



Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona

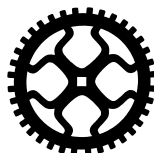
Teoria de Màquines

Problemes elementals de dinàmica vectorial

Salvador Cardona

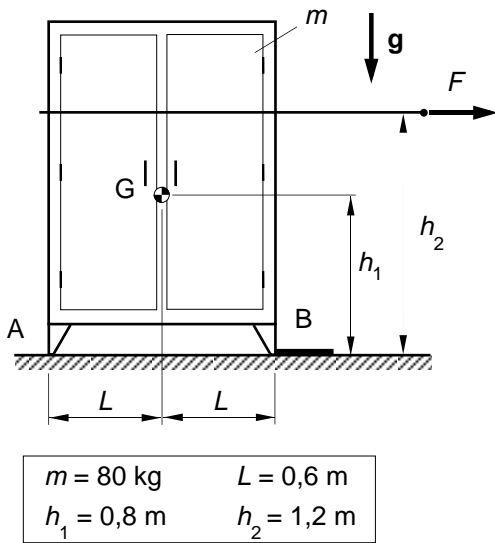
Daniel Clos

1998



Departament d'Enginyeria Mecànica

EXERCICI 3-1



A fi de desplaçar l'armari de la figura s'estira amb una corda que fa una força horitzontal F . La pota B ha topat amb un petit ressalt del terra i s'estira fins que la pota A just perd contacte amb el terra. En aquesta situació,

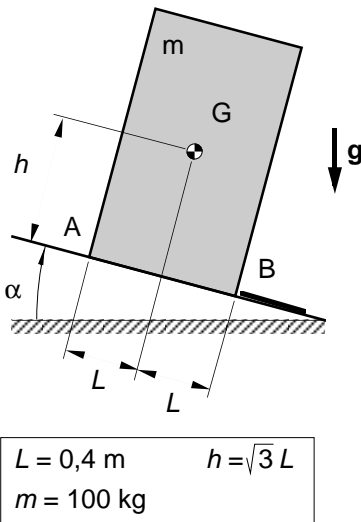
a) Dibuixeu el diagrama de cos lliure de l'armari.

Determineu:

b) La força F .

c) Les components vertical i horitzontal de la força que actua sobre la pota B.

EXERCICI 3-2



La caixa de la figura està retinguda sobre el pla inclinat per un petit ressalt. S'augmenta la inclinació del pla fins que l'aresta A de la caixa just perd contacte amb el pla. Per aquesta situació i tenint en compte que $m = 100 \text{ kg}$, $L = 0,4 \text{ m}$ i $h = (\sqrt{3}) L$

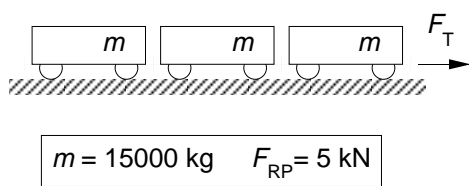
a) Dibuixeu el diagrama de cos lliure de la caixa.

Determineu:

b) L'angle α .

c) Les forces normal i tangencial al pla que actuen sobre l'aresta B.

EXERCICI 3-3



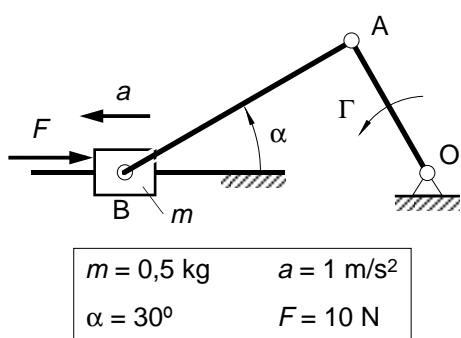
Un tren està format per tres vagons cadascun de massa $m = 15000 \text{ kg}$. Cada vagó té una resistència a l'avanç mesurada a l'enganxall (lloc on s'uneix als altres vagons) $F_{RP} = 5000 \text{ N}$. Si el tren avança amb velocitat constant, determineu:

- a) La força que cada vagó fa sobre el següent i la força de tracció F_T que actua sobre el primer vagó.

Si la força de tracció sobre el primer vagó passa a ser de $F_T' = 24000 \text{ N}$, determineu:

- b) L'acceleració a del tren.
c) La força que cada vagó fa sobre el següent.

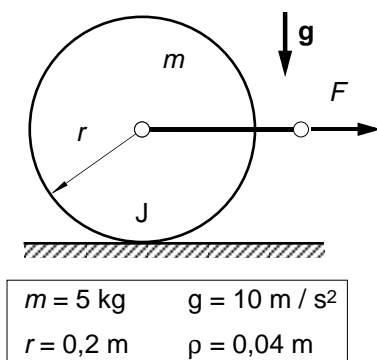
EXERCICI 3-4



En el mecanisme pistó-biela-manovella, de la figura, la manovella i la biela són d'inèrcia negligible. Sobre la manovella actua un parell Γ . El pistó és de massa $m = 0,5 \text{ kg}$, la seva acceleració és $a = 1 \text{ m/s}^2$ i hi actua una força $F = 10 \text{ N}$,

- a) Dibuixeu el diagrama de sòlid lliure del pistó, de la biela i de la manovella.
b) Determineu per a la configuració indicada la força que actua sobre la biela.

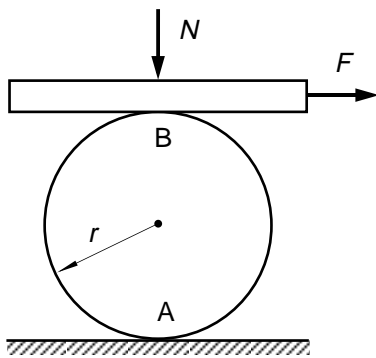
EXERCICI 3-5



La resistència que oposa a rodolar una roda sobre el terra es quantifica amb l'expressió $\Gamma_{rod} = \rho N$ essent Γ_{rod} el parell que cal per iniciar el rodolament i mantenir-lo amb velocitat constant, N la força normal que tramet al terra i ρ el coeficient de rodolament. La roda de la figura és de massa $m = 5 \text{ kg}$ i radi $r = 0,2 \text{ m}$ i el seu coeficient de rodolament és $\rho = 0,04 \text{ m}$.

- a) Dibuixeu el diagrama de cos lliure de la roda i
b) Determineu la força horitzontal F mínima necessària per iniciar el rodolament.

EXERCICI 3-6

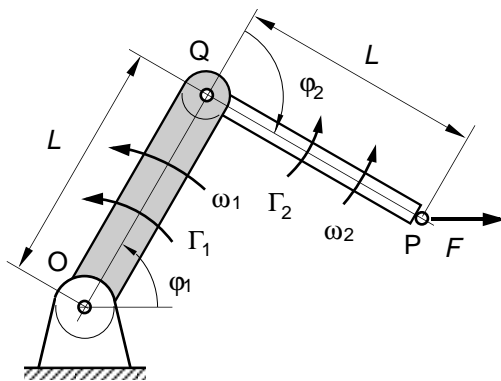


$r = 0,2 \text{ m}$	$\rho = 0,04 \text{ m}$	$N = 200 \text{ N}$
---------------------	-------------------------	---------------------

La resistència que oposa a rodolar una roda sobre el terra es quantifica amb l'expressió $\Gamma_{\text{rod}} = \rho N$ essent Γ_{rod} el parell que cal per iniciar el rodolament i mantenir-lo amb velocitat constant, N la força normal que tramet al terra i ρ el coeficient de rodolament. La roda de la figura de radi $r = 0,2 \text{ m}$ no rellisca ni a A ni a B i el coeficient de rodolament en aquests punts és $\rho = 0,04 \text{ m}$. Si les masses són negligibles i $N = 200 \text{ N}$:

- Dibuixeu el diagrama de cos lliure de la roda.
- Determineu la força horitzontal F mínima necessària per iniciar el moviment.

EXERCICI 3-7

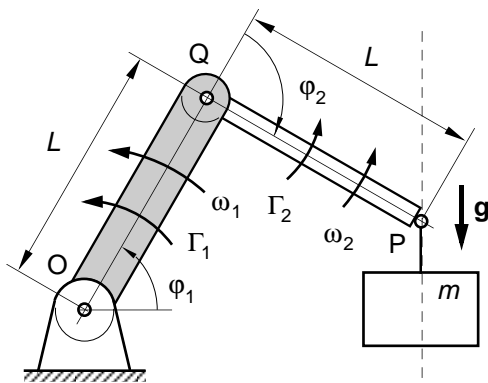


$L = 1,2 \text{ m}$	$F = 200 \text{ N}$
$\varphi_1 = 60^\circ$	$\varphi_2 = 90^\circ$

En el robot articulat de la figura es controla la inclinació dels braços mitjançant un actuator en cadascuna de les articulacions que fan respectivament un parell Γ_1 i Γ_2 . El robot realitza una maniobra d'inserció horitzontal que en la configuració $\varphi_1 = 60^\circ$, $\varphi_2 = 90^\circ$ li requereix fer un moviment horitzontal de P i una força horitzontal $F = 200 \text{ N}$ en aquest punt. La llargària dels braços és $L = 1,2 \text{ m}$.

- Dibuixeu el diagrama de cos lliure del braç QP i del conjunt dels dos braços.
- Determineu els parells Γ_1 i Γ_2 dels actuadors necessaris per fer la força F .
- Són iguals les velocitats angulars ω_1 i ω_2 dels braços?, per quina raó?
- Quin és el centre instantani de rotació del braç PQ?

EXERCICI 3-8



$L = 1,2 \text{ m}$	$m = 20 \text{ kg}$	$g = 10 \text{ m/s}^2$
$\varphi_1 = 60^\circ$	$\varphi_2 = 90^\circ$	

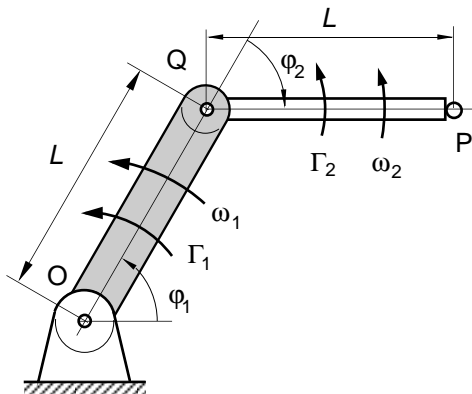
En el robot articulat de la figura es controla la inclinació dels braços mitjançant un actuador en cadascuna de les articulacions que fan respectivament un parell Γ_1 i Γ_2 . El robot manipula una càrrega $m = 20 \text{ kg}$ que manté en repòs en la configuració $\varphi_1 = 60^\circ$, $\varphi_2 = 90^\circ$ i la llargària dels braços és $L = 1,2 \text{ m}$.

- Dibuixeu el diagrama de cos lliure del braç QP i del conjunt dels dos braços.
- Determineu els parells Γ_1 i Γ_2 dels actuadors causats per la càrrega.

S'inicia una maniobra en la que el punt P es desplaça verticalment,

- Són iguals les velocitats angulars ω_1 i ω_2 dels braços?, per quina raó?
- Quin és el centre instantani de rotació del braç PQ?

EXERCICI 3-9



$L = 1,2 \text{ m}$	$\varphi_1 = 60^\circ$	$\varphi_2 = 60^\circ$
$\Gamma_1 = 180 \text{ N m}$	$\Gamma_2 = 120 \text{ N m}$	

En el robot articulat de la figura es controla la inclinació dels braços, de llargària $L = 1,2 \text{ m}$, mitjançant un actuador en cadascuna de les articulacions. Per a realitzar una operació el robot es col·loca en la configuració fixa $\varphi_1 = \varphi_2 = 60^\circ$ i passa a fer una força en el seu extrem P. A causa d'aquesta força els actuadors incrementen el seu parell amb $\Gamma_1 = 360 \text{ N m}$ i $\Gamma_2 = 120 \text{ N m}$.

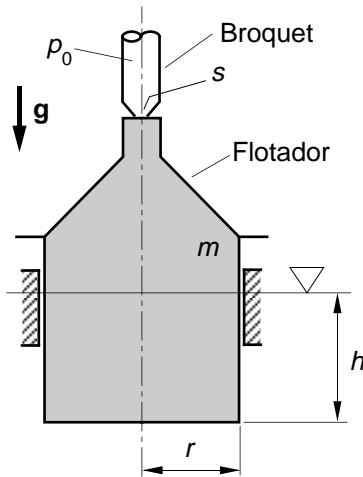
- Dibuixeu el diagrama de cos lliure del conjunt dels dos braços i del braç QP.
- En els dos diagrames anteriors plantegeu la suma de moments respecte a les articulacions O i Q respectivament i sense considerar el pes dels braços i la seva inèrcia.

- Determineu les components vertical i horitzontal de la força que el robot fa a l'extrem P.

Un cop finalitzada l'operació s'inicia el moviment amb $\omega_1 = \omega_2 = 0,5 \text{ rad/s}$ (actuador 2 aturat),

- Quin és el mòdul de la velocitat de l'extrem P?

EXERCICI 3-10

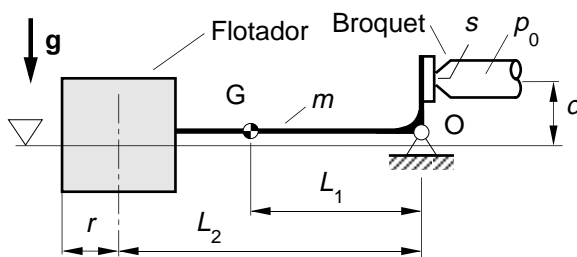


$p_0 = 3 \text{ bar}$	$m = 120 \text{ g}$
$s = 25 \text{ mm}^2$	$r = 60 \text{ mm}$

Per mantenir constant el nivell d'aigua dins d'un dipòsit s'instal·la la boia de la figura. Quan el nivell baixa el flotador obre el broquet i el dipòsit es torna a emplenar. El flotador és de revolució, de radi $r = 60 \text{ mm}$ i massa $m = 120 \text{ g}$. La secció interior del broquet és $s = 25 \text{ mm}^2$ i la pressió d'alimentació és $p_0 = 3 \text{ bar}$ ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$). Quan el broquet està tapat,

- Plantegeu el diagrama de cos lliure de la boia.
- Determineu l'alçada submergida h de la boia.

EXERCICI 3-11

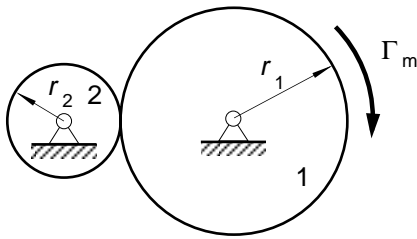


$L_1 = 180 \text{ mm}$	$L_2 = 300 \text{ mm}$	$r = 50 \text{ mm}$
$d = 50 \text{ mm}$	$s = 25 \text{ mm}^2$	
$m = 200 \text{ g}$	$p_0 = 3 \text{ bar}$	

Per mantenir constant el nivell d'aigua dins d'un dipòsit s'instal·la la boia de la figura. Quan el nivell baixa el flotador obre el broquet i el dipòsit es torna a emplenar. El flotador és cilíndric, de radi $r = 50 \text{ mm}$ i massa $m = 200 \text{ g}$. La secció interior del broquet és $s = 25 \text{ mm}^2$ i la pressió d'alimentació és $p_0 = 3 \text{ bar}$ ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$). Quan el broquet està tapat,

- Plantegeu el diagrama de cos lliure de la boia.
- La força de sustentació que l'aigua fa sobre el flotador.
- Determineu l'alçada submergida h de la boia.

EXERCICI 3-12

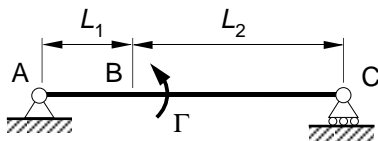


$\Gamma_{\text{eix}} = 0,1 \text{ N m}$	$\Gamma_{\text{eng}} = 0,2 \text{ N m}$
$r_1 = 100 \text{ mm}$	$r_2 = 50 \text{ mm}$

En l'engrenatge de la figura les resistències passives a l'eix de cada roda són equivalents a un parell $\Gamma_{\text{eix}} = 0,1 \text{ N m}$ que s'oposa a la rotació. Les resistències passives causades per l'engrenament es consideren equivalents a un parell $\Gamma_{\text{eng}} = 0,2 \text{ N m}$ que s'oposa a la rotació de la roda conductora (roda 1). Si les rodes giren amb velocitat angular constant impulsades pel parell motor Γ_m determineu:

- La força tangencial, en mòdul i sentit, que la roda 2 rep de la roda 1.
- El mòdul del parell motor Γ_m .

EXERCICI 3-13

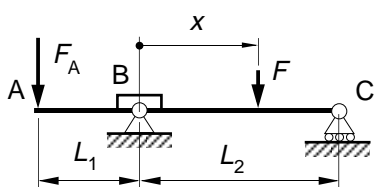


$L_1 = 1,5 \text{ m}$	$L_2 = 3,5 \text{ m}$
$\Gamma = 50 \text{ kN m}$	

La biga de la figura està sotmesa a un parell Γ de mòdul 50 kN m a la secció B,

- Determineu les reaccions en els punts A i C.

EXERCICI 3-14

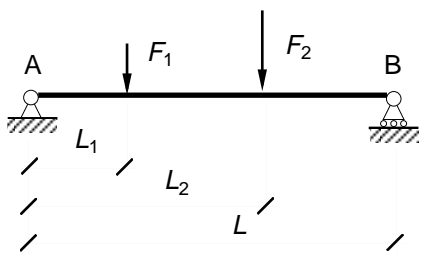


$L_1 = 2,5 \text{ m}$	$L_2 = 5 \text{ m}$
$F_A = 40 \text{ kN}$	$F = 20 \text{ kN}$

La biga de la figura està recolzada als punts B i C i sotmesa a la força F_A de mòdul 40 kN en el punt A i a la força $F = 20 \text{ kN}$ a una distància x de B.

- Determineu la distància x a la qual cal col·locar la força F per tal que la reacció a C sigui nul·la i quin és, en aquest cas, el valor de la reacció a B.

EXERCICI 3-15

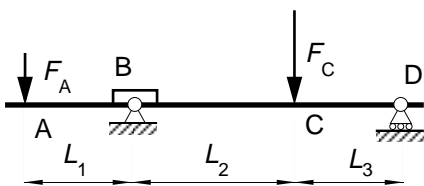


$L_1 = 1 \text{ m}$	$L_2 = 2,5 \text{ m}$	$L = 4 \text{ m}$
$F_1 = 1000 \text{ N}$	$F_2 = 2000 \text{ N}$	

La biga de la figura, articulada a l'extrem A i recolzada en el B, està sotmesa a les forces verticals F_1 i F_2 . El seu pes es considera negligible. Determineu:

- a) Les forces que rep la biga dels seus suports a A i B.

EXERCICI 3-16

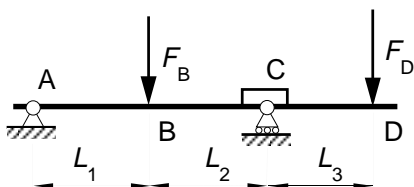


$F_A = 20 \text{ kN}$	$F_C = 40 \text{ kN}$	
$L_1 = 2,5 \text{ m}$	$L_2 = 3 \text{ m}$	$L_3 = 2 \text{ m}$

La biga de la figura està sotmesa a les càrregues indicades.

- a) Determineu els valors de les reaccions a les articulacions B i D.

EXERCICI 3-17

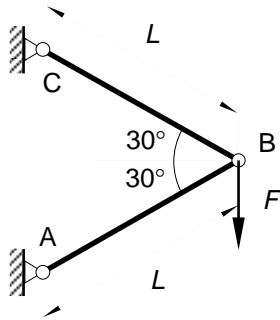


$F_D = 1000 \text{ N}$		
$L_1 = 2,5 \text{ m}$	$L_2 = 2,5 \text{ m}$	$L_3 = 2 \text{ m}$

La biga de la figura està sotmesa a una força $F_D = 1000 \text{ N}$ en l'extrem D i un altre força F_B en el punt B.

- a) Determineu la força vertical F_B per tal que la reacció al suport A sigui nul·la.

EXERCICI 3-18

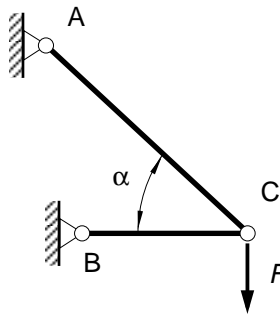


$F = 1000 \text{ N}$ $L = 1 \text{ m}$

Les dues barres AB i BC de la figura són iguals, de massa negligible i articulades als extrems. S'aplica una força vertical $F = 1000 \text{ N}$ a l'eix de l'articulació B.

- Dibuixeu el diagrama de sòlid lliure de cadascuna de les barres i de l'eix de l'articulació B.
- Determineu les tensions de les barres AB i BC.
- Les barres actuen a tracció o a compressió?

EXERCICI 3-19

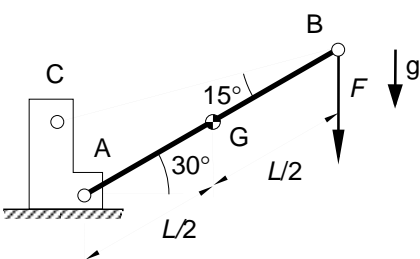


$F = 200 \text{ kN}$ $\alpha = 45^\circ$

L'estructura de barres articulades de la figura està prevista per aguantar la força vertical $F = 200 \text{ kN}$.

- Determineu la força que ha de fer cadascuna de les barres, indicant si actuen a tracció o de compressió.

EXERCICI 3-20



$L = 12 \text{ m}$ $F = 30 \text{ kN}$ $m = 2000 \text{ kg}$

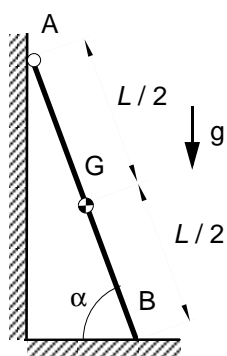
El braç d'una grua es pot considerar una barra homogènia de massa $m = 2000 \text{ kg}$ i llargària $L = 12 \text{ m}$. Aquest braç està articulat a A i aguantat a B mitjançant al cable CB, de massa negligible. Al punt B de la barra hi ha aplicada una força vertical $F = 30 \text{ kN}$.

- Dibuixeu el diagrama de sòlid lliure de la barra AB.

Determineu:

- La tensió del cable CB.
- Les forces de reacció a A.

EXERCICI 3-21

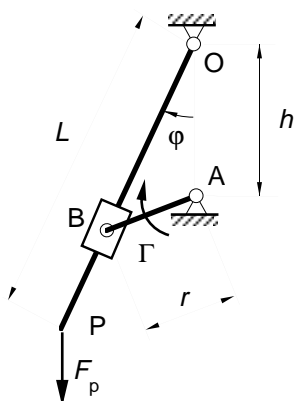


$L = 4 \text{ m}$	$\alpha = 80^\circ$
$m = 25 \text{ kg}$	

Una escala està quieta recolzada tal com s'indica a la figura. En el punt A una petita roda fa que el frec entre l'escala i la paret sigui negligible. Determineu:

- El diagrama de sòlid lliure de l'escala.
- Les forces exteriors que rep l'escala procedents del terra i de la paret.

EXERCICI 3-22

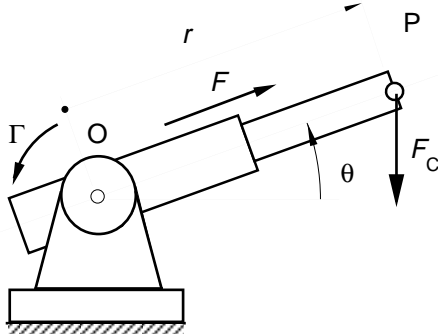


$r = 100 \text{ mm}$	$h = 200 \text{ mm}$
$L = 400 \text{ mm}$	$F_p = 20 \text{ N}$

Els elements del mecanisme d'avanç ràpid de la figura són de massa negligible i està sotmès a la força $F_p = 20 \text{ N}$ aplicada en el punt P i a un parell Γ aplicat a la barra AB,

- Dibuixeu els diagrames de sòlid lliure de les barres OP i AB.
- Determineu la tensió de la barra AB quan aquesta és perpendicular a la barra OP.

EXERCICI 3-23



$r = 1,5 \text{ m}$	$\theta = 30^\circ$	$F_C = 2000 \text{ N}$
$\dot{r} = 0,2 \text{ m/s}$	$\dot{\theta} = 0,1 \text{ rad/s}$	

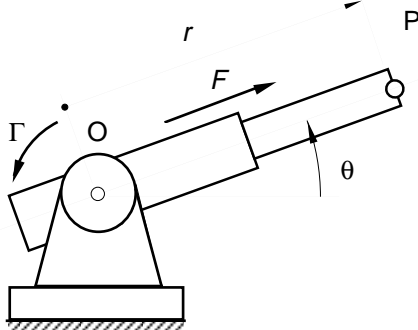
En el robot de la figura es controla la llargada r i la inclinació θ del braç mitjançant dos actuadors. Un actuador realitza la força F en la direcció del braç i l'altre fa el parell Γ en l'articulació horitzontal. Si el robot està aturat amb una càrrega $F_C = 2000 \text{ N}$,

- Dibuixeu el diagrama de cos lliure del braç extensible OP del robot
- Determineu la força F i el parell Γ causats per aquesta càrrega.

Si el robot passa a moures en la posició indicada amb $\dot{r} = 0,2 \text{ m/s}$ i $\dot{\theta} = 0,1 \text{ rad/s}$

- Quin és el mòdul de la velocitat de l'extrem P?

EXERCICI 3-24



$r = 1,5 \text{ m}$	$\theta = 30^\circ$	$F = 300 \text{ N}$
$\dot{r} = 0,2 \text{ m/s}$	$\dot{\theta} = 0,1 \text{ rad/s}$	$\Gamma = 600 \text{ N m}$

En el robot de la figura es controla la llargada r i la inclinació θ del braç mitjançant dos actuadors. Un actuador realitza la força F en la direcció del braç i l'altre fa el parell Γ en l'articulació horitzontal. Per a realitzar una certa operació, el robot es col·loca en una configuració fixa ($\theta = 30^\circ$, $r = 1,5 \text{ m}$) i passa a fer una força en el seu extrem P. Degut a aquesta força els actuadors del robot incrementen la força que fan en $F = 300 \text{ N}$, i el parell en $\Gamma = 600 \text{ N m}$.

- Dibuixeu el diagrama de cos lliure del braç extensible OP del robot i
- Determineu la força que fa el robot en l'extrem P.

Un cop finalitzada l'operació el s'inicia el moviment amb $\dot{r} = 0,2 \text{ m/s}$ i $\dot{\theta} = 0,1 \text{ rad/s}$

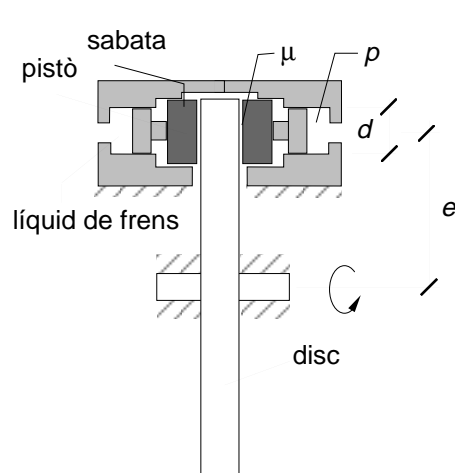
- Quin és el mòdul de la velocitat de l'extrem P?

EXERCICI 3-25

El coeficient de freg entre les rodes d'un cotxe, de massa $m = 1000$ kg, i el terra és $\mu = 0,8$. El cotxe circula en línia recta per una carretera horitzontal a $v = 115,2$ km/h i s'accionen els frens per obtenir la màxima capacitat de frenada, determineu:

- La força horitzontal que el cotxe rep de la carretera (mòdul i sentit).
- L'acceleració de frenada.
- El temps i l'espai mínims per frenar.

EXERCICI 3-26

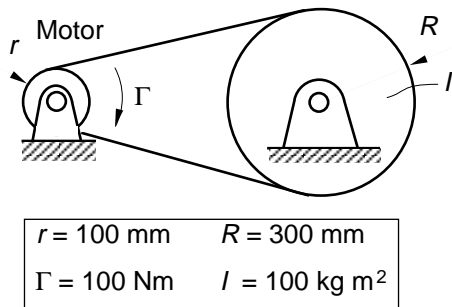


$d = 40$ mm	$e = 80$ mm
$\mu = 0,3$	$p = 5$ MPa

En un fre hidràulic de disc les sabates s'accionen per mitjà de cilindres hidràulics de diàmetre $d = 40$ mm i la seva distància efectiva a l'eix del disc és $e = 80$ mm. El coeficient de freg entre cadascuna de les sabates i el disc és $\mu = 0,3$. Si mentre gira el disc s'aplica una pressió $p = 5$ MPa al fre, determineu:

- La força que cada pistó fa sobre la seva sabata.
- El diagrama de sòlid lliure d'una de les sabates.
- El parell de frenada (Moment de les forces que les sabates fan sobre el disc respecte a l'eix d'aquest)

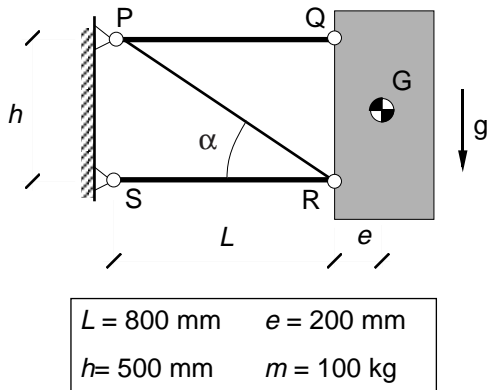
EXERCICI 3-27



Un motor fa moure una màquina per mitjà d'un reductor de corretja. El radi de la politja del motor és $r=100 \text{ mm}$ i el de la politja de l'eix de la màquina és $R=300 \text{ mm}$. La inèrcia de la màquina és equivalent a un moment d'inèrcia $I=100 \text{ kg m}^2$ situat sobre el seu eix i la inèrcia sobre l'eix del motor és negligible. Durant la posada en marxa el motor fa un parell constant $\Gamma = 100 \text{ Nm}$ i passa de $0-3000 \text{ min}^{-1}$. Determineu:

- a) El parell que actua sobre l'eix de la màquina.
- b) L'acceleració angular de l'eix del motor.

EXERCICI 3-28



El bloc de la figura està guiat en el pla vertical per dues barres articulades i el cable PR el manté en repòs (considereu que aquest estira per l'eix de l'articulació).

Les barres i el cable són de massa negligible i el bloc és de massa m . Determineu:

- a) La tensió de la barra PQ.
- b) Les forces que el bloc rep de l'eix de l'articulació R.
- c) La tensió del cable.

Solucions

- E 3-1** a) Quan la pota A perd contacte amb el terra sobre l'armari actuen les següents forces exteriors: el pes aplicat a G, la força F i una força $F(B)$ amb components vertical i horitzontal.

En tractar-se d'una situació estàtica $\sum \bar{F}_{\text{exteriors}} = 0$, $\sum \bar{M}_{\text{exteriors}}(P) = 0$ essent P un punt qualsevol.

- b) Agafant moments respecte el punt B en la direcció perpendicular al pla de la figura i prenent-los positius en el sentit horari

$$\sum M_{\text{exteriors}}(B) = F h_2 - mgL = 0 \quad \text{d'on } F = 1600 \text{ N.}$$

- c) Per a les forces es prenen positius el sentit vertical cap amunt i l'horitzontal cap a la dreta.

$$\sum F_{\text{vertical}} = -mg + F_{\text{vertical}}(B) = 0 \quad \text{d'on } F_{\text{vertical}}(B) = -800 \text{ N.}$$

$$\sum F_{\text{horitzontal}} = F + F_{\text{horitzontal}}(B) = 0 \quad \text{d'on } F_{\text{horitzontal}}(B) = -1600 \text{ N.}$$

- E 3-2** a) Quan la inclinació del pla és suficient perquè l'aresta A perdi contacte sobre la caixa actuen les següents forces exteriors: el pes aplicat a G i una força $F(B)$ aplicada a B amb components en la direcció del pla inclinat (tangencial) i en la normal a aquest.

En tractar-se d'una situació estàtica $\sum \bar{F}_{\text{exteriors}} = 0$, $\sum \bar{M}_{\text{exteriors}}(P) = 0$ essent P un punt qualsevol.

- b) Agafant moments respecte el punt B en la direcció perpendicular al pla de la figura, l'única força que pot donar moment és el pes i com que $\sum M_{\text{exteriors}}(B) = 0$ cal que la seva recta d'acció passi per B. En ser GB vertical $\alpha = \arctan(L/h) = 30^\circ$.

- c) Per a les forces es prenen positius el sentit tangencial cap a la dreta i normal cap amunt.

$$\sum F_{\text{tangencial}} = 0, \quad F_{\text{tangencial}}(B) + mg \sin(30^\circ) = 0 \quad \text{d'on } F_{\text{tangencial}}(B) = -500 \text{ N.}$$

$$\sum F_{\text{normal}} = 0, \quad F_{\text{normal}}(B) - mg \cos(30^\circ) = 0 \quad \text{d'on } F_{\text{normal}}(B) = 866 \text{ N.}$$

- E 3-3** La resistència a l'avanç F_{RP} d'un vagó és la força, en sentit contrari al de la marxa, que fa sobre qui l'estira per mantenir-lo amb velocitat constant. Pel principi de l'acció i de la reacció el vagó rep de qui l'estira una força (força exterior) del mateix mòdul en el sentit de la marxa i com que s'ha de complir $\sum F_{\text{horitzontals}}(\text{vagó}) = 0$ la resistència a l'avanç s'ha d'entendre com una força exterior al vagó de sentit contrari al de la marxa.

Es pren el sentit de la marxa positiu.

- a) El segon vagó fa sobre el tercer una força $F_{2 \rightarrow 3} = 5 \text{ kN}$ ja que $F_{2 \rightarrow 3} - F_{RP} = 0$.

Les forces exteriors que actuen sobre el segon vagó són: la força que li fa el tercer vagó $F_{3 \rightarrow 2}$, la força que li fa el primer $F_{1 \rightarrow 2}$ i la seva resistència a l'avanç. En ser la velocitat constant

$$\sum F_{\text{horitzontal}}(\text{vagó } 2) = 0, \quad F_{3 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 2} - F_{RP} = 0 \quad \text{d'on } F_{1 \rightarrow 2} = 10 \text{ kN.}$$

De manera anàloga considerant el primer vagó

$$\sum F_{\text{horitzontal}}(\text{vagó } 1) = 0, \quad F_{2 \rightarrow 1} + F_T - F_{RP} = 0 \quad \text{d'on } F_T = 15 \text{ kN.}$$

- b) Si es considera tot el tren les forces exteriors són: la resistència a l'avanç de cada vagó i la força de tracció de manera que

$$\sum F_{\text{horizontals}}(\text{tren}) = m(\text{tren})a, \quad -3F_{RP} + F_T = 3ma \quad \text{d'on } a = 0,2 \text{ m/s}^2.$$

- c) Les forces exteriors que actuen sobre el tercer vagó són: La seva resistència a l'avanç. i la força que li fa el segon vagó $F'_{2 \rightarrow 3}$ de manera que

$$F'_{2 \rightarrow 3} - F_{RP} = ma \quad \text{d'on } F'_{2 \rightarrow 3} = 8 \text{ kN.}$$

De manera anàloga considerant el segon vagó

$$F'_{1 \rightarrow 2} + F'_{3 \rightarrow 2} - F_{RP} = ma \quad \text{d'on } F'_{1 \rightarrow 2} = 16 \text{ kN.}$$

- E 3-4** a) La biela AB està articulada en els seus extrems i és de massa negligible per tant les forces exteriors que actuen sobre ella són una força en cadascuna de les articulacions en la direcció de la barra i de sentits contraris.

Sobre la manovella actuen: la força que li fa la biela (en la direcció de la biela), el parell G i la força d'enllaç que rep a través de l'articulació O amb components vertical i horitzontal.

Sobre el pistó actuen: la força que li fa la biela (en la direcció de la biela), la força F i la força d'enllaç que li fa la guia en direcció vertical.

- b) Prenent per al pistó $\sum F_{\text{exteriors}} = ma$ en la direcció horitzontal i agafant sentit positiu cap a la dreta

$$F + F_{\text{biela} \rightarrow \text{pistó}} \cos(\alpha) = ma \quad \text{d'on } F_{\text{biela} \rightarrow \text{pistó}} = -12,12 \text{ N} \quad \text{i} \quad F_{\text{pistó} \rightarrow \text{biela}} = 12,12 \text{ N.}$$

- E 3-5** a) Les forces exteriors que actuen sobre la roda són: el pes, la força d'enllaç en el punt de contacte amb el terra J amb components normal -N- i tangencial, la força F i el parell de rodolament G_{rod} en sentit antihorari (ja que F tendeix a fer girar la roda en sentit horari).

Es pren sentit positiu cap amunt per a la direcció vertical i horari per als moments.

- b) A partir de $\sum F_{\text{vertical}} = 0$ s'obté $N = mg = 50 \text{ N}$.

Prenent moments respecte a J i tenint en compte que per just iniciar el rodolament no cal acceleració $\sum M_{\text{exteriors}}(J) = 0$, $F r - \Gamma_{\text{rod}} = F r - mg \rho$ d'on $F = 10 \text{ N}$.

- E 3-6** a) Les forces exteriors que actuen sobre la roda són en cada punt de contacte la força d'enllaç amb component vertical i horitzontal i el parell Γ_{rod} en sentit antihorari (ja que la roda tendeix a girar en sentit horari).

Per las moments es pren el sentit horari positiu.

- b) De manera anàloga a l'exercici anterior prenent moments respecte a A

$$\sum M_{\text{exteriors}}(A) = 0, \quad F 2r - 2\Gamma_{\text{rod}} = F r - N \rho = 0 \quad \text{d'on } F = 40 \text{ N.}$$

- E 3-7** a) Les forces exteriors que actuen sobre el braç QP són: el pes del braç, la reacció de la força F , el parell Γ_2 i la força d'enllaç a l'articulació Q amb dues components.

Sobre el conjunt dels dos braços les forces exteriors que hi actuen són: els pesos dels braços, la reacció de la força F , el parell Γ_1 i la força d'enllaç a l'articulació O amb dues components.

Els parells dels actuadors depenen del pes, de la inèrcia i de la força F . Si en el planteig de les equacions de la dinàmica només es considera la força F s'obtenen els parells Γ_1 i Γ_2 necessaris per fer aquesta força (Si només es consideres el pes s'obtindrien els parells necessaris per suportar el pes).

Per als moments es pren en sentit antihorari positiu i $\alpha = \varphi_2 - \varphi_1$.

- b) Fent moments respecte a Q de les forces exteriors al braç QP s'obté

$$\sum M_{\text{exteriors a QP}}(Q) = 0, \quad -FL \sin(\alpha) + \Gamma_2 = 0 \quad \text{d'on } \Gamma_2 = 120 \text{ Nm.}$$

Fent moments respecte a O de les forces exteriors al conjunt dels dos braços s'obté

$$\sum M_{\text{exteriors al conjunt}}(O) = 0, \quad F(L \sin(\varphi_1) - L \sin(\alpha)) + \Gamma_1 = 0 \quad \text{d'on } \Gamma_1 = -87,85 \text{ Nm.}$$

- c) Les velocitats angulars dels braços no poden ser iguals ja que si ho fossin els dos braços es mourien com un sòlid rígid únic i la velocitat de P en lloc de ser horitzontal seria perpendicular a OP.
- d) EL centre instantani de rotació del braç PQ es troba a la intersecció de la recta OQ i la vertical (perpendicular a la velocitat de P) per P.

- E 3-8** a) Aquest exercici és anàleg a l'anterior, només cal substituir la reacció a F per una força a P vertical cap avall causada pel pes de la càrrega.

- b) $\sum M_{\text{exteriors a QP}}(Q) = 0, \quad -mgL \cos(\alpha) + \Gamma_2 = 0 \quad \text{d'on } \Gamma_2 = 207,8 \text{ Nm.}$

$$\sum M_{\text{ext al conjunt}}(O) = 0, \quad -mg(L \cos(\varphi_1) + L \cos(\alpha)) + \Gamma_1 = 0 \quad \text{d'on } \Gamma_1 = 327,8 \text{ Nm.}$$

- c) Les velocitats angulars dels braços no poden ser iguals ja que si ho fossin els dos braços es mourien com un sòlid rígid únic i la velocitat de P en lloc de ser vertical seria perpendicular a OP.
- d) EL centre instantani de rotació del braç PQ es troba a la intersecció de la recta OQ i l'horitzontal (perpendicular a la velocitat de P) per P.

- E 3-9** a) Aquest exercici és anàleg als dos anteriors, només cal considerar que a P hi actua una força amb dues components (que es prenen F_v vertical cap amunt i F_h horitzontal cap a al dreta)

- b) $\sum M_{\text{exteriors a QP}}(Q) = 0, \quad F_v L + \Gamma_2 = 0 \quad \text{d'on } F_v = -100 \text{ N.}$

$$\sum M_{\text{ext al conjunt}}(O) = 0, \quad F_v(L + L \cos(\varphi_1)) - F_h(L \sin(\varphi_1)) + \Gamma_1 = 0 \quad \text{d'on } F_h = 173,2 \text{ N.}$$

- c) F_v i F_h són les components de la força que el robot rep de l'exterior a P i per tant ell fa una força amb components de sentits contraris.

$$F_{v \text{ robot} \rightarrow \text{exterior}} = 100 \text{ N}, \quad F_{h \text{ robot} \rightarrow \text{exterior}} = -173,2 \text{ N}.$$

- d) Si l'actuador 2 està aturat el conjunt dels dos braços es mou com un sòlid rígid girant al voltant de O i fent atenció al triangle isòsceles OQP

$$v(P) = \omega \overline{OP} = \omega 2L \cos(\varphi_2/2) = 1,039 \text{ m/s}.$$

- E 3-10** a) Les forces verticals exteriors que actuen sobre la boia són: el pes, l'empenta de l'aigua del dipòsit (Principi d'Arquímedes) i la força de l'aigua de l'interior del broquet.

En la direcció vertical es pren sentit positiu cap amunt.

- b) Com que la boia es troba en repòs

$$\sum F_{\text{vertical}} = 0, \quad -mg + \pi r^2 h \rho g - p_0 s = 0 \quad \text{d'on } h = 32,72 \text{ mm}.$$

- E 3-11** a) Les forces exteriors que actuen sobre la boia són: el pes, l'empenta de l'aigua del dipòsit (Principi d'Arquímedes), la força de l'aigua de l'interior del broquet i la força d'enllaç a l'articulació O amb dues components.

Per als moments es pren el sentit horari positiu.

- b) Com que la boia es troba en repòs

$$\sum M_{\text{exteriors}}(O) = 0, \quad F_{\text{sustentació}} L_2 - mg L_1 - p_0 s d = 0 \quad \text{d'on } F_{\text{sustentació}} = 2,45 \text{ N}.$$

- c) La força de sustentació és igual al pes de l'aigua desplaçada

$$F_s = \pi r^2 h g \rho \quad \text{d'on } h = 31,19 \text{ mm}.$$

- E 3-12** a) Les forces exteriors que actuen sobre la roda 2 són: el parell Γ_{eix} , la força tangencial en el punt de contacte amb la roda 1 $F_{1 \rightarrow 2}$ i la força d'enllaç a l'eix.

Per als moments es pren en sentit horari positiu.

Com que la roda 2 gira amb velocitat constant

$$\sum M_{\text{ext roda2}}(O_2) = 0, \quad \Gamma_{\text{eix}} - F_{1 \rightarrow 2} r_2 = 0 \quad \text{d'on } F_{1 \rightarrow 2} = 2 \text{ N (vertical cap amunt)}.$$

- b) Les forces exteriors que actuen sobre la roda 1 són: el parell Γ_{eix} , el parell Γ_{eng} , el parell motor Γ_m , la força tangencial en el punt de contacte amb la roda 2 $F_{2 \rightarrow 1}$ i la força d'enllaç a l'eix.

Com que la roda 1 gira amb velocitat constant

$$\sum M_{\text{ext roda1}}(O_1) = 0, \quad -\Gamma_{\text{eix}} - \Gamma_{\text{eng}} - F_{2 \rightarrow 1} r_1 + \Gamma_m = 0 \quad \text{d'on } \Gamma_m = 0,5 \text{ Nm}.$$

- E 3-13** a) La biga de la figura és una estructura isostàtica sobre la que actuen les següents forces exteriors: El parell Γ , una força d'enllaç a l'articulació A amb components vertical $F_v(A)$ i horitzontal $F_h(A)$ i una força d'enllaç vertical $F_v(C)$ a l'articulació lliscant C. El pes es negligeix.

En tractar-se d'una situació estàtica $\sum \vec{F}_{\text{exteriors}} = 0$, $\sum \vec{M}_{\text{exteriors}}(P) = 0$ essent P un punt qualsevol.

Per a les forces es prenen positius el sentit vertical cap amunt i l'horitzontal cap a la dreta. Per als moments en la direcció perpendicular al pla de la figura es pren positiu en el sentit antihorari.

$$\left. \begin{array}{l} \sum F_{\text{vertical}} = 0, \quad F_V(A) + F_V(C) = 0 \\ \sum F_{\text{horitzontal}} = 0, \quad F_h(A) = 0 \\ \sum M_{\text{ext}}(A) = 0, \quad \Gamma + F_V(C)(L_2 + L_1) = 0 \end{array} \right\} \text{d'on } \begin{cases} F_V(A) = 10 \text{ kN} \\ F_h(A) = 0 \\ F_V(C) = -10 \text{ kN} \end{cases}$$

E 3-14 a) De manera anàloga a l'exercici anterior i prescindint de la direcció horitzontal

$$\left. \begin{array}{l} \sum F_{\text{vertical}} = 0, \quad F_V(B) + F_V(C) - F_A - F = 0 \\ \sum M_{\text{ext}}(B) = 0, \quad F_A L_1 - F x + F_V(C) L_2 = 0 \end{array} \right\} \text{d'on } \begin{cases} x = 5 \text{ m} \\ F_V(B) = 60 \text{ kN} \end{cases}$$

E 3-15 a) De manera anàloga als exercici anteriors

$$\left. \begin{array}{l} \sum F_{\text{vertical}} = 0, \quad F_V(A) + F_V(B) - F_1 - F_2 = 0 \\ \sum M_{\text{ext}}(A) = 0, \quad -F_1 L_1 - F_2 L_2 + F_V(B) L = 0 \end{array} \right\} \text{d'on } \begin{cases} F_V(A) = 1,5 \text{ kN} \\ F_V(B) = 1,5 \text{ kN} \end{cases}$$

E 3-16 a) De manera anàloga als exercici anteriors

$$\left. \begin{array}{l} \sum F_{\text{vertical}} = 0, \quad F_V(B) + F_V(D) - F_A - F_C = 0 \\ \sum M_{\text{ext}}(A) = 0, \quad F_A L_1 - F_C L_2 + F_V(D)(L_2 + L_3) = 0 \end{array} \right\} \text{d'on } \begin{cases} F_V(B) = 46 \text{ kN} \\ F_V(D) = 14 \text{ kN} \end{cases}$$

E 3-17 a) De manera anàloga als exercici anteriors

$$\left. \begin{array}{l} \sum F_{\text{vertical}} = 0, \quad F_V(A) + F_V(C) - F_B - F_D = 0 \\ \sum M_{\text{ext}}(C) = 0, \quad F_B L_2 - F_D L_3 - F_V(A)(L_1 + L_2) = 0 \end{array} \right\} \text{d'on } \begin{cases} F_V(B) = 800 \text{ N} \\ F_V(C) = 1800 \text{ N} \end{cases}$$

E 3-18 a) En ser cada barra de massa negligible i articulada en els seus extrems les forces exteriors que hi actuen són una força en cada articulació en la direcció de la barra i de sentits oposats. Si els sentits d'aquestes forces corresponen al de separació entre els extrems la barra està sotmesa a tracció i en cas contrari a compressió.

En el cas de considerar les forces que la barra fa a l'exterior si el sentit d'aquestes forces correspon al de separació la barra està sotmesa o treballa a compressió (o fa una força de repulsió entre els seus extrems), en cas contrari està sotmesa o treballa a tracció (o fa una força d'atracció entre els seus extrems).

Sobre l'eix de l'articulació B les forces exteriors que hi actuen són: la força F i la força que li fa cadascuna de les barres $F_{BC \rightarrow \text{eix}}$ i $F_{BA \rightarrow \text{eix}}$.

b) Si $F_{BC \rightarrow \text{eix}}$ i $F_{BA \rightarrow \text{eix}}$ s'agafen positives en el sentit $B \rightarrow C$ i $B \rightarrow A$ respectivament i per a les components de les forces es prenen positius el sentit vertical cap amunt i l'horitzontal cap a la dreta, la suma de forces sobre l'eix és

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{\text{vertical}} = 0, & \quad -F + F_{\text{BC} \rightarrow \text{eix}} \sin(30^\circ) - F_{\text{BA} \rightarrow \text{eix}} \sin(30^\circ) = 0 \\ \sum F_{\text{horizontal}} = 0 & \quad -F_{\text{BC} \rightarrow \text{eix}} \cos(30^\circ) - F_{\text{BA} \rightarrow \text{eix}} \cos(30^\circ) = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\text{d'on } \begin{cases} F_{\text{BC} \rightarrow \text{eix}} = 1000 \text{ N} \\ F_{\text{AB} \rightarrow \text{eix}} = -1000 \text{ N} \end{cases}$$

- c) En ser la força positiva $F_{\text{BC} \rightarrow \text{eix}}$ (sentit $B \rightarrow C$) la barra BC treballa a tracció i en ser la força negativa $F_{\text{BA} \rightarrow \text{eix}}$ (sentit $A \rightarrow B$) la barra BA treballa a compressió.

E 3-19 a) De manera anàloga a l'exercici anterior

Sobre l'eix de l'articulació C les forces exteriors que actuen són: la força F i la força que li fa cadascuna de les barres $F_{\text{CA} \rightarrow \text{eix}}$ i $F_{\text{CB} \rightarrow \text{eix}}$.

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{\text{vertical}} = 0, & \quad -F + F_{\text{CA} \rightarrow \text{eix}} \sin(\alpha) = 0 \\ \sum F_{\text{horizontal}} = 0 & \quad -F_{\text{CA} \rightarrow \text{eix}} \cos(\alpha) - F_{\text{CB} \rightarrow \text{eix}} = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\text{d'on } \begin{cases} F_{\text{CA} \rightarrow \text{eix}} = 100\sqrt{2} \text{ N} \\ F_{\text{CB} \rightarrow \text{eix}} = -200 \text{ N} \end{cases}$$

La barra CA treballa a tracció amb una força de $100\sqrt{2}$ N i la barra CB treballa a compressió amb una força de 200 N,

E 3-20 a) Sobre la barra AB actuen les següents forces exteriors: el seu pes, la tensió T_c del cable BC (sentit $B \rightarrow C$), la força F i una força d'enllaç a l'articulació A amb components vertical $F_v(A)$ i horitzontal $F_h(A)$.

En tractar-se d'una situació estàtica $\sum \bar{F}_{\text{exterior}} = 0$, $\sum \bar{M}_{\text{exterior}}(P) = 0$ essent P un punt qualsevol.

Per a les forces es prenen positius el sentit vertical cap amunt i l'horitzontal cap a la dreta. Per als moments en la direcció perpendicular al pla de la figura es pren positiu en el sentit antihorari.

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{\text{vertical}} = 0, & \quad -mg - F - T_c \sin(15^\circ) + F_v(A) = 0 \\ \sum F_{\text{horizontal}} = 0, & \quad -T_c \cos(15^\circ) + F_h(A) = 0 \\ \sum M_{\text{ext}}(A) = 0, & \quad -mg(L/2)\cos(30^\circ) - FL\cos(30^\circ) + T_c L \sin(15^\circ) = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\text{d'on } \begin{cases} F_v(A) = 84,64 \text{ kN} \\ F_h(A) = 129,3 \text{ kN} \\ T_c = 133,8 \text{ kN} \end{cases}$$

E 3-21 a) Les forces exteriors que actuen sobre l'escala són: el pes, una força d'enllaç horitzontal a A $F_h(A)$ i una força d'enllaç a B amb components vertical $F_v(B)$ i horitzontal $F_h(B)$.

- b) Per a les forces es prenen positius el sentit vertical cap amunt i l'horitzontal cap a la dreta. Per als moments en la direcció perpendicular al pla de la figura es pren positiu en el sentit antihorari.

$$\left. \begin{array}{l} \sum F_{\text{vertical}} = 0, \quad -mg + F_V(B) = 0 \\ \sum F_{\text{horitzontal}} = 0, \quad F_h(A) + F_h(B) = 0 \\ \sum M_{\text{ext}}(A) = 0, \quad -mg(L/2)\cos(\alpha) - F_h(A)L\cos(\alpha) = 0 \end{array} \right\} \text{d'on } \begin{cases} F_h(A) = 22,04 \text{ N} \\ F_h(B) = -22,04 \text{ N} \\ F_V(B) = 250 \text{ N} \end{cases}$$

E 3-22 a) Sobre la barra OP les forces exteriors que actuen són: la força F_p , una força $N_{AB \rightarrow OP}$ normal a la barra que rep de la manovella AB (es pren en sentit $A \rightarrow B$) i una força d'enllaç a l'articulació O amb components vertical $F_V(O)$ i horitzontal $F_h(O)$.

Sobre la barra AB les forces exteriors que actuen són: una força $N_{OP \rightarrow AB}$ normal a la barra que rep de la barra OP (és la reacció de $N_{AB \rightarrow OP}$), el parell Γ i una força d'enllaç a l'articulació A amb components vertical $F_V(A)$ i horitzontal $F_h(A)$.

Per als moments en la direcció perpendicular al pla de la figura es pren positiu en el sentit antihorari.

b) Quan la barra AB és perpendicular a OP el triangle OAB es rectangle i per tant $\varphi = \arcsin(r/h) = 30^\circ$. En ser la barra d'inèrcia negligible $\sum \vec{F}_{\text{exteriors}} = 0$ i essent P un punt qualsevol. Prenent moments respecte a O

$$F_p L \sin(30^\circ) - N_{AB \rightarrow OP} h \cos(30^\circ) = 0, \quad N = 23,09 \text{ N.}$$

En ser N positiu la barra AB treballa a compressió (veure exercici E 3-18).

E 3-23 a) Sobre el braç extensible les forces exteriors que actuen són: el pes, la força F_c , el parell Γ i una força d'enllaç a l'articulació O amb components vertical $F_V(O)$ i horitzontal $F_h(O)$.

Sobre l'element desplaçable del braç les forces exteriors que actuen són: el pes, la força F_c , la força de l'actuador F i una força i un moment d'enllaç perpendiculars a la guia que permet l'extensió (procedents de l'altre element del braç).

La força i el parell dels actuadors depenen del pes, de la inèrcia i de la força F_p . Si en el planteig de les equacions de la dinàmica només es considera la força F_p s'obtenen les accions dels actuadors necessàries per fer aquesta força (Si només es consideres el pes s'obtindrien els parells necessaris per suportar el pes)

b) Prenent sobre l'element desplaçable $\sum F_{\text{exteriors}} = 0$ en la direcció d'extensió i sentit $O \rightarrow P$ positiu es té $F - F_c \sin(\theta) = 0$, $F = 1000 \text{ N}$.

Prenent sobre tot el braç $\sum M_{\text{exteriors}}(O) = 0$ en la direcció perpendicular a la figura i sentit positiu antihorari es té $\Gamma - F_c r \cos(\theta) = 0$, $\Gamma = 2598 \text{ Nm}$.

c) Prenent com referència relativa la que gira amb el braç

$$\vec{v}(P) = \vec{v}_{\text{abs}}(P) = \vec{v}_{\text{rel}}(P) + \vec{v}_{\text{ar}}(P), \quad v(P) = \sqrt{(\dot{\theta}r)^2 + \dot{r}^2} = 0,25 \text{ m/s.}$$

E 3-24 a) Aquest exercici és anàleg a l'anterior, només cal considerar que a l'extrem P la força exterior té dues components que es convenient prendre en la direcció de la guia F_t i normal a ella F_n .

- b) Prenent sobre l'element desplaçable $\sum F_{\text{exterior}} = 0$ en la direcció d'extensió i sentit $O \rightarrow P$ positiu es té $F - F_t = 0$, $F_t = 300 \text{ N}$.

Prenent sobre tot el braç $\sum M_{\text{exterior}}(O) = 0$ en la direcció perpendicular a la figura i sentit positiu antihorari es té $\Gamma + F_n r = 0$, $F_n = -400 \text{ N}$.

Cal tenir present que les components calculades corresponen a la força sobre el robot i per tant les components de la força que el robot fa sobre l'exterior són de sentits contraris.

El mòdul d'aquesta força és $F = \sqrt{F_t^2 + F_n^2} = 500 \text{ N}$.

- c) $v(P) = \sqrt{(\dot{\theta}r)^2 + \dot{r}^2} = 0,25 \text{ m/s}$.

E 3-25 a) La màxima capacitat de frenada s'obté quan la força horitzontal que el cotxe rep del terra és màxima, $T = \mu N = \mu mg = 8000 \text{ N}$.

- b) $\sum F_{\text{horitzontals}} = ma$, d'on $a = -8 \text{ m/s}^2$.

- c) El temps i l'espai mínims per frenar s'obtenen si durant tota la frenada s'aplica la màxima capacitat de frenada. En aquest cas el moviment és uniformement accelerat

$$v_2 = v_1 + at, \quad 0 = v + at \quad \text{d'on } t = 4 \text{ s.}$$

$$s_2 = s_1 + v_1 t + (1/2)at^2, \quad s = vt + (1/2)at^2 \quad \text{d'on } s = 64 \text{ m.}$$

E 3-26 a) $N = ps = 6283 \text{ N}$.

- b) Sobre una sabata les forces exteriors que actuen són: la força axial procedent del pistó N , una força procedent del disc amb una component normal N i una tangencial causada pel frec μN i una força i un moment d'enllaç perpendiculars a l'eix de les sabates procedents de la guia.

- c) $\Gamma_{\text{frenada}} = 2\mu Ne = 301,6 \text{ Nm}$

E 3-27 a) Sobre la politja del motor actuen les següents forces exteriors: la tensió de cada branca de la corretja (T_1 de la branca superior i T_2 de la branca inferior, ambdues de sentit cap a la dreta, el parell motor Γ i una força d'enllaç a l'eix amb dues components. En ser aquesta politja d'inèrcia negligible prenent sobre aquesta en la direcció perpendicular a la figura i sentit positiu antihorari es té

$$\sum M_{\text{exterior}}(\text{eix}) = 0, \quad -\Gamma - T_1 r + T_2 r = 0, \quad T_2 - T_1 = \Gamma/r$$

De manera semblant sobre la politja de l'eix de la màquina

$$\sum M_{\text{exterior}}(\text{eix}) = 0, \quad \Gamma_{\text{eix}} + T_1 R - T_2 R = 0, \quad \Gamma_{\text{eix}} = 300 \text{ Nm.}$$

- b) Prenent moments sobre la màquina respecte al seu eix

$$\sum M_{\text{exterior}}(\text{eix}) = I\alpha, \quad \text{d'on } \alpha = 3 \text{ rad/s}^2.$$

- E 3-28 a)** Les forces exteriors que actuen sobre el bloc són: el pes, la tensió del cable PR i la força de cadascuna de les barres $F_{PQ \rightarrow \text{bloc}}$ i $F_{SR \rightarrow \text{bloc}}$ que tenen la direcció de la barra en ser aquestes de inèrcia negligible i articulades en els seus extrems (i es prenen en sentit $P \rightarrow Q$ i $R \rightarrow S$ respectivament).

En tractar-se d'una situació estàtica $\sum \bar{F}_{\text{exteriors}} = 0$, $\sum \bar{M}_{\text{exteriors}}(P) = 0$ essent P un punt qualsevol. Agafant moments respecte el punt R en la direcció perpendicular al pla de la figura i prenent-los positius en el sentit antihorari

$$\sum M_{\text{exteriors}}(R) = 0, \quad -mge - F_{PQ \rightarrow \text{eix}}h = 0, \quad F_{PQ \rightarrow \text{eix}} = -400 \text{ N}$$

La barra PQ treballa a tracció i la seva tensió es de 400 N. (veure exercici E 3-18).

- b) Per a les components de les forces es pren sentit positiu cap amunt per la direcció vertical i cap a la dreta per a la direcció horitzontal.

$$\left. \begin{array}{l} \sum F_{\text{vertical}} = 0, \quad -mg + F_V(R) = 0 \\ \sum F_{\text{horitzontal}} = 0, \quad F_{PQ \rightarrow \text{eix}} + F_h(R) = 0 \end{array} \right\} \text{ d'on } \begin{cases} F_V(R) = 1000 \text{ N} \\ F_h(R) = 400 \text{ N} \end{cases}$$

- c) Considerant el sistema format per la barra SR i l'eix de l'articulació R, les forces exteriors que hi actuen són les reaccions de $F_V(R)$ i $F_h(R)$ (que actuen sobre el bloc) o la tensió T de cable. Prenent moments respecte al punt S

$$\sum M_{\text{exteriors}}(S) = 0, \quad -F_V L + T L \sin(\alpha) = 0 \quad \text{d'on } T = 1887 \text{ N.}$$