

25 Reforç amb fibra de carboni

25.1 Reforç amb fibra de carboni. Flexió. Positiu

Aquest capítol tracta dels elements de formigó armat reforçats amb fibra de carboni, ja siguin en forma de làmines o teixits. Les característiques comunes a totes les aplicacions que constitueixen el capítol 25 són les següents:

.1. Font. L'única font d'informació ha estat el llibre '*La fibra de carbono en refuerzos de estructuras de hormigón*' amb Josep Baquer Sistach de coordinador (ACE Associació de Consultors d'Estructures) i editat per l'IEE Institut d'Estudis Estructurals, segona edició en castellà de 2021. És una monografia que tracta dels materials, de la posada en obra, inspecció, control i càlcul dels reforços amb fibra de carboni d'elements estructurals de formigó armat sotmesos a flexió, esforç tallant o compressió. La claredat i la didàctica de l'exposició han estat claus per al seu tractament amb GeoGebra. El llibre es troba a internet i es complementa amb fulls de càlcul que es troben a www.aceweb.cat. D'aquesta manera, les aplicacions que es troben en el capítol 25 s'han d'interpretar com una prolongació de les pròpies fulles de càlcul, dotant-les de la personalitat i la forma de fer de GeoGebra. Centrats aquest qüestió s'han de fer les següents aclariments.

- 1.1 No es tracten les qüestions que no siguin estrictament de càlcul estructural. Temes tan importants com les resines que serveixen d'adhesiu de la fibra de carboni al formigó no estan tractats, però es troben en el llibre de referència.
- 1.2 La teoria exposada en el llibre es respecta totalment. En alguns casos es fan simplificacions o no es consideren certes parts. Únicament la nomenclatura, en alguns casos, és objecte de petits canvis. Per això a les aplicacions de la 25.1 a la 25.4 es té accés a dibuixos que ensenyen la nomenclatura utilitzada.
- 1.3 A cadascuna de les aplicacions se segueix, dintre del possible, l'exemple exposat en el llibre. Per tant, l'entrada de dades és la mateixa que en el llibre.
- 1.4 El mimetisme de les aplicacions i del propi llibre fan que a les memòries no s'entri en temes o qüestions tractades en aquest.
- 1.5 Les fotografies que apareixen en les aplicacions 25.5 i 25.6 estan extretes del llibre de referència.

.2. Filosofia de la intervenció. La idea fonamental de la intervenció és que s'ha de produir un increment de les sol·licitacions i això implica un reforç. Per exemple, un canvi d'ús que provoca un increment de les càrregues d'utilització. En aquest cas, la intervenció queda justificada.

.3. Estat del formigó armat. Es considera que l'estat de la peça de formigó armat a intervenir és acceptable. O dit d'un altre manera, aquestes aplicacions no contempen una situació en què la intervenció sigui sobre un formigó lesionat, per exemple, perquè una agressió ambiental hauria produït expansió de les armadures i trencament dels recobriments.

.4. Informació prèvia. A totes les aplicacions es demana informació dels elements a reforçar. Aquesta informació contempla qüestions geomètriques i mecàniques freqüentment molt explícites. Sense aquestes informacions, extretes d'una inspecció tècnica o de l'obtenció del projecte original, la intervenció no és possible.

.5. Estat en la intervenció. En el llibre del professor Baquer s'insisteix de forma reiterada que l'element a reforçar estigui el més descarregat possible, és a dir, amb la mínima deformació possible, abans de produir-se la intervenció. Aquesta qüestió s'hauria que respectar particularment.

.6. Fabricant. És convenient consultar les característiques geomètriques i tècniques de la fibra de carboni amb el fabricant que ens subministrarà el material. Aquestes característiques poden variar significativament amb els processos de fabricació.

A la intervenció dels moments positius dels elements sotmesos a flexió simple es fan les següents consideracions:

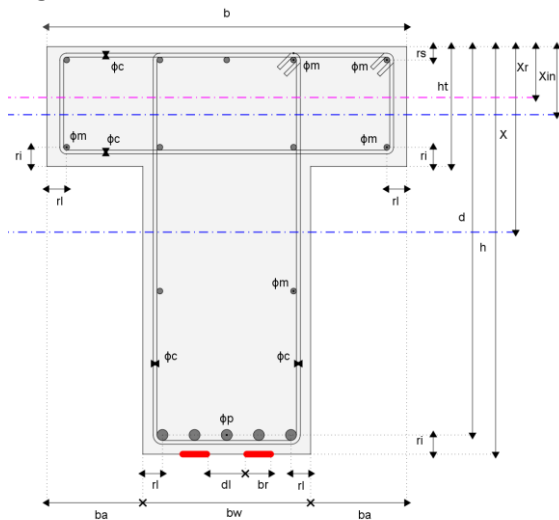


Fig. 25.1

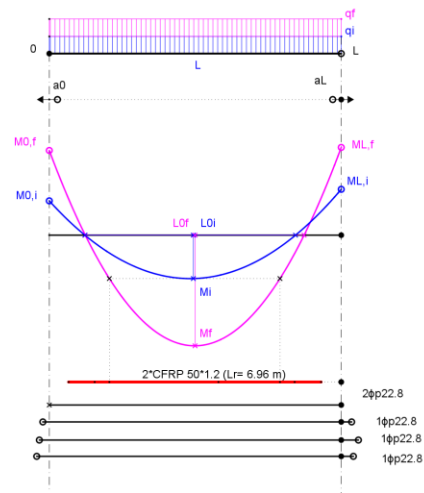


Fig. 25.2

.a. Nomenclatura. Es dona un punt lliscant que permet observar la nomenclatura (fig. 25.1).

.b. Dibuix. Els valors dels recobriments laterals r_l i superiors r_s no intervenen en el càlcul, es donen únicament per completar el dibuix de la secció. De la mateixa manera, el diàmetre del cercol ϕ_c i el de las varetes de muntatge ϕ_m , s'han considerat amb el mateix propòsit.

.c. Càlcul. El sistema de càlcul utilitzat segueix, en primera instància i en allò que refereix a flexió, les pautes del mètode clàssic. És a dir, que el context d'anàlisi és el del règim elàstic. Això obliga a homogeneïtzar tant l'acer ns com el reforç amb fibra de carboni nr, cosa que permet treballar amb un sol material virtualment homogeni que, en aquest cas, és el formigó. D'altra banda, s'estudien els elements en Estat Límit Últim (ELU) i en Estat Límit de Servei (ELS).

.d. Moment flectors. S'ha de comentar una qüestió diferent a la indicada en el llibre de referència. Es tracta d'una biga de llum L extreta d'un pòrtic hiperestàtic. La càrrega de servei q_i és la que té la biga original. Aquesta càrrega produeix uns moments negatius també de servei $M_{0,i}$ i $M_{L,i}$ (fig.25.2). Un increment de sobrecàrrega es tradueix amb la càrrega de servei q_f , que evidentment inclou la càrrega q_i i produeix uns moments negatius de valor $M_{0,f}$ i $M_{L,f}$. Aquests 4 moments són dades que es controlen per punts mòbil a la secció. Com que es coneixen els moments flectors negatius i les càrregues, ja es poden dibuixar els moments flectors positius, cosa que fa GeoGebra de forma automàtica, obtenint M_i per a la càrrega q_i i M_f per a la càrrega q_i+q_f . A partir d'aquí es donen dos punts lliscants que defineixen els coeficients de seguretat o ponderació $\gamma_{f,i}$ i $\gamma_{f,f}$ que, multiplicats pels moments, tant positius com negatius, de servei, s'obtenen els moments de càlcul $M_{0d,i}$ i $M_{0d,f}$ per a l'entrega 0 i $M_{Ld,i}$ i $M_{Ld,f}$ per a l'entrega L. Igualment, per als moments positius s'obtenen els valors M_{id} i M_{fd} . En els coeficients de seguretat s'han de contemplar les qüestions que el tècnic vulgui considerar, com per exemple, les hipòtesis de càrrega. (En l'exemple original, l'excés de sobrecàrrega és produït per dues càrregues concentrades, mentre que a la aplicació, l'excés de sobrecàrrega es produeix amb una càrrega uniformement repartida q_g . Per fer coincidir els moments de servei amb els de càlcul, tant els inicials com els finals, els coeficients de ponderació han estat $\gamma_{f,i} = 1.52$ i $\gamma_{f,f} = 1.66$). En

el llibre de referència, la sortida es fa directament amb els moments de càlcul. De la mateixa manera, aquest llibre considera els moments flectors negatius arrodonits parabòlicament amb el seu contacte amb els suports, mentre que a l'aplicació es refereixen els moments a l'eix del suport.

.e. Diàmetres. Una qüestió també diferent és que en el llibre del professor Baquer es pot entrar amb dos diàmetres diferents a l'armadura existent de moments positius. En l'aplicació GeoGebra, per qüestions relacionades amb la limitació de recursos, això no és possible. Únicament es pot entrar amb un diàmetre, cosa que obligarà a fer una transformació equivalent prèvia amb un diàmetre que, en general, no serà enter.

.f. Biga T. La biga que serveix d'exemple és una biga en forma de T. Si es vol calcular una biga de forma rectangular s'ha de fer $b_w = b$ i $h_t = 1$. Pot ser que aquesta qüestió pugui provocar alguna distorsió en el dibuix de la secció. S'aconsella que, encara que la biga sigui rectangular, s'insinui una de forma en T que, en definitiva, es dona freqüentment a la forma real.

.g. Rendibilitat. Amb una escala que va des d'"excel·lent" fins a "no rendible" es dona la rendibilitat de l'element estudiat.

.h. Resultats. Podrem dir que el reforç és satisfactori si es donen les següents condicions:

Moment últim de la biga reforçada: $M_r \geq M_{fd}$

Tensió a la fibra: $\sigma_R < \sigma_{fd}$ (punt lliscant)

Deformació a la fibra: $\varepsilon_R \leq \varepsilon_r$ (punt lliscant).

.i. Longitud del reforç. La longitud de la làmina de fibra de carboni L_r es determina tal com es veu a la figura 25.2. La intersecció de la tangent horitzontal al diagrama de moments flectors inicial (produït per la càrrega q_i) amb el diagrama final (produït per la càrrega $q_i + q_f$) ens dona una longitud que, sumada a les longituds d'ancoratge, ens proporcionarà la longitud final L_r .