

## REFORÇ DE PILARS DE FORMIGÓ AMB PERFILS METÀL·LICS

Xavier Falguera Valverde

### ÀMBIT D'APLICACIÓ

En algun moment se'ns pot plantejar el fet d'haver de reforçar un pilar de formigó armat de secció rectangular. El motius poden ser varis i en podem destacar alguns d'ells:

-La resistència del formigó està per sota de la del projecte, en cas d'estructures en construcció

-La construcció de l'element ha estat deficient

-El càlcul del projecte és equivocat i el dimensionat del pilar és insuficient

-L'augment de la càrrega que rep el pilar motivat per un augment de la càrrega dels sostres que hi incideixen

-El deteriorament del pilar motivat per un fet accidental com per exemple un impacte o sisme

-L'augment de l'alçada lliure del pilar pel fet d'eliminar un sostre o biga en un determinat nivell

Segur que trobem més casos on sigui necessari el reforç, però el comú denominador de tota actuació en aquest sentit ha de ser el de retornar al pilar el coeficient de seguretat adequat.

### FORMES D'ACTUACIÓ POSSIBLES

Hi ha diverses formes de abordar el reforç d'un pilar de formigó: segons el tipus d'intervenció, economia, temps d'execució, etc. Algunes d'aquestes son per exemple:

-Recrescut del pilar amb addició d'armat

-Reforç amb fibres de carboni

-Encamisat amb plaques metàl·liques

-Reforç amb perfils units per xapes metàl·liques

L'objectiu d'aquest article és aprofundir en el reforç amb perfils tipus LPN disposats a les cantonades, i units entre sí amb xapes metàl·liques situades a una distància constant al llarg de tot el reforç.

### DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA

Com ja hem apuntat anteriorment el sistema consisteix en col·locar 4 perfils tipus LPN a les 4 cantonades de pilar, generalment de costats

simètrics, i disposats simètricament respecte la secció del pilar a reforçar. Aquests perfils han d'estar units cada certa distància per xapes metàl·liques per evitar el guerxament donada la poca inèrcia que tenen per separat. A tot això hem d'afegir un remat inferior i superior que generalment s'acostuma a fer amb els mateixos perfils tipus LPN disposats a les cantonades. Aquests remats poden estar collats al formigó del parament superior i/o inferior amb tacs, o simplement rematats amb morter sense retracció.



Figura 1.

El sistema un cop executat correspon a la tipologia de pilar compost, que apareix a nombrosa bibliografia, incloent la actual normativa EAE al seu article nº 70.3 " *Soportes de sección compuesta*". Per tant, des del punt de vista normatiu aquesta solució està plenament reconeguda. El reforç ha de complir uns certs criteris segons aquesta norma. Entre altres aquests criteris son:

-Element compost és un element estructural compost per 2 ó més perfils simples, paral·lels a la seva directriu.

-Han d'estar units de forma discontinua i modular, per mitjà d'elements perpendiculars a la directriu (xapes)

-Per assegurar la transmissió d'esforços és necessari a més disposar en els extrems de l'element compost xapes unides a les plaques extremes

-Els elements d'unió dels perfils principals (xapes) dividiran l'element en trams iguals entre sí, de longitud "a", sent el número d'aquests trams en un mateix element estructural igual o més gran que 3.

-La longitud de tot tram en què es divideix l'element no ha de ser superior a  $50 \cdot i_{\min}$ , sent  $i_{\min}$  el radi de gir mínim d'un dels perfils principals.

### CÀRREGA A SUPORTAR

En general tenim que el nostre pilar és capaç de resistir una determinada fracció de la càrrega inferior a la prevista, i aleshores apareix la necessitat de reforçar-lo. Aquesta determinada fracció es pot obtenir recalculant el pilar amb les dades reals de l'obra. Aleshores semblaria lògic dimensionar el reforç per la resta de fracció que no pot resistir el pilar de formigó. El fet és que la diferència de mòduls d'elasticitat entre el formigó i l'acer (aproximadament  $20.000 \text{ N/mm}^2$  i  $200.000 \text{ N/mm}^2$  respectivament) fa pensar que sigui poc probable que ambdós elements treballin conjuntament, tot i que realment el que hem de comparar és el producte del mòdul d'elasticitat per l'àrea del reforç dividit per la longitud de la peça. Si fem aquesta comparació a l'exemple que hi ha al final d'aquest article veurem que pel costat del formigó tenim  $20.000 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} / 3000 \text{ mm} = 600.000 \text{ N/mm}$ , i pel costat de l'acer tenim  $200.000 \text{ N/mm}^2 \times 3760 \text{ mm}^2 / 3000 \text{ mm} = 250.666 \text{ N/mm}$ . Per aquest motiu el que es considera més raonable és dimensionar el reforç per tal de suportar el 100% de la càrrega. Cal dir que aleshores el més adequat seria parlar de substitució funcional.

### TRANSMISSIÓ DE LA CÀRREGA

La càrrega arriba al reforç a través del sostre on acaba aquest (a la seva part superior), i la passa al pilar inferior a través del sostre on comença el reforç (a la seva part inferior), o al fonaments en el cas que no hi hagi pilar inferior. La càrrega doncs no passa al reforç per fregament.

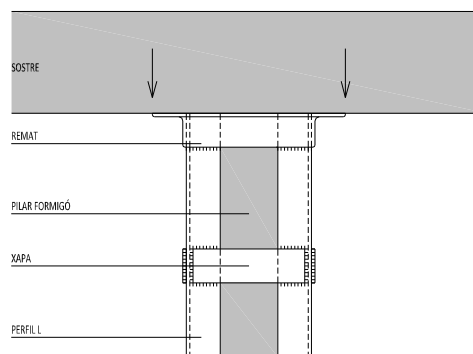


Figura 2.

Per tant, quan tenim un pilar reforçat i el pilar superior no reforçat, la càrrega passa del pilar superior al sostre i del sostre al reforç. De la mateixa manera que quan tenim un pilar reforçat i el pilar inferior no reforçat, la càrrega passa del reforç al sostre i del sostre al pilar inferior.

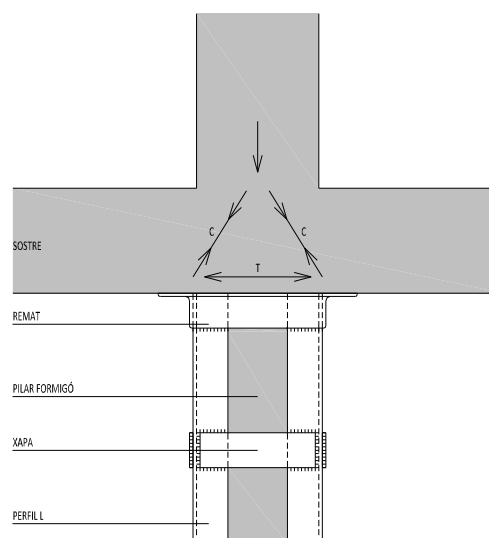


Figura 3.

Aquest mecanisme depèn doncs de la creació de bieles de compressió i tracció dins del sostre encarregat de transmetre la càrrega. Si alguna d'aquestes bieles supera la seva resistència s'haurà de prolongar el reforç al pilar superior i/o al pilar inferior. En aquest cas la càrrega passa del reforç superior a l'inferior aprofitant la resistència a compressió del formigó que hi ha al voltant del pilar.

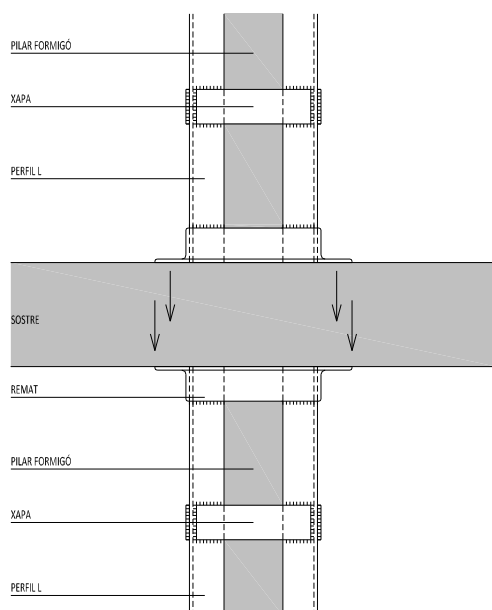


Figura 4.

Aquesta unió també es pot materialitzar amb perns que uneixin la part inferior d'un reforç amb la part superior de l'altre reforç, travessant el sostre, i dimensionats per què siguin capaços d'absorbir la càrrega.

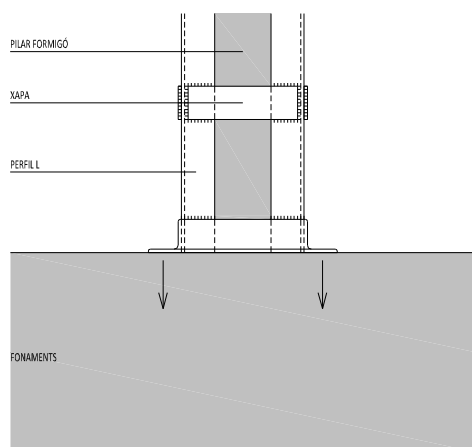


Figura 5.

## EXECUCIÓ

Abans de començar s'ha de preparar el pilar per tal de garantir l'òptim treball del reforç.

Per aconseguir que els perfils toquin al pilar és convenient arrodonir les arestes per permetre un contacte total. Alguns cops es pot omplir el possible espai que hagi pogut quedar amb morter sense retracció. Aquest contacte fa que el pilar quedi faixat, fet que en millora el comportament.

Per garantir la transmissió de càrregues entre sostre i reforç o entre reforç i fonaments cal retirar els revestiments com el guix, paviment, solera, etc, fins arribar a la superfície de formigó. A més és aconsellable disposar una capa de morter sense retracció entre l'acer i el formigó per regularitzar la superfície de contacte i aconseguir un recolzament sense arestes. En alguns casos es poden afegir tacs mecànics o químics amb la finalitat de fixar millor el reforç, solució que afegeix una seguretat addicional en front dels esforços tallants.

També es poden escalfar les xapes abans de soldar-les amb l'objectiu que en contraguin i tensin el reforç cap al pilar de formigó. Aquest sistema no disposa d'un control de la càrrega aplicada i es fa difícil de valorar la seva eficàcia. Estaria destinat a afegir l'efecte de faixat al pilar de formigó, però una pressió excessiva podria ser perjudicial pel pilar reforçat.

## DADES PRÈVIES

Abans de començar el càlcul del reforç hem de recopilar una sèrie de dades que ens faran falta més endavant quan abordem el càlcul del reforç.

Primer hem de saber les dimensions del pilar, qualitat del formigó, nº de barres i qualitat de l'acer. Per obtenir-les tenim al nostre abast les eines de diagnosi habituals en aquests casos.

Un cop definit el pilar a estudiar hem de trobar les càrregues actants. Per fer-ho podem fer des d'una baixada de càrregues més o menys exacte (podem obtenir un axial) fins a crear un model en un programa informàtic (on obtenim axial i moments). És altament recomanable utilitzar un parell de mètodes per poder comparar-ne els resultats, tot i que el dia a dia potser no ens ho facilita.

## CÀLCULS

Un cop conegudes les dades prèvies ja podem calcular el pilar a estudiar, obtenint el coeficient de seguretat global de la peça, que ens permetrà decidir si s'ha de reforçar o no.

Si el resultat és que el pilar s'ha de reforçar, ja hem apuntat abans que la diferència de mòduls d'elasticitat fa recomanable que calculem el reforç per a la totalitat de la càrrega.

El mètode aquí exposat (el mètode  $w$ ) està pensat per calcular el reforç sotmès a axial i dos moments flectors. Si hem fet una baixada de càrregues i només disposem d'un axial hem de prendre precaucions per què la més que probable existència de moments farà

que alguns dels 4 perfils que formen el reforç estiguin més carregats que altres. Per tant si només disposem d'axial és convenient tenir en compte una excentricitat mínima que previngui aquest efecte.

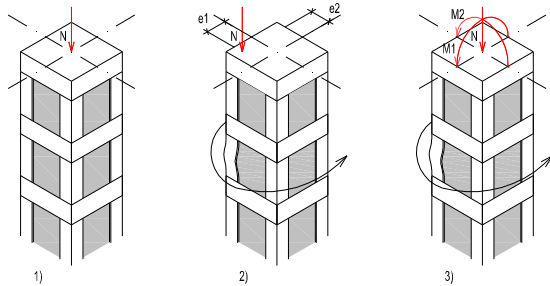


Figura 6.

Per calcular el reforç he pensat en el mètode  $w$  per la simplicitat de funcionament. Això ens permet realitzar el càlcul de forma manual, o també poder programar un full de càlcul que realitzi les operacions. El millor d'aquests mètodes és que com que els hem d'aplicar pas a pas son completament transparents i sabem en tot moment les comprovacions que es van realitzant sobre un aspecte o un altre.

El mètode  $w$  està recollit a la normativa espanyola NBE-EA-95, ja derogada, entre altres.

En general considerem que la tensió normal màxima en una barra sotmesa a axial i 2 moments flectors és:

$$\sigma_x = \frac{N_{dx}}{A} + \frac{M_{dy}}{W_y} + \frac{M_{dz}}{W_z}$$

on:

$\sigma_x$ : Tensió normal

$N_{dx}$ : Axial de càlcul

$M_{dy}$ : Moment de càlcul al voltant de l'eix y

$M_{dz}$ : Moment de càlcul al voltant del l'eix z

A: Àrea de la secció

$W_y$ : Mòdul resistent respecte l'eix y

$W_z$ : Mòdul resistent respecte l'eix z

Nota: s'ha considerat que l'eix directriu de la barra analitzada és l'eix "x", i que perpendicularment a aquest existeixen els eixos "y" i "z"

Si tenim una barra, definim l'esveltesa mecànica com:

$$\lambda = \frac{l_K}{i}$$

on:

l: esveltesa mecànica

$l_K$ : Longitud de pandeig segons el pla de referència (habitualment la longitud del pilar)

i: Radi de gir de la secció bruta de la peça respecte a l'eix d'inèrcia considerat

Com en el nostre cas tenim perfils compostos, units entre sí per xapes, l'esveltesa mecànica serà:

$$\lambda = \sqrt{\left(\frac{l_K}{i}\right)^2 + \frac{m}{2}\lambda_1^2}$$

on:

$l_K$ : Longitud de pandeig segons el pla de referència (habitualment la longitud del pilar)

i: Radi de gir de la secció bruta de la peça respecte a l'eix d'inèrcia considerat

m: Número de perfils simples tallats pel pla de pandeig que es considera (en el nostre cas  $m=2$ , com es pot observar a la següent imatge)

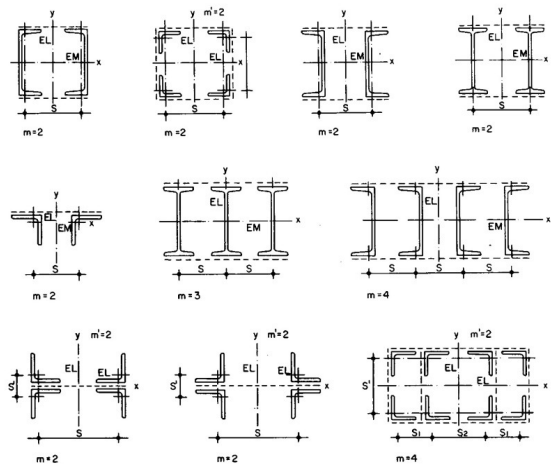


Figura 7. Valors de m per diverses configuracions de perfils compostos

$\lambda_1$ : Esveltesa complementària  $\lambda_1 = \frac{l_1}{i}$  on  $l_1$  es la distància entre xapes

Amb la dada de la esveltesa mecànica, entrem a la taula corresponent a l'acer que utilitzarem.

Tabla 3.2.7. Coeficientes de pandeo  $\omega$  del acero

Tipo de acero	Coeficiente $\omega$ de pandeo función de la esbeltez $\lambda = \lambda/\lambda_1$										
	$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A42	20	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04
	30	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07
	40	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12
	50	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21
	60	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,29	1,30	1,31	1,33
	70	1,34	1,36	1,37	1,39	1,40	1,42	1,44	1,46	1,47	1,49
	80	1,51	1,53	1,55	1,57	1,60	1,62	1,64	1,66	1,69	1,71
	90	1,74	1,76	1,79	1,81	1,84	1,86	1,89	1,92	1,95	1,98
	100	2,01	2,03	2,06	2,09	2,13	2,16	2,19	2,22	2,25	2,29
	110	2,32	2,35	2,39	2,42	2,46	2,49	2,53	2,56	2,60	2,64
	120	2,67	2,71	2,75	2,79	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,02
130	3,06	3,11	3,15	3,19	3,23	3,27	3,32	3,36	3,40	3,45	
140	3,49	3,54	3,58	3,63	3,67	3,72	3,77	3,81	3,86	3,91	
150	3,96	4,00	4,05	4,10	4,15	4,20	4,25	4,30	4,35	4,40	
160	4,45	4,51	4,56	4,61	4,66	4,72	4,77	4,82	4,88	4,93	
170	4,99	5,04	5,10	5,15	5,21	5,26	5,32	5,38	5,44	5,49	
180	5,55	5,61	5,67	5,73	5,79	5,85	5,91	5,97	6,03	6,09	
190	6,15	6,21	6,27	6,34	6,40	6,46	6,53	6,59	6,65	6,72	
200	6,78	6,85	6,91	6,98	7,05	7,11	7,18	7,25	7,31	7,38	
210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,72	7,79	7,86	7,93	8,01	8,08	
220	8,15	8,22	8,29	8,36	8,44	8,51	8,58	8,66	8,73	8,80	
230	8,88	8,95	9,03	9,11	9,18	9,26	9,33	9,41	9,49	9,57	
240	9,64	9,72	9,80	9,88	9,96	10,04	10,12	10,20	10,28	10,36	
250	10,44										

Figura 7. Taula coeficients  $w$  de la NBE-EA-95 per acer A42b

Aquesta taula correspon a acer A42, de límit elàstic 260 N/mm<sup>2</sup>, per tractar-se del tipus d'acer més habitual aleshores a Espanya, però ara el més utilitzat és el S275JR, de límit elàstic 275 N/mm<sup>2</sup>. Segurament els coeficients  $w$  per aquest tipus d'acer siguin una mica superiors, i es podria considerar la opció d'utilitzar els coeficients del següent tipus d'acer d'aquesta normativa (A52), per a quedar del costat de la seguretat.

Tipo de acero	Coeficiente $\omega$ de pandeo función de la esbeltez $\lambda = \lambda/\lambda_1$										
	$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A52	20	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05
	30	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10
	40	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19
	50	1,20	1,22	1,23	1,24	1,25	1,27	1,29	1,30	1,31	1,33
	60	1,35	1,37	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	1,49	1,51	1,54
	70	1,56	1,59	1,61	1,64	1,66	1,69	1,72	1,75	1,78	1,81
	80	1,84	1,87	1,90	1,94	1,97	2,01	2,04	2,08	2,11	2,15
	90	2,18	2,22	2,26	2,30	2,34	2,38	2,42	2,46	2,50	2,54
	100	2,59	2,63	2,67	2,72	2,76	2,81	2,85	2,90	2,95	2,99
	110	3,04	3,09	3,14	3,19	3,24	3,29	3,34	3,39	3,44	3,49
	120	3,55	3,60	3,65	3,71	3,76	3,82	3,87	3,93	3,98	4,04
130	4,10	4,16	4,22	4,27	4,33	4,39	4,45	4,52	4,58	4,64	
140	4,70	4,76	4,83	4,89	4,95	5,02	5,08	5,15	5,22	5,29	
150	5,35	5,42	5,48	5,55	5,62	5,69	5,76	5,83	5,90	5,97	
160	6,04	6,12	6,19	6,26	6,34	6,41	6,48	6,56	6,63	6,71	
170	6,79	6,86	6,94	7,02	7,09	7,17	7,25	7,33	7,41	7,49	
180	7,57	7,65	7,73	7,82	7,90	7,98	8,07	8,15	8,24	8,32	
190	8,40	8,49	8,58	8,66	8,75	8,84	8,93	9,02	9,10	9,19	
200	9,28	9,37	9,47	9,56	9,65	9,74	9,83	9,92	10,02	10,11	
210	10,21	10,30	10,40	10,49	10,59	10,69	10,78	10,88	10,98	11,08	
220	11,18	11,27	11,38	11,48	11,57	11,68	11,78	11,88	11,98	12,09	
230	12,19	12,29	12,40	12,50	12,61	12,72	12,82	12,93	13,03	13,14	
240	13,25	13,36	13,47	13,58	13,69	13,80	13,91	14,02	14,13	14,25	
250	14,36										

Figura 8. Taula coeficients  $w$  de la NBE-EA-95 per acer A52b

Si ho preferim, podem trobar el valor exacte de  $w$  amb la següent formulació:

$$\omega = 0.50 + 0.65 \frac{\sigma_F}{\sigma_E} + \sqrt{\left(0.50 + 0.65 \frac{\sigma_F}{\sigma_E}\right)^2 - \frac{\sigma_F}{\sigma_E}}$$

on:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \times E}{\lambda^2}; \text{ sent } E = 200.000 \text{ Mpa}$$

$\sigma_F$ : 228.3 MPa per acer A37, 247.3 MPa per acer A42, 342,9 MPa per acer A52 i 261.90 MPa per acer S275JR

Un cop obtingut el coeficient  $w$ , aquest passa a multiplicar l'axial a la fórmula de la tensió, quedant de la següent forma:

$$\sigma_x = \frac{N_{dx}}{A} \omega + \frac{M_{dy}}{W_y} + \frac{M_{dz}}{W_z}$$

Finalment, la  $s_x$  ha de ser inferior a la  $s_u$ , sent  $s_u$  la resistència de càlcul de l'acer.

Un cop calculat el pilar, amb els quatre perfils, i la separació de les xapes, tenim que abordar el càlcul de les xapes.

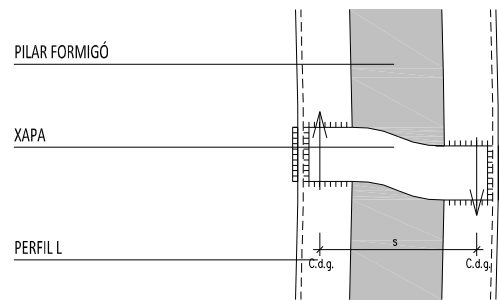


Figura 9. Esquema esforços a les xapes

Per efecte de la deformació dels perfils del reforç, apareix un esforç tallant a les xapes, que origina un cas de flexió simple (moment + tallant) que haurà de ser resistit per les xapes. Es tracta d'un criteri de càlcul que dimensiona les xapes per a la càrrega més gran que pugui absorbir el reforç. Aquest esforç tallant, ponderat, tindrà un valor unitari de:

$$T_i = A \times \frac{\sigma_u}{80} \times \eta \quad \eta = \frac{s}{20 \times i} \leq 1$$

on:

$T_i$ : Esforç tallant ponderat unitari

A: Àrea de la secció bruta dels perfils principals

$s_u$ : En general  $s_u = s_e$  (límit elàstic)

s: Separació entre els centres de gravetat dels perfils principals

i: Radi de gir mínim dels perfils principals

Els valors de la xapa seran::

$$T_p = T_i \times \frac{l_1}{n \times s} \quad M_p = T_i \times \frac{l_1}{2 \times n}$$

on:

$T_p$ : Esforç tallant ponderat per xapa

$M_p$ : Esforç moment ponderat per xapa

$l_1$ : Separació entre xapes

$n$ : Número de plànols de xapes (en el nostre cas sempre 2)

$s$ : Separació entre els centres de gravetat dels perfils principals

Un cop tenim els esforços, dimensionem les xapes, que seran unes peces rectangulars, i comprovem les tensions per el cas de flexió simple amb les fórmules clàssiques de la resistència de materials.

$$\sigma_x = \frac{M_d}{W} \quad \tau = \frac{3 \times T_d}{2 \times b \times h}$$

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \times \tau^2}$$

on:

$M_p$ : Esforç moment ponderat per xapa

$W$ : Mòdul resistent per xapa

$T_p$ : Esforç tallant ponderat per xapa

$b$ : Gruix xapa

$h$ : Alçada xapa

$\sigma_x$ : Tensió normal

$\tau$ : Tensió tangencial

$\sigma_{co}$ : Tensió de comparació (criteri de Von Misses), que ha de complir  $\sigma_{co} \leq \sigma_e$

## SOLDADURES

Les xapes que disposem al llarg del reforç hauran d'anar soldades als perfils principals, tal com indica a la figura 11.

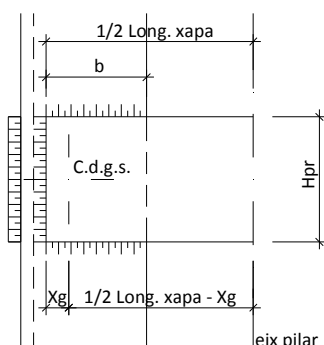


Figura 10. Esquema soldadura amb dades geomètriques

En general serà suficient que les xapes superin la línia del centre de gravetat del perfil principal on vagin soldades. Amb aquesta mesura geomètrica

gairebé segur que no hi haurà problemes amb la soldadura. Malgrat això la soldadura també te el seu càlcul. Aquest càlcul s'ha fet seguint les indicacions del llibre "Estructuras de acero. Cálculo", de Ramón Argüelles, però s'ha treballat amb el tallant per xapa proposat pel mètode reflectit a la NBE-EA-95. Val la pena indicar que son 2 mètodes diferents que poden donar valors també diferents, sobretot en l'estimació del tallant a les xapes. També penso que cal dir que ens hem oblidat del pilar a reforçar però el cert és que existeix, i que te una determinada rigidesa que no utilitzem però que hi és. Si es tractés d'una estructura nova amb pilars compostos segurament hauríem d'anar al mètode més exacte proposat al llibre indicat, basat en l'Eurocodi 3.

Primer hem de definir la posició del centre de gravetat de la soldadura respecte a la vora de la xapa  $X_g$

$$X_g = \frac{b^2}{(2 \times b + H_{pr})}$$

on:

$b$ : Longitud de cavalcament entre perfil principal i xapa

$H_{pr}$ : Alçada de la xapa

$$I_x = \frac{H_{pr}^3}{12} \times a + 2 \times b \times \left(\frac{H_{pr}}{2}\right)^2 \times a$$

on:

$a$ : gruix del coll de la soldadura

$$I_y = H_{pr} \times X_g^2 \times a + 2 \times \left(\frac{X_g^3}{3} + \frac{(b - X_g)^3}{3}\right) \times a$$

$I_y$  és el moment d'inèrcia del cordó vertical més els moments d'inèrcia dels cordons horitzontals de  $X_g$  i  $b - X_g$  respecte l'eix  $y-y$  (vertical)

$$I_z = I_x + I_y$$

$I_z$  és el moment d'inèrcia polar

$$L = 2 \times b + H_{pr}$$

$L$  és la longitud total de cordó de soldadura

$$Mt = T_p \times \left(\frac{\text{Long. xapa}}{2} - X_g\right)$$

on:

$T_p$ : Esforç tallant ponderat per xapa

$$f_x = \frac{Mt \times \left(-\frac{Hpr}{2}\right)}{I_z}$$

$$f_y = \frac{Tp}{L} + \frac{Mt \times (b - Xg)}{I_z}$$

$$fra = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$g = \frac{fra \times \sqrt{3} \times 0.85 \times 1.25}{f_u}$$

on:

$f_u$  és 410 N/mm<sup>2</sup> per acer S275JR

$g$  és el coll de la soldadura

### EXEMPLE

Per tal de poder posar en pràctica tot el que s'ha exposat, resoldrem un exemple de reforç d'un pilar de formigó de 30x30 cm i 3 m d'alçada, i unes càrregues ponderades de:

$N_d = 500$  KN,  $M_{vd} = 20$  mKN i  $M_{zd} = 30$  mKN

L'alçada lliure del pilar son 3 m.

L'acer a utilitzar serà S275JR

El reforç previst seran 4 L 70/7 unides amb xapes de 100 mm d'alçada i 5 mm de gruix situades cada 600 mm.

Primer calculem la tensió màxima als perfils L 70/7:

Àrea total =  $9.40 \text{ cm}^2 \times 10^2 \times 4 = 3760 \text{ mm}^2$

$I_y = I_z = (42.30 \times 10^4 \text{ mm}^4 + 9.40 \times 10^2 \text{ mm}^2 \times (274.6 \text{ mm}/2)^2) \times 4 = 7257.29 \times 10^4 \text{ mm}^4$

$W_y = W_z = 7257.29 \times 10^4 \text{ mm}^4 / 157 \text{ mm} = 462.25 \times 10^3 \text{ mm}^3$

$i_y = i_z = \sqrt{(7257.29 \times 10^4 \text{ mm}^4 / 3760 \text{ mm}^2)} = 138.93 \text{ mm}$

$l_1 = 600 \text{ cm} / 13.6 \text{ mm} = 44.12$

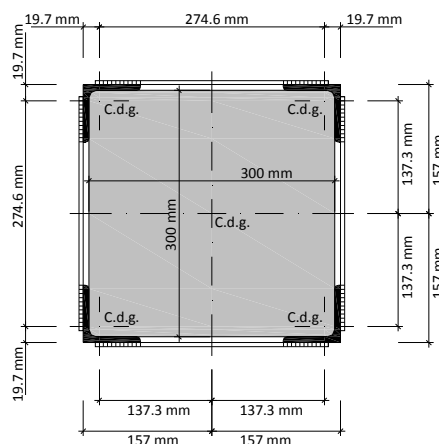


Figura 11. Secció del reforç amb les dades geomètriques

$$I = \sqrt{\left(\frac{3000 \text{ mm}}{138.9 \text{ mm}}\right)^2 + \frac{2}{2} \times 44.12^2} = 49.12 \rightarrow w = 1.13$$

$$\sigma_x = \frac{500000 \text{ N}}{3760 \text{ mm}^2} \times 1.13 + \frac{20000000 \text{ mmN}}{462250 \text{ mm}^3} + \frac{30000000 \text{ mmN}}{462250 \text{ cm}^3} =$$

$$258.43 \text{ N/mm}^2 < 261.90 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{ok}$$

Ara calculem la tensió màxima de les xapes de 5 x 100 mm:

$$\eta = \frac{274.6 \text{ mm}}{20 \times 13.6} = 1.0096$$

$$T_i = 3760 \text{ mm}^2 \times \frac{261.90 \text{ N/mm}^2}{80} \times 1.0096 = 12427.47 \text{ N}$$

$$T_p = 12427.47 \text{ N} \times \frac{600 \text{ mm}}{2 \times 274.6 \text{ mm}} = 13576.99 \text{ N}$$

$$M_p = 12427.47 \text{ N} \times \frac{600 \text{ mm}}{2 \times 2} = 1864120.5 \text{ mmN}$$

$$W_{pr} = 5 \text{ mm} \times 100^2 \text{ mm} / 6 = 8333.33 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_x = \frac{1864120.5 \text{ mmN}}{8333.33 \text{ mm}^3} = 223.69 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{3 \times 13576.99 \text{ N}}{2 \times 5 \times 100} = 40.73 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{co} = \sqrt{223.69^2 + 3 \times 40.73^2} = 234.55 \text{ N/mm}^2 < 261.90 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{ok}$$

Finalment només queda comprovar les soldadures de les xapes. Adoptarem 60 mm de cavalcament de les xapes amb l'angular (b), i  $f_u = 410$  N/mm<sup>2</sup>

$$X_g = \frac{60^2}{(2 \times 60 + 100)} = 16.36 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{100^3}{12} \times a + 2 \times 60 \times \left(\frac{100}{2}\right)^2 \times a = 383333.33a$$

$$I_y = 100 \times 16.36^2 \times a + 2 \times \left( \frac{16.36^3}{3} + \frac{(60-16.36)^3}{3} \right) \times a$$

$$= 85090.91a \text{ mm}^4$$

$$I_z = 383333.33a + 85090.91a = 468424.24a$$

$$L = 2 \times 60 \times 100 = 220 \text{ mm}$$

$$M_t = 13576.4 \times \left( \frac{294}{2} - 16.36 \right) = 1773620.90 \text{ mmN}$$

$$f_x = \frac{1773620.90 \times \left( \frac{-100}{2} \right)}{468424.24} = 189.32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = \frac{13576.4}{220} + \frac{1773620.90 \times (60-16.36)}{468424.24} = 226.95 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ra} = \sqrt{189.32^2 + 226.95^2} = 295.55 \text{ N/mm}^2$$

$$g = \frac{295.55 \times \sqrt{3} \times 0.85 \times 1.25}{410} = 1.33 \text{ mm}$$

Donat que els gruixos a unir són 5 i 7 mm, i també que els gruix mínim de coll de soldadura és 3 mm, adoptem 3 mm com a coll de la soldadura.

## CONCLUSIONS

Hem vist com podem utilitzar el reforç de pilars de formigó de secció quadrada amb perfils LPN a les cantonades units per xapes metàl·liques.

Donada la diferència de mòduls d'elasticitat del formigó o de l'acer, és recomanable que aquest tipus de reforços es dimensionin per tal de suportar la totalitat de la càrrega del pilar a reforçar.

Des del punt de vista normatiu, fet molt rellevant a l'hora de justificar la nostra actuació, la tipologia empleada està inclosa a la normativa actual com a barres de secció composta, i per tant el seu càlcul és plenament justificable.

La transmissió de càrregues es fa a través dels sostres que es recolzen al pilar a reforçar i no per fregament entre el pilar a reforçar i el propi reforç. Per tant s'ha de comprovar en algunes situacions la capacitat que té el sostre de transmetre les càrregues, i és probable que es tinguin que reforçar nivells superiors i inferiors al nivell del pilar on actuem per tal d'assegurar que aquesta transmissió es realitza correctament.

## BIBLIOGRAFIA

Regalado Tesoro, Florentino. Los pilares: criterios para su proyecto, cálculo y reparación. Biblioteca técnica de Cype Ingenieros.

Comisión permanente de estructuras de acero. EAE Instrucción de Acero Estructural. Ministerio de Fomento, Gobierno de España

Argüelles Álvarez, Ramón. La estructura metálica hoy. Teoría y práctica. Librería técnica Bellisco.

Argüelles Álvarez, Ramón y otros. Estructuras de acero. Cálculo. Bellisco, Ediciones Técnicas y Científicas.

Bellmunt R. Manual de diagnosis e intervenció en estructures de hormigón armado. Col·legi d'Aparelladors i arquitectes tècnics de Barcelona.

Solé Marzo, José Ramón. Introducción al proyecto y cálculo de Refuerzos Metálicos de pilares de Hormigón Armado. Apuntes del Máster en Diseño y Restauración de Estructuras Arquitectónicas, de la Fundación Politécnica de Cataluña.

Moya Ferrer, Lluís. Elementos a compresión. El método w. El método del Eurocódigo. Apuntes del Máster en Diseño y Restauración de Estructuras Arquitectónicas, de la Fundación Politécnica de Cataluña.