



Ministerio de Cultura y Educación  
de la Nación  
Universidad Nacional de Cuyo  
Facultad de Ingeniería

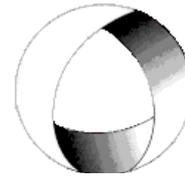
# ELECTROTECNIA

## GABINETE PETRÓLEOS 2021

### SOLUCIONES TRABAJO PRÁCTICO

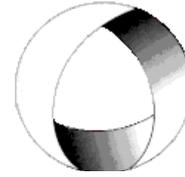
#### N°8

#### MOTOR ASÍNCRONO



EN ACCION CONTINUA

<b>ASIGNATURA:</b>			<b>CURSO:</b>		<b>SEMESTRE:</b>	
ELECTROTECNIA			3°		5°	
<b>ALUMNO</b>	FOTO	<b>NOMBRE Y APELLIDO:</b>				
		<b>Legajo N°:</b>	<b>ESPECIALIDAD:</b>	<b>AÑO:</b>		
			ING. de PETRÓLEOS	2021		
<b>DOCENTES</b>	<b>Prof. Tit.</b>	Ing. Alejandro. FARA				
	<b>J.T.P.</b>	Ing. José CORBACHO				
	<b>J.T.P.</b>	Ing. Orlando ROMERO				
	<b>J.T.P.</b>	Ing. David MOLINA				
	<b>Ayte Ad Honorem</b>					
<b>TRABAJO PRÁCTICO DE GABINETE N°</b>		<b>8</b>	<b>DENOMINACIÓN DEL PRÁCTICO:</b>			
			Motor Asíncrono			
			<b>OBJETIVOS:</b>			
		Ver carátula				
<b>FECHA DE ENTREGA</b>		<b>REVISIÓN N°</b>	<b>FECHA</b>		<b>FIRMA</b>	
		1ª:	_/_/_			
		2ª:	_/_/_			
_/_/_		<b>APROBACIÓN</b>	_/_/_			
<b>EJERCICIOS</b>						
<b>N°</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>V°B°</b>	<b>N°</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>V°B°</b>	
1.-		X	7.-		X	
2.-		X	8.-		X	
3.-		X	9.-		X	
4.-		X	10.-		X	
5.-		X	11.-		X	
6.-		X				
<b>CATALOGOS Y NORMAS</b>			<b>REVISIÓN N°</b>	<b>FECHA</b>		
.....			<b>REV. 0</b>	12/09/14		
.....			<b>REV. 1</b>	20/02/15		
.....			<b>REV. 2</b>	25/02/16		
.....			<b>REV. 3</b>	24/02/17		
.....			<b>REV. 4</b>	17/12/19		



**1.-**Un motor de inducción de 60 hz. Tiene dos polos y trabaja a 3510 rpm. Calcúlese a) la velocidad síncrona y b) el deslizamiento porcentual.

$$(a) \quad n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot (60)}{2} = 3600 \text{rpm} ; \quad (b) \quad s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{3600 - 3510}{3600} = 0,025 = 2,5\%$$

**2.-**Un motor trifásico, de inducción, de anillos rozantes, tiene 6 polos, está conectado a una línea de 50 Hz y posee un deslizamiento del 3 %. Calcular: a) la velocidad de sincronismo; b) la velocidad de giro del motor; c) la frecuencia de la fem inducida en el rotor.

$$(a) \quad n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50 \text{Hz}}{6} = 1000 \text{ rpm} ; \quad (b) \quad n = n_s(1 - s) = 1000 \text{rpm}(1 - 0,03) = 970 \text{rpm}$$

$$(c) \quad f_2 = s \cdot f_1 = 0,03 \cdot 50 \text{Hz} = 1,5 \text{ Hz}$$

**3.-**Un motor de inducción de 10 CV, 8 polos, gira a 720 rpm., y está conectado a una red de 380 V, trifásica, 50 Hz de frecuencia. Su rendimiento a plena carga 83 % y su factor de potencia es 0,75 en atraso. Calcular: a) La velocidad de sincronismo; b) Deslizamiento a plena carga; c) La corriente en la línea; d) Par en el árbol de la máquina.-

$$(a) \quad n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{8} = 750 \text{rpm} ; \quad (b) \quad s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{750 - 720}{750} = 4\% ;$$

$$(c) \quad P_{abs} = \frac{Pu}{\eta} = \frac{7360W}{0,83} = 8867,47W ; \quad I = \frac{P_{abs}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \phi} = \frac{8867,5W}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,75} = 17,96A = 18A$$

$$(d) \quad T_{sal} = \frac{Pu}{\omega} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{Pu}{n} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{7360W}{720 \text{rpm}} = 97,6 \text{Nm}$$

**4.-**El **rotor** de un motor trifásico de inducción de 60 Hz, 4 polos consume 120 kW a 3 Hz, y tiene 3 kW de pérdidas en el cobre del estator, 2 kW de pérdidas mecánicas, 1,7 kW de pérdidas en el núcleo del estator. Determine: a) la velocidad del rotor; b) las pérdidas en el cobre del rotor; c) el par electromagnético cedido por el estator al rotor en el espacio de aire; d) la potencia de salida en el eje del rotor  $P_u$  ; e) la eficiencia; f) el par cedido en el eje. Despréciese las pérdidas en el núcleo del rotor.-.-

$$a) \quad n_R = ? \quad s = \frac{f_2}{f_1} \Rightarrow s = \frac{3 \text{Hz}}{60 \text{Hz}} = 0,05$$

$$\text{Entonces: } n_2 = n_1 \cdot (1 - s) \Rightarrow n_2 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \cdot (1 - s) \Rightarrow n_2 = \frac{60 \cdot 60 \text{Hz}}{4} \cdot (1 - 0,05) = 1800 \cdot 0,95 = 1710 \text{rpm}$$

$$b) \quad P_{Cu2} = s \cdot P_{12} \Rightarrow P_{Cu2} = 0,05 \cdot 120 \text{kW} = 6 \text{kW}$$

$$c) \quad T_{em} = \frac{30}{\pi} \times \frac{P_{12}}{n_1} = \frac{30}{\pi} \times \frac{120 \text{kW}}{1800 \text{rpm}} = 636,6 \text{Nm}$$

$$d) \quad P_u = P_{12} - P_{Cu2} - P_{R+V} = 120 \text{kW} - 6 \text{kW} - 2 \text{kW} = 112 \text{kW}$$

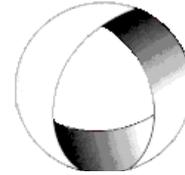


Ministerio de Cultura y Educación  
de la Nación  
Universidad Nacional de Cuyo  
Facultad de Ingeniería

# ELECTROTECNIA

## GABINETE PETRÓLEOS 2021

### SOLUCIONES TRABAJO PRÁCTICO Nº 8 MOTOR ASÍNCRONO

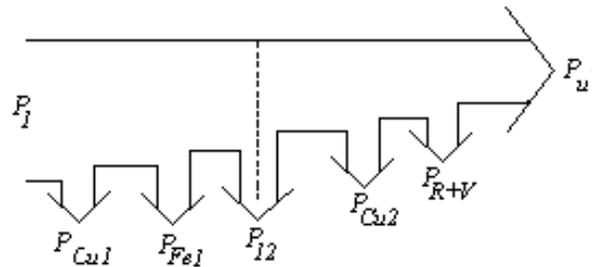


EN ACCION CONTINUA

$$e) P_1 = P_{12} + P_{Cu1} + P_{Fe1} = 120kW + 3kW + 1,7kW = 124,7kW$$

$$\eta\% = \frac{P_u}{P_1} \cdot 100 = \frac{112kW}{124,7kW} \cdot 100 = 89,8\%$$

$$f) T_u = \frac{30}{\pi} \times \frac{P_u}{n_2} = \frac{30}{\pi} \times \frac{112.000W}{1710rpm} = 625,45Nm$$



**5.-** Un motor trifásico de inducción de 4 polos es energizado por una fuente de 60 Hz. y se encuentra trabajando en condiciones de carga tales que el deslizamiento es 0,03, Calcular: a) la velocidad del rotor en rpm; b) la frecuencia de la corriente del rotor en Hz.; c) la velocidad del campo magnético giratorio del rotor respecto a la armadura del estator, en rpm; d) la velocidad relativa entre el campo magnético giratorio del estator y el del rotor, en rpm.-

$$(a) n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 60}{2} = 1800rpm \text{ luego } n = (1 - s) \cdot n_s = (1 - 0,03) \cdot 1800 = 1746 rpm$$

$$(b) f_2 = s \cdot f_1 = 0,03 \cdot 60 = 1,8 Hz$$

(c) Los “p” pares de polos en el estator inducen un número igual de polos en el rotor. En consecuencia el rotor produce un campo magnético giratorio cuya velocidad **relativa al rotor** es:

$$n_r = \frac{60 \cdot f_2}{p} = \frac{60 \cdot s \cdot f_1}{p} = s \cdot n_s$$

Pero la velocidad del rotor relativa al estator es  $n = (1 - s) n_s$ , Por lo tanto la velocidad del campo del rotor con respecto al estator es:  $n_s' = n_r + n = n_s$  Esto es, en este caso 1800 rpm

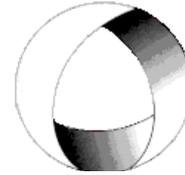
(d) La velocidad es 0 (cero).

**6.-** Un motor trifásico de inducción de 4 polos, 380 V y 50 Hz, tiene una potencia de 4 kW y gira a 1425 rpm. Las pérdidas por roce y ventilación y pérdidas adicionales son de 250 W. Calcular: a) la velocidad síncrona; b) el deslizamiento; c) las pérdidas en el cobre en el rotor; d) la potencia síncrona; e) el par electromagnético; f) el par de salida; g) el par de entrada si el rendimiento del motor es del 82 %.-

$$(a) n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50 Hz}{2} = 1500 rpm; (b) s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0,05$$

$$(c) P_{Cu2} = s \cdot P_{12} = s \cdot \frac{P_m}{(1 - s)} = s \cdot \frac{P_u + P_{R+V} + P_{ad}}{1 - s} \Rightarrow P_{Cu2} = 0,05 \cdot \frac{4000 + 250}{1 - 0,05} = 223,68W = s \cdot P_{12}$$

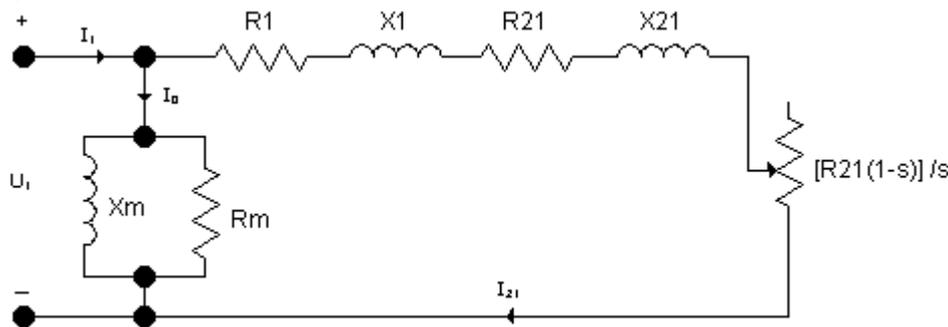
$$(d) \Rightarrow P_{12} = \frac{P_{Cu2}}{s} = \frac{223,68W}{0,05} = 4473,6W; (e) T_{em} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_{em}}{n_s} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{4473,6W}{1500rpm} = 28,5Nm;$$



$$(f) T_{sal} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_u}{n} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{4000W}{1425rpm} = 26,8Nm ;$$

$$(g) T_{entr} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_{abs}}{n_s} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_{sal}}{n_s \cdot \eta} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{4000W}{1500rpm \cdot 0,82} = 31,05Nm$$

**7.-** Los resultados de las pruebas en vacío y con el rotor bloqueado en un motor de inducción trifásico standard ( $x_1=x_{21}$ ), conectado en estrella son las siguientes: **Pruebas en vacío:** Tensión en línea = 400 V, Potencia de entrada = 1770 W, Corriente de entrada = 18,5 A, Pérdidas por fricción y ventilación = 600 W,  $R_1=0,12 \Omega$ ; **Pruebas con el rotor bloqueado:** Tensión de línea = 45 V, Potencia de entrada = 2700 W, Corriente de entrada = 63 A. Determinar los parámetros del circuito equivalente aproximado.-



De los datos de prueba en vacío:

$$V_o = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231V ; P_o = \frac{1}{3}(1770 - 600) = 390W ; I_o = 18,5A$$

$$\text{Entonces, } R_m = \frac{(231)^2}{390} = 136,8\Omega ; X_m = \frac{V_o^2}{Q_f} = \frac{V_o^2}{\sqrt{S_o - P_o}} = \frac{(231)^2}{\sqrt{(231)^2(18,5)^2 - (390)^2}} = 12,5\Omega$$

De los datos de prueba a rotor bloqueado:

$$V_s = \frac{45}{\sqrt{3}} = 25,98V ; I_s = 63A ; P_s = \frac{2700}{3} = 900W$$

$$\text{Entonces: } R_{eq} = R_1 + a^2 \cdot R_2 = \frac{900}{(63)^2} = 0,23\Omega \Rightarrow R_{21} = R_{eq} - R_1 = 0,23\Omega - 0,12\Omega = 0,11\Omega ;$$

$$X_{eq} = X_1 + a^2 \cdot X_2 = \frac{\sqrt{(25,98)^2(63)^2 - (900)^2}}{(63)^2} = 0,34\Omega \Rightarrow X_1 = X_{21} = \frac{X_{eq}}{2} = 0,17\Omega$$

**8.-** Un motor asíncrono trifásico de 4 polos conectado en estrella se alimenta por una red de 380 V, 50 Hz. La impedancia del estator es igual a  $0,1 + j0,4 \Omega$ /fase y la del rotor en reposo reducida al estator vale  $0,1 + j0,3 \Omega$ /fase. Calcular: a) la velocidad de sincronismo y la velocidad real de la máquina; b) intensidad absorbida en el arranque; c) corriente a plena carga si el deslizamiento es del 4 %; d) potencia y par nominal si se desprecian las pérdidas mecánicas; e) potencia absorbida en el caso anterior si las pérdidas en el hierro son iguales a 1200 W; f) rendimiento en estas condiciones.

(a)

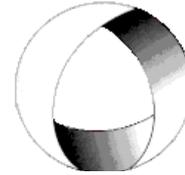


Ministerio de Cultura y Educación  
de la Nación  
Universidad Nacional de Cuyo  
Facultad de Ingeniería

# ELECTROTECNIA

## GABINETE PETRÓLEOS 2021

### SOLUCIONES TRABAJO PRÁCTICO N°8 MOTOR ASÍNCRONO

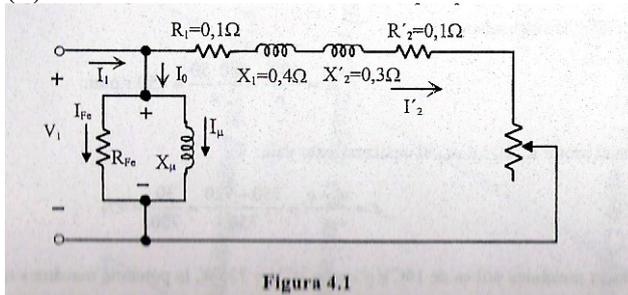


EN ACCION CONTINUA

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

$$n = n_r \cdot (1 - s) = 1500 \cdot (1 - 0,04) = 1440 \text{rpm}$$

(b)



En la figura se muestra el circuito equivalente aproximado del motor reducido al estator o primario, en el que despreciamos la rama en paralelo ya que en el enunciado no se dan datos para poder determinarlos.

Si tomamos como referencia la tensión del estator, entonces la corriente de arranque ( $s=1$ ) se obtiene de la ecuación:

$$I_a = \frac{380 \angle 0^\circ}{\sqrt{3} \cdot (0,1 + j0,4) + (0,1 + j0,3)} = \frac{219,39 \angle 0^\circ}{0,728 \angle 74,05^\circ} = 301,36 \angle -74,05^\circ$$

(c) La corriente a plena carga se obtiene del circuito de la figura, tomando el deslizamiento de plena carga del 4%.

$$I'_2 = \frac{219,39 \angle 0^\circ}{(0,1 + j0,4) + (0,1 + j0,3) + 0,1 \left( \frac{1}{0,04} - 1 \right)} = 81,48 \angle -15,07^\circ$$

(d) La potencia mecánica interna del motor, que al despreciar las pérdidas mecánicas coincide con la potencia mecánica útil, es igual a la potencia disipada en la resistencia de carga de la máquina, es decir:

$$P_u = 3 \cdot R'_2 \cdot \left( \frac{1}{s} - 1 \right) = 3 \cdot 2,4 \cdot 81,48^2 = 47,8 \text{ kW}$$

El par de plena carga o par asignado es:

$$T = \frac{P_u}{\omega} = \frac{47800}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1440}{60}} = 317 \text{ Nm}$$

(e) Al ser las pérdidas en el hierro de 1200 W, la potencia eléctrica absorbida de la red es:

$$P_1 = P_u + P_m + P_{cu2} + P_{cu1} + P_{Fe} = 47800 + 0 + 3 \cdot 0,1 \cdot 81,48^2 + 1200 = 52983,4 \text{ W}$$

(f) El rendimiento será:

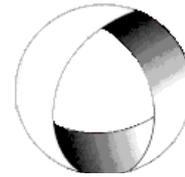


Ministerio de Cultura y Educación  
de la Nación  
Universidad Nacional de Cuyo  
Facultad de Ingeniería

# ELECTROTECNIA

## GABINETE PETRÓLEOS 2021

### SOLUCIONES TRABAJO PRÁCTICO N°8 MOTOR ASÍNCRONO



EN ACCION CONTINUA

$$\eta = \frac{P_u}{P_1} = \frac{47800}{52983,4} = 90,21\%$$

**9.-** Un motor asíncrono trifásico de 4 polos conectado en triángulo se alimenta por una red de 220 V, 50 Hz. La impedancia del rotor en reposo es igual a  $0,2 + j1,6 \Omega$  siendo la impedancia del estator despreciable. La relación de transformación es igual a 2 ( $m_e = m_r$ ). Calcular: a) impedancia del rotor reducida al estator; b) impedancia de carga cuando el deslizamiento es del 5% ; c) dibujar el circuito equivalente del motor reducido al estator e indicar los parámetros del circuito; d) la intensidad de fase y de línea absorbida de la red y su factor de potencia para un deslizamiento del 5% ; e) la potencia mecánica útil del motor, despreciando las pérdidas mecánicas; f) la velocidad de sincronismo y la velocidad real de giro; g) el valor del par desarrollado por el motor en estas condiciones; h) el deslizamiento para el cuál se produce el par máximo y la velocidad correspondiente; i) la corriente por fase que absorbe el motor en estas condiciones; j) la potencia mecánica desarrollada para par máximo y el correspondiente par máximo; k) la potencia absorbida de la red en condiciones de máximo par y el rendimiento correspondiente a par máximo.

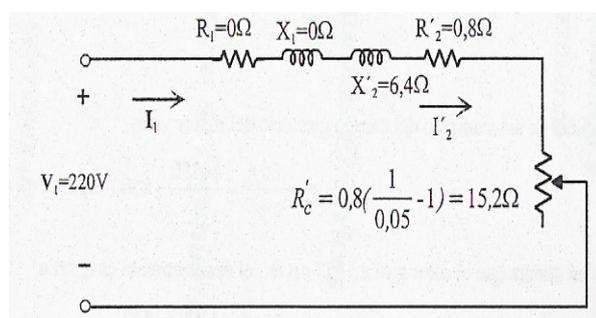
(a) La impedancia del rotor en reposo es la impedancia propia del rotor a la frecuencia asignada de 50 Hz. Como la relación de transformación es 2, la impedancia del rotor reducida al estator es:

$$Z_2 = 0,2 + j1,6\Omega \Rightarrow Z'_2 = m^2 Z_2 = 2^2 \cdot z_2 = 0,8 + j6,4\Omega$$

(b) La impedancia de carga cuando el deslizamiento es 5% tiene como valor:

$$R'_c = R'_2 \cdot \left(\frac{1}{s} - 1\right) = 0,8 \cdot \left(\frac{1}{0,05} - 1\right) = 15,2\Omega$$

(c) La figura muestra el circuito equivalente aproximado del motor reducido al estator:



(d) Tomando la tensión simple como referencia, se obtiene una corriente absorbida por fase de:

$$I_1 = \frac{220 \angle 0^\circ}{(0,8 + j6,4) + 15,2} = 12,77 A \angle -21,8^\circ$$

El módulo de la corriente de línea será:

$$I_{1L} = \sqrt{3} \cdot 12,77 A = 22,11 A$$

(e) La potencia mecánica útil del motor, al despreciar las pérdidas mecánicas, es igual a la potencia disipada en la resistencia de carga cuyo valor es:

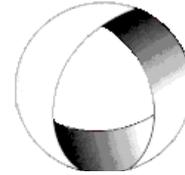
$$P_u = P_m = 3 \cdot 154,2 \cdot 12,77^2 = 7,436 kW$$



Ministerio de Cultura y Educación  
de la Nación  
Universidad Nacional de Cuyo  
Facultad de Ingeniería

## ELECTROTECNIA

### GABINETE PETRÓLEOS 2021 SOLUCIONES TRABAJO PRÁCTICO N°8 MOTOR ASÍNCRONO



EN ACCION CONTINUA

(f) La velocidad de sincronismo y velocidad de giro del motor son:

$$n_1 = \frac{50.60}{2} = 1500rpm$$

$$n = n_1 \cdot (1 - s) = 1500 \cdot (1 - 0,05) = 1425rpm$$

(g) El par desarrollado por el motor en estas condiciones es:

$$T = \frac{7436}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1425}{60}} = 49,83Nm$$

(h) El deslizamiento para el par máximo será:

$$s_m = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{cc}^2}} = \frac{0,8}{6,4} = 0,125$$

La velocidad correspondiente será:

$$n = 1500 \cdot (1 - 0,125) = 1312,5rpm$$

(i) Para este deslizamiento, la corriente que absorbe el motor por fase es:

$$I_1 = \frac{220 \angle 0^\circ}{0,8 + j6,4 + 0,8 \cdot \left(\frac{1}{0,125} - 1\right)} = 24,306A \angle -45^\circ$$

(j) La potencia mecánica desarrollada será:

$$P_m = 3 \cdot 24,306^2 = 9925,8W$$

$$T_m = \frac{9925,8}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1312,5}{60}} = 72,22Nm$$

(k) En las condiciones anteriores, la potencia eléctrica absorbida de la red es igual a la potencia mecánica más las pérdidas en el cobre del rotor (ya que el estator tiene una resistencia despreciable):

$$P_1 = 9925,8 + 3 \cdot 0,8 \cdot 24,306^2 = 11343,7W$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_1} = \frac{9925,8}{11343,7} = 87,5\%$$

**10.-** Un motor de inducción trifásico, tipo jaula, conectado en triángulo, cuando se conecta directamente a la línea de 415V, 50 Hz, absorbe una corriente de arranque de 120A por fase del estator. Calcular: a) la corriente de línea para arranque directo; b) la corriente de línea para: b1) arranque estrella triángulo; b2) arranque con autotransformador con salida al 70%.

(a) La corriente de línea para arranque directo en triángulo será:

$$I_{Al} = \sqrt{3} \cdot I_{Af} = \sqrt{3} \cdot 120A = 207,8A$$

(b) (b1) Para arranque estrella-triángulo, arranca en estrella, por lo tanto la corriente de línea sera igual que la de fase y dependerá de la tensión aplicada:

$$U_f = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{415V}{\sqrt{3}} = 239,6V \quad \text{Por ser conexión estrella.}$$

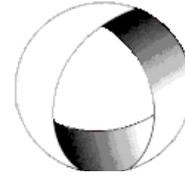


Ministerio de Cultura y Educación  
de la Nación  
Universidad Nacional de Cuyo  
Facultad de Ingeniería

# ELECTROTECNIA

## GABINETE PETRÓLEOS 2021

### SOLUCIONES TRABAJO PRÁCTICO N°8 MOTOR ASÍNCRONO



EN ACCION CONTINUA

La corriente también se reducirá  $\sqrt{3}$  veces la corriente de fase en conexión triángulo:

$$I_L = I_f = \frac{120A}{\sqrt{3}} = 69,3A$$

(b2) Con auto transformador la tensión aplicada a cada bobinado será el 70% de 415 V; por lo tanto la corriente de fase será el 70% de la corriente por fase en conexión triángulo:

$$I'_f = 0,7 \cdot I_{Af} = 0,7 \cdot 120A = 84A$$

La corriente de línea será:

$$I'_{AL} = \sqrt{3} \cdot I'_f = \sqrt{3} \cdot 84A = 145,5A$$

**11-**Un motor asincrónico trifásico de 4 polos, 25 CV 380 V, 50 Hz, tiene un par de arranque de 322 Nm. Determinar: a) el par de arranque si el motor arranca en estrella- triángulo, es decir a 220 V; b) tensión que debe aplicarse al estator para obtener un par de arranque igual al par de plena carga.

a) La expresión general del par en función de los parámetros de la máquina son:

$$M = \frac{30 \cdot m_1 \cdot \frac{R_{21}}{s} \cdot U_{1f}^2}{\pi \cdot n_1 \cdot \left( R_1 + \frac{R_{21}}{s} \right)^2 + (X_1 + X_{21})^2}$$

Que para el caso del arranque  $s=1 \Rightarrow M = \frac{30 \cdot m_1 \cdot R_{21} \cdot U_{1f}^2}{\pi \cdot n_1 \cdot (R_1 + R_{21})^2 + (X_1 + X_{21})^2}$

En definitiva, la expresión anterior indica que si no se modifica la impedancia del motor, el par de arranque es proporcional al cuadrado de la tensión aplicada. Por ello, si el par de arranque a 380 V vale 322 Nm, el par de arranque del motor con una tensión aplicada de 220 V se obtendrá de la relación siguiente:

$$\frac{322}{M'} = \left( \frac{380}{220} \right)^2 \Rightarrow M' = 107,93 Nm$$

b) En el caso de que el par de arranque tenga que ser igual al de plena carga, que vale 124 Nm, la tensión necesaria se obtiene de la relación:

$$\frac{124}{322} = \frac{V_1^2}{380^2} \Rightarrow V_1 = 380 \cdot \sqrt{\frac{124}{322}} = 235,81V$$

...—ooOoo—...