

11 Objectes estructurals

11.97 Pont llevadís

Un pont llevadís es aquell que permet, mitjançant el moviment del seu tauler, el trànsit de vehicles i de vaixells. El que el diferencia d'altres ponts és que, sense el moviment del tauler, el trànsit de vaixells, com a mínim de vaixells de certa alçada, no seria possible. Aquesta aplicació, desenvolupada amb GeoGebra, analitza un tipus de pont llevadís format per dues barres A-B-C, amb contrapès en el punt A, que pivoten al voltant del punt B. El pont es completa amb dues barres verticals B-E (amb una alçada H no inferior a la llum del pont L) i quatre tirants, B-D i C-F. Aquests últims, destinats a alçar el tauler amb l'estructura fonamental formada per les bigues E-F que defineixen la llum del pont L (fig. 11.217). El punt F, a més, és un punt mòbil de GeoGebra que serveix per mobilitzar el tauler del pont.

Si designem com α l'angle que forma el tauler amb l'horitzontal, l'aplicació té com a objectiu estudiar el comportament estructural del pont sota tres circumstàncies o fases diferents. La primera es dona quan $\alpha=0^\circ$, de repòs, en la qual el trànsit de vehicles és possible i la càrrega sobre el tauler està composta pel seu pes propi p i la sobrecàrrega d'utilització q (fig. 11.218). La segona es dona quan $90^\circ > \alpha > 0^\circ$, és a dir, quan el pont altera la seva posició de repòs. En aquesta fase únicament actua el pes propi. Finalment, quan $\alpha=90^\circ$, el pont queda plegat i és possible el pas de vaixells. I l'única càrrega segueix sent el pes propi, que es canalitza directament cap el punt E sense produir fenòmens de flexió (fig. 11.219).

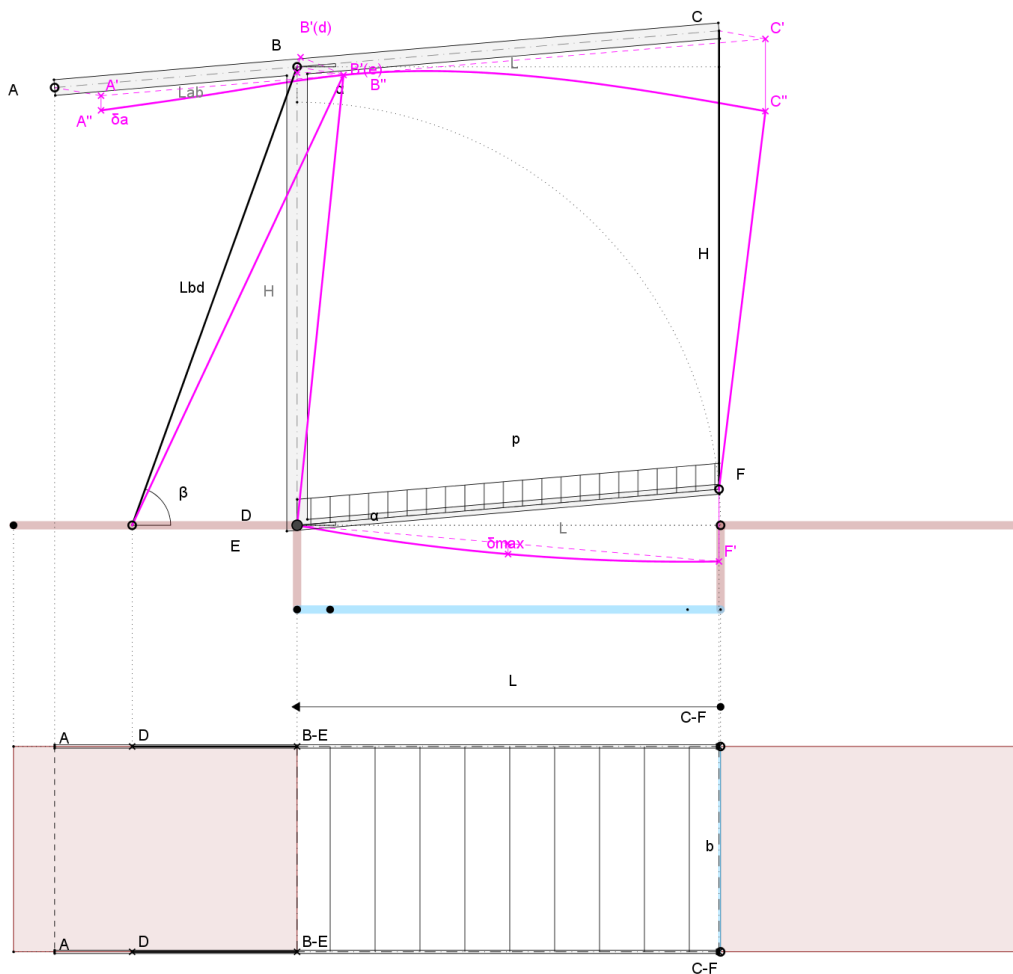


Fig. 11.217

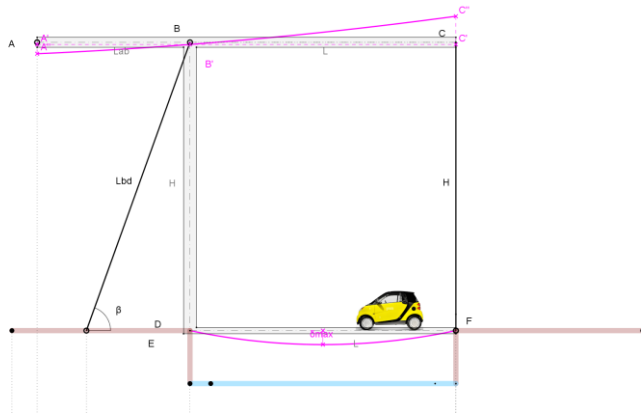


Fig. 11.218

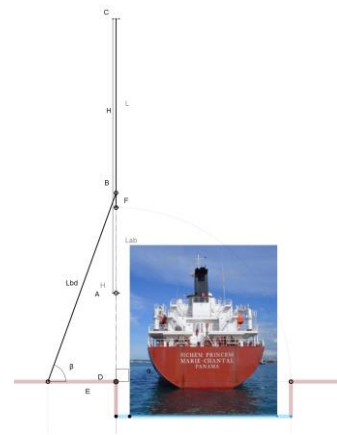


Fig. 11.219

Qüestions prèvies.

.1. Atès que el pont és simètric en referència a una línia horitzontal que passa per la meitat de la seva amplada b , es considerarà la meitat del pont. De la mateixa manera, es considerarà la meitat del contrapès $Na/2$.

.2. Un pont llevadís amb contrapès necessita inevitablement la col·laboració d'un motor mecànic. Aquest proporciona una potència que se avalua com si fos un moment. Mmb en mkN.

.3. Contrapès. Quan es projecta un pont llevadís amb contrapès, aquest últim té un pes determinat i invariable Na . I no és únicament el pes el que determina l'acció del contrapès, sinó també la distància Lab . De manera que, prèviament, caldria fer una proposta de Na i Lab perquè el contrapès permeti fer un ús del motor el més eficient possible.

.4. Es descompon l'anàlisi del pont en tres parts o fases:

Fase 1. Fase de repòs. $\alpha = 0^\circ$

Fase 2. Fase de moviment. $90^\circ > \alpha > 0^\circ$

Fase 3. Fase de plegat. $\alpha = 90^\circ$

.5. En aquest cas, atesa la complexitat de l'aplicació, es creu convenient fer un exemple.

Les dades de l'exemple del pont lliscant són les següents:

Llum. $L = 14$ m

Altura. $H = 15,66$ m

Amplada. $B = 7$ m

Predimensionat del contrapès. $Na/2 = 120$ kN

Predimensionat de la llum del contrapès. $Lab = 8$ m

Longitud tirant B-D. $Lbd = 16,71$ m

$\beta = 69,6^\circ$

Prèviament al càlcul de les fases es realitza un predimensionat del contrapès. Això es fa a la 'Fase 2' prenent moments des del punt B del contrapès $Na/2$, $Mb(Na/2)$ i de la càrrega p $Mb(p)$. Es tindrà en compte que el predimensionat varia en funció d' α . Finalment, la idoneïtat del contrapès serà comprovada a cadascuna de les fases. Per $\alpha = 21,33^\circ$ tindrem:

$$Mb(Na/2) = Na/2 \cdot Lab \cdot \cos(\alpha) = 894,52 \text{ mkN}$$

$$Mb(p) = Rf \cdot L \cdot \cos(\alpha) / 2 = 1279,15 \text{ mkN}$$

La força estrictament necessària per suportar el pont de forma estàtica seria:

$M_{mb} = M_b(p) - M_b(Na/2) = 384.62 \text{ mkN}$. El predimensionat del contrapès indica que el pont sense motor té tendència a baixar i no a pujar.

El moviment pèssim seria per a un angle una mica menor de 90° . Com per exemple $\alpha = 89.91^\circ$, tindriem:

$$M_b(Na/2) = 1.48 \text{ mkN}$$

$$M_b(p) = 2.11 \text{ mkN}$$

$$M_{mot} = 0.64 \text{ mkN}$$

Com es comprova, el predimensionat del contrapès segueix sent correcte.

Fase 1. Es dona quan $\alpha = 0^\circ$, el pont es troba en repòs, el trànsit de vehicles és possible i la càrrega pròpia p (4 kN/m^2) es veu incrementada amb la càrrega d'utilització q (10.01 kN/m^2).

Reaccions. $R_{b1} = (Na/2) + R_{c1} = 188.59 \text{ kN}$

$$R_{c1} = (Na/2) \cdot L_{ab}/L = 68.59 \text{ kN}$$

$$R_{d1} = 0$$

$$R_{e1} = R_{b1} + (p+q) \cdot L \cdot b/4 = 532.09 \text{ kN}$$

$$R_{f1} = (p+q) \cdot L \cdot b/4 - R_{c1} = 274.92 \text{ kN}$$

La situació pèssima per al contrapès seria quan la sobrecàrrega és $q = 0$. En aquesta circumstància R_{f1} serà:

$R_{f1} = p \cdot L \cdot b/4 - R_{c1} = 29.43 \text{ kN}$. Sent $R_{f1} > 0$ el contrapès en aquesta fase és correcte. L'aplicació no contempla la possibilitat que R_{f1} sigui negatiu, la qual cosa indicaria que el pont té tendència a pujar quan no existeix sobrecàrrega d'utilització.

Barra B-E

Axial. $N_1 = R_{b1} = 188.59 \text{ kN}$

Deformació. $\delta_1(B-B') = R_{b1} \cdot H / (A_{be} \cdot E_b) = 3.66 \text{ mm}$. Aquesta deformació es transmet al llarg de la barra A-B-C creant les deformacions: $\delta_1(A-A') = \delta_1(C-C') = \delta_1(B-B') = 3.66 \text{ mm}$

Barra A-B-C

Moment flector màxim. $M_{1max} = Na/2 \cdot L_{ab} = 960.29 \text{ mkN}$

Esforç tallant màxim. $V_{1max} = Na/2 = 120 \text{ kN}$

Tensió màxima. $\sigma_{1max} = M_{1max} \cdot (h_{abc}/2) / I_{abc} = 33.25 \text{ N/mm}^2$

Deformació. $\delta_1(A'-A'') = Na/2 \cdot L_{ab}^3 / (3 \cdot E_b \cdot I_{abc}) = 14.05 \text{ mm}$

Deformació. $\delta_1(C'-C'') = R_{c1} \cdot L^3 / (3 \cdot E_b \cdot I_{abc}) = 43.03 \text{ mm}$

La deformació del punt C ($C'-C''$ amb tendència a aixecar-se) quan $\alpha = 0^\circ$ és altament inestable (pot ser motivat per l'excés d'informació de l'aplicació). Es recomana per a aquesta situació es faci Ctrl+R, que obliga a recalcular l'aplicació.

Barra E-F

Moment flector màxim. $M_{1max} = (p+q) \cdot (b/2) \cdot L^2/8 = 1202.40 \text{ mkN}$

Esforç tallant màxim. $V_{1max} = (p+q) \cdot (b/2) \cdot L/2 = 343.51 \text{ kN}$

Tensió màxima. $\sigma_{1max} = M_{1max} \cdot (h_{ef}/2) / I_{ef} = 60.57 \text{ N/mm}^2$

Deformació màxima. $\delta_{1max} = 5 \cdot (p+q) \cdot (b/2) \cdot L^4 / (384 \cdot E_b \cdot I_{ef}) = 36.02 \text{ mm}$

Fase 2. Es dona quan $90^\circ > \alpha > 0^\circ$. En aquest cas s'utilitzen les condicions convencionals de l'equilibri suposant el cas més pèssim. Aquest es dona quan el motor col·locat en el punt B falla. És a dir, quan $M_{mb} = 0$ mkN. Per a un angle $\alpha = 18.88^\circ$ tindrem:

Reaccions. $R_{c2} = 98.08$ kN
 $R_{e2} = 384.02$ kN
 $\varepsilon = 3.72^\circ$
 $R_{ex2} = 24.95$ kN
 $R_{ey2} = 383.21$ kN
 $R_{d2} = 71.55$ kN
 $R_{dx2} = 24.95$ kN
 $R_{dy2} = 67.06$ kN
 $R_{f2} = 98.08$ kN

Barra A-B-C

Moment flector màxim. $M_{2max} = 1299.27$ mkN
Esforç tallant màxim. $V_{2max} = 120$ kN
Tensió màxima. $\sigma_{2max} = 44.99$ N/mm²
Deformació. $\delta_2(A'-A'') = 11.91$ mm
Deformació. $\delta_2(C'-C'') = 52.12$ mm

Barra B-E

Axial. $N_2 = 316.15$ kN
Tensió. $\sigma_2 = 79.04$ N/mm²
Deformació. $\delta_2(B-B'(e)) = 6.13$ mm

Barra E-F

Moment flector màxim. $M_{2max} = 307.33$ mkN
Esforç tallant màxim. $V_{2max} = 92.8$ kN
Tensió màxima. $\sigma_{2max} = 15.48$ N/mm²
Deformació màxima. $\delta_{2max} = 8.24$ mm
Deformació. $\delta_2(F-F') = 61.17$ mm

Tirant B-D

Axial. $N_2 = 71.75$ kN
Tensió. $\sigma_2 = 227.76$ N/mm²
Deformació. $\delta_2(B-B'(e)) = 15.86$ mm

Tirant C-F

Axial. $N_2 = 98.08$ kN
Tensió. $\sigma_2 = 138.75$ N/mm²
Deformació. $\delta_2(C'-C'') = 9.05$ mm

Deformacions

$\delta_2(A-A') = \delta_2(B-B') = \delta_2(C-C') = 63.08$ mm

Fase 3. Es dona quan $\alpha = 90^\circ$. En aquesta fase tindrem:

Reacció $R_{e3} = 316.15$ kN
Barra A-B. Axial $N_3 = 120$ kN
Barra E-F. Axial $N_3 = 196.15$ kN
Barra B-E. Axial $N_3 = 316.15$ kN