

## 11 Objectes estructurals

### 11.93 Parets de fàbrica de maó. Peritatge

Actualment, els edificis de certa altura es projecten amb estructura metàl·lica, de formigó armat o fusta. Al contrari de temps enrere, és improbable que l'estructura d'un edifici es projecti amb fàbrica de maó. Però en el parc edificatori existeixen moltes edificacions construïdes amb fàbrica de maó que, sotmeses a un procés de diagnosi, necessiten ser comprovades o peritades. Això consisteix en saber si les parets de fàbrica de maó resisteixen amb suficient seguretat les forces a què estan sol·licitades. Serà necessari conèixer les tensions a què està sotmesa la paret per comparar-les amb altres de referència obtingudes generalment amb proves de laboratori. El signe d'aquesta comparació ens obligarà a realitzar un projecte d'intervenció si és negatiu o a efectuar inspeccions periòdiques per comprovar que, efectivament, no canvien les condicions de sobrecàrrega, si és positiu.

Encara que existeixen normes que contemplen el càlcul de estructures d'obra nova de fàbrica de maó, no n'hi ha cap que, explícitament, s'hagi redactat pensant únicament amb l'edificació existent. Efectivament, la diferència essencial entre una edificació calculada i construïda segons normes i una altra que no ho ha estat, és que els nusos entre el sostre i la fàbrica de maó s'han considerat de diferent manera. Les normes actuals obliguen a què el nus sostre-paret sigui hiperestàtic. Això s'aconsegueix col·locant un encadenat (o arriostament horitzontal o cercol) en la trobada entre paret i sostre. Aquest encadenat, de formigó armat, el formen barres longitudinals i cercols les quanties de les quals són establertes per les normes. Òbviament, l'encadenat a la planta superior on la paret no té continuïtat i, per tant, no hi ha una carga superior que encasti el nus, no té un caràcter hiperestàtic, de forma que, conceptualment, tant és que, sota aquesta circumstància, hi hagi un encadenat o no.

La norma FL-90, '*Muros resistentes de fàbrica de ladrillo*' permet calcular les parets de fàbrica de maó, tant si existeix encadenat o no. És la que s'ha utilitzat per realitzar aquesta aplicació. A les figures 11.196 i 11.197 es veuen dues seccions del nus entre els sostres i la fàbrica de maó, tant amb encadenat com sense. Pel que es veu, una de les operacions més importants en la fase de prospecció, si no es disposa d'informació prèvia, serà la de comprovar, cosa no sempre fàcil, si existeix l'encadenat.

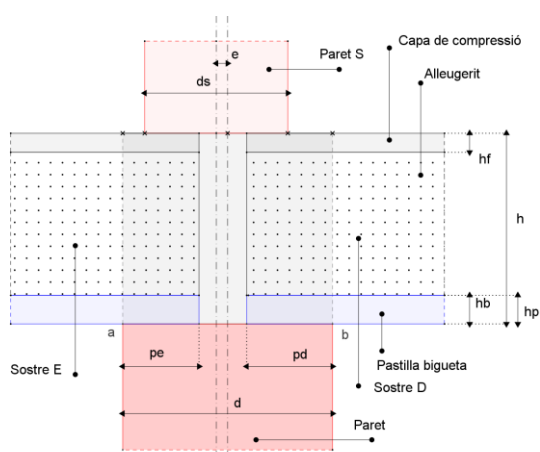


Fig. 11.196

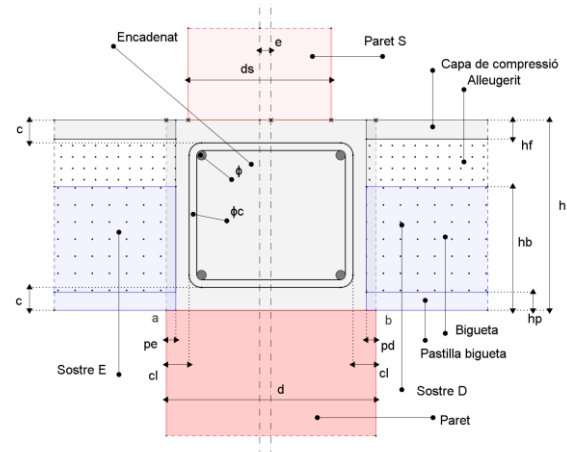


Fig. 11.197

Per problemes de falta de recursos en el programa GeoGebra no ha estat possible dibuixar les seccions amb la seva nomenclatura. Aquesta s'ensenya mitjançant imatges. Per a cada hipòtesi apareix la corresponent nomenclatura. És el que es veu a les figures 11.198 a 11.209 en què:

- 11.198 a 11.200. Paret sense encadenat en el sostre més elevat.
- 11.201 a 11.203. Paret sense encadenat en un sostre intermedi.
- 11.204 a 11.206. Paret amb encadenat en el sostre més elevat.
- 11.207 a 11.209. Paret amb encadenat en un sostre intermedi.

Quan no existeix encadenat, les tensions es calculen en funció de les excentricitats produïdes per les diverses sol·licitacions que actuen a la paret d'amplada  $d$ . Aquestes excentricitats determinen unes tensions que segueixen una llei lineal segons Navier. Aquesta llei es té en consideració únicament a la paret inferior, en el seu contacte amb el sostre, és a dir, a la línia  $a-b$ , i en els seus punts singulars,  $a$  i  $b$  (fig. 11.198 a 11.203). El sostre està carregat amb la càrrega de càlcul (o majorada)  $Q,d$ , deduïda de la càrrega de servei total  $Q$  i del seu coeficient de seguretat global  $\gamma_f$  (que engloba, de la mateixa manera que  $Q$ , les sobrecàrregues variables i les càrregues permanents). Les dues es troben a la segona pantalla gràfica com punts lliscants. Aquesta sol·licitació amb les llums del sostre de la dreta  $L_d$  i el de l'esquerra  $L_e$ , produeix una càrrega de càlcul de valor  $q_{d,d}$  en el forjat de la dreta i de  $q_{e,d}$  en el forjat de l'esquerra. Les càrregues actuen amb una excentricitat que ve fixada per la norma FL-90. És  $ex_d$  per al forjat de la dreta i  $ex_e$  per el de l'esquerra. Les dues venen definides en funció de la penetració de les biguetes del sostre a la paret,  $pd$  i  $pe$ , que es controlen per respectius punts lliscants. Aquesta penetració és important, atès que és l'únic aspecte que proporciona l'estabilitat de les biguetes. I com que no existeix encadenat, la penetració és neta en l'interior de la paret. Quan la paret es troba en una planta intermèdia i existeix una paret superior d'amplada  $d_s$ , aquesta, si no està centrada, també produeix una excentricitat de valor  $e$ . Amb la tensió gravitatòria produïda per les càrregues  $\sigma_{ab,d}$  i la deguda a les excentricitats, es calculen les tensions, que finalment són  $\sigma_{a,d}$  en el punt  $a$ , i  $\sigma_{b,d}$  en el punt  $b$ , de la secció  $a-b$ . Aquestes tensions poden ser positives de compressió o negatives de tracció. En el primer cas, es comparen amb la tensió  $f,d$  i en el segon amb  $-0.1 \cdot f,d$ , que són les tensions de càlcul (o minorades) que pot resistir la paret que és objecte de càlcul. El valor  $f,d$  resulta del quocient  $f_k/\gamma_m$  en què  $f_k$  és la resistència de la paret de fàbrica obtinguda, en aquest cas, en un laboratori a partir d'una proveta extreta de la paret de fàbrica de maó que es perita, i  $\gamma_m$  el coeficient de seguretat adoptat, amb valors pròxims a 2.5. Tant  $f_k$  com  $\gamma_m$  es determinen amb punts lliscants.

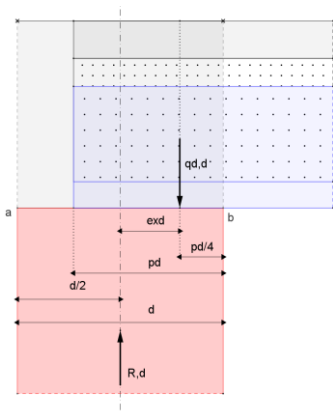


Fig. 11.198

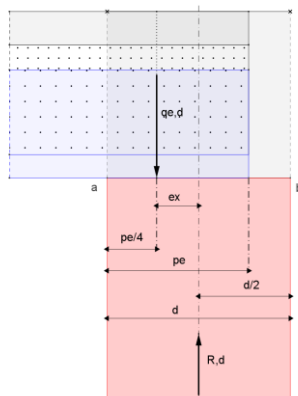


Fig. 11.199

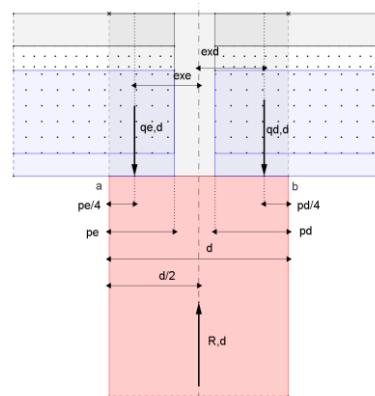


Fig. 11.200

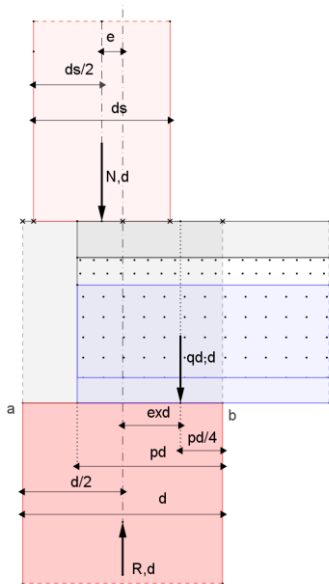


Fig. 11.201

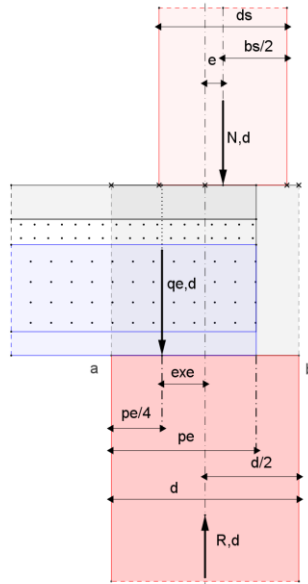


Fig. 11.202

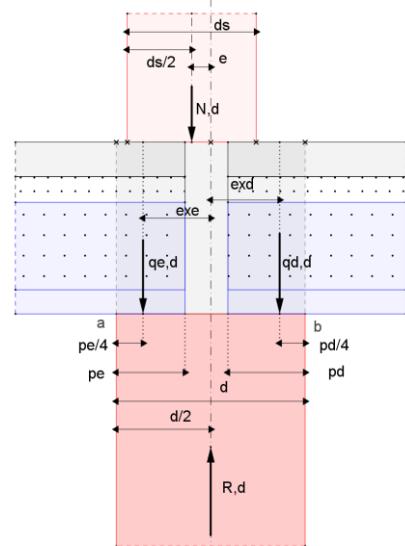


Fig. 11.203

Quan la paret de fàbrica de maó té un encadenat (fig. 11.204 a 11.209) les tensions es calculen de forma molt diferent, excepte si es tracta de la paret del sostre superior (fig. 11.204 a 11.206) en què el càlcul es realitza de la mateixa manera que el vist anteriorment. És a dir, que un encadenat a la planta superior, tot i ser molt convenient des del punt de vista de l'estabilitat general, no és operatiu per al càlcul de tensions. Per tant, un encadenat necessita una càrrega concentrada de les parets superiors  $N,d$  per convertir-se en un objecte estructural capaç de produir un moment hiperestàtic  $M,d$ . Apart dels valors  $Q,d$ ,  $L,d$ ,  $Le$ ,  $q_d,d$ ,  $q_e,d$  i  $\sigma_{ab,d}$  ja considerats anteriorment, per trobar les tensions produïdes pel moment  $M,d$  es necessitarà:

- La rigidesa de la paret que es calcula  $\rho$ , la de la paret superior  $\rho_s$ , la del sostre de la dreta  $pd$  i la del sostre de l'esquerra  $pe$ . Per a aquest càlcul és necessari conèixer la llum dels sostres i les altures de les parets (fig. 11.211).
- La deformabilitat de la fàbrica de maó  $\varepsilon$ , que ve en funció del tipus de maó i morter, que es determina per respectius punts lliscants.
- El mòdul de deformació de la fàbrica de maó  $E$ , que la norma FL-90 defineix com a  $E = fd/\varepsilon$ .
- El mòdul de deformació del formigó del forjat  $E_f = 8500 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3}$  sent  $f_{ck}$  la resistència característica a compressió del formigó, tal com el defineix l'EHE-08.
- El descentrament lateral de la paret superior amb referència a la inferior  $r$ .
- Excentricitat de les forces que actuen respectivament a la part inferior  $e_i$ , i superior  $e_s$ , del cantell  $h$  del sostre.
- Quan la paret té encadenat, la penetració de les biguetes en la paret no s'utilitza per assegurar la seva estabilitat, sinó que és el seu armat i, especialment, els armats de negatius del forjat, els que assegurin la seva continuïtat. A més, la penetració excessiva de les biguetes deterioraria l'armat i l'objectiu hiperestàtic de l'encadenat.

Aquests paràmetres anunciats permeten calcular  $M,d$  i, en funció d'aquest, les tensions  $\sigma,d$  i  $\sigma_s,d$ . A les figures 11.207 a 11.209 es pot veure que les tensions sempre són positives de compressió i actuen, en general, en una part de la secció. La inferior  $\sigma,d$  a la trobada entre la testa superior de la paret i l'inferior del sostre, i la superior  $\sigma_s,d$  entre la testa inferior de la paret i la superior del sostre. Quan es tracta de conèixer les idoneïtats d'aquestes tensions s'ha de comparar, com es feia anteriorment, amb el valor de  $f,d$ . Com que  $f,d$  depèn de la resistència de

trencament a compressió  $f_k$ , es tindrà en compte que serà la característica si es tracta de projecte, o l'obtinguda en el laboratori si es tracta de peritatge.

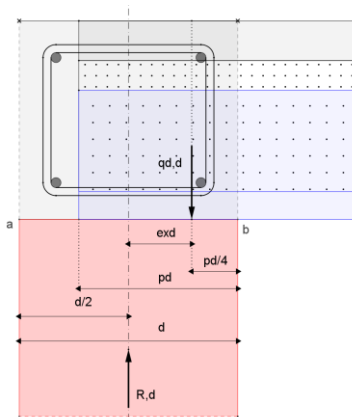


Fig. 11.204

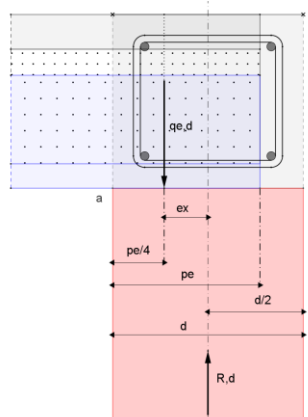


Fig. 11.205

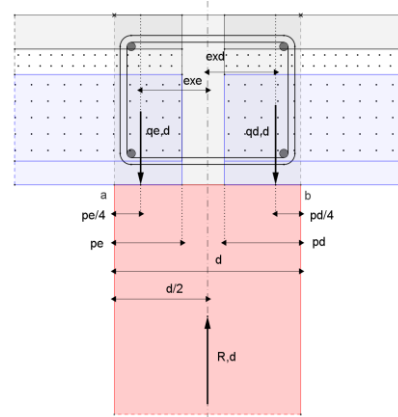


Fig. 11.206

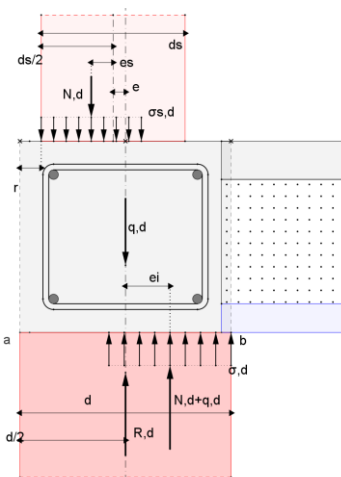


Fig. 11.207

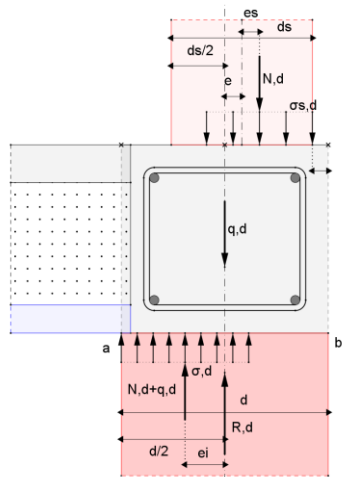


Fig. 11.208

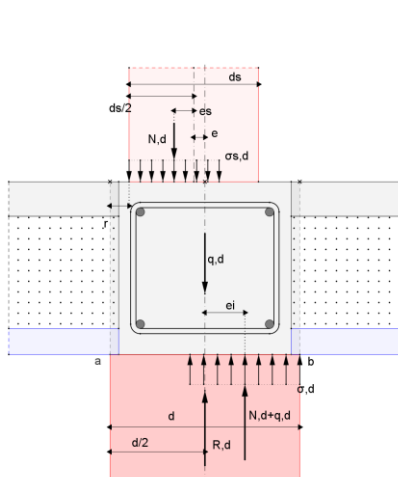


Fig. 11.209

Proposem un exemple amb els següents valors:

- Altura de la paret.  $H = 3.5$  m.
- Dimensió de la paret.  $e = 25$  cm.
- Altura de la paret superior.  $H_s = 3.0$  m.
- Dimensió de la paret superior.  $e_s = 15$  cm.
- Càrrega total sostre.  $Q = 6$  kN/m<sup>2</sup>. Sobrecàrregues i càrregues permanents.
- Coeficient de seguretat global de la càrrega al sostre.  $\gamma_f = 1.55$ . Engloba tots els coeficients de majoració de les càrregues i sobrecàrregues.
- Resistència a compressió de la fàbrica de maó.  $f_k = 4$  N/mm<sup>2</sup>. És el valor de la resistència característica si es tracta de projecte  $f_{kk}$ , o el valor obtingut en el laboratori  $f_k$ , si es tracta de fàbrica de maó existent (peritatge).
- Tipus de maó: calat (*perforado*).
- Tipus de morter: de calç.
- Resistència a compressió del formigó del sostre o forjat.  $f_c = 25$  N/mm<sup>2</sup>. És el valor de la resistència característica si se tracta de projecte  $f_{ck}$ , o el valor obtingut en el laboratori  $f_c$  si es tracta de sostre existent (peritatge).
- Penetració de les biguetes del sostre en la fàbrica de maó. Llum dreta.  $pd = 7$  cm.
- Penetració de les biguetes del sostre en la fàbrica de maó. Llum esquerra.  $pe = 7$  cm.

- Excentricitat de la paret superior.  $e = -1.96$  cm.
- Llum del sostre situat a la dreta de la paret.  $L_d = 5.0$  m.
- Llum del sostre situat a l'esquerra de la paret.  $L_e = 3.0$  m.

Per a aquests valors i en la situació sense encadenat ha resultat:

- $\sigma_{a,d} = 0.43$  N/mm<sup>2</sup> tensió de càlcul a compressió en el punt a de la secció a-b.
- $\sigma_{b,d} = -0.13$  N/mm<sup>2</sup> tensió de càlcul (a tracció) en el punt b de la secció a-b.

Per a la situació amb encadenat:

- $\sigma_{d,d} = 1.07$  N/mm<sup>2</sup> tensió de càlcul a compressió, uniforme i parcial a la secció a-b de la paret inferior.
- $\sigma_{s,d} = 2.54$  N/mm<sup>2</sup> tensió de càlcul a compressió, uniforme i parcial a la secció compresa entre l'inici de la paret superior i la testa superior del sostre.

El càlcul a flexopandeig es realitza de la mateixa manera, tant si la paret està encadenada com si no. Les qüestions a considerar són les següents:

- Altura virtual  $H_v = \alpha \cdot H$ . En què  $\alpha$  depèn que hi hagi encadenat o no i de la separació  $L$  entre arriostaments verticals (fig. 11.210).
- Esveltesa  $\lambda = H_v/d$ . L'esveltesa defineix la relació entre l'altura virtual i l'amplada de la paret.
- Excentricitat unitària  $\eta$  que és en funció de l'esveltesa  $\lambda$  i del coeficient de deformabilitat de la fàbrica de maó  $\varepsilon$ .
- Les excentricitats  $e_m$ ,  $e_i$  i  $e_f$  s'observen a la figura 11.212. L'aplicació no té en compte el nus inferior al considerat. És per això que s'adopta  $e_n = 0$ . Això pot fer variar el valor final de la tensió de pandeig en un sentit o en un altre segons les circumstàncies del nus inferior, però no es creu que sigui de forma significativa. En tot cas, es poden calcular els dos nusos  $i$ , amb el valor real d'en calcular l'excentricitat de pandeig  $e_f$ . Aquesta es troba aproximadament a la mitat de l'altura  $H$  de la paret.
- El moment degut al pandeig  $m_{f,d}$  es calcula en funció de l'excentricitat de pandeig  $e_f$ .
- La tensió que produeix el moment de pandeig  $\sigma_{f,d}$  es troba de la manera convencional deguda a Navier.
- Finalment, per poder decidir sobre la idoneïtat de  $\sigma_{f,d}$  s'ha de comparar amb la resistència de càlcul de la fàbrica de maó  $f_{d,d}$ .

En l'exemple proposat i considerant el flexopandeig, la tensió a meitat d'alçada de la paret  $H/2$  és de  $\sigma_{f,d} = 4$  N/mm<sup>2</sup> en el cas d'encadenat, i de  $\sigma_{f,d} = 14.29$  N/mm<sup>2</sup> sense encadenat.

Les conclusions dels resultats obtinguts són les següents:

- Els resultats, segons es disposi de encadenat o no, són absolutament diferents.
- Les tensions són significativament més altes quan la paret es troba encadenada que quan no ho està. És l'efecte de la hiperestaticitat. Es una qüestió a tenir en compte en el peritatge.
- Quan es considera el flexopandeig, es veu clarament la influència de l'encadenat. Al contrari del que passa en el càlcul de tensions a la secció, aquí es veu clarament que les tensions es disparen per pandeig en les parets no encadenades.

Per al càlcul de l'agulla (fig. 11.210) s'utilitza una forma molt simplificada i aproximada d'anàlisi. Consisteix en calcular, primerament, la tensió que produeix la reacció de la llinda. A continuació, es calcula el factor  $f = 100/t_1$ . Aquest factor es multiplica pel valor obtingut de les tensions, tant si la paret es troba encadenada o no, i se suma a l'anterior. El resultat és  $\sigma_{a,t1,d,aprox}$  i  $\sigma_{b,t1,d,aprox}$  si la paret no es troba encadenada, o  $\sigma_{t1,d,aprox}$  i  $\sigma_{s,t1,d,aprox}$  si es troba

encadenada. Aquests valors s'hauran de comparar amb  $f_d$  per poder definir la idoneïtat de l'agulla. En tot cas, es pot refer el procediment en el full de càlcul que acompanya l'aplicació canviant 100 per  $t_1$ .

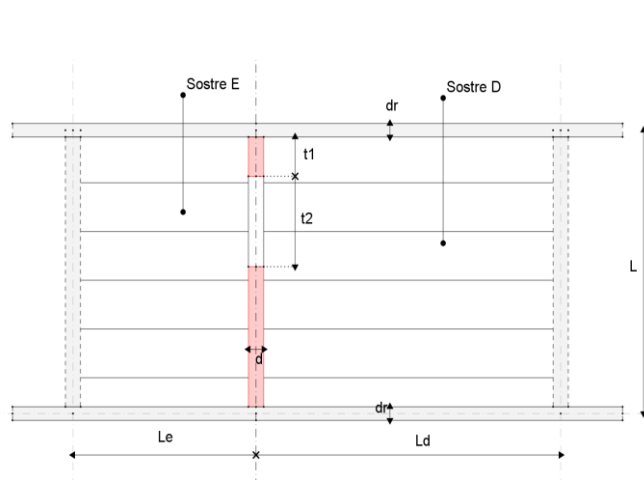


Fig. 11.210

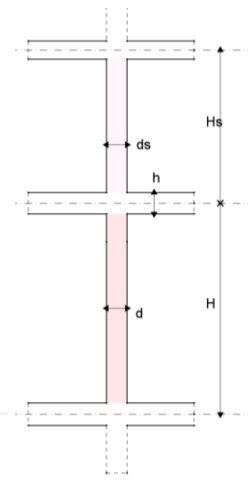


Fig. 11.211

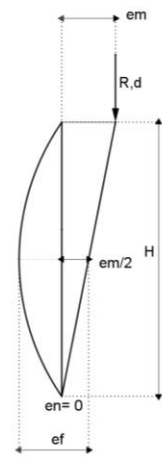


Fig. 11.212

Un tema de difícil plantejament és el dels mòduls de deformació. Per al de la fàbrica de maó E, la FL-90 fa intervenir el tipus de maó i morter. El CTE diu  $E = 1000 \cdot f_k$  sent  $f_k$  la resistència de la fàbrica de maó. El valor d'E obtingut d'aquesta manera és, en general, més alt que l'indicat a la FL-90. Per al mòdul de deformació del sostre  $E_f$  es considera el del formigó que compon el propi forjat. En general, s'adopta el valor indicat a l'instrucció EHE-08, de tal manera que  $E_f = 8500 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3}$ , sent  $f_{ck}$  la resistència característica a compressió del formigó. Aquests dos valors es poden modificar, si es creu convenient, directament 'matxacant' els valors que es troben ombrejats al full de càlcul que acompanya l'aplicació de GeoGebra, però influeixen poc en el resultat final de les tensions.