

Treball final de màster

Estudi: Màster en Enginyeria Industrial

Títol: Implementació i anàlisi comparativa de la introducció de diferents simplificacions en mètodes de càlcul de fletxes de formigó armat

Document: 2. Resum

Alumne: Eudald Balló Colomer

Tutor: Lluís Torres Llinàs

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria de la Construcció

Convocatòria (mes/any): Setembre 2019

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

Els desplaçaments verticals, o fletxes, en elements de formigó armat a flexió són sovint la causa d'un mal funcionament de l'estructura i poden provocar diverses patologies i problemes de funcionament d'equipament i maquinària o de confort per als usuaris.

Malgrat que les guies de disseny incorporen metodologies simplificades, la comprovació del compliment en la limitació de les fletxes té una certa complexitat a causa de la quantitat de paràmetres que hi intervenen. La secció composta, la fissuració del formigó i les deformacions de fluència i retracció són els principals aspectes que particularitzen les deformacions en estructures de formigó.

1.2. Objecte

L'objecte del projecte és fer un estudi comparatiu dels resultats del càlcul de fletxes obtinguts amb diverses metodologies que incorporen aproximacions lleugerament diferents per tal d'analitzar-ne les diferències en funció dels principals paràmetres que afecten les deformacions del formigó armat.

1.3. Abast i especificacions

S'utilitzarà el mètode basat en el "mòdul efectiu", incorporat a l'Eurocodi 2 [4], el mètode del "mòdul efectiu ajustat amb l'edat", inclòs al Codi Model 90[3] i, entre a altres llocs, descrit a Time Effects in Concrete Structures [5] i una proposta de mètode simplificat basat en coeficients multiplicatius de la fletxa instantània [6], [7] i [8]. Igualment es compararà la simplificació obtinguda de trobar la fletxa total a partir de la interpolació a nivell d'element estructural i amb la integració de curvatures interpolades a nivell de secció [1].

Es farà un estudi paramètric per tal de comparar els resultats i veure la influència de cadascuna de les variables seleccionades. També es quantificaran les desviacions relatives entre formulacions i les degudes a la influència dels paràmetres introduïts.

2. METODOLOGIES PER AL CàLCUL DE FLETXES A LLARG TERMINI

Les diverses metodologies emprades per al càlcul de les fletxes a llarg termini són les que s'exposen a continuació:

2.1. EMM simplificat

El mètode EMM (Effective Modulus Method), mètode del mòdul efectiu en català, en la versió simplificada, es descriu a l'Eurocodi 2. Aquest càlcul es fa a partir de la interpolació de fletxes de dos estats de la biga, el completament fissurat (estat II) i l'estat sense fissurar (estat I) per a la secció de moment màxim de la biga, utilitzant un mòdul efectiu del formigó.

2.2. EMM general

A l'Eurocodi 2 s'explica que un mètode més rigorós que l'EMM simplificat consisteix en calcular la fletxa a partir de la integració de curvatures al llarg de la biga, i no considerant només la secció central com en el mètode anterior.

Aquest mètode es basa en integració de curvatures, és a dir, el 4t teorema de Mohr, o el segon teorema de la biga conjugada, que indica que la fletxa d'un punt de la biga és numèricament igual al moment del punt corresponent de la biga conjugada. Les fórmules que utilitza per calcular la curvatura a cada punt són les mateixes que en el mètode simplificat, però en aquest cas alguns paràmetres varien al llarg de la secció.

2.3. AEMM simplificat

El mètode AEMM , (Age-adjusted Effective Modulus Method), mètode del mòdul efectiu ajustat amb l'edat en català, s'explica a Time Effects in Concrete Structures i al ModelCode 90.

En aquest mètode s'utilitza un mòdul elàstic del formigó ajustat amb l'edat, i la fletxa total es calcula a partir dels increments de curvatura que generen unes restriccions imposades a la secció central de la biga per tal de mantenir l'equilibri ja que, degut a la relaxació de tensions, aquestes poden variar lliurement. Aquestes restriccions artificials són de la forma d'un increment de la força axial i un increment del moment flector.

2.4. AEMM general

En el mètode AEMM general, igualment que en l'EMM general, es calcula la fletxa a partir de la integració de les curvatures a cada secció de la biga, i no només de la secció central de la biga, on hi ha el moment màxim, utilitzant la mateixa formulació que en el mètode anterior.

2.5. Mètode simplificat

El mètode simplificat proposat per Miàs et al es basa en uns coeficients multiplicatius de la fletxa instantània, per tal de trobar amb una fórmula senzilla una bona aproximació de la fletxa diferida.

Aquests coeficients multiplicatius són dos, un per a la fletxa de fluència i l'altra de retracció. Si la secció de formigó armat té armadura de compressió, aquests coeficients es modifiquen amb un altre coeficient multiplicatiu corrector.

2.6. Aproximació al càlcul d'integració de curvatures a partir de les metodologies simplificades

Aquest mètode, proposat per Bischoff-Gross, permet obtenir una aproximació de la fletxa a llarg termini a partir dels mètodes simplificats (EMM i AEMM) i sense haver de fer la integració

de curvatures. Per fer-ho, aquest mètode introdueix un paràmetre, γ , que s'utilitza per calcular una inèrcia equivalent que s'ha d'aplicar en els mètodes simplificats.

3. CONCLUSIONS

En aquest treball s'han estudiat, descrit, calculat i comparat fletxes a llarg termini per a diferents metodologies avançades. Tots els càlculs s'han implementat en una fulla de càlcul per tal d'agilitzar-los i poder realitzar la gran quantitat d'operacions necessàries, especialment per a les metodologies d'integració de curvatures.

Un cop calculades les fletxes de tots els casos i per a tots els mètodes, s'ha analitzat la diferència entre els diferents mètodes i com varien en funció de les principals variables implicades, a través de les ràtios calculades respecte del model de l'Eurocodi 2, que s'ha pres de referència per considerar-se el més estès a la pràctica. Tot i que tots aquests mètodes ja han estat avaluats experimentalment, l'objectiu del treball és analitzar i quantificar les diferències entre els diferents models.

Els mètodes que donen una fletxa total més petita són, com era d'esperar, els generals, EMM i AEMM, amb una diferència molt petita entre ells dos (de l'ordre del 2%) per a la majoria de casos estudiats, degut a què aquests mètodes contempnen les seccions no fissurades o parcialment fissurades, a diferència dels mètodes simplificats. Seguidament ve el mètode de Bischoff-Gross d'aproximació dels mètodes generals a partir dels simplificats, seguit del mètode simplificat, i aquest dels mètodes simplificats EMM i AEMM, aquests dos últims amb errors molt petits també entre ells (de l'ordre del 2%).

L'error mitjà que es comet entre utilitzar els mètodes simplificats o generals és variable segons el moment aplicat arribant fins a un 1% per a moments grans (de l'ordre de $1,5 M_{cr}$), i augmentant per a armadures de compressió majors (de l'ordre de $\rho_2/\rho_1=0,5$), i per a moments flectors més petits (de l'ordre de $1,5 M_{cr}$), arribant fins a un 15%.

El mètode simplificat basat en coeficients multiplicatius dona resultats satisfactoris fins i tot amb la introducció d'una primera aproximació del paràmetre que modifica les constants

multiplicatives per tenir en compte l'armadura de compressió, ja que l'error respecte l'EMM simplificat en els casos de moment aplicat més gran no són rellevants i només arriben a un 4% mitjà. Un estudi específic a partir dels càlculs d'aquest treball permetria acabar de valorar aquesta proposta.

Finalment, el mètode de Bischoff-Gross d'aproximació al càlcul d'integració de curvatures a partir de les metodologies simplificades és més efectiu per comparar els mètodes basats en l'EMM (diferències de fins al 4%) que no pas en l'AEMM (diferències de fins al 14%). Les discrepàncies entre aquests dos models deuen venir del fet que el segon no utilitza la inèrcia modificada per calcular les noves fletxes, sinó que utilitza només la constant de distribució modificada, segurament un càlcul massa simplificat que porta a diferències més grans de les esperades.

Eudald Balló Colomer
Girona, 4 de Setembre de 2019