

## Treball final de màster

**Estudi: Màster en Enginyeria Industrial**

**Títol: Càlcul de deformacions en servei en elements de formigó armat a flexió considerant la interacció entre armadures i formigó**

**Document:** Resum

**Alumne:** Lazaro Ariño Esmoris

**Tutor:** Lluís Torres Llinàs

**Departament:** Enginyeria mecànica i de la construcció industrial

**Àrea:** Enginyeria de la construcció

**Convocatòria (mes/any):** Juny 2022

En estructures de formigó armat, el formigó traccionat es fissa amb tensions relativament baixes, de manera que en aquestes zones s'hi incorporen armadures d'acer o altres materials, que resisteixen les traccions. Gràcies a l'adherència entre el formigó i les armadures, es poden transferir tensions de les armadures cap al formigó i així el formigó traccionat entre dues fissures pot col·laborar en la rigidesa de l'element que acaba essent més gran que en el cas de considerar les seccions totalment fissurades.

El formigó es comporta de forma lineal a tensions baixes, habitualment en la zona d'estats límits de servei, mentre que per a tensions més altes i pròximes a la seva ruptura, les lleis adopten lleis de tensió-deformació de forma sensiblement parabòlica.

En funció de l'adherència l'acer pot lliscar poc, amb bona adherència, o molt, amb adherència menys bona. Aquesta característica influeix en la deformació de les seccions entre fissures (deformacions unitàries dels materials i curvatura seccional). En considerar el comportament d'un bloc de formigó armat entre dues fissures es poden obtenir les deformacions a cada secció, l'obertura de fissura als extrems del bloc i globalment una curvatura mitjana del bloc. L'obtenció de la curvatura a cada secció d'anàlisi (o d'una curvatura mitjana per el bloc entre dues fissures) permet obtenir el detall de la variació al llarg d'una biga, així com la fletxa en qualsevol punt de l'element mitjançant la doble integració de curvatures, o sistemes equivalents, com per exemple els basats en la biga conjugada.

Quan es contempla el lliscament que es produeix entre l'armadura d'acer i formigó a causa de les tensions d'adherència, les seccions més properes a la secció totalment fissurada presenten més lliscament i la barra d'acer s'emporta més tracció que el formigó circumdant. A les seccions més allunyades de les seccions fissurades la força que aguanten les armadures és menor a causa de la transferència per adherència al formigó, de manera que el formigó contribueix més a la tracció disminuint l'esforç resistit per l'acer. Per tant l'adherència entre acer i formigó influeix en la deformació de les seccions entre fissures.

En aquest treball s'ha desenvolupat una metodologia de càlcul de deformacions en estructures de formigó armat sotmeses a esforços de flexió considerant la interacció entre reforç i formigó tenint en compte el comportament adherent entre armadures i formigó (tensions d'adherència en funció del lliscament entre els dos materials).

S'ha fet un plantejament general amb la possibilitat d'inclusió de diferents lleis d'adherència i de tensió-deformació del formigó comprimit. D'aquesta manera, la metodologia implementada ha permès simular bigues amb diferents propietats per al formigó i armadures, diferents geometries i armadures de tracció i compressió.

S'ha implementat codi Matlab on es calcularà la curvatura de les diferents seccions tenint en compte la influència de la interacció entre el reforç i formigó mitjançant lleis d'adherència – lliscament local entre el formigó i el tipus d'armadura emprada.

La programació de la metodologia de resolució s'ha implementat en dues fases. En la primera s'ha estudiat el comportament de blocs de formigó armat entre dues fissures. En la segona, s'ha implementat el resultat de la primera fase a nivell biga.

El programa que simula els blocs calcula la curvatura de les diferents seccions situades entre dues seccions totalment fissurades, i l'amplada de fissura de les seccions totalment fissurades, entre altres paràmetres intermedis que són necessaris per al càlcul d'aquests últims introduint les dimensions de la secció de la biga, les propietats del formigó i l'armadura de reforç que pot ser d'acer o fibra de vidre. També calcula la curvatura mitjana del bloc per un moment fixat.

El programa que simula la biga calcula les curvatures d'una biga simplement recolzada i amb càrrega uniforme, al llarg de tota la seva longitud.

Un cop es coneixen les curvatures en tota la seva longitud, el programa obté la fletxa de la biga pel mètode de la biga conjugada.

La resolució del problema s'ha plantejat de manera iterativa combinant la solució del comportament no lineal a nivell seccional i a nivell d'element entre les dues fissures plantejant una metodologia basada en una solució per diferències finites, fent el càlcul en una sèrie de punts, que corresponen a diferents seccions.

S'han plantejat una sèrie d'exemples il·lustratius de les potencialitats de l'eina per al càlcul en servei, prenent com a base dues geometries seccionals amb diferents nivells d'armat i tres tipus de comportament adherent (acer amb adherència bona, acer amb adherència dolenta i armadura de fibra de vidre). Els resultats es mostren en diagrames moment-curvatura mitjana, es comparen les diverses combinacions, es fan comparacions de moment-amplada de fissura i gràfics amb l'evolució de la curvatura i fletxa al llarg d'una biga.

De les comparacions realitzades, s'observa que es reproduïxen bé les tendències esperades en quant a dimensions seccionals, quanties i mòdul elàstic de les armadures, així com l'efecte de la l'adherència en les deformacions a nivell seccional i a nivell de biga. La utilització de diferents lleis de modelització del formigó comprimit no té incidència apreciable al comportament en la zona de servei estudiada.

Cal indicar que aquest treball s'ha de considerar com una primera fase d'implementació de la metodologia, on s'ha considerat una separació fixa entre fissures (longitud del bloc), que es pot estimar amb equacions disponibles a diferents textos i guies de disseny. Com a continuació del treball s'hauria d'implementar la possibilitat de separació de fissures decreixent a mesura que augmenta el moment aplicat, la qual cosa s'ha considerat que quedava fora de l'abast del treball.