

Cálculos relativos a las pérdidas adicionales (ver el anexo 1):

$$K_{\text{ConexV}} = \text{_____} \quad K_{\text{ConexI}} = \text{_____}$$

$$A = \text{_____} \quad B = \text{_____} \quad \gamma = \text{_____}$$

$$V_1 = \frac{V_{IRS} + V_{IST} + V_{ITR}}{3} K_{\text{ConexV}} \quad (1a) \quad I_1 = \frac{I_{IR} + I_{IS} + I_{IT}}{3} K_{\text{ConexI}} \quad (1b)$$

$$P_1 = P_{1I} + P_{1II} \quad (2) \quad \cos \phi_1 = \frac{P_1}{3 V_1 I_1} \quad (3) \quad s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (4)$$

$$R_1 = R_{li}, \text{ si } P_u \geq P_N (M_u \geq M_N); \quad R_1 = R_{lf} + \frac{P_1 - P_{lf}}{P_{li} - P_{lf}} (R_{li} - R_{lf}), \text{ si } P_u < P_{uN} (M_u < M_N) \quad (5)$$

$$\theta_w = \left[\frac{R_1}{R_{1a}} (\theta_a + T_0) \right] - T_0 = \left[\frac{R_1 - R_{1a}}{R_{1a}} (\theta_a + T_0) \right] + \theta_a \quad (6) \quad k_\theta = \frac{T_0 + \theta_w + (25 - \theta_c)}{T_0 + \theta_w} \quad (7)$$

$$E_r = \sqrt{(V_1 - (I_1 \times R_1 \times \cos \phi_1))^2 + (I_1 \times R_1 \times \sin \phi_1)^2} \quad (8) \quad (\text{Ver el anexo 3})$$

$$P_u = \left(\frac{2\pi}{60} n \right) \times M_u \quad (9) \quad P_{Cu1} = 3 \times R_1 \times I_1^2 \quad (10)$$

$$P_a = P_1 - P_{Cu1} - P_{Fe} \quad (11) \quad P_{Cu2} = s \times P_a \quad (12)$$

$$P_{Lr} = P_a - P_{Cu2} - P_m - P_u \approx A \times M_u^2 + B \quad (13) \quad P_{LL} = A \times M_u^2 \quad (14)$$

$$P_{Cu1\theta} = P_{Cu1} \times k_\theta \quad (15) \quad s_\theta = s \times k_\theta \quad (16)$$

$$P_{a\theta} = P_1 - P_{Fe} - P_{Cu1\theta} \quad (17) \quad P_{Cu2\theta} = s_\theta \times P_{a\theta} \quad (18)$$

$$P_p = P_{Fe} + P_m + P_{LL} + P_{Cu1\theta} + P_{Cu2\theta} \quad (19) \quad \eta(\%) = 100 \frac{P_1 - P_p}{P_1} = 100 \left(1 - \frac{P_p}{P_1} \right) \quad (20)$$

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética
ENSAYOS PARA EL RENDIMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO

Ensayo en vacío:

Conexión del motor: _____

(Desacoplar el motor del freno y vigilar que la velocidad no descienda demasiado)

Ensayo: $\frac{V_{0L}}{V_{1NL}} \approx$	Ec.		1					
$V_{oL} \approx$ (V)	--							
V_{0RS} (V)	--							
V_{0ST} (V)	--							
V_{0TR} (V)	--							
I_{0R} (A)	--							
I_{0S} (A)	--							
I_{0T} (A)	--							
P_{0I} (W)	--							
P_{0II} (W)	--							
V_0 (V)	(21a)							
I_0 (A)	(21b)							
P_0 (W)	(22)							
$\cos \varphi_0$	(23)							
$\text{Sen } \varphi_0$	--							
V_0^2 (V ²)	--							
$I_0 \times R_0$ (V)	--							
E_{r0} (V)	(24)							
P_{Cu0} (W)	(25)							
P_f (W)	(26)							
P_{Fe} (W)	(27)							

Medida de la resistencia al final del ensayo (a la tensión menor):

$R_{U0} = \text{_____ } \Omega$

$R_{V0} = \text{_____ } \Omega$

$R_{W0} = \text{_____ } \Omega$

$$R_0 = \frac{R_{U0} + R_{V0} + R_{W0}}{3} = \text{_____ } \Omega$$

$$\theta_{w0} = \left[\frac{R_0}{R_{1a}} (\theta_a + T_0) \right] - T_0 = \left[\frac{R_0 - R_{1a}}{R_{1a}} (\theta_a + T_0) \right] + \theta_a = \text{_____ } ^\circ\text{C}$$

Cálculos relativos a las pérdidas fijas (ver los anexos 2 y 3):

$$K_{\text{ConexV0}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$K_{\text{ConexI0}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Pérdidas mecánicas: $P_m = \underline{\hspace{2cm}}$ W (ver el anexo 2)

(Estrella $\rightarrow K_{\text{ConexV}} = 1 / \sqrt{3}$, $K_{\text{ConexI}} = 1$; Triángulo $\rightarrow K_{\text{ConexV}} = 1$, $K_{\text{ConexI}} = 1 / \sqrt{3}$)

$$V_0 = \frac{V_{0RS} + V_{0ST} + V_{0TR}}{3} K_{\text{ConexV}} \quad (21a)$$

$$I_0 = \frac{I_{0R} + I_{0S} + I_{0T}}{3} K_{\text{ConexI}} \quad (21b)$$

$$P_0 = P_{0I} + P_{0II} \quad (22)$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{3 V_0 I_0} \quad (23)$$

$$E_{r0} = \sqrt{(V_0 - (I_0 \times R_0 \times \cos \varphi_0))^2 + (I_0 \times R_0 \times \sin \varphi_0)^2} \quad (24)$$

$$P_{\text{Cu0}} = 3 \times R_0 \times I_0^2 \quad (25)$$

$$P_f = P_{\text{Fe}} + P_m = P_0 - P_{\text{Cu0}} \quad (26)$$

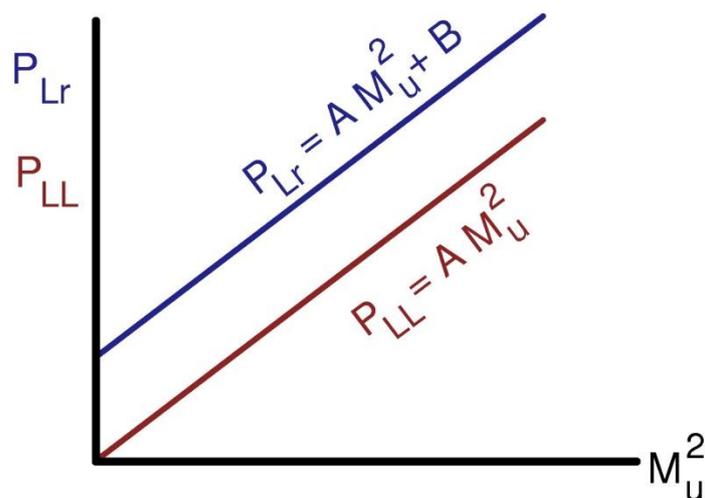
$$P_{\text{Fe}} = P_f - P_m \quad (27) \text{ (ver el anexo 3)}$$

ANEXOS

Anexo 1: Cálculo de las pérdidas adicionales, P_{LL}

Las pérdidas adicionales P_{LL} se obtienen de los ensayos en carga. Para ello, las pérdidas residuales P_{Lr} , calculadas para cada ensayo en carga, se relacionan con el cuadrado del par útil (M_u^2) correspondiente para obtener la recta de regresión entre ambas magnitudes:

$$P_{Lr} = A \times M_u^2 + B$$



Los coeficientes A y B de la recta de regresión se obtienen así:

$$A = \frac{\left[n \sum (P_{Lr} \times M_u^2) \right] - \left[(\sum P_{Lr}) (\sum M_u^2) \right]}{\left[n \sum (M_u^2)^2 \right] - \left[\sum M_u^2 \right]^2} \quad (27)$$

$$B = \frac{\sum P_{Lr}}{n} - A \frac{\sum M_u^2}{n} \quad (28)$$

En estas expresiones n es el número de ensayos en carga realizados (n = 6), los sumatorios se extienden a los valores de todos los ensayos en carga y el coeficiente B puede ser negativo.

Además es preciso calcular el coeficiente de regresión de Pearson (γ):

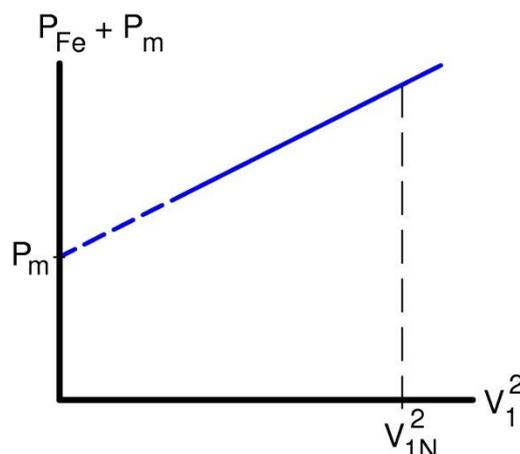
$$\gamma = \frac{\left[n \sum (P_{Lr} \times M_u^2) \right] - \left[(\sum P_{Lr}) (\sum M_u^2) \right]}{\sqrt{\left[\left(n \sum (M_u^2)^2 \right) - \left(\sum M_u^2 \right)^2 \right] \times \left[\left(n \sum (P_{Lr})^2 \right) - \left(\sum P_{Lr} \right)^2 \right]}} \quad (29)$$

Se debe comprobar que γ no es inferior a 0,95. En caso contrario, se suprime el peor punto de carga y se repite el cálculo de la regresión. Si aun así, γ es inferior a 0,95 el ensayo no es satisfactorio y hay que revisarlo.

Una vez obtenida la recta de regresión se pueden calcular las pérdidas adicionales P_{LL} para cada carga mediante la relación (14).

Anexo 2: Obtención de las pérdidas mecánicas, P_m

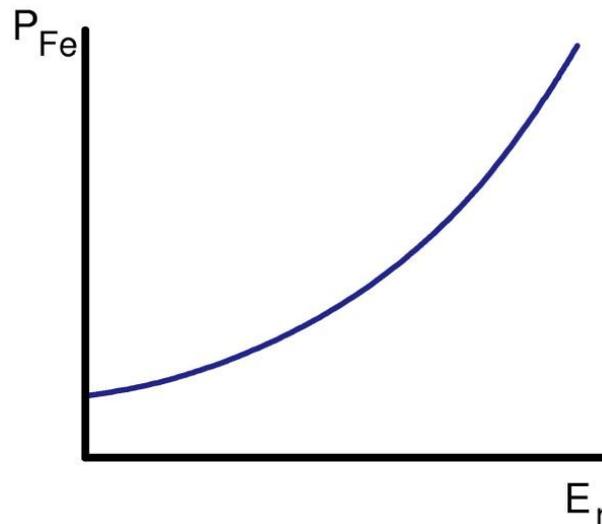
Las pérdidas mecánicas P_m se obtienen del ensayo en vacío. Para ello, se representan sobre unos ejes de coordenadas los puntos $P_f - V_0^2$ correspondientes a las medidas realizadas en el ensayo en vacío. Se busca ahora la recta de regresión que mejor se ajuste a estos puntos (no se tendrán en cuenta los puntos donde se manifiesten de una forma significativa los efectos de la saturación magnética; es decir, en algunos casos, no se usarán los resultados obtenidos a la/s tensión/es más alta/s). El corte de la recta de regresión con el eje vertical da el valor de las pérdidas mecánicas P_m , las cuáles se suponen constantes en todas las medidas del ensayo en carga.



Anexo 3: Obtención de las pérdidas magnéticas o en el hierro, P_{Fe}

En el ensayo en vacío se calcula en cada medida el valor de E_r (f.e.m. debida al flujo total del estator = flujo común + flujo de dispersión del estator) mediante la relación (24) y de las pérdidas en el hierro o pérdidas magnéticas P_{Fe} (mediante la ecuación (27)). Esto permite dibujar la curva $P_{Fe} - E_r$.

En el ensayo en carga el valor de las pérdidas en el hierro P_{Fe} en cada medida se calcula obteniendo primero la f.e.m. E_r correspondiente (ecuación (8)). A continuación se entra con dicho valor de E_r en la curva $P_{Fe} - E_r$ que se ha dibujado anteriormente y se obtiene el correspondiente valor de P_{Fe} .



Anexo 4: Resistencia entre terminales del estator

Muchas veces la resistencia de las fases del estator no se mide directamente. Lo que se hace es mantener la conexión (estrella o triángulo) y medir la resistencia entre cada par de terminales: R_{UV} , R_{VW} y R_{WU} . En este caso la resistencia de fase R_1 se obtiene así:

$$R_1 = K_{\text{ConexR}} \frac{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}{3} \quad (30)$$

El parámetro K_{ConexR} depende de la forma de conexión:

- Estrella $\rightarrow K_{\text{ConexR}} = 0,5$
- Triángulo $\rightarrow K_{\text{ConexR}} = 1,5$

Anexo 5: Varios

- En los ensayos en carga se empezará por el ensayo de mayor carga y en los siguientes ensayos se irá reduciendo gradualmente la potencia. En el ensayo en vacío se comenzará por la tensión mayor y luego se irá reduciendo esta paulatinamente.

Antes de efectuar los cálculos relativos a los ensayos en carga hay que calcular el ensayo en vacío.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética
ENSAYOS PARA EL RENDIMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO

- Las temperaturas que aparecen en las fórmulas de las páginas anteriores se miden en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y se ha utilizado la siguiente nomenclatura:

θ_a	Temperatura ambiente
θ_c	Temperatura de entrada del fluido refrigerante primario (en nuestro motor es el aire ambiente)
θ_{cf}	Temperatura de entrada del fluido refrigerante primario al final de los ensayos en carga
θ_{ci}	Temperatura de entrada del fluido refrigerante primario al inicio de los ensayos en carga
θ_{wN}	Temperatura del devanado a la carga asignada
$\theta_{wN\theta}$	Temperatura del devanado a la carga asignada corregida a una temperatura del fluido refrigerante igual a 25°C
θ_{w0}	Temperatura del devanado al final del ensayo en vacío
θ_w	Temperatura del devanado
θ_{wf}	Temperatura del devanado al final de los ensayos en carga
θ_{wi}	Temperatura del devanado al inicio de los ensayos en carga

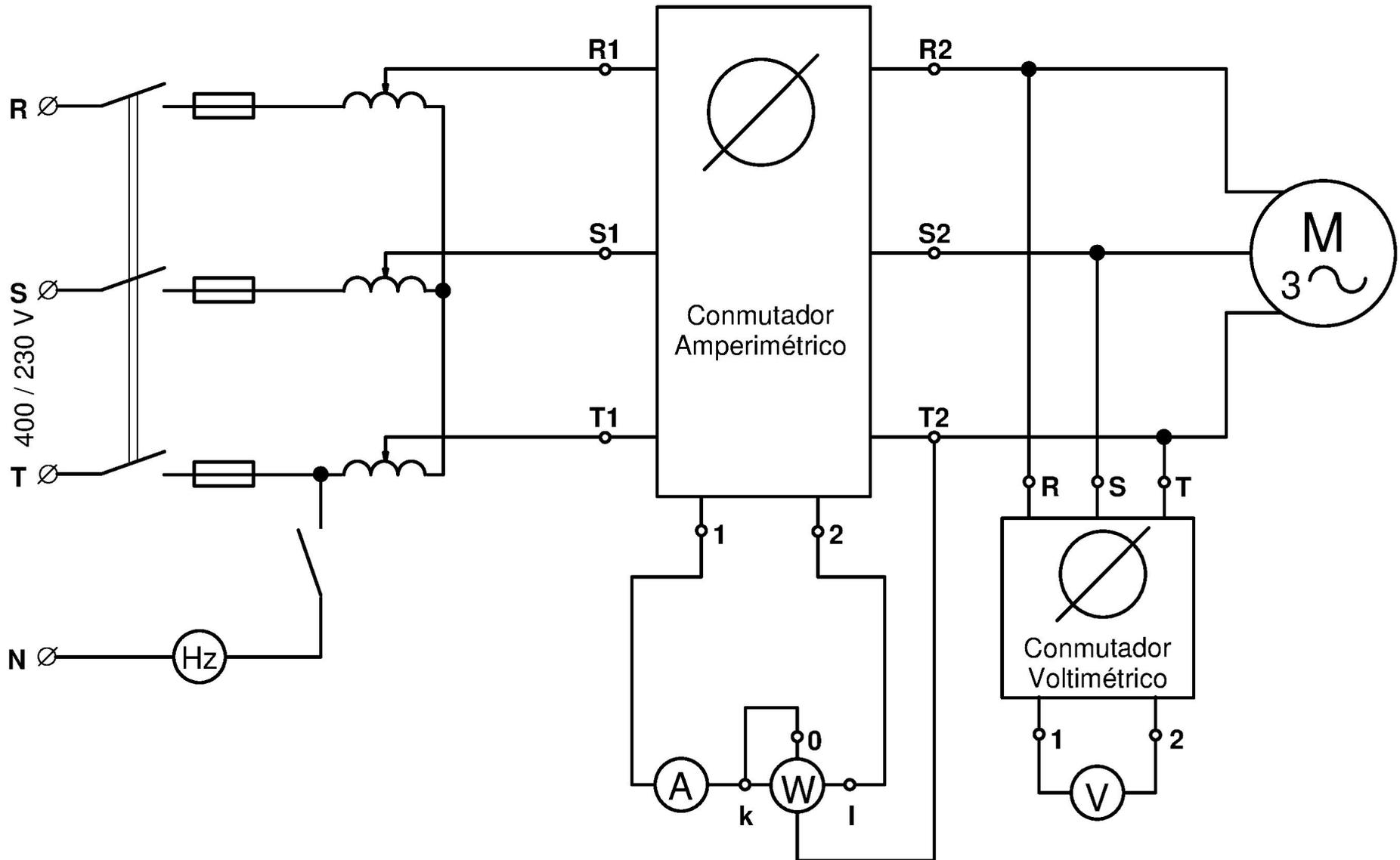
- Otras magnitudes que hay que corregir a una temperatura del fluido refrigerante igual a 25°C durante los ensayos en carga son las siguientes:

$P_{a\theta}$	Potencia en el entrehierro corregida a una temperatura del fluido refrigerante igual a 25°C
$P_{Cu1\theta}$	Pérdidas en el cobre del estator corregidas a una temperatura del fluido refrigerante igual a 25°C
$P_{Cu2\theta}$	Pérdidas en el cobre del rotor corregidas a una temperatura del fluido refrigerante igual a 25°C
s_{θ}	Deslizamiento corregido a una temperatura del fluido refrigerante igual a 25°C

- En la fórmula (5) aparecen las siguientes potencias activas absorbidas:

P_{1f}	Potencia activa absorbida por el motor en el último ensayo en carga (el de menor potencia)
P_{1i}	Potencia activa absorbida por el motor en el primer ensayo en carga (el de mayor potencia)

CIRCUITO PARA EL ENSAYO DE MOTORES ASINCRONOS



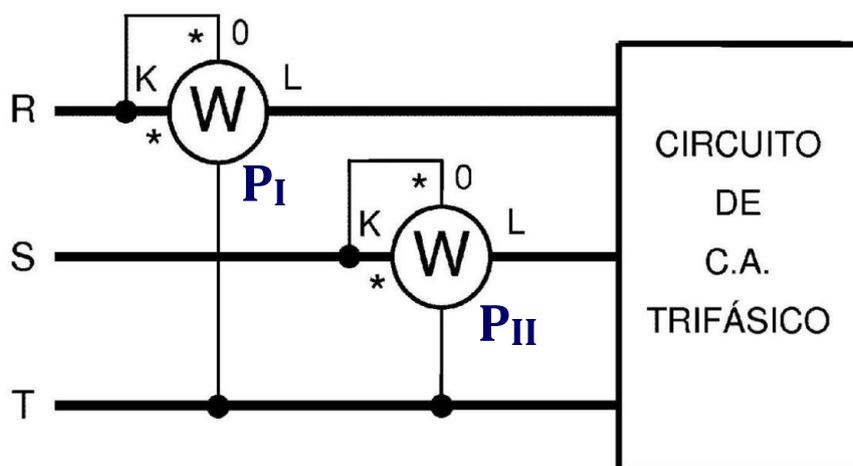
EXPLICACIÓN

Estas hojas son una adaptación de las que se entregan a los alumnos de nuestro departamento cuando acuden al laboratorio. En ellas se explican el proceso experimental y los cálculos posteriores que permiten determinar el rendimiento y las pérdidas a varias cargas de un motor de inducción siguiendo el apartado 8.2.2 de la norma UNE-EN 60034-2-1: 2009: *Máquinas eléctricas rotativas. Parte 2-1: Métodos normalizados para la determinación de las pérdidas y del rendimiento a partir de ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción)*.

En este documento se ha elegido el método indicado en el apartado 8.2.2.5.1 de la citada norma para obtener las pérdidas adicionales en carga P_{LL} , el cual exige realizar varios ensayos en carga.

Estas hojas incluyen unas plantillas que facilitan la realización de los ensayos experimentales y que permiten efectuar los cálculos posteriores de una forma ordenada y metódica y de acuerdo a lo indicado en la norma UNE citada anteriormente.

Para realizar los ensayos se conecta el motor al circuito representado en la figura de la página anterior. En él hay un autotransformador trifásico que permite alimentar al motor con la tensión que se desee. Un conmutador voltímetro permite usar un único voltímetro para medir las tres tensiones de línea. Análogamente, un conmutador amperimétrico permite medir las tres corrientes de línea con un solo amperímetro. Además, se puede comprobar que este conmutador amperimétrico también permite que con un solo vatímetro se midan las dos potencias P_I y P_{II} del método de los dos vatímetros (conexión Aron). La potencia P_I se mide con el conmutador en la posición R y la potencia P_{II} con el conmutador en la posición S. La suma de estas dos potencias, P_I y P_{II} , (alguna de las cuáles puede ser negativa) es la potencia total consumida por el motor.



Método de los dos vatímetros (conexión Aron) para medir la potencia de un circuito trifásico de tres hilos mediante dos vatímetros monofásico:

$$P = P_I + P_{II}$$

El eje del motor está acoplado a un freno con un medidor de par y a un tacómetro que mide la velocidad.

Para medir la temperatura del motor se ha elegido el método de la resistencia. Se mide la resistencia del estator a la temperatura a obtener y la comparación con su valor R_{1a} a una temperatura conocida θ_a permite determinar la temperatura:

$$\frac{R_1}{R_{1a}} = \frac{T_0 + \theta_w}{T_0 + \theta_a}$$

En las hojas adjuntas se ha seguido el criterio de representar con letras en negrita las magnitudes que se obtienen en el laboratorio y sin negrita las que se determinan por cálculo.

El ensayo comienza anotando las magnitudes asignadas que figuran en la placa de características del motor a ensayar. Con estos valores se calcula el par asignado del motor. Seguidamente se anotan las referencias de los aparatos de medida que se van a emplear en los ensayos. Todas estas magnitudes se anotan en la página 1.

Según el apartado 6.4.4.2 de la citada norma UNE los ensayos en carga han de realizarse para seis valores diferentes del par. Cuatro de estos valores serán aproximadamente equidistantes entre el 25% y el 100% del par asignado M_N y los dos valores restantes serán aproximadamente equidistantes y superiores al 100% de M_N , pero sin superar el 150% de M_N . Los ensayos se comenzarán por el par más alto y se terminarán con el más bajo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se rellena la primera fila de la tabla de la página 3 indicando, en proporción al par asignado M_N , los valores de par a los cuáles se desea ensayar el motor y en la segunda fila se calcula el valor en Nm de dichos pares. Nótese que la tercera columna de esta tabla se ha reservado para el ensayo con el par asignado M_N .

Según el apartado 6.4.2.3 de la citada norma UNE los ensayos en vacío han de realizarse para un mínimo de siete valores diferentes de tensión de línea (entre fases). Cuatro o más de estos valores serán aproximadamente equidistantes entre el 125% y el 60% de la tensión asignada de línea V_{INL} y otros tres o más valores serán aproximadamente equidistantes entre el 50% y el 20% de V_{INL} . Los ensayos se comenzarán por la tensión más alta y se terminarán con la más baja.

Teniendo en cuenta lo anterior la tabla de la página 5 está diseñada para registrar siete ensayos de vacío. Lo primero es rellenar la primera fila de esta tabla indicando, en proporción a la tensión asignada V_{INL} , los valores de tensión a los cuáles se desea ensayar el motor en vacío y en la segunda fila se calcula el valor en voltios de dichas tensiones. Nótese que la segunda columna de esta tabla se ha reservado para el ensayo con la tensión asignada V_{INL} .

Con el motor frío -es decir, a la temperatura ambiente- se miden sus resistencias de aislamiento y sus resistencias de fase del estator, así como la temperatura ambiente θ_a . La media R_{1a} de los valores de las tres resistencias de fase del estator a la temperatura θ_a servirá como referencia para obtener la temperatura del motor en los siguientes ensayos.

Lo siguiente es un ensayo de temperatura a carga asignada. Este ensayo consiste en hacer funcionar al motor alimentado a la tensión y frecuencia asignadas y acoplado a un freno que le demanda su par asignado. Se deja el motor funcionando de esta manera hasta que se establezca su temperatura (se acepta que la máquina alcanza el equilibrio térmico cuando la temperatura no varía más de 2°C por hora). Nada más acabar este ensayo se miden las resistencias de fase del estator y la temperatura θ_{cN} del fluido refrigerante de la máquina (que en la mayoría de los motores es el aire ambiente), lo que permitirá saber la temperatura alcanzada por el motor. Los datos de ensayo se anotan en las casillas correspondientes de la página 2. Los cálculos correspondientes se dejan para más tarde.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética
ENSAYOS PARA EL RENDIMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO

Inmediatamente después del ensayo anterior -lo más rápidamente posible para evitar que la temperatura de la máquina disminuya de forma apreciable- se realizan una serie de ensayos en carga con el motor alimentado a su tensión y frecuencia asignadas. Estos ensayos se realizan de mayor a menor a carga haciendo que el freno obligue al motor a suministrar unos pares lo más próximos posible a los calculados anteriormente y que se habían anotado en las dos primeras filas de la tabla de la página 3. Las magnitudes medidas durante estos ensayos se anotarán en las primeras filas de esta tabla. Los cálculos correspondientes a las últimas filas de esta tabla se realizarán más tarde. En estos cálculos se usarán los valores del par útil medidos experimentalmente (quinta fila de la tabla) y no los valores calculados inicialmente (segunda fila).

Nada más acabar estos ensayos se miden las resistencias de fase y la temperatura del refrigerante y estas mediciones se anotan en la página 4 (son las magnitudes con subíndice “f”). Los valores iniciales -los valores al empezar los ensayos de carga- de estas magnitudes llevan subíndice “i” y son los mismos que se midieron al final del ensayo de temperatura y que figuran con subíndice “N” en la página 2. Así pues, los valores de resistencias de fase y de temperatura del refrigerante con subíndice “N” de la página 2 se copian en la página 4 en las casillas con subíndice “i”.

Inmediatamente a continuación -para que la temperatura no varíe apreciablemente- se desacopla el motor del freno y se realizan una serie de ensayos en vacío a diferentes tensiones, de mayor a menor tensión. Los valores de la tensión de ensayo serán los más próximos posible a los valores calculados anteriormente y que se habían anotado en las dos primeras filas de la tabla de la página 5. Las magnitudes medidas durante estos ensayos se anotarán en las primeras filas de esta tabla. Los cálculos correspondientes al resto de esta tabla se realizarán más tarde. En estos cálculos se usarán los valores de las tensiones de línea medidos experimentalmente (tercera, cuarta y quinta fila de la tabla) y no los valores calculados inicialmente (segunda fila).

Finalmente, nada más acabar los ensayos en vacío se vuelve a medir las resistencias de fase del estator y la temperatura del refrigerante y se anotan en la parte inferior de la página 5.

Ahora se procede a realizar los cálculos a partir de las magnitudes medidas. Para ello se tiene en cuenta que en los cálculos se usan valores de fase de la tensión y de la corriente. Estos valores de fase se obtienen a partir de las medias aritméticas de las tres tensiones de línea o de las tres intensidades de línea, respectivamente, a las que se les multiplica por los factores K_{ConexV} o K_{ConexI} , respectivamente. Los parámetros K_{ConexV} y K_{ConexI} dependen de la forma de conexión, estrella o triángulo, del devanado del estator y sus valores se indican en la página 2. Además, hay que tener en cuenta que la norma establece que las pérdidas y los rendimientos se deben calcular cuando la temperatura del fluido refrigerante es de 25°C.

Los resultados de los cálculos relativos al ensayo de temperatura se anotan en la página 2 donde también se indican las fórmulas a emplear. Nótese que las magnitudes θ_{N0} y R_{IN0} son los valores de la temperatura y la resistencia de fase del devanado del estator corregidas para considerar una temperatura de 25°C del fluido refrigerante.

A continuación se salta a la página 5 (ensayos en vacío), se calculan los valores de R_0 y θ_{w0} y seguidamente se rellenan las filas en blanco de la tabla. En la segunda columna de la tabla se indican las ecuaciones a utilizar, las cuales figuran en la página 6. Mediante esta tabla se calculan las pérdidas mecánicas P_m y en el hierro P_{Fe} siguiendo el procedimiento indicado en el anexo 2 y se obtiene la curva $P_{Fe}-E_r$ según se indica en el anexo 3. En esta curva los valores del eje de abscisas son los valores E_{r0} obtenidos en el ensayo en vacío y que se calculan mediante la ecuación (24).

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética
ENSAYOS PARA EL RENDIMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO

Nótese que E_r es la f.e.m. inducida sobre una fase por el flujo total del estator (flujo común + flujo de dispersión del estator), la cual se calcula a partir de la tensión en bornes y de la caída de tensión en la resistencia de las fases del devanado.

El valor de P_m obtenido como se indica en el anexo 2 se copia en el espacio destinado para él en la página 6 y también en la parte inferior de la página 3.

Para finalizar se realizan los cálculos correspondientes a los ensayos en carga que se anotan en las páginas 3 y 4. Se empieza por los cálculos de las resistencias de fase y de temperatura de la página 4 y se continúa completando la tabla de la página 3. Las fórmulas a emplear aparecen en la página 4.

Por lo que se refiere a los cálculos a realizar para la tabla de la página 3 hay que indicar lo siguiente:

- Hay que tener en cuenta que la resistencia de fase del estator R_1 varía con la temperatura. Para cargas iguales o menores a la asignada (cuando $M \leq M_N$) su valor es igual al valor inicial R_{1i} (anotado en la página 4 y que es igual al valor R_{1N} de la página 2) y para cargas superiores a la asignada (cuando $M > M_N$) el valor de R_1 se obtiene mediante la ecuación (5). De (5) se deduce que el valor de R_1 en la última columna es igual al valor R_{1f} obtenido en la parte superior de la página 4.
- Los valores P_{1i} y P_{1f} que aparecen en la ecuación (5) están definidos en la página 9 y son los que figuran, respectivamente, en la cuarta y en la última casillas de la fila 17 de la tabla de la página 3 (es decir, son los valores de P_1 para el primer y el último ensayo en carga).
Copie estos valores en los espacios reservados para ellos en la parte inferior de la página 3.
- Para cada carga se calcula la f.e.m. E_r (fórmula (8)) y entrando con ella en el eje de abscisas de la curva $P_{Fe}-E_r$, dibujada anteriormente a partir de los ensayos en vacío (anexo 3), se obtienen las pérdidas en el hierro P_{Fe} para dicha carga.
- Las pérdidas residuales P_{Lr} calculadas mediante la relación (13) pueden tener valor negativo.
- Las pérdidas adicionales en carga P_{LL} son siempre positivas y se calculan mediante la correlación lineal (recta de regresión) explicada en el anexo 1. Los coeficientes de la correlación lineal se anotan en las casillas correspondientes de la página 4.
- Las 6 últimas filas de la tabla de la página 3 sirven para referir todas las magnitudes a una temperatura del fluido refrigerante de 25°C. Así pues, los rendimientos η (%) que se obtienen en la última fila de esta tabla corresponden a una temperatura del fluido refrigerante de 25°C.