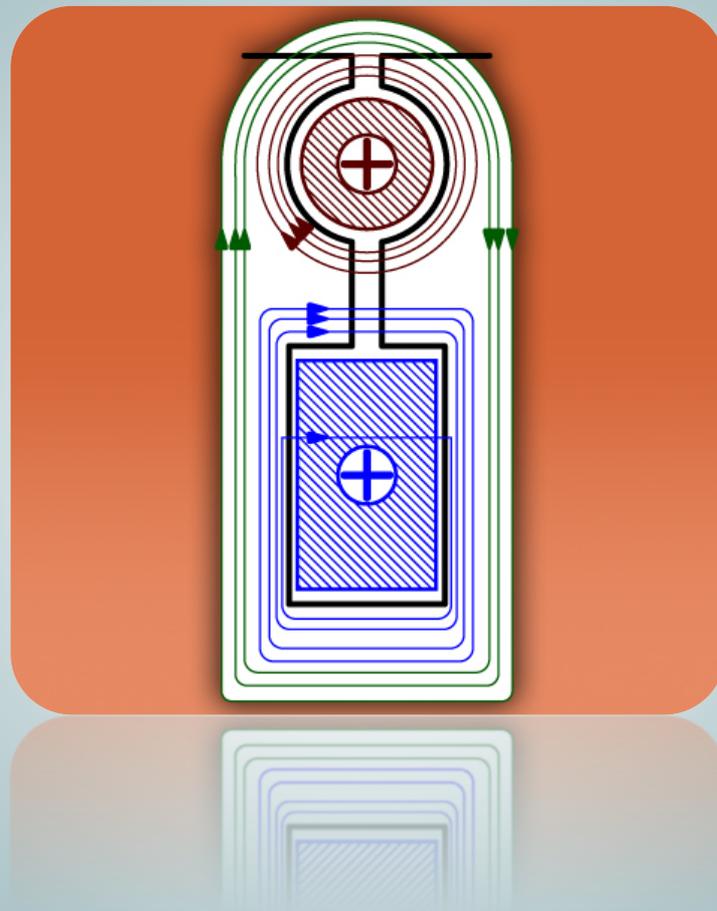


# Máquinas Eléctricas II

## Tema 2. Máquinas de corriente continua. Problemas propuestos



**Miguel Ángel Rodríguez Pozueta**

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

© 2018, Miguel Angel Rodríguez Pozueta

Universidad de Cantabria (España)

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

*This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.*



*Está permitida la reproducción total o parcial de este documento bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Unported que incluye, entre otras, la condición inexcusable de citar su autoría (Miguel Angel Rodríguez Pozueta - Universidad de Cantabria) y su carácter gratuito.*

*Puede encontrar más documentación gratuita en la página web del autor: <http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>*

**PROBLEMAS PROPUESTOS DE MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA**

**MÁQUINAS ELÉCTRICAS II**

- 1) Un generador de corriente continua con excitación shunt o derivación tiene una resistencia total del inducido de  $0,02 \Omega$  y a 600 r.p.m. da lugar a la siguiente curva de vacío:

Corriente de excitación $I_e$ :	1	2	3	4	5	6	7	8	A
Fuerza electromotriz $E_0$ :	23	45	67	85	100	112	121	126	V

En esta máquina se pueden despreciar la reacción de inducido y la caída de tensión en las escobillas. Calcular

- la corriente total que suministra esta máquina cuando gira a 600 r.p.m., la tensión en bornes es 120 V y la resistencia total del circuito de excitación es  $15 \Omega$ .
  - la nueva corriente total suministrada si la velocidad ahora es 700 r.p.m., la tensión en bornes es 144 V y la resistencia del circuito de excitación se incrementa en  $3 \Omega$ .
- 2) Un motor de corriente continua shunt de 2 polos tiene en el inducido un bobinado del tipo imbricado simple con un total de 600 conductores. El hilo utilizado para fabricar este bobinado tiene una resistencia de  $4 \Omega$ . Este motor no tiene polos auxiliares ni devanado de compensación y la resistencia de su inductor vale  $200 \Omega$ . Esta máquina funciona alimentada con 120 V, gira a 2000 r.p.m., lo que hace que su flujo útil sea  $0,005 \text{ Wb}$ .
- Aceptando que la reacción de inducido y la caída de tensión en las escobillas son despreciables, determinar:
- la intensidad total absorbida por el motor.
  - la potencia total consumida por el motor.
  - el par desarrollado.
  - la resistencia del reóstato de arranque si se desea que en el arranque la corriente total absorbida no sea superior al doble de la corriente calculada en el apartado a).
  - el par de arranque desarrollado cuando se emplea el reóstato del apartado anterior.
- 3) Un motor serie de 1000 V, 50 C.V. y 1000 r.p.m. consume una corriente de 38 A en condiciones asignadas. La resistencia total del inducido vale  $0,331 \Omega$ . Calcular:
- La resistencia del devanado de excitación.
  - El par asignado.
  - El nuevo valor del par si la corriente se reduce a 34 A y la máquina funciona en la zona lineal de la curva de magnetización (flujo directamente proporcional a la corriente).
  - Repetir el apartado anterior suponiendo que la máquina trabaja en la zona de saturación (flujo magnético prácticamente constante).
  - La nueva velocidad si el motor suministra el par asignado estando alimentado con 800 V.

**NOTA:** Se desprecian las pérdidas en el hierro y mecánicas, las caídas de tensión delga-escobilla y la reacción del inducido.

- 4) Un motor shunt de 200 V gira a 1000 r.p.m. absorbiendo una corriente en el inducido de 17,5 A. La resistencia del inductor vale 50  $\Omega$  y la del inducido 0,4  $\Omega$ . Se desea reducir la velocidad a 500 r.p.m. mediante la conexión de una resistencia en serie con el inducido, permaneciendo invariable la intensidad en el mismo.

Calcular:

- El valor de la resistencia a conectar.
- La intensidad que absorbe de la red de alimentación.
- ¿Qué relación existe entre los valores del par en la máquina antes y después de conectar la resistencia en serie con el inducido?  
Despreciar la reacción de inducido y la caída de tensión en las escobillas.

- 5) Un motor de excitación derivación o shunt tiene un inducido con una resistencia total de 0,2  $\Omega$  mientras que su devanado de excitación tiene una resistencia de 60  $\Omega$ . En condiciones asignadas consume una corriente total de 40 A, su tensión vale 120 V y la velocidad es 1800 r.p.m. La caída de tensión entre delgas y escobillas de esta máquina vale 3 V y se desprecian las pérdidas en el hierro y mecánicas.

Determinar:

- La velocidad a media carga, es decir, cuando suministra un par igual a la mitad del par asignado.
- La velocidad cuando hay una sobrecarga del 25% en la corriente del inducido.

- 6) Un motor shunt tiene su inducido conectado a una tensión de 230 V y está girando a 1200 r.p.m. moviendo una carga que le obliga a consumir una corriente de 50 A en el inducido. Las corrientes en el inducido en vacío y a plena carga son, respectivamente, 5 A y 58 A. La resistencia total del inducido vale 0,15  $\Omega$  y la del circuito de excitación vale 230  $\Omega$ .

- Si el efecto de la reacción del inducido hace que el flujo disminuya en un 2% desde vacío a la carga de 50 A, calcular la velocidad en vacío.
- ¿Cuánto vale la intensidad total consumida por el motor en el arranque si se le conecta directamente a la tensión de 230 V?
- ¿Cuánto debe valer la resistencia de arranque para que la corriente total consumida por el motor en el arranque no supere a la total que consume en marcha asignada en más de un 25%?

Se desprecia la caída de tensión entre delga y escobilla.

- 7) Un motor serie que presenta una resistencia total de 1  $\Omega$  entre terminales y una caída de tensión en las escobillas de 2 V mueve un ventilador cuyo par varía con el cuadrado de la velocidad. A 220 V gira a 300 r.p.m. y absorbe 25 A. Ahora se desea que el motor gire a 400 r.p.m. para lo cual se le aumenta la tensión de alimentación.

Calcular la tensión y la corriente de la máquina si:

- El circuito magnético está saturado y, en consecuencia, se puede aceptar que el flujo magnético permanece constante aunque varíe la corriente.
- El circuito magnético está lejos de la saturación de tal manera que se puede aceptar que el flujo magnético varía linealmente con la corriente.

Despreciar la reacción de inducido.

- 8) Un motor derivación de 240 V tiene una resistencia total de inducido (incluyendo los devanados auxiliares) de  $0,04 \Omega$  y una resistencia de campo o excitación de  $100 \Omega$ .
- Hallar el valor de la resistencia a conectar en serie con el circuito inductor para incrementar la velocidad de 1200 a 1500 r.p.m. cuando la corriente total de alimentación sea de 200 A. Hallar también el par para ambas velocidades.
  - Hallar el nuevo par y el valor de la resistencia conectada en serie con el inducido, supuesto el circuito inductor sin ninguna resistencia adicional, para reducir la velocidad de 1200 a 1000 r.p.m. si la corriente total vale 200 A.
  - Hallar el valor de la resistencia de arranque necesaria para que la corriente total de arranque no supere los 300 A. Calcular el par correspondiente.
- NOTA:** La curva de magnetización se supone lineal y se desprecia la caída de tensión delga-escobilla.
- 9) Un motor serie de 240 V tiene una resistencia total de  $0,2 \Omega$ . A la velocidad de 1800 r.p.m. absorbe 40 A. Si se desprecian la caída de tensión delga-escobilla y las pérdidas en el hierro y mecánicas:
- Hallar la resistencia que debe añadirse en serie con el motor para limitar la velocidad a 3600 r.p.m. cuando la corriente sea de 10 A, suponiendo que el flujo es proporcional a la corriente cuando está comprendida entre 10 y 40 A.
  - Obtener la resistencia a conectar en serie con esta máquina para que la velocidad sea de 900 r.p.m. para una corriente de 60 A, sabiendo que el flujo a 60 A es un 18% mayor que el flujo a 40 A.
  - ¿A qué velocidad girará el motor cuando se le conecte directamente a la línea y absorba 60 A?
  - ¿Cuál será el par que dará este motor cuando la corriente es de 40 A?
- 10) Un motor serie de corriente continua de 200 V, 10 A y 1000 r.p.m. tiene un inducido cuya resistencia total vale  $0,5 \Omega$  y su excitación presenta una resistencia de  $0,3 \Omega$ . Calcular:
- La potencia útil y el par asignados.
  - La corriente y la velocidad si el par se reduce a la mitad manteniendo constante la tensión de 200 V. Suponer que el motor trabaja en la zona lineal de la curva de magnetización (flujo directamente proporcional a la corriente).
  - La tensión de alimentación del motor para que su velocidad se mantenga igual a la velocidad asignada cuando el par se reduce a la mitad del par asignado.
  - La resistencia del reóstato de arranque (que se conecta en serie con el motor) para conseguir que el motor no consuma más de 20 A cuando arranca conectado a su tensión asignada (200 V).
- NOTA:** Se desprecian las pérdidas mecánicas y en el hierro, las caídas de tensión delga-escobilla y la reacción de inducido.

- 11)** Un motor tipo serie se le hace trabajar en la zona lineal de la curva de magnetización, de forma que el flujo es directamente proporcional a la corriente. Su resistencia de excitación vale  $0,5 \Omega$  y la resistencia total del inducido vale  $1 \Omega$ . Cuando está en marcha asignada está conectado a  $1000 \text{ V}$ , consume  $10 \text{ A}$  y gira a  $1000 \text{ r.p.m.}$  Calcular:
- La f.c.e.m. (fuerza contraelectromotriz)  $E$ , la potencia electromagnética  $P_{em}$  y el par  $M$  en condiciones asignadas.
  - La velocidad a la que girará el motor si debe proporcionar un par de valor mitad del asignado y la tensión de alimentación se reduce a  $800 \text{ V}$ .
  - El valor de la resistencia del reóstato de arranque para conseguir una intensidad de arranque no superior a  $15 \text{ A}$  cuando el motor está conectado a  $1000 \text{ V}$ .
- NOTAS:** Se desprecian la caída de tensión delga-escobilla y las pérdidas en el hierro y mecánicas. Se supone que el devanado de compensación anula totalmente la reacción de inducido.
- 12)** Un motor serie de corriente continua de  $2000 \text{ V}$  y  $1000 \text{ r.p.m.}$  consume  $20 \text{ A}$  en condiciones asignadas. La caída de tensión entre delga y escobilla es de  $0,7 \text{ V}$ , la resistencia total de la máquina (inductor + inducido + devanados auxiliares) es de  $1 \Omega$ . Si el efecto de la reacción de inducido es despreciable, calcular:
- El par asignado cuando se desprecian las pérdidas en el hierro y mecánicas.
  - La nueva corriente y la nueva velocidad si el par que debe vencer la máquina se reduce a la mitad del asignado y se supone que la máquina trabaja en la zona lineal de la curva de magnetización y, por lo tanto, el flujo magnético es proporcional a la intensidad.
  - La tensión de alimentación necesaria para reducir la velocidad a  $800 \text{ r.p.m.}$  si el par se conserva igual al asignado.
  - Resistencia del reóstato de arranque para que la corriente de arranque no sea superior a  $1,5$  veces la intensidad asignada.
- 13)** Un motor de corriente continua de excitación independiente tiene un devanado inductor de resistencia igual a  $400 \Omega$ , una resistencia total del inducido (resistencia del inducido más la de los devanados auxiliares) de  $1 \Omega$  y su caída de tensión entre una delga y una escobilla vale  $0,8 \text{ V}$ . Sus devanados auxiliares anulan totalmente la reacción de inducido y se pueden despreciar las pérdidas magnéticas y mecánicas. En condiciones asignadas el inductor se alimenta con  $400 \text{ V}$  y el inducido con  $200 \text{ V}$ , la máquina gira a  $1000 \text{ r.p.m.}$  y la corriente en el rotor es de  $20 \text{ A}$ .
- Si la máquina funciona en la zona lineal de la curva de magnetización (flujo proporcional a la corriente inductora) para corrientes de excitación comprendidas entre  $0$  y  $0,9 \text{ A}$  y con saturación (flujo constante e igual al flujo asignado) para corrientes de excitación mayores que  $0,9 \text{ A}$ , calcular:
- El valor al que hay que reducir la tensión del inducido (manteniendo constante la tensión del inductor e igual a  $400 \text{ V}$ ) para que la máquina gire a  $700 \text{ r.p.m.}$ , si la carga mecánica a mover tiene un par proporcional al cuadrado de la velocidad.
  - La resistencia que hay que colocar en serie con el inductor para aumentar su velocidad a  $1200 \text{ r.p.m.}$  si tanto el inducido como el inductor se alimentan con sus respectivas tensiones asignadas y la carga mecánica a vencer es la misma que en el apartado anterior.
  - El par asignado.
  - La resistencia de arranque necesaria para que la máquina no consuma más de  $30 \text{ A}$  en el inducido al arrancar con sus devanados conectados a sus respectivas tensiones asignadas.

**14)** Un motor de corriente continua serie tiene estas características asignadas:

$$V_N = 200 \text{ V} \quad I_N = 30 \text{ A} \quad n_N = 1000 \text{ r.p.m.} \quad R_i = 1 \Omega \quad R_e = 0,3 \Omega$$

La caída de tensión delga-escobilla, la reacción de inducido y las pérdidas mecánicas y magnéticas son despreciables. La curva de magnetización sigue esta ley:

$$\begin{aligned} I \leq 25 \text{ A} & \quad \phi = 0,00036 I \text{ (zona lineal)} \\ I > 25 \text{ A} & \quad \phi = 0,01 (0,4 + 0,02 I) \text{ (zona saturada)} \end{aligned}$$

- a) Calcular el par de arranque directo a una tensión de 60 V.
  - b) Determinar la resistencia que hay que conectar en serie con el motor para que, estando conectado a su tensión asignada, gire a 700 r.p.m. cuando debe mover una carga cuyo par es proporcional al cuadrado de la velocidad y que demanda el par asignado cuando la velocidad es la asignada.
  - c) Calcular la velocidad si la máquina suministra el par asignado alimentada a 150 V.
  - d) Calcular la resistencia de arranque necesaria para limitar la corriente de arranque a un máximo de 1,5 veces la corriente asignada.
- 15)** Una máquina serie de corriente continua funciona en condiciones asignadas a 200 V, 3000 r.p.m. y 50 A y tiene una resistencia total (inductor+inducido+devanados auxiliares) de 0,3  $\Omega$ . La caída de tensión entre una delga y una escobilla vale 0,9 V. La carga que mueve este motor tiene un par que varía proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad y demanda el par asignado a la velocidad asignada. Si se desprecian las pérdidas magnéticas y mecánicas y se acepta que el flujo varía linealmente con la corriente, calcular:
- a) El par asignado.
  - b) La tensión de alimentación para reducir la velocidad a 2000 r.p.m. Calcular el par y la corriente a dicha velocidad.
  - c) La resistencia a conectar en serie con el motor si se quiere alcanzar la velocidad de 2000 r.p.m. manteniendo constante la tensión de 200 V.
  - d) La resistencia del reóstato de arranque para que la intensidad de arranque no sea superior a 80 A.
  - e) Estando este motor funcionando en condiciones asignadas se invierten bruscamente las conexiones del inducido (inversión brusca del sentido de giro). ¿Cuál será la corriente en el momento de efectuar la inversión si el flujo permanece constante durante la manera debido a la saturación magnética?
- 16)** Un motor shunt o derivación de corriente continua en condiciones asignadas gira a 1000 r.p.m., consume 10 A y está a una tensión de 1000 V. La resistencia del devanado de excitación es de 1000  $\Omega$  y la del inducido 2  $\Omega$ . Si se desprecian las pérdidas magnéticas y mecánicas, la tensión delga-escobilla y la reacción del inducido, calcular.
- a) El par asignado.
  - b) La velocidad a la que girará cuando está a la tensión asignada y la carga a vencer tiene un par que varía linealmente con la velocidad según la ley
 
$$M = 0,1 n \quad (M \text{ en Nm y } n \text{ en r.p.m.)}$$
  - c) La velocidad a la que girará si debe vencer un par constante e igual al asignado y se coloca una resistencia en serie con el inducido de 10  $\Omega$ . La máquina se conecta a una tensión de 1000 V.
  - d) La resistencia de arranque necesaria para que la máquina no consuma más de 20 A al arrancar.

- 17)** Un motor shunt de corriente continua funciona en condiciones asignadas cuando gira a 5000 r.p.m., consume 32 A y está alimentado a 200 V. Su resistencia del inductor es de  $100 \Omega$  y la total del inducido es de  $0,33 \Omega$ .

Si se desprecian las pérdidas magnéticas y mecánicas, la reacción de inducido y la caída de tensión en las escobillas, calcular:

- La corriente y la velocidad que gira cuando mueve una carga cuyo par no varía con la velocidad y vale  $7,63 \text{ Nm}$ .
  - La resistencia a conectar en serie con el inducido para reducir la velocidad a 3000 r.p.m. si la carga a mover es la misma del apartado anterior.
  - La resistencia a conectar en serie con el inductor para aumentar la velocidad a 5500 r.p.m. si mueve la misma carga que en el apartado anterior y se supone que el flujo varía linealmente con la corriente de excitación.
  - La resistencia del reóstato de arranque para que la corriente en el arranque no sea mayor que 47 A.
- 18)** Un motor de corriente continua de excitación independiente tiene estos parámetros y valores asignados:

$$\begin{array}{llll} \text{Inducido:} & V_N = 300 \text{ V} & I_N = 15 \text{ A} & n_N = 1000 \text{ r.p.m.} & R_i = 2 \Omega \\ \text{Inductor:} & V_{eN} = 200 \text{ V} & I_{eN} = 2 \text{ A} & & \end{array}$$

Su curva de magnetización se puede suponer lineal hasta una corriente excitación de 1,8 A. Para excitaciones superiores la máquina se satura y el flujo se puede aceptar que permanece constante e igual al flujo en condiciones asignadas.

En esta máquina se pueden despreciar las pérdidas mecánicas y magnéticas, el efecto de la reacción de inducido y la caída de tensión entre delgas y escobillas.

- Calcular la f.e.m. en el inducido y el par en condiciones asignadas. ¿Cuánto vale la resistencia  $R_e$  del inductor?
- Si el motor mueve una carga que sigue esta ley:

$$M = 0,05156 n + 7,73 \quad (M \text{ en Nm y } n \text{ en r.p.m.)}$$

¿cuál será la velocidad del motor cuando ambos devanados se alimentan a sus tensiones asignadas?

- Si ahora el motor mueve una carga con un par resistente constante e igual al asignado, ¿a qué valor habrá que reducir la tensión del inducido (dejando la tensión del inductor igual a la asignada (200 V)) para que la velocidad baje a 800 r.p.m.?
- Si ahora el motor mueve la misma carga que en el apartado anterior manteniendo la tensión asignada (300 V) en el inducido, ¿a qué valor habrá que reducir la tensión en la excitación para que la velocidad del motor valga 1200 r.p.m.?
- Calcular la tensión que hay que aplicar en el inducido para que la corriente en el arranque no sea superior a 25 A, cuando no se utiliza ningún reóstato de arranque.

PROBLEMAS PROPUESTOS DE MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

- 19)** Un motor serie de corriente continua de 400 V y 1500 r.p.m. consume 10 A en condiciones asignadas. La caída de tensión entre delga y escobilla es de 1 V y la resistencia total de la máquina (inductor + inducido + devanados auxiliares) es de  $2 \Omega$ . Este motor mueve una carga cuyo par varía proporcionalmente a la velocidad y que demanda el par asignado del motor a la velocidad asignada. Se pueden desprestigiar las pérdidas mecánicas y magnéticas de esta máquina.
- Calcular la tensión con que se debe alimentar este motor para que gire a 1200 r.p.m. si la máquina está saturada (el flujo permanece constante).
  - Repetir el cálculo anterior si la máquina está funcionando en la zona lineal de la curva de magnetización (con el flujo proporcional a la corriente).
  - Calcular el par asignado.
  - Calcular la resistencia del reóstato de arranque para que la intensidad de arranque a la tensión de 400 V sea de 12 A.

- 20)** Un motor de corriente continua de excitación serie tiene estos parámetros y valores asignados:

$$V_N = 500 \text{ V} \quad I_N = 10 \text{ A} \quad n_N = 750 \text{ r.p.m.} \quad R_i = 1 \Omega$$

En esta máquina se pueden desprestigiar las pérdidas mecánicas y magnéticas, el efecto de la reacción de inducido y la caída de tensión entre delgas y escobillas.

- Calcular la f.e.m. en el inducido, el par y la potencia absorbida de la red en condiciones asignadas.

Suponiendo que la máquina funciona en la zona lineal de la curva de magnetización (luego se cumple que  $\Phi = K_I I$ ) y que debe vencer un par resistente constante de 45 Nm, calcular:

- La velocidad y la corriente del motor cuando se alimenta a su tensión asignada.
- Tensión de alimentación para reducir la velocidad a un 70% de la asignada.
- Si se quiere reducir la velocidad al 70% de la asignada manteniendo la tensión igual a la asignada ¿Qué resistencia hay que introducir en serie con el motor?
- Calcular la tensión que hay que aplicar al motor para que la corriente en el arranque no sea superior a 20 A si no se utiliza ningún reóstato de arranque.

- 21)** Un motor de corriente continua de excitación shunt o derivación tiene estos parámetros y valores asignados:

$$V_N = 200 \text{ V} \quad I_N = 25 \text{ A} \quad n_N = 800 \text{ r.p.m.} \quad R_i = 0,45 \Omega \quad R_e = 200 \Omega$$

En esta máquina se pueden desprestigiar las pérdidas mecánicas y magnéticas, el efecto de la reacción de inducido y la caída de tensión entre delgas y escobillas. Calcular:

- La f.e.m. en el inducido y el par en condiciones asignadas.
- Velocidad cuando este motor se alimenta a su tensión asignada y debe desarrollar la mitad del par asignado.
- La resistencia a colocar en serie con el inducido para reducir la velocidad a 600 r.p.m. cuando el motor mueve el par asignado y está alimentado a la tensión asignada.
- La tensión que hay que aplicar al motor para que la corriente en el arranque no sea superior a 40 A si no se utiliza ningún reóstato de arranque.

**SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS PROPUESTOS DE MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA**

- 1) a) 292 A      b) 142 A
- 2) a) 20,6 A      b) 2472 W      c) 9,55 Nm      d) 1,96  $\Omega$       e) 19,39 Nm
- 3) a) 0,5  $\Omega$       b) 351,4 Nm      c) 281,3 Nm      d) 314,4 Nm      e) 793,5 r.p.m.
- 4) a) 5,51  $\Omega$       b) 21,5 A      c) Iguales      d) 7,6  $\Omega$
- 5) a) 1862 r.p.m.      b) 1769 r.p.m.      c) 2,88  $\Omega$       d) 587 A
- 6) a) 1213 r.p.m.      b) 1534,3 A      c) 3  $\Omega$
- 7) a) 303,14 V      b) 378,9 V
- 8) a) 25  $\Omega$ ; 365 Nm para 1200 r.p.m.; 292,7 Nm para 1500 r.p.m.  
b) 0,20  $\Omega$ ; 365 Nm      c) 0,77  $\Omega$ ; 550 Nm
- 9) a) 12,2  $\Omega$       b) 1,52  $\Omega$       c) 1500 r.p.m.      d) 49,23 Nm
- 10) a) 1920 W; 18,33 Nm      b) 7,07 A; 1431,5 r.p.m.  
c) 141,42 V      d) 9,2  $\Omega$
- 11) a) 985 V; 9850 W; 94 Nm      b) 1129 r.p.m.      c) 65,2  $\Omega$
- 12) a) 378,15 Nm      b) 14,14 A; 1418,4 r.p.m.      c) 1604,28 V      d) 65,62  $\Omega$
- 13) a) 136,28 V      b) 195,32  $\Omega$       c) 34,07 Nm      d) 5,67  $\Omega$
- 14) a) 93,86 Nm      b) 4,54  $\Omega$       c) 689 r.p.m.      d) 3,14  $\Omega$
- 15) a) 29,2 Nm      b) 93,2 V; 33,3 A; 13 Nm      c) 3,21  $\Omega$       d) 2,2  $\Omega$
- 16) a) 84,4 Nm      b) 1042,2 r.p.m.      c) 908,4 r.p.m.      d) 50,63  $\Omega$
- 17) a) 23 A; 5079 r.p.m.      b) 3,76  $\Omega$       c) 8,62  $\Omega$   
d) 4,11  $\Omega$
- 18) a) 270 V; 38,7 Nm      b) 948,4 r.p.m.      c) 246 V  
d) 146 V      e) 50 V
- 19) a) 320,4 V      b) 290,4 V      c) 24,1 Nm      d) 31,2  $\Omega$
- 20) a) 490 V; 62,4 Nm; 5000 W      b) 885 r.p.m.; 8,5 A      c) 300 V  
d) 233,5  $\Omega$       e) 20 V
- 21) a) 189 V; 54,2 Nm      b) 823 r.p.m.      c) 1,97  $\Omega$       d) 18 V