



1. El ensayo de un motor trifásico de inducción ha arrojado los siguientes valores:

Parámetros nominales

$P_n =$	15 kW
$U_n =$	380 V
$I_n =$	28,5 A
$\cos \varphi =$	0,87 ind
$n =$	960 rpm
$f =$	50 Hz
$p =$	3 pares

Otros parámetros

$R_1 =$	0,50 Ω
$P_m =$	250,0 W

Vacío / rotor libre

$U_o =$	380,0 V
$I_o =$	3,00 A
$P_o =$	700,0 W

Solución:

$P =$	16,32 kW
$S =$	18,76 kVA
$I_n =$	28,50 A
$n_1 =$	1000 rpm
$s =$	4,00 %

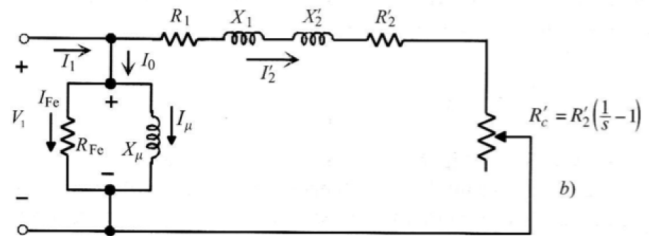
Vacío

$P_{cu1} =$	13,5 W
$P_{fe} =$	436,50 W
$\cos \varphi_{i0} =$	0,22
$\sin \varphi_{i0} =$	0,98
$I_{fe} =$	0,663 A
$I_{\mu} =$	2,926 A
$R_{fe} =$	330,8 Ω
$X_{\mu} =$	75,0 Ω
$Z_o =$	73,1 Ω

Potencia, par y rendimiento

$P_a =$	15869,6 W
$P_{cu2} =$	634,8 W
$P_u =$	14984,8 W

Determinar todos los parámetros del modelo eléctrico simplificado del motor.



Cortocircuito / rotor bloqueado

$U_{cc} =$	100,0 V
$I_{cc} =$	20,0 A
$P_{cc} =$	1200,0 W

Cortocircuito

$\cos \varphi_{i cc} =$	0,35
$\sin \varphi_{i cc} =$	0,94
$R_1 + R_2' =$	1,00 Ω
$X_1 + X_2' =$	2,71 Ω
$Z_{cc} =$	2,89 Ω
$R_2' =$	0,50000 Ω
$X_1 = X_2' =$	1,35 Ω

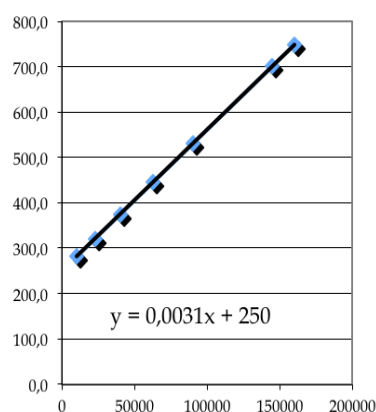
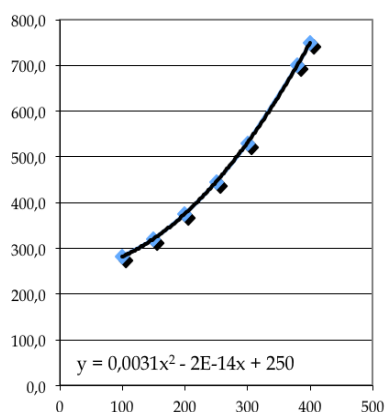
2. Para obtener las pérdidas mecánicas del motor anterior se ha efectuado el ensayo de rotor libre varias veces a diferentes tensiones, midiéndose en todos los casos la intensidad circulante y la potencia absorbida. Si los valores proporcionados por los instrumentos son los de la tabla:

a) Representar la potencia (W) frente a la tensión (V), obtener la curva de ajuste y extrapolar para estimar las pérdidas mecánicas.

b) Representar ahora la potencia (W) frente al cuadrado de la tensión (V²), obtener la curva de ajuste y las pérdidas mecánicas.

Vacío / rotor libre		
U_0 (V)	I_0 (A)	P_0 (W)
100	4,58	281,2
150	3,48	320,1
200	3,05	374,7
250	2,90	444,8
300	2,88	530,5
380	3,00	700,0

Solución:



Tanto en el caso a) de arriba como en el b) de abajo las curvas de ajuste tienen un parámetro que indica las pérdidas mecánicas: para $x = 0$ V la potencia absorbida sería de $P_0 = 250$ W.

3. El ensayo de un motor trifásico de inducción ha arrojado los siguientes valores:

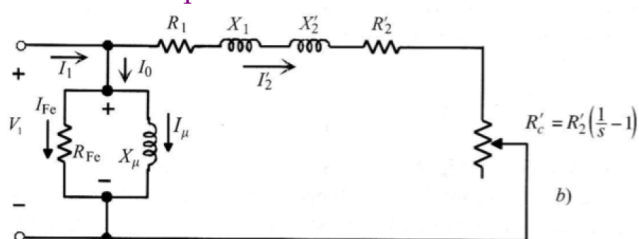
Parámetros nominales

$P_n =$	4 CV
$U_n =$	220 V
$I_n =$	10,6 A
$\cos \varphi =$	0,88 ind
$n =$	2870 rpm
$f =$	50 Hz
$p =$	1 par

Otros parámetros

$R_1 =$	0,24 Ω
---------	---------------

Determinar todos los parámetros del modelo eléctrico simplificado del motor.





$P_m =$	185 W		
Vacío / rotor libre		Cortocircuito / rotor bloqueado	
$U_o =$	220,0 V	$U_{cc} =$	34,3 V
$I_o =$	2,98 A	$I_{cc} =$	14,50 A
$P_o =$	400,0 W	$P_{cc} =$	710,0 W

Solución:

$P =$	3,55 kW
$S =$	4,04 kVA
$I_n =$	10,60 A
$n_1 =$	3000 rpm
$s =$	4,33%

Vacío		Cortocircuito	
$P_{cu1} =$	6,39 W	$\cos \phi_{cc} =$	0,82
$P_{fe} =$	208,61 W	$\sin \phi_{cc} =$	0,57
$\cos \phi_o =$	0,18	$R_1 + R_2' =$	1,126 Ω
$\sin \phi_o =$	0,98	$X_1 + X_2' =$	0,773 Ω
$I_{fe} =$	0,547 A	$Z_{cc} =$	1,366 Ω
$I_\mu =$	2,929 A	$R_2' =$	0,886 Ω
$R_{fe} =$	232,0 Ω	$X_1 = X_2' =$	0,387 Ω
$X_\mu =$	43,4 Ω		
$Z_o =$	7,7 Ω		

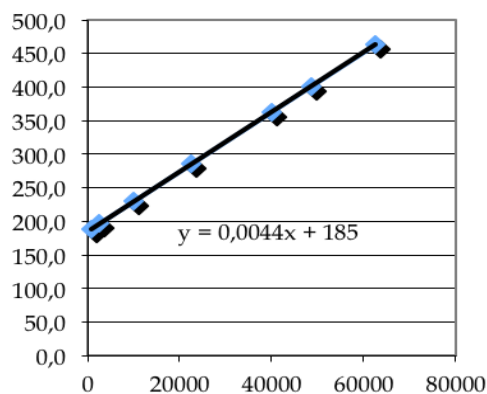
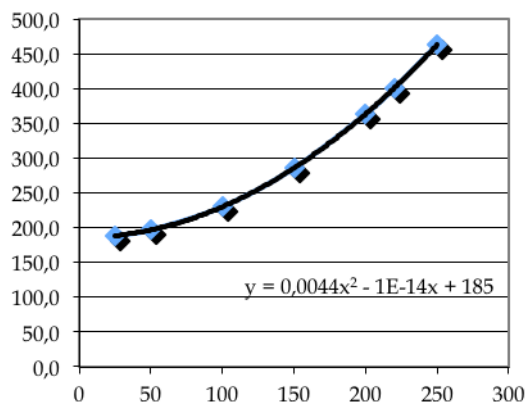
Potencia, par y rendimiento

$P_a =$	3339,4 W	$T_n =$	10,014 Nm
$P_{cu2} =$	144,7 W	$\mu =$	84,68 %
$P_u =$	3009,7 W		

4. Para obtener las pérdidas mecánicas del motor anterior se ha efectuado el ensayo de rotor libre varias veces a diferentes tensiones, midiéndose en todos los casos la intensidad circulante y la potencia absorbida. Si los valores proporcionados por los instrumentos son los de la tabla:

a) Representar la potencia (W) frente a la tensión (V), obtener la curva de ajuste y extrapolar para estimar las pérdidas mecánicas.	Vacío / rotor libre		
	U_o (V)	I_o (V)	P_o (W)
b) Representar ahora la potencia (W) frente al cuadrado de la tensión (V ²), obtener la curva de ajuste y las pérdidas mecánicas.	25	12,311	187,8
	50	6,428	196,1
	100	3,760	229,4
	150	3,114	284,9
	200	2,972	362,7
	220	2,980	400,0

Solución:



5. Un motor asíncrono trifásico con rotor en jaula de ardilla de 230/400 V ha sido ensayado y caracterizado con los parámetros que se indican a continuación:

Parámetros nominales

$$R1 = 0,60 \Omega$$

$$X1 = 3,00 \Omega$$

$$R'2 = 0,61 \Omega$$

$$X'2 = 3,70 \Omega$$

$$Un = 400 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$n = 960 \text{ rpm}$$

$$Pm = 410 \text{ W}$$

a) Si se alimenta a 400 V ¿cómo se conecta?

b) ¿Qué intensidad absorberá al arrancar?

c) Con el deslizamiento a plena carga calcular la intensidad, la potencia absorbida, la nominal, el par en el eje y el rendimiento nominal

d) ¿Cuál es la velocidad a la que ofrece el par máximo y cuánto vale éste?

e) ¿Es un motor eficiente? ¿Moderno?

Solución:

La tensión nominal de 230/400 V indica que cada bobina del estátor está preparada para soportar una tensión de 230 V en valor eficaz. Alimentando a 400 V pero conectando en estrella aseguramos que cada una está sometida efectivamente a $400/\sqrt{3} = 230 \text{ V}$. Conectando en triángulo cada una se vería sometida a 400 V, que es un valor inadecuado.

Las siguientes cuestiones se resuelven en la tabla siguiente:

Arranque:	Re	Im	Mod	Arg
Za =	1,21	6,70	6,81	79,76 Ω
Ila =	6,03	-33,38	33,92	-79,76 A
Régimen nominal (deslizamiento s):				
Zn =	15,85	6,70	17,21	22,91 Ω
Iln =	12,36	-5,23	13,42	-22,91 A
cos fi =	0,92			
sen fi =	0,39		Pmi =	7910,5 W
P =	8564,3 W		Pn =	7500,5 W
Q =	3620,2 VAR		$\mu =$	87,58%



S =	9298,0VA		
Par nominal:		Par máximo:	
n1 =	1000 rpm	sm =	9,07%
n =	960 rpm	n' =	909,3 rpm
Tn =	74,61 Nm	Tm =	104,3 Nm

Para un motor de 7.5 kW y 3 pares de polos el Reglamento (UE) 640/2009 exige un rendimiento (IE3) mínimo del 89,1%. Como este motor tiene un rendimiento inferior, no parece que sea demasiado eficiente ni tampoco podría haberse comercializado o puesto en funcionamiento con posterioridad al 1 de enero de 2017.

6. El motor anterior se aprovecha como generador y se le acopla un motor de gasoil que le hace girar a 1024 rpm. Verificar que la potencia nominal entregada a la red es de unos 6 kW con un factor de potencia de 0,97. Calcular la potencia aparente del generador en esas condiciones y el par que debe proporcionar el motor de gasoil. ¿Podría obtenerse más potencia todavía de este generador?

Solución:

$$\text{El deslizamiento ahora vale } s\% = \frac{n_1 - n}{n_1} \times 100 = \frac{1000 - 1024}{1000} \times 100 = -2,40\% .$$

En estas condiciones:

	Re	Im	Mod	Arg
Régimen nominal (deslizamiento s):				
ZTn =	-24,82	6,70	25,71	164,89 Ω
IIn =	-8,67	-2,34	8,98	-164,89 A
cos fi =	-0,97			
sen fi =	0,26		Pmi =	-6302,3 W
Pn =	-6009,3 W		P =	-6712,3 W
Qn =	1622,4 VAr		μ =	89,53%
Sn =	6224,4 VA			

Par nominal:		Par máximo:	
n1 =	1000,0 rpm	sm =	-9,07%
n =	1024,0 rpm	n' =	-1090,7 rpm
Tn =	-62,60 Nm	Tm =	-124,7 Nm

Como el par máximo como generador no se ha superado (-62,60 Nm frente a -124,7 Nm), es incluso interesante elevar el deslizamiento hasta el máximo de -9,07% para casi duplicar la potencia entregada por el generador (11,9 kW). Sin embargo el factor de potencia decaerá muchísimo (0,67) y el rendimiento también será menor (81,17%).

Nota:

Al revés que en los motores, en el caso de un generador la potencia nominal es la potencia eléctrica que puede entregar a sus cargas, no es la poten-

cia que se le aplica en el eje. En este caso, por tanto, la potencia nominal son 6 kW.

7. Si el motor del problema 5 está girando en condiciones nominales y se invierten de golpe dos fases del estátor, el régimen de funcionamiento pasa a ser el de freno eléctrico. Hallar la intensidad que circula por él y la potencia total que se va a disipar en calor en sus devanados. Estime su rendimiento como freno.

El deslizamiento valdrá $s\% = \frac{n_1 - n}{n_1} \times 100 = \frac{1000 - (-960)}{1000} \times 100 = 196,0\%$. Entonces:

	Re	Im	Mod	Arg
Régimen como freno:				
ZTn =	0,91	6,70	6,76	82,26 Ω
IIn =	4,60	-33,84	34,15	-82,26 A
cos fi =	0,13			
sen fi =	0,99		Pmi =	-1045,6 W
P =	3188,9 W		Pu =	-1455,6 W
Q =	23446,9 VAR		Ptotal =	4644 W
S =	23662,8 VA		μ =	45,65%
Par nominal:				
n1 =	1000 rpm			
n =	-960 rpm			
Tn =	-14,48 Nm			

El motor absorbe potencia del eje (1455,6 W) y de la red (3188,9 W) con lo que deberá disipar la suma de ambas cantidades (4644,4 W).

El rendimiento puede calcularse como la relación entre la potencia absorbida del eje (el efecto útil conseguido al funcionar como freno) y la potencia requerida por el motor (la extraída de la red), resultando un 45,65%.

8. Se conocen los siguientes datos del motor de un motor acoplado por poleas a un sistema de ventilación / extracción:

Parámetros nominales

R1 = 0,53 Ω

X1 = 5,20 Ω

R'2 = 0,56 Ω

X'2 = 4,30 Ω

Un = 220/380 V

f = 50 Hz

p = 1 par

s = 3,33%

Pm = 500 W

a) Si se alimenta a 380 V ¿cómo se conecta?

b) ¿Qué intensidad absorberá al arrancar?

c) Si la carga a mover ofrece un par resistente inicial de 5 Nm ¿conseguiría arrancar el motor?

d) Con el deslizamiento a plena carga calcular la intensidad, la potencia nominal, el par en el eje y el rendimiento nominal

e) Calcular el par máximo de la máquina



La conexión ha de ser a los 380 V de la red, luego únicamente puede conectarse en estrella, pues las bobinas del estátor están preparadas para soportar hasta 220 V, que es menos tensión que la de red.

En cuanto a la intensidad de arranque, este problema es esencialmente como el problema 5. Y para el cálculo del par de arranque, con $s = 1$, se utiliza la expresión general del par con $m_1 = 3$ para una máquina trifásica:

$$T = \frac{m_1 \frac{R'_2}{s} V_1^2}{2\pi \frac{n_1}{60} \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_c^2 \right]} \quad \text{con} \quad \begin{cases} m_1 = 3 \\ V_1^2 = \left(\frac{U_1}{\sqrt{3}} \right)^2 = \frac{U_1^2}{3} \end{cases}$$

Arranque:	Re	Im	Mod	Arg
ZT =	1,09	9,50	9,56	83,45Ω
I _{1a} =	2,62	-22,79	22,94	-83,45A
T _a =	2,81Nm			

Régimen nominal (deslizamiento s):

ZT _n =	17,35	9,50	19,78	28,71Ω
I _{1n} =	9,73	-5,33	11,09	-28,71A
cos fi =	0,88			
sen fi =	0,48			P _{mi} = 6001,3W
P =	6403,7W			P _n = 5501,3W
Q =	3507,0VAr			μ = 85,91%
S =	7301,1VA			

Par nominal:		Par máximo:	
n ₁ =	3000rpm	s _m =	5,89%
n =	2900rpm	n' =	2823,4rpm
T _n =	18,11Nm	T _m =	22,88Nm

Así pues, el par de arranque, que es de 2.81 Nm, resulta claramente insuficiente para vencer el par resistente en el arranque, que según el enunciado es de 5 Nm. El motor, por tanto, no conseguiría arrancar. Se quedaría bloqueado absorbiendo la intensidad de arranque (22.94 A) y sin girar, con lo que toda la potencia que le aporta la red se transformaría en calor en su interior, sin una refrigeración adecuada, y se quemaría rápidamente.

Nota:

Para proteger el motor de esta eventualidad, se debe alimentar a través de un guardamotor debidamente calibrado, que permitirá el paso inicial de la intensidad de arranque pero cortará automáticamente la alimentación a los pocos segundos, si ésta se mantiene alta, salvaguardando al motor.

A plena carga el motor absorbe de la red 11.09 A, entrega 5.5 kW a las poleas de la

extracción y ejerce sobre la primera un par de 18.11 Nm.

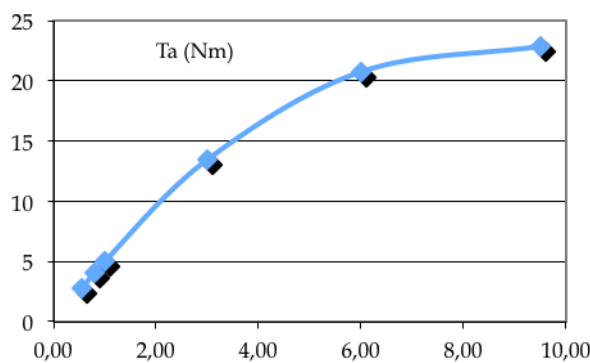
El par máximo lo entregaría a una velocidad de 2823.4 rpm y valdría 22.88 Nm.

9. Estudiar, para el motor del problema 8, el efecto de incrementar la resistencia del rotor R_2 a través del aumento en su parámetro equivalente R'_2 : repetir el cálculo del par de arranque para distintos valores de R'_2 , rellenando la tabla adjunta. Explicar después cómo se puede conseguir, mediante esta técnica, que la extracción arranque.

R'_2 (Ω)	T_a (Nm)
0,56	2,81
0,80	4,00
1,01	5,01
3,00	13,43
6,00	20,75
9,51	22,88

Solución:

Los valores del par de arranque ($s = 1$) aumentan con el valor de R'_2 que al hacerse lo suficientemente grande permiten que el motor arranque con el par máximo.



Cuando R'_2 valga 1.01 Ω el par de arranque es ya de 5.01 Nm. Siendo la resistencia R'_2 del modelo del motor de 0.56 Ω , será preciso añadir en serie con ésta

$$1.01 - 0.56 = 0.45 \Omega \text{ por fase,}$$

que realmente son (pasando de valores del modelo a valores reales):

$$R'_2 = m^2 R_2; \quad R_2 = \frac{m^2}{R'_2} = \frac{3^2}{0.45} = 20 \Omega$$

Esta técnica requiere que el motor sea de rotor trifásico ($m = 3$) bobinado, y que permita el acceso a las corrientes internas del rotor, lo que se consigue si dispone de tres anillos rozantes a los que estén conectados los seis terminales de sus tres bobinados internos.

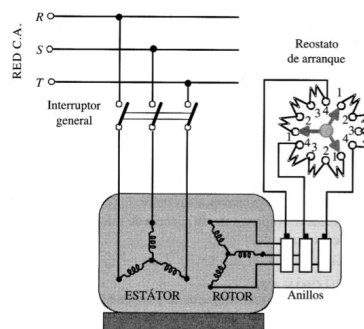


Figura 4.33. Motor asíncrono de rotor devanado y reóstato de arranque correspondiente.



10. Los ensayos de rotor libre y rotor bloqueado de un motor asíncrono han arrojado los datos que se indican. También se dispone de algunos datos del ensayo de vacío que pueden utilizarse para determinar las pérdidas mecánicas del modo habitual.

Rotor libre:		
U_o (V)	I_o (V)	P_o (W)
100	2,219	299,6
125	1,841	310,7
150	1,601	324,2
200	1,328	358,5
300	1,127	456,6
350	1,101	520,4
400	1,100	594,0

Parámetros nominales

$U_n =$	400/230 V
$I_n =$	10,3
$\cos \phi_i =$	0,89 ind
$n =$	1450 rpm
$f =$	50 Hz
$p =$	pares

Otros parámetros

$R_1 =$	0,976 Ω
$P_m =$	W

Vacío / rotor libre

$U_o =$	400,0 V
$I_o =$	1,10 A
$P_o =$	594,0 W

Cortocircuito / rotor bloqueado

$U_{cc} =$	253,0 V
$I_{cc} =$	13,91 A
$P_{cc} =$	930,0 W

a) Si la tensión de la red es de 400 V 50 Hz, dibuje dónde van los tres hilos de red y las demás conexiones necesarias, diciendo cómo se llama este modo de conexión.

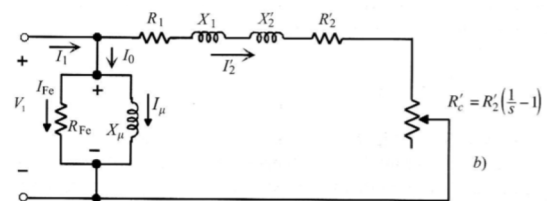
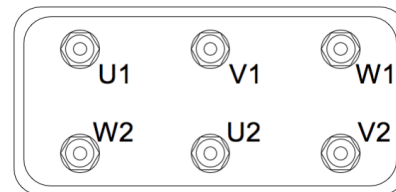
b) Calcule las pérdidas mecánicas en W.

c) Obtenga los parámetros de la rama serie del modelo eléctrico suponiendo, como es habitual, que $X_1 = X'_2$.

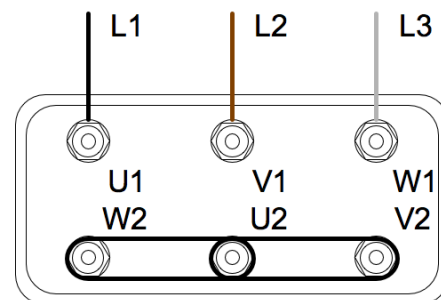
d) Calcule la potencia nominal del motor y su rendimiento para esa potencia nominal.

e) Calcule la intensidad de arranque.

f) Calcule el par nominal y el par máximo.

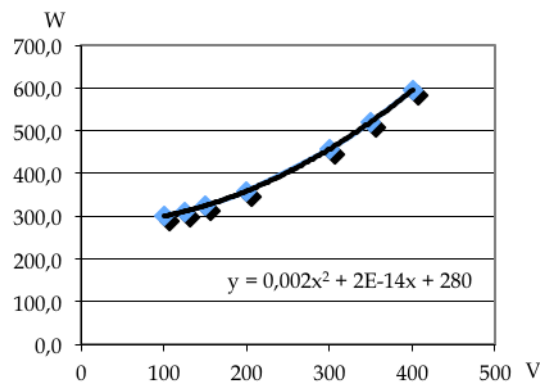


a) Dado que es un motor de 400/230 V de tensión nominal, puede conectarse en estrella o en triángulo a una red de 230 V, y solo en estrella a una red de 400 V. Como en este caso la red es de 400 V, la conexión obligada es en estrella, que se hace como se muestra en el dibujo a la derecha.



b) Para calcular las pérdidas mecánicas representamos la curva obtenida tras el ensayo de vacío a diferentes tensiones, obtenemos la ecuación del polinomio interpolador de segundo grado, y el sumando fijo son las pérdidas mecánicas del motor.

En este caso dicho sumando es 280, luego las pérdidas mecánicas son 280 W.



c) La velocidad nominal de 1450 rpm se corresponde bien con un motor de 2 pares de polos alimentado a 50 Hz, cuyo deslizamiento nominal estaría entre el 3% y el 8% habitual:

$$n_1 = \frac{60 f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ rpm}$$

$$s\% = \frac{n_1 - n}{n_1} \times 100 = \frac{1500 - 1450}{1500} \times 100 = 3,33\%$$

Procediendo igual que en el problema 1 ó en el problema 3, y teniendo en cuenta el dato $R_1 = 0,976 \Omega$ del enunciado, los parámetros de la rama serie del modelo eléctrico del motor se extraen únicamente a partir de los datos del ensayo de rotor bloqueado, y resultan ser los siguientes:

$$R_1 = 0,976 \Omega \quad R'_2 = 0,626 \Omega \quad X_1 = X'_2 = 5,189 \Omega$$

d) La potencia nominal del motor se halla a partir de los parámetros nominales del motor del enunciado, incluyendo el tener 2 pares de polos, y sus pérdidas a rotor libre, como se ha hecho en los problemas 1 y 3:

$$P_{cu1} = 3,54 \text{ W} \quad P_{fe} = 310,5 \text{ W} \quad P_a = 6037,1 \text{ W} \quad P_{cu2} = 201,2 \text{ W}$$

$$P_n = 5555,8 \text{ W} \approx 7,5 \text{ CV}$$

Conocida así la potencia nominal del motor, se calcula ahora la potencia absorbida de la red en esas condiciones a partir de los datos del enunciado, y el rendimiento es la relación entre ambas potencias en tantos por ciento:

$$P = 6,35 \text{ kW} \quad \mu = 87,48\%$$

e) El cálculo de la intensidad de arranque debe hacerse como en los problemas 5 y siguientes, a partir de los parámetros de la rama serie del motor calculados en el apartado c) anterior. El resultado es:

$$I_a = 21,99 \text{ /-} 81,22\% \text{ A}$$

f) El cálculo del par nominal es sencillo a partir de las revoluciones nominales a plena carga del enunciado y la potencia nominal del motor calculada en d).

$$T_n = 36,59 \text{ Nm}$$

Y el par máximo se obtiene como se vio en el problema 8, para un deslizamiento determinado:

$$s_{\max} = 6,01\%$$

$$T_{\max} = 44,7 \text{ Nm}$$