

## 15 Regions D. Bieles i tirants

### 15.24 Mur de contenció

#### 15.24.1 Mur de contenció. Exemple

### 15.24 Mur de contenció

Es tracta de resoldre un mur de contenció de terres en mènula, és a dir autoportant (fig. 15.32), utilitzant el sistema de bieles i tirants. A la 16ena edició revisada (i no a les anteriors) del llibre *'Hormigón Armado' (Jiménez Montoya Esencial)* de Juan Carlos Arroyo Portero, Francisco Morán Cabré i Alvaro Garcia Meseguer editat per Cinter, en el capítol 22 *'Regiones D. Método de bieles i tirantes'* es diu que una forma d'analitzar els murs de contenció de terres en mènula és pel mètode de bieles i tirants. Aquesta aplicació demostrarà que això no és possible. En tot cas, com a exercici didàctic, s'ha cregut necessari desenvolupar l'aplicació per poder comprovar les disfuncions que hi apareixen.

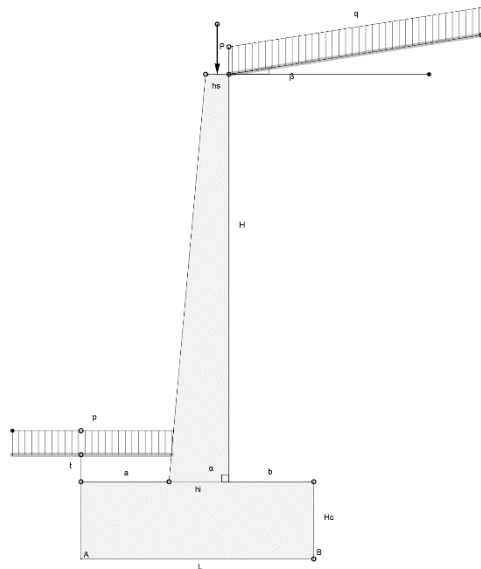


Fig. 15.32

punts mòbils, mentre que les característiques del terreny ( $\phi$  i  $\delta$ ) i els pesos específics ( $\gamma$  i  $\gamma_m$ ) es determinen per punts lliscants. L'única limitació és l'angle  $\alpha$  que forma el trasdós del mur amb la testa superior del capçal amb valor  $\alpha = 90^\circ$ . Amb la intenció de no esgotar els recursos del programa i, al mateix temps, comprovar les característiques que ofereix GeoGebra per resoldre un problema eminentment gràfic, no s'han considerat elements importants del problema com poden ser el lliscament, la bolcada, la cohesió de les terres o l'empenta passiva, qüestions que ja queden resoltes en altres aplicacions del capítol 8 dedicat als murs de contenció de terres resolts per sistemes de càlcul convencionals.

Forces. El conjunt de forces (fig. 15.33) que actuen en el mur de contenció són les següents:

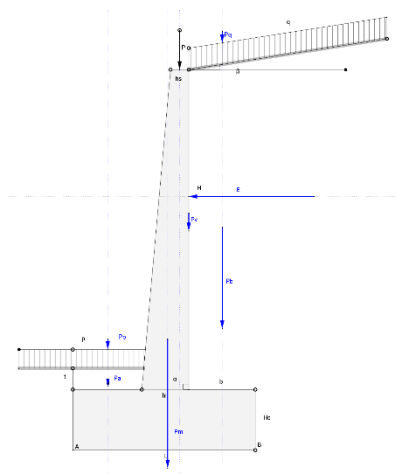


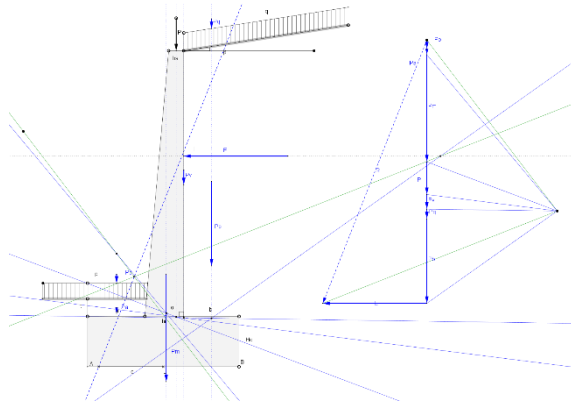
Fig. 15.33

- Pp. Càrrega produïda per la càrrega exterior p aplicada en el centroid de d'a.
- Pa. Càrrega produïda per la terra d'altura t i pes específic  $\gamma$  aplicada en el centroid de a.
- Pq. Càrrega produïda per la càrrega q aplicada en el centroid de b.
- Pb. Càrrega produïda pel pes de les terres que actuen en la dimensió b, altura H, pes específic  $\gamma$  i aplicada en el centroid de b.
- Pm. Pes del mur i capçal de pes específic  $\gamma_m$  aplicat en el centroid del conjunt del mur i la seva fonamentació.
- E. Empenta horitzontal calculada i aplicada segons les fórmules subministrades per Coulomb.

·Pv. Component vertical de l'empenta calculada i aplicada segons les fórmules subministrades per Coulomb.

És important observar que aquestes forces no es troben en equilibri. Aquest equilibri tampoc s'aconseguiria considerant l'empenta passiva. El lliscament o la bolcada són circumstàncies que no es podrien donar si el mur estigués en equilibri estàtic.

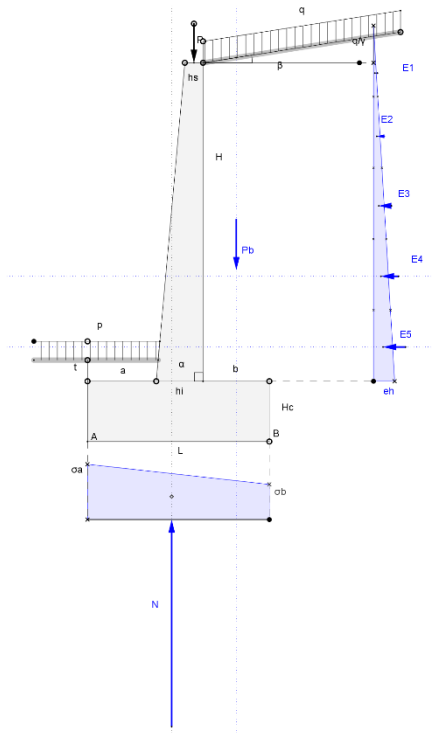
Excentricitat de les forces. Aquestes forces produeixen una certa excentricitat  $e$  (fig. 15.34) a la



testa inferior del capçal del mur. Per calcular aquesta excentricitat es crea un polígon funicular que ens permetrà calcular la resultant del conjunt de les forces  $R$  i la seva inclinació. Amb aquestes dues qüestions resoltes s'obté la dimensió  $e$ .

Fig. 15.34

Forces que actuen a les bieles i tirants. A continuació es tracta de determinar quines forces serviran per a la construcció de les bieles i els tirants (fig. 15.35). Aquestes seran:



·Pb. Pes de les terres.

·E. L'empenta  $E$  es descompon en  $E1$ ,  $E2$ ,  $E3$ ,  $E4$  i  $E5$  segons una llei triangular. Els vèrtexs dels triangles el formen superiorment el valor  $q/\gamma$  i inferiorment  $eh$ , determinat per Coulomb.

·N. Resultat del volum de tensions produït com a reacció del terreny a la testa inferior del capçal. El volum de tensions el formen  $oa$ ,  $ob$ ,  $L$  i la profunditat  $b$ , que és d'1 m.  $N$  està aplicat en el centroide d'aquest volum.

Els punts d'aplicació d'aquestes forces seran els naixements de les bieles i tirants corresponents.

Fig. 15.35

Bieles i tirants. Un cop feta la proposta de bieles i tirants corresponent a les càrregues anteriorment indicades, arriba el moment de calcular la nova estructura que, formada per les bieles i tirants, s'ha creat. Aquesta estructura, que està formada per barres amb els seus extrems articulats (fig. 15.36), pot ser isostàtica o hiperestàtica, però en aquest cas és isostàtica. Per resoldre-la s'utilitza el mètode de Cremona descompost (per facilitar el traçat gràfic) segons les

The diagram illustrates the internal force distributions in a frame structure. The horizontal beam is subjected to a uniformly distributed load  $p$ . The vertical column is subjected to a horizontal load  $H$  and a vertical load  $P$ . The diagram includes numerical values for internal forces and reactions, and a detailed view of the joint at the top of the column.

**Internal Force Distributions:**

- Shear Force (V):** Represented by a solid line. Values range from 0 to 11.12.
- Bending Moment (M):** Represented by a dashed line. Values range from 0 to 12.6.
- Axial Force (N):** Represented by a dotted line. Values range from 0 to 11.12.

**Reaction Forces:**

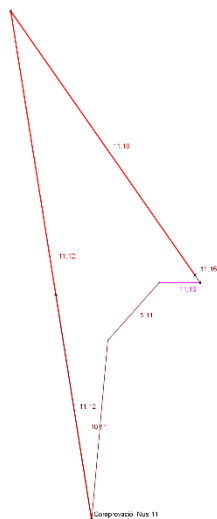
- At the base of the column:  $R_H = 11.12$  (horizontal),  $R_V = 12.6$  (vertical).
- At the base of the beam:  $R_H = 11.12$  (horizontal),  $R_V = 12.6$  (vertical).

**Joint Detail:**

The joint at the top of the column shows the following internal forces:

- Shear Force:  $V = 11.12$
- Bending Moment:  $M = 12.6$
- Axial Force:  $N = 11.12$

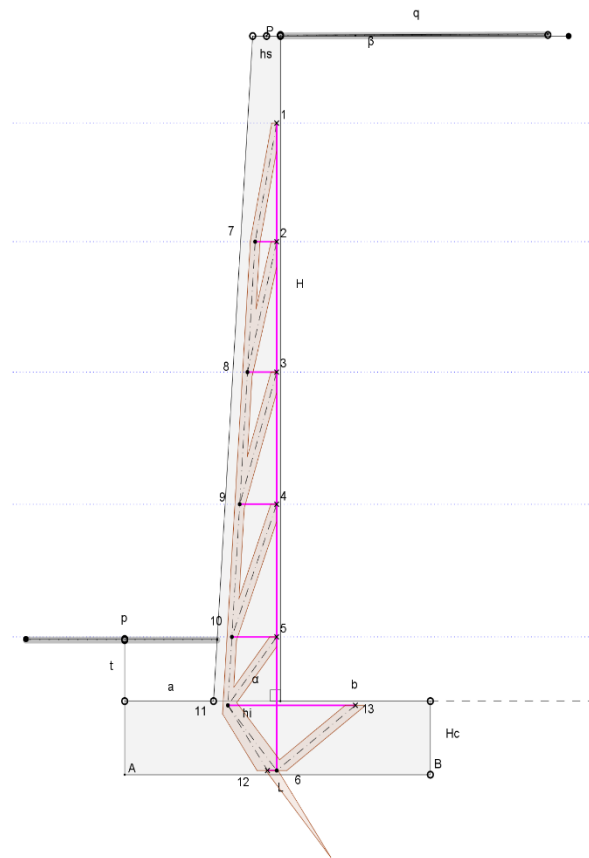
Com es deia anteriorment, el conjunt de forces que actuen en el mur no està en equilibri. En conseqüència, **tampoc poden estar en equilibri les forces que actuen a l'estructura articulada. El sistema de Cremona no tanca en una clara demostració de la falta d'equilibri.** Enfront d'aquesta adversitat, s'ha intentat que les diferències en els valor de les distintes barres s'acumulessin a les barres que formen el nus 11 (fig.15.37), on s'observa la disparitat de resultats obtinguts a les bieles 11.16 i 11.12. En aquets resultats s'han considerat els valors més desfavorables.



Com a conclusió, és evident que el mètode de bieles i tirants no és adequat per al càlcul de murs de contenció en mènsula.

A la tercera edició del llibre '*Muros de contención y muros de sótano*' de José Calavera Ruiz publicat per Intemac, s'ha extret un exemple (fig. 15.38) que ha de servir per comparar els dos sistemes utilitzats per calcular el mur de contenció, ja que el professor Calavera utilitza un sistema analític.

Els paràmetres d'entrada de dades són els següents:



- Altura del fust.  $H= 5.4 \text{ m}$
- Altura del capçal.  $H_c= 0.60 \text{ m}$
- Testa superior del fust.  $h_s= 0.25 \text{ m}$
- Testa inferior del fust.  $h_i= 0.60 \text{ m}$
- Dimensió de la puntera.  $a= 0.80 \text{ m}$
- Dimensió del taló.  $b= 1.35 \text{ m}$
- Dimensió del capçal.  $L= 2.75 \text{ m}$
- Càrregues repartides exteriors.  $p=q=0 \text{ kN/m}^3$
- Càrrega concentrada exterior.  $P= 0 \text{ kN}$
- Altura de la terra a la puntera.  $t= 0.50 \text{ m}$
- Angle de la càrrega exterior  $q$ .  $\beta= 0^\circ$
- Angle de lliscament de les terres.  $\varphi= 30^\circ$
- Angle de lliscament entre terres i mur.  $\delta= 10^\circ$  (No contemplat per Calavera)
- Pes específic de les terres.  $\gamma= 18 \text{ kN/m}^3$
- Pes específic del material de mur i capçal.  $\gamma_m= 25 \text{ kN/m}^3$  (No contemplat per Calavera)
- Recobriments de les armadures.  $d, d_s= d, s= d, i= 3.5 \text{ cm}$
- Límit elàstic característic de l'acer.  $f_{yk}= 500 \text{ N/mm}^2$
- Resistència característica del formigó.  $f_{ck}= 25 \text{ N/mm}^2$

Fig. 15.38

Segons el sistema de càlcul mitjançant bieles i tirants no queda concret ni el bolcament ni el lliscament del mur. Per al tema vinculat amb el desequilibri del mur tampoc no podem tenir en compte ni l'armat superior ni l'inferior del capçal. L'únic ponderable és l'armat a tracció de les armadures que es troben en el trasdós del fust. Calavera arma aquest punt amb varetes  $\phi 12$  cada 11 cm, cosa que dona una capacitat mecànica de 451 kN. Amb el càlcul de bieles i tirants, la màxima força que es produeix en el trasdós és de 60.52 kN, valor significativament menor que el donat per Calavera.

Com a conclusió es podria dir que es pot calcular el mur per mètodes analítics o gràfics i únicament aplicar el mètode de bieles i tirants per determinar l'armadura del trasdós, cosa que evidentment no és gens pràctica.