12.10 Punxonament

Si algun tema ha estat profundament meditat pels autors de llibres especialitzats de formigó armat i per les instruccions, és el punxonament. És un tema interessant atès que els trencaments per punxonament són sobtats, sense avís previ. No és estrany que es donin interpretacions diferents segons els autors i segons les instruccions. Aquesta aplicació es divideix en dues parts molt diferenciades. La primera és la definició del perímetre crític i la segona la determinació de les tensions. Quant al perímetre crític, es defineixen 8 tipus diferents de suports, segons la seva forma en una secció transversal, que generaran també 8 tipus diferents de perímetres crítics. La forma dels suports es tria amb un punt lliscant. Són els següents:

1. Triangle equilàter...(fig. 12.47)
2. Quadrat...(fig. 12.48)
3. Rectangular...(fig. 12.49)
4. Cercle...(fig. 12.50)
5. El·lipse...(fig. 12.51)
6. Pentàgon regular...(fig. 12.52)
7. Hexàgon regular...(fig. 12.53)
8. Forma còncava (12 punts)...(fig. 12.54)

Excepte en el tipus 8, la dimensió dels suports es regula pel punt mòbil P[1]. El punt O apareix en els suports del tipus 1 al 5. Aquest punt, en mobilitzar-se, arrossega els eixos x i y de forma ortogonal. Els dos eixos volen ser el perímetre del forjat o placa que transmet la càrrega al suport. D'aquesta manera desapareix (provisionalment) la classificació que, sobre el tema del punxonament, es fa dels suports segons siguin centrals, perimetrals o de cantonada. No obstant això els tipus 6 a 8 són necessàriament suports centrals.

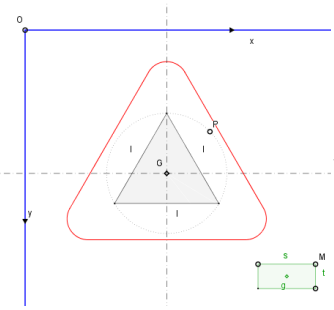


Fig. 12.47

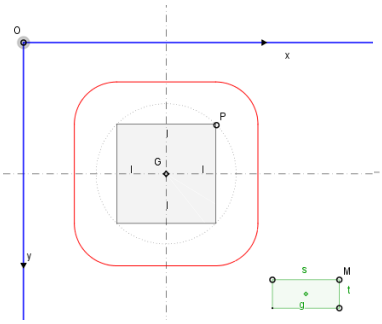


Fig. 12.48

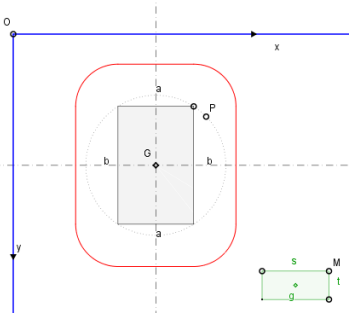


Fig. 12.49

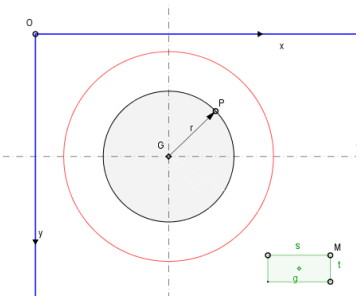


Fig. 12.50

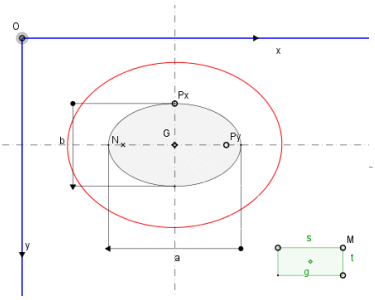


Fig. 12.51

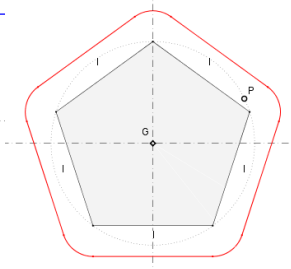
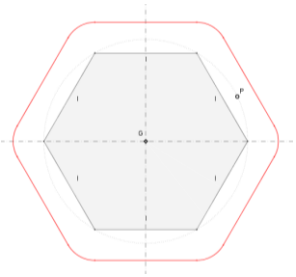


Fig. 12.52

[1] En el tipus 5 les dimensions les marquen els moviments dels punt mòbils Px i Py.



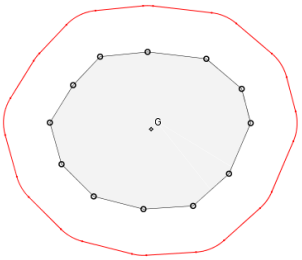


Fig. 12.53 Fig. 12.54

En els 5 primers tipus de suports apareix un forat ortogonal, amb dimensions paral·leles als eixos de referència O, i de dimensions s i t. El forat es trasllada movent el punt mòbil M. El forat no apareix en els tipus 6 a 8.

A les figures adjuntes s'observa que el perímetre crític és sempre el complet, dibuixat amb color vermell i separat una distància e (punt lliscant) de les cares dels suports. El tall que forma el forjat amb el perímetre crític no es dibuixa però es calcula.

Les observacions al perímetre crític són les següents.

.1. El punt G. Aquest punt és fix. És l'origen de coordenades (X,Y) que està indicat amb línia discontinua i defineix (dels tipus 1 a 5) els quadrats del pla del dibuix. Igualment és el baricentre de tots els tipus de suports.

.2. El punt O. A diferència del punt G, aquest es mòbil i defineix uns eixos x i y i paral·lels als determinats pel punt G. Són coordenades locals. El punt O es mou únicament pel segon quadrant dels eixos de centre G (X,Y).

.3. Obtenció del perímetre de càlcul Pcal. Amb independència de la posició del punt O, el perímetre crític es dibuixa sempre complet. La seva dimensió és Pc. Però la posició del punt O pot afectar el perímetre crític, retallant-lo. Aquest retall es comptabilitza com Po. El forat, excepte si alguna de les dimensions s o t són zero, sempre retalla el perímetre crític en una dimensió Pf. D'aquesta manera, el perímetre crític de càlcul serà Pcal= Pc-Po-Pf.

.4. Càlcul del perímetre crític. En tots el casos, l'obtenció del perímetre crític complet Pc s'efectua de forma geomètrica i exacta. El valor de Po és exacte en els tipus 1 a 4, es calcula de forma aproximada en el tipus 5 [2], i no es calcula en els tipus 6 a 8. El valor de Pf sempre és aproximat [3] excepte en el tipus 4, que és exacte i no es calcula en els tipus 6 a 8.

.5. El forat. El forat es mou a partir del punt mòbil M. Disposa de dos punts més on es poden donar valors a les dimensions s i t. El punt M ha de trobar-se a l'angle superior dreta del forat. Quan el forat canvia de quadrant, és el baricentre g el qui el defineix. Pot passar, segons les dimensions del forat, que es produeixin certes distorsions, gens significatives, en passar d'un quadrant a l'altre.

[2] Es crea una discretització per punts.

[3] L'aproximació es realitza amb un cercle circumscrit al perímetre crític, excepte en el tipus 5 que es fa una discretització per punts. Amb el cercle circumscrit, els valors obtinguts de retall són una mica més grans que els reals.

.6. El valor d'e. La distància e defineix la longitud entre cadascuna de les cares del suport i el perímetre crític. Com es deia al principi d'aquesta memòria, es dona certa dispersió en aquest valor segons sigui l'autor o la instrucció. Per exemple, el '*Código ACI- 318*' i el '*Código Modelo CEB-FIP*' admeten el valor e= d/2, sent d el cantell útil del forjat o placa. La '*Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08'* adopta el valor e= 2·d. En aquesta aplicació s'han col·locat dos punts lliscants, un per definir d i un altre per definir e, que estarà comprés precisament entre els valor d/2 i 2·d.

.7. El perímetre crític Po a descomptar per la posició d'O i allò que es descompta pel forat Pf no són excloents. És a dir, que es pot donar el cas, molt improbable, que els dos valors de Po i de Pf se superposin. En aquest cas, la correcció s'ha de efectuar manualment.

La segona part d'aquesta aplicació és la determinació de les tensions de punxonament. El càlcul d'aquestes tensions és complicat i laboriós, tal com es contempla a les actuals instruccions. Atès que intervenen moltes variables sense cap component geomètric i per no omplir la segona pantalla gràfica de punts lliscants, s'ha preferit proposar un sistema simplificat, però amb prou garanties, com el que es troba a la 13ena edició (1991) del llibre '*Hormigón Armado*' de *P. Jiménez Montoya, A. García Meseguer* i *F. Morán Cabré* de l'*Editorial Gustavo Gili SA.* En el punt b) del seu estudi sobre el punxonament apareix el '*Cálculo práctico de la tensió tangencial màxima*', que és el que utilitzarem a la present aplicació.

No s'ha trobat cap estudi de punxonament que estudiï el perímetre crític sense fer distinció de la situació del suport amb referència al forjat o placa. Ens trobem doncs amb la incongruència que aquesta posició no és necessària en el càlcul geomètric del perímetre crític i sí en el càlcul de les tensions. En conseqüència, es dona un punt lliscant que indica la posició del suport i que haurà de ser ("aproximadament") compatible amb la posició del punt O. Des d'aquest punt de vista, Montoya-Meseguer-Morán defineixen els valors del perímetre crític rectangularitzat. A partir d'aquests valors es troben els paràmetres kx i ky, que afecten respectivament els moments flectors Mx i My que són els produïts en el nus que forma la placa amb el suport. Els valors de kx i ky són diferents en funció de la posició del suport, d'aquí la importància de definir la seva posició. La fórmula general utilitzada és $\tau max = Vd/Ac\ (1+kx\cdot|ex|/a+ky\cdot|ey|/b) <= fpd$ sent:

-Vd. Valor de càlcul de la càrrega del suport en el forjat corresponent menys, la càrrega que es troba dintre del perímetre crític. La zona de la càrrega a descomptar es diu Zp i es calcula.
-Ac l'àrea resistent de la secció crítica. Ac= Pcal·d.
-ex. Excentricitat de valor Mx/Vd. En valor absolut.
-ey. Excentricitat de valor My/Vd. En valor absolut.
-a i b. Dimensions del perímetre crític Pc rectangularitzat.
-kx, ky. Variables comentats anteriorment. Adimensionals.
-Mx. Diferència de moments flectors de càlcul a la secció vertical de l'eix X. Amb valor absolut. Produeix l'excentricitat ex.
-My. Diferència de moments flectors de càlcul a la secció vertical de l'eix Y. Amb valor absolut. Produeix l'excentricitat ey.
-fpd= fcd^(1/2). Sent fcd la resistència de càlcul del formigó.

Per respectar la nomenclatura del mètode utilitzat, s'han definit els eixos X i Y que passen pel punt G.

El mètode simplificat de càlcul a punxonament del formigó armat implica dues recomanacions:
e= d/2.
Tipus de suport: 2 i 3.

Un altre qüestió referent al mètode és que únicament es fa la comparació entre la màxima tensió calculada τmax i fpd, que és la tensió de càlcul a punxonament del formigó. Si τmax>fpd, voldrà dir que s'ha de preveure una armadura especialment dissenyada per absorbir el punxonament, cosa que no es contempla en aquesta aplicació.

A la fig. 12.55 s'ha reproduït la informació donada a la segona pantalla gràfica.

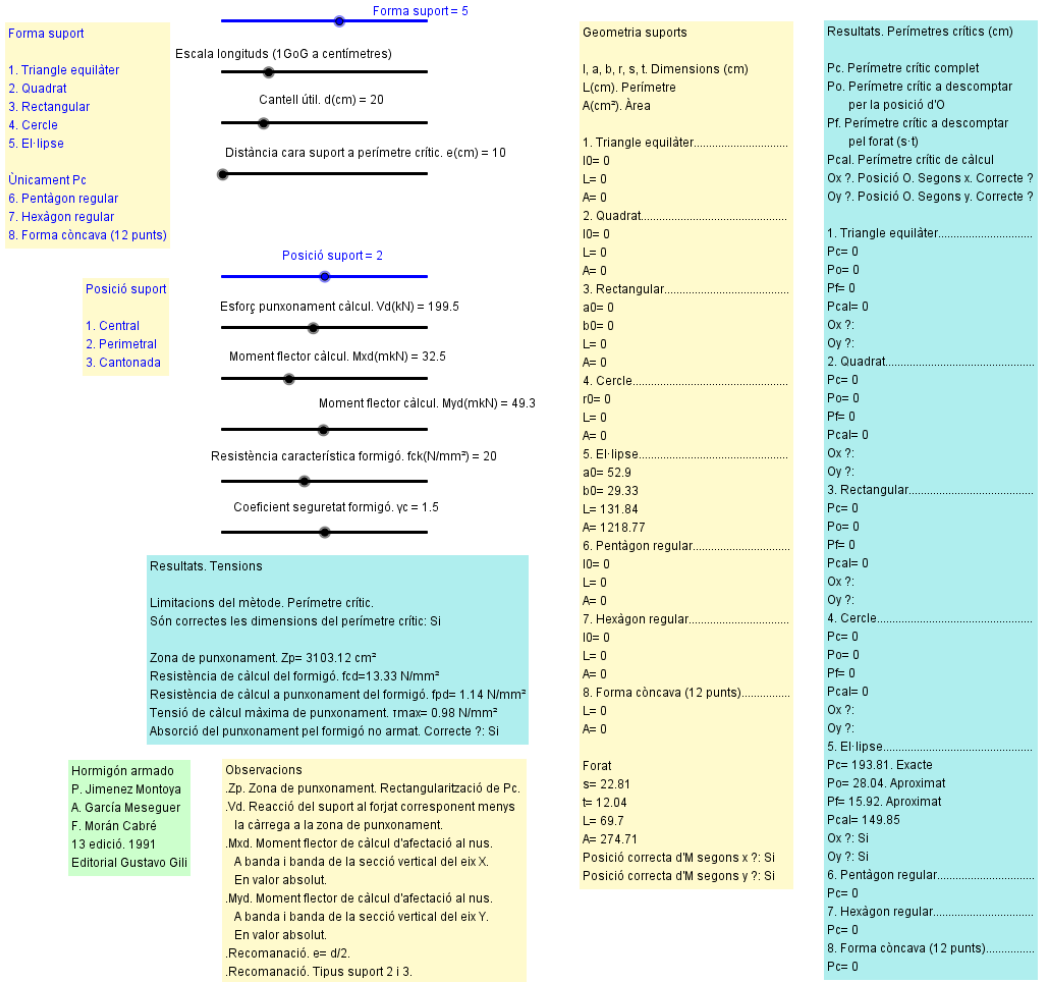


Fig. 12.55