



Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona

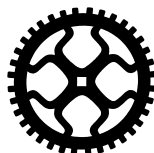
Teoria de Màquines

Problemes elementals de treball i potència

Salvador Cardona

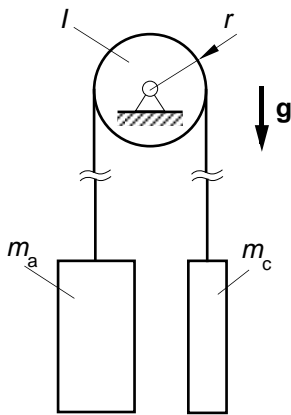
Daniel Clos

1998



Departament d'Enginyeria Mecànica

EXERCICI 4-1

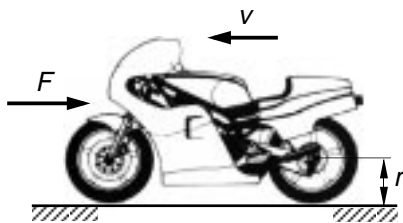


| | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| $m_a = 700 \text{ kg}$ | $m_c = 500 \text{ kg}$ | $I = 8,68 \text{ kg m}^2$ |
| $r = 250 \text{ mm}$ | $g = 10 \text{ m / s}^2$ | $v = 1,2 \text{ m / s}$ |

La figura representa l'esquema d'un ascensor de massa $m_a = 700 \text{ kg}$ amb el seu contrapès de massa $m_c = 500 \text{ kg}$. La inèrcia del cable és negligible i la inèrcia del motor, el reductor i la politja referida (o reduïda) a l'eix de la politja és equivalent a un moment d'inèrcia $I = 8,68 \text{ kg m}^2$. El cable no rrellisca sobre la politja que és de radi $r = 250 \text{ mm}$. Si l'ascensor puja amb velocitat constant $v = 1,2 \text{ m/s}$, determineu:

- La velocitat angular de la politja.
- L'energia cinètica del conjunt.
- El parell i la potència del motor.

EXERCICI 4-2



| | | |
|------------------------|--------------------------|--|
| $m = 250 \text{ kg}$ | $I_r = 2 \text{ kg m}^2$ | $r = 0,3 \text{ m}$ |
| $v = 108 \text{ km/h}$ | $F = 800 \text{ N}$ | $n_{\text{mot}} = 3600 \text{ min}^{-1}$ |

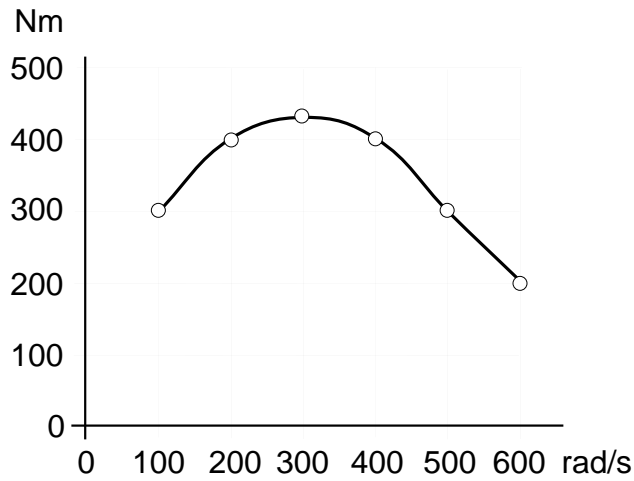
Una moto avança per una pista horitzontal a velocitat constant $v = 108 \text{ km/h}$. Les rodes mantenen contacte sense lliscament amb la pista i es consideren del mateix radi, $r = 0,3 \text{ m}$, i del mateix moment axial d'inèrcia $I_R = 2 \text{ kg m}^2$. La massa total de la moto amb el pilot és $m = 250 \text{ kg}$. Determineu:

- La velocitat angular de les rodes.
- L'energia cinètica de la moto.

Si en les condicions citades les resistències passives són equivalents a una força de mòdul $F = 800 \text{ N}$ que s'oposa a l'avanç i el motor gira a $n_{\text{motor}} = 3600 \text{ min}^{-1}$, determineu:

- La potència desenvolupada pel motor.
- El parell motor

EXERCICI 4-3



La corba de la figura esquematitza el parell que genera un motor funció de la seva velocitat d'angular.

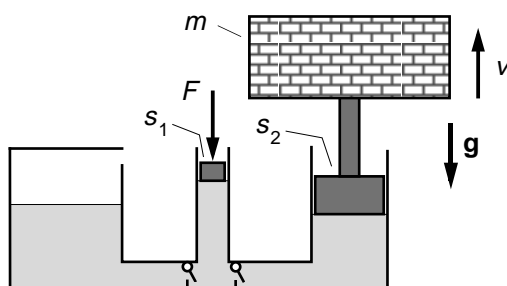
- Determineu la potència del motor a les velocitats angulars indicades
- Esquematzieu la corba de potència funció de la velocitat angular.

EXERCICI 4-4

Un vehicle circula amb velocitat constant $v = 50 \text{ km/h}$ per una carretera horitzontal. En aquestes condicions el motor desenvolupa una potència $P_m = 30 \text{ kW}$ i gira a $n_{\text{motor}} = 3600 \text{ min}^{-1}$. El diàmetre de les rodes del vehicle és $d = 600 \text{ mm}$. Determineu:

- La relació de transmissió $\tau = \omega_{\text{rodes}} / \omega_{\text{motor}}$.
- La força que s'oposa a l'avanç a causa de les resistències passives.
- El parell motor.

EXERCICI 4-5

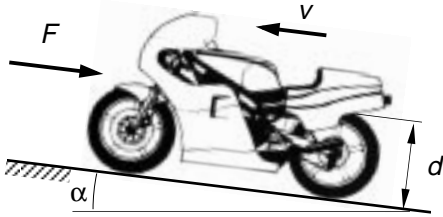


| | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------|
| $s_1 = 5 \text{ cm}^2$ | $s_2 = 400 \text{ cm}^2$ | $v = 2 \text{ m/s}$ |
| $m = 4000 \text{ kg}$ | $g = 10 \text{ m/s}^2$ | $\eta = 0,8$ |

La figura representa un elevador hidràulic. La secció de l'èmbol de la bomba d'accionament és $s_1 = 5 \text{ cm}^2$ i la de l'èmbol de treball és $s_2 = 400 \text{ cm}^2$. La càrrega que mou és $m = 4000 \text{ kg}$. (El pes del fluid és negligible). Determineu:

- El mòdul de la força mínima F a l'èmbol d'accionament per aixecar la càrrega.
- La potència de la bomba d'accionament per aixecar la càrrega a velocitat $v = 0,2 \text{ m/s}$ si el rendiment de l'elevador és $\eta = 0,8$.

EXERCICI 4-6



| | | |
|----------------------|--|------------------------|
| $m = 250 \text{ kg}$ | $d = 0,6 \text{ m}$ | $v = 108 \text{ km/h}$ |
| $F = 800 \text{ N}$ | $n_{\text{mot}} = 4200 \text{ min}^{-1}$ | |

Una moto de massa total $m = 250 \text{ kg}$ (amb el pilot inclòs) circula amb velocitat constant $v = 108 \text{ km/h}$ per una carretera que puja amb un pendent del 10%. A aquesta velocitat la velocitat de rotació del motor és $n_{\text{motor}} = 4200 \text{ min}^{-1}$. El diàmetre de les rodes és $d = 0,6 \text{ m}$ i les resistències passives són equivalents a una força que s'oposa a l'avanç $F = 800 \text{ N}$. Determineu:

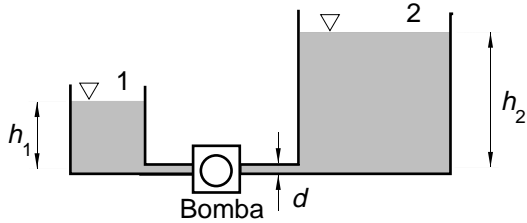
- La relació de transmissió $\tau = \omega_{\text{rodes}} / \omega_{\text{motor}}$.
 - La potència del motor per vèncer les resistències passives.
 - La potència del motor per vèncer el pendent.
 - El parell motor.
- (Preneu $g = 10 \text{ m/s}^2$ i $\sin(\alpha) = 0,1$ essent α l'angle que forma la carretera amb l'horitzontal)

EXERCICI 4-7

Un vehicle de massa $m = 1200 \text{ kg}$, circula amb velocitat constant $v = 90 \text{ km/h}$ per una carretera que puja amb un pendent del 10%. Les resistències passives són equivalents a una força que s'oposa a l'avanç de mòdul $F = 1500 \text{ N}$, el diàmetre de les rodes és $d = 500 \text{ mm}$ i la relació de transmissió $\tau = \omega_{\text{rodes}} / \omega_{\text{motor}}$ és $\tau = 0,25$. Determineu:

- La velocitat de rotació del motor en min^{-1} .
 - La potència del motor per vèncer les resistències passives.
 - La potència del motor per vèncer el pendent.
 - El parell motor.
- (Preneu $g = 10 \text{ m/s}^2$ i $\sin(\alpha) = 0,1$ essent α l'angle que forma la carretera amb l'horitzontal)

EXERCICI 4-8

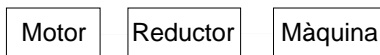


| | | |
|----------------------|----------------------------|------------------------|
| $h_1 = 1 \text{ m}$ | $h_2 = 2 \text{ m}$ | $d = 100 \text{ mm}$ |
| $q = 10 \text{ l/s}$ | $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$ | $g = 10 \text{ m/s}^2$ |

En el sistema hidràulic de la figura la bomba fa un transvasament d'aigua del dipòsit 1 al 2. L'alçada del fluid en un cert instant és $h_1 = 1 \text{ m}$ i $h_2 = 2 \text{ m}$ i el cabal és $q = 10 \text{ l/s}$. Preneu $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$ i determineu:

- L'increment de pressió que ha de generar la bomba.
- La potència de la bomba.

EXERCICI 4-9



| | |
|-------------------------------------|---|
| $P_{\text{màquina}} = 2 \text{ kW}$ | $n_{\text{màquina}} = 100 \text{ min}^{-1}$ |
| $\eta_{\text{reductor}} = 0,8$ | $n_{\text{motor}} = 750 \text{ min}^{-1}$ |

En una màquina cal una potència a l'eix d'entrada $P_{\text{màquina}} = 2 \text{ kW}$ i una velocitat de rotació $n_{\text{màquina}} = 100 \text{ min}^{-1}$. Es disposa d'un motor que gira a $n_{\text{motor}} = 750 \text{ min}^{-1}$ i d'un reductor amb un rendiment $\eta_{\text{reductor}} = 80 \%$. Determineu:

- La relació de reducció entre el motor i la màquina, introduïda pel reductor.
- La potència del motor.
- El parell a l'eix del motor.
- El parell a l'eix d'entrada de la màquina.

EXERCICI 4-10

Un vehicle amb una determinada marxa té una relació de transmissió $\tau = 0,2$ entre l'eix del motor i l'eix de les rodes i aquestes són de diàmetre $d = 0,6 \text{ m}$. El rendiment de la transmissió (caixa de canvis, diferencial, etc.) és $\eta = 0,75$. En un cert instant el motor gira a $n_{\text{motor}} = 3000 \text{ min}^{-1}$ i genera un parell motor $\Gamma_m = 100 \text{ N m}$. Determineu:

- La velocitat d'avanç del vehicle.
- La potència generada pel motor.
- El parell a l'eix de les rodes.

EXERCICI 4-11

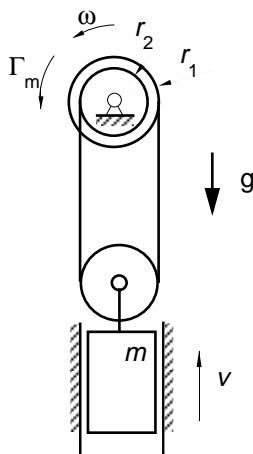
La inèrcia d'una màquina referida (o reduïda) a l'eix d'entrada és equivalent a un moment d'inèrcia $I = 5 \text{ kg m}^2$. Les resistències passives de la màquina també referides (o reduïdes) a l'eix d'entrada equivalen a un parell resistent $\Gamma_r = 5 \text{ N m}$. En el moment d'accelerar el motor subministra un parell $\Gamma_m = 20 \text{ N m}$, determineu:

- a) L'acceleració angular α de l'eix d'entrada.

Una vegada aconseguida la velocitat de règim $n = 1200 \text{ min}^{-1}$ el motor passa a subministrar el parell necessari per a mantenir-la. En aquestes condicions determineu:

- b) La potència del motor.
c) L'energia cinètica acumulada a la màquina.

EXERCICI 4-12

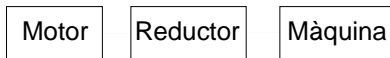


El sistema de poltges de la figura és un ternal diferencial. Les poltges superiors són solidàries i el cable està col·locat de manera que quan es desenrotlla d'una s'enrotlla a l'altre. Un motor acciona directament aquestes poltges, i el bloc de massa $m = 10 \text{ kg}$ puja amb velocitat constant $v = 2 \text{ m/s}$, determineu:

- a) La tensió del cable.
b) La velocitat angular ω .
c) La potència i el parell del motor.

| | |
|------------------------|-----------------------|
| $r_1 = 100 \text{ mm}$ | $r_2 = 80 \text{ mm}$ |
| $v = 2 \text{ m/s}$ | $m = 10 \text{ kg}$ |

EXERCICI 4-13



| | |
|-------------------------------------|--|
| $P_{\text{màquina}} = 1 \text{ kW}$ | $n_{\text{motor}} = 3000 \text{ min}^{-1}$ |
| $\eta_{\text{reductor}} = 0,8$ | $i_{\text{reductor}} = 10$ |

Una màquina està accionada per un motor a través d'un reductor. El motor té una velocitat de rotació $n_{\text{motor}} = 3000 \text{ min}^{-1}$ i la potència que subministra és $P_{\text{motor}} = 1 \text{ kW}$. El rendiment del reductor és $\eta_{\text{reductor}} = 80 \%$ i la relació de reducció és $i = 10$. Determineu per a l'eix d'entrada de la màquina:

- La velocitat de rotació.
- La potència.
- El parell.

EXERCICI 4-14

Un automòbil avança per terreny horitzontal a $v = 108 \text{ km/h}$. Per mantenir la velocitat constant el motor ha de desenvolupar una potència de $P_{\text{motor}} = 60 \text{ kW}$.

- Quina és la resultant de les resistències passives expressades com a forces que s'oposen a l'avanç del vehicle?

Si les resistències passives són proporcionals al quadrat de la velocitat,

- Quina potència li caldria per circular a $v' = 54 \text{ km/h}$?

Solucions

- E 4-1** a) La velocitat de l'ascensor és igual a la velocitat perifèrica de la politja ja que el cable no rellisca respecte a aquesta així doncs

$$\omega(\text{politja}) = \omega_p = v/r = 4,8 \text{ rad / s}$$

$$\text{b) } T = \frac{1}{2} m_a v^2 + \frac{1}{2} m_c v^2 + \frac{1}{2} I \omega_p^2 = 964 \text{ J}$$

- c) Sobre la politja actuen: les forces a l'articulació O, el pes, la tensió de la corda en cada ramal (causada pel pes de l'ascensor i del contrapès) i el parell motor Γ_m . Es pren el sentit de rotació horari positiu. Com que la politja gira amb velocitat angular constant

$$\sum M(O) = 0 \text{ i per tant } \Gamma_m - m_a g r + m_c g r = 0 \text{ d'on } \Gamma_m = 500 \text{ Nm.}$$

$$\text{La potència del motor és } P_m = \Gamma_m \omega_p = 2400 \text{ W.}$$

- c') En el balanç d'energia intercanviada pel sistema politja-ascensor-contrapès amb l'exterior intervien: el treball fet pel pes de l'ascensor i del contrapès i l'energia subministrada pel motor E_m . Com que l'energia cinètica es manté constant en ser-ho la velocitat el balanç d'energia és

$$\sum E|_1^2 = 0 \text{ o si es considera només un instant el balanç de potències és}$$

$$\sum P = 0 \text{ i per tant } -m_a g r + m_c g r + P_m = 0 \text{ d'on } P_m = 2400 \text{ W.}$$

$$\text{El parell motor és } \Gamma_m = P_m / \omega = 500 \text{ Nm.}$$

- E 4-2** a) $v = 108/3,6 = 30 \text{ m / s}$, $\omega(\text{rodes}) = \omega_p = v/r = 100 \text{ rad / s}$.

$$\text{b) } T = m v^2 / 2 + 2(I_R \omega^2 / 2) = 132,5 \text{ kJ.}$$

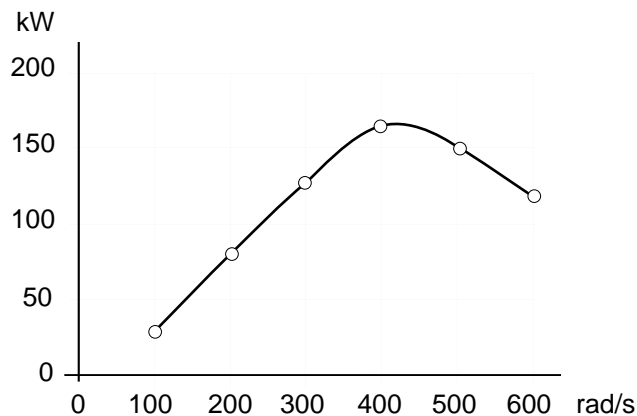
- c) En el balanç d'energia intercanviada per la moto amb l'exterior intervien: el treball fet per les resistències passives i l'energia subministrada pel motor. Com que l'energia cinètica es manté constant en ser-ho la velocitat el balanç d'energia és

$$\sum E|_1^2 = 0 \text{ o si es considera només un instant el balanç de potències és}$$

$$\sum P = 0 \text{ i per tant } P_m - F v = 0 \text{ d'on } P_m = 24 \text{ kW.}$$

- d) $\omega_m = (3600/60)2\pi = 120\pi \text{ rad / s}$, $\Gamma_m = P_m / \omega_m = 83,66 \text{ Nm}$.

E 4-3 La potència del motor és $P_m = \Gamma_m \omega$.



E 4-4 a) $\omega_{\text{rodes}} = v/(d/2) = 50 \text{ rad/s}$, $\omega_{\text{motor}} = (3600/60)2\pi = 120\pi \text{ rad/s}$

$$\tau = \omega_{\text{rodes}}/\omega_{\text{motor}} = 0,1236.$$

b) En el balanç d'energia intercanviada per la moto amb l'exterior intervien: el treball fet per les resistències passives i l'energia subministrada pel motor. Com que l'energia cinètica es manté constant en ser-ho la velocitat el balanç d'energia és

$$\sum E]_1^2 = 0 \text{ o si es considera només un instant el balanç de potències és}$$

$$\sum P = 0 \text{ i per tant } P_m - Fv = 0 \text{ d'on } F = 2000 \text{ N.}$$

c) El parell del motor és $\Gamma_m = P_m/\omega_{\text{motor}} = 79,58 \text{ Nm}$.

E 4-5 a) Segons el Principi de Pascal $F_1/s_1 = F_2/s_2$ d'on $F_1 = 500 \text{ N}$.

b) En el balanç d'energia de l'elevador intervien: el treball del pes de la càrrega, l'energia subministrada pel motor i diverses pèrdues d'energia quantificades com una part de l'energia subministrada pel motor de manera que $E_{\text{útil}} = E_{\text{subministrada pel motor}} - E_{\text{pèrdues}} = E_{\text{subministrada pel motor}} \eta$

η és el rendiment de l'elevador. Com que l'energia cinètica es manté constant en ser-ho la velocitat el balanç d'energia és

$$\sum E]_1^2 = 0 \text{ o si es considera només un instant el balanç de potències és}$$

$$\sum P = 0 \text{ i per tant } P_{\text{pes}} + P_m - P_{\text{pèrdues}} = P_{\text{pes}} + P_m \eta = -mgv + P_m \eta = 0 \text{ d'on } P_m = 10 \text{ kW.}$$

E 4-6 a) $\omega_{\text{rodes}} = v/(d/2) = 100 \text{ rad/s}$, $\omega_{\text{motor}} = (4200/60)2\pi = 140\pi \text{ rad/s}$

$$\tau = \omega_{\text{rodes}}/\omega_{\text{motor}} = 0,2274.$$

b) Si es fa un balanç d'energia de la moto on només es considera que hi intervien el treball fet per les resistències passives i l'energia introduïda pel motor s'obté l'energia introduïda pel motor per vèncer les resistències passives. Per les mateixes raons que en els exercicis anterior

$$\sum P = P_{m,\text{resistències passives}} - Fv = 0 \text{ d'on } P_{m,\text{resistències passives}} = 24 \text{ kW.}$$

- c) De manera semblant a l'apartat anterior, si es considera el treball fer pel pes s'obté l'energia introduïda pel motor per vèncer el pendent que fa que el treball del pes no sigui nul

$$\sum P = P_{m,\text{pes}} - mgv \sin(\alpha) = 0 \text{ d'on } P_{m,\text{pes}} = 7,5 \text{ kW.}$$

- d) La potència total del motor és $P_m = P_{m,\text{resistències passives}} + P_{m,\text{pes}} = 31,5 \text{ kW}$ i el parell motor és $\Gamma_m = P_m/\omega_m = 71,62 \text{ Nm}$.

E 4-7 a) $\omega_{\text{rodes}} = v/(d/2) = 100 \text{ rad/s}$, $\tau = \omega_{\text{rodes}}/\omega_{\text{motor}}$ d'on $\omega_{\text{motor}} = 400 \text{ rad/s}$ i
 $n_{\text{motor}} = (\omega_{\text{motor}}/2\pi)60 = 3820 \text{ min}^{-1}$.

De manera semblant a l'exercici anterior

- b) $\sum P = P_{m,\text{resistències passives}} - Fv = 0$ d'on $P_{m,\text{resistències passives}} = 37,5 \text{ kW}$
c) $\sum P = P_{m,\text{pes}} - mgv \sin(\alpha) = 0$ d'on $P_{m,\text{pes}} = 37,5 \text{ kW}$.
d) $P_m = P_{m,\text{resistències passives}} + P_{m,\text{pes}} = 67,5 \text{ kW}$ i $\Gamma_m = P_m/\omega_m = 168,8 \text{ Nm}$.

E 4-8 Es negligeixen els efectes dinàmics del fluid.

- a) La pressió a cada costat de la bomba és

$$p = \rho gh \text{ i per tant } \Delta p = \rho g \Delta h = 10^4 \text{ Pa} = 0,1 \text{ bar.}$$

- b) En el balanç d'energia aplicat a la bomba intervien el treball fet per la pressió del fluid a l'entrada i la sortida i l'energia subministrada pel motor. De manera semblant als exercicis anteriors i tenint en compte que la potència associada a la pressió del fluid és $P_f = Fv = (F/s)(vs) = pq$,

$$\sum P = P_m - p_1 q + p_2 q = P_m - \Delta p q = 0 \text{ d'on } P_m = 100 \text{ W.}$$

E 4-9 a) $i = n_{\text{motor}}/n_{\text{màquina}} = 7,5$

- b) En el balanç d'energia al reductor intervien: l'energia cedida a la màquina, l'energia subministrada pel motor i diverses pèrdues d'energia quantificades com una part de l'energia subministrada pel motor de manera que

$$E_{\text{útil}} = E_{\text{subministrada pel motor}} - E_{\text{pèrdues}} = E_{\text{subministrada pel motor}} \eta$$

η és el rendiment del reductor. Com que l'energia cinètica es manté constant en ser-ho la velocitat el balanç d'energia és

$$\sum E_1^2 = 0 \text{ o si es considera només un instant el balanç de potències és}$$

$$\sum P = 0 \text{ i per tant } -P_{\text{màquina}} + P_m - P_{\text{pèrdues}} = -P_{\text{màquina}} + P_m \eta = 0 \text{ d'on } P_m = 2,5 \text{ kW.}$$

- c) $\omega_m = (n_m/60)2\pi$, $\Gamma_m = P_m/\omega_m = 31,83 \text{ Nm}$.

- d) $\omega_{\text{màquina}} = (n_{\text{màquina}}/60)2\pi$, $\Gamma_{\text{màquina}} = P_{\text{màquina}}/\omega_{\text{màquina}} = 191,0 \text{ Nm}$.

E 4-10 a) $\tau = \omega_{\text{rodes}}/\omega_{\text{motor}}$, $\omega_{\text{motor}} = (n_{\text{motor}}/60)2\pi = 100\pi \text{ rad/s}$,

$$\omega_{\text{rodes}} = 20\pi \text{ rad/s} \text{ i } v = \omega_{\text{rodes}}(d/2) = 6\pi \text{ m/s} = 67,86 \text{ km/h}.$$

b) $P_{\text{motor}} = \Gamma_{\text{motor}}\omega_{\text{motor}} = 10\pi \text{ kW}$.

c) Si es fa un balanç. d'energia a la transmissió intervenen: l'energia subministrada pel motor, el treball fet pel parell que les rodes fan sobre la transmissió i pèrdues d'energia quantificades amb el rendiment de la transmissió. De manera anàloga als exercicis anteriors

$$\sum P = P_{\text{motor}} - P_{\text{pèrdues}} + P_{\text{rodes}} = P_{\text{motor}} \eta - \Gamma_{\text{eix}} \omega_{\text{rodes}} = 0 \text{ d'on } \Gamma_{\text{eix}} = 375 \text{ Nm}$$

E 4-11 a) Sobre l'eix d'entrada actuen el parell motor i el parell resistent causat per les resistències passives

$$\sum M(O) = I\alpha \text{ i per tant } \Gamma_m - \Gamma_c = I\alpha \text{ d'on } \alpha = 3 \text{ rad/s}^2.$$

b) Una vegada aconseguida la velocitat de règim el motor només ha de fer el parell necessari per vèncer les resistències passives així doncs la potència del motor és $P_m = \Gamma_r \omega_m = 628,3 \text{ W}$.

c) $\omega_m = (n_m/60)2\pi$, $T = I\omega_m^2/2 = 39,48 \text{ kJ}$.

E 4-12 a) Sobre el sistema format pel bloc i la politja inferior en direcció vertical actuen: el pes i la tensió de la corda en cada ramal (que són iguals ja que la politja inferior pot girar lliurement). Es pren el sentit vertical cap amunt positiu. Com que el bloc puja amb velocitat constant

$$\sum F_{\text{vertical}} = 2T - mg = 0 \text{ d'on } T = 50 \text{ N}.$$

b) Si les politges superiors giren un angle α la de radi r_1 recull $r_1\alpha$ cable mentre que l'altre deixa en anar $r_2\alpha$, en resum el tram lliure de cable s'escurça $(r_1 - r_2)\alpha$ i la politja inferior puja la meitat $\Delta s = (r_1 - r_2)\alpha/2$. Així doncs considerant el moviment per unitat de temps $v = (r_1 - r_2)\omega/2$ i per tant $\omega = 200 \text{ rad/s}$.

c) Si es fa un balanç. d'energia a tot el sistema intervenen l'energia subministrada pel motor i el treball fet pel pes. De manera anàloga als exercicis anteriors

$$\sum P = P_{\text{motor}} + P_{\text{pes}} = P_{\text{motor}} - mgv = 0 \text{ d'on } P_{\text{motor}} = 200 \text{ W}.$$

$$\Gamma_{\text{motor}} = P_{\text{motor}}/\omega_m = 1 \text{ Nm}.$$

E 4-13 a) $i = n_{\text{motor}}/n_{\text{màquina}}$, $n_{\text{màquina}} = 300 \text{ min}^{-1}$.

b) Si es fa un balanç. d'energia al reductor intervenen: l'energia subministrada pel motor, l'energia cedida a la màquina i pèrdues d'energia quantificades amb el rendiment del reductor. De manera anàloga als exercicis anteriors

$$\sum P = P_{\text{motor}} - P_{\text{pèrdues}} + P_{\text{màquina}} = P_{\text{motor}} \eta - P_{\text{màquina}} = 0 \text{ d'on } P_{\text{màquina}} = 800 \text{ W}.$$

c) $\omega_{\text{màquina}} = (n_{\text{màquina}}/60)2\pi$, $\Gamma_{\text{màquina}} = P_{\text{màquina}}/\omega_{\text{màquina}} = 2,546 \text{ Nm}$.

E 4-14 a) Si es fa un balanç d'energia a l'automòbil intervenen: el treball fet per les resistències passives i l'energia subministrada pel motor. De manera anàloga als exercicis anteriors

$$\sum P = P_{\text{motor}} + P_{\text{resistències passives}} = P_{\text{motor}} - F_{\text{rp}} v = 0 \quad \text{d'on } F_{\text{rp}} = 2 \text{ kN.}$$

b) En ser les resistències passives proporcionals al quadrat de la velocitat a $v' = 54 \text{ km/h}$ passen a ser $F'_{\text{rp}} = F_{\text{rp}} (v'/v)^2$ i per tant la potència del motor a aquesta velocitat és $P'_{\text{motor}} = F'_{\text{rp}} v = 7,5 \text{ kW}$.