



**EPS**

Escola Politècnica

Superior

## Projecte/Treball Fi de Carrera

**Estudi:** Enginyeria Industrial. Pla 2002

**Títol:** Modelització de la contribució del formigó traccionat entre fissures en estructures reforçades amb armadures de materials compostos amb matriu polimèrica (FRP).

**Document:** RESUM

**Alumne:** Gerard Vancells i Xuclà

**Director/Tutor:** Lluís Torres

**Departament:** Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Enginyeria de la construcció

**Convocatòria** (mes/any): 07/2008

El present treball s'emmarca dins el camp de les estructures de formigó, i més concretament, a les que es troben reforçades amb armadures de materials compostos amb matriu polimèrica, és a dir FRP "Fiber Reinforced Polymer". Aquest tipus de reforços han aparegut com a alternativa als reforços d'acer en estructures on la resistència a la corrosió és indispensable per mantenir les propietats mecàniques i on les condicions ambientals poden ser molt agressives, com són, ponts de carretera, estructures marines o garatges amb humitat. Ja que els reforços típics d'acer, a conseqüència de la corrosió que pateixen, provoquen la deterioració del formigó i la pèrdua de les seves propietats mecàniques i estructurals. Aquest tipus de reforços apareixen amb força després de la segona guerra mundial i degut a la seva alta resistència i baixa densitat la indústria aeroespacial els adopta i apareixen en molts projectes on s'utilitza aquest tipus de material. Fins que a partir de 1970 es comencen a utilitzar per reforçar estructures en condicions ambientals agressives, ja que no pateixen corrosió, al contrari del que passa amb les barres d'acer.

En una primera part s'han exposat les principals característiques mecàniques i físiques d'aquests tipus de reforços, així com els principals components i els diferents materials que els conformen que tenim al mercat, arribant a la conclusió que les fibres més utilitzades són les de vidres i la matriu les termostables de polièster. També hem pogut comprovar com aquests tipus de reforços perden gran part de les seves propietats mecàniques a causa de tenir la temperatura de transició vítria  $T_g$  relativament baixa. Això ocasionarà que haguem de tenir molt de compte en dissenyar en ambients que puguin arribar a estar a altes temperatures, o en llocs amb alt risc d'incendi.

S'ha de tenir en compte, que el mètode de càlcul d'aquest tipus d'estructures reforçades amb FRP difereix substancialment de com es faria amb reforços d'acer. Aquest fet es deu principalment a que els FRP tenen un mòdul elàstic inferior al de l'acer, cosa que els provoca majors elongacions un cop entren en càrrega, que es traduiran en majors amplades de fissura i majors fletxes. Aquest fet provoca que sigui important considerar tots els factors que intervenen en la rigidesa global de l'element com ara el *Tension-stiffening*.

El *Tension-stiffening* és la tensió que és capaç de suportar el formigó traccionat entre fissures en elements a flexió simple un cop s'ha superat el moment de fissuració. També cal dir que la ruptura d'aquests reforços és de tipus fràgil i no presenta ductilitat, és per això que caldrà fer el disseny preveient que l'estructura trenqui per la compressió superior del formigó i no pas per la ruptura dels reforços. Per aconseguir aquest efecte, la quantia del reforç ha de ser superior a la quantia balancejada, que és aquella on la ruptura del formigó i del reforç es produeixen a la vegada. Per poder considerar el *Tension-stiffening* s'ha hagut de

modelitzar un model constitutiu referit al formigó, basat en diagrames moment-curvatura, i tots els paràmetres que hi intervenen determinant-los mitjançant ajustos per mínims quadrats respecte un model de referència que proposen diferents codis o autors com l'Eurocodi-2, la ACI 440.1R-06 i d'altres. Per calcular els valors que necessitem s'han dibuixat els diagrames moment-curvatura adimensionals que engloben totes les seccions possibles i només depenen de la relació entre el cantell, el cantell efectiu i la quantia del reforç.

A partir d'aquests diagrames podem trobar fàcilment el moment i la curvatura a la que es troba sotmesa una secció. De totes maneres primer ha calgut realitzar un estudi previ per comprovar visualment com afecta i quin comportament tenen les estructures reforçades amb FRP i amb acer envers varies situacions de càrrega. És per això que s'han implementat les rutines de l'annex F amb tres situacions de càrrega diferents: una considerant una càrrega puntual, l'altre considerant una càrrega central equidistant i la última considerant una càrrega uniforme al llarg de tot l'element.

En aquestes rutines també s'hi observa la diferència de comportament que obtindrem si considerem les recomanacions de l'Eurocodi-2 o utilitzem una modificació de la ACI 440.1R-06. Aquestes dos corbes es troben sempre situades entre dues situacions, el cas de tenir la secció sense fissurar i el cas de tenir la secció completament fissurada.

Per poder tenir una idea de com evoluciona la fissuració en un element de formigó reforçat amb FRP també s'han realitzat rutines on mitjançant diagrames Moment-Curvatura es veu com la curvatura mitjana evoluciona asimptòticament cap a la curvatura que tindria la secció si estigués completament fissurada. Aquestes gràfiques s'han realitzat per 4 tipus de reforços: acer, GFRP, AFRP i CFRP. S'observa clarament com en reforços de GFRP el fenomen del *Tension-stiffening* és més important que en l'acer i el CFRP, ja que degut al baix mòdul elàstic i a la baixa resistència ens trobem que no podem deixar fissurar completament l'estructura, i arribarem al moment de servei molt abans que amb els altres reforços.

Un cop hem tingut clar com es comporta cada tipus de reforç, s'han hagut de determinar els paràmetres que defineixen la llei constitutiva adoptada,  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$ , mitjançant un programa d'ajust per mínims quadrats realitzat per el Departament d'Enginyeria Mecànica, i que proporciona el valor de  $\alpha_2$  en funció del moment de servei que tingui la secció a estudiar. Després d'obtenir el mapa de paràmetres s'ha realitzat mitjançant MINITAB una expressió que permeti trobar-los en funció de dos variables com són la quantia i la relació entre

cantells. D'aquesta manera no necessitarem conèixer les dimensions de la secció per poder determinar el paràmetres. Aquestes expressions parteixen de dos regressions, l'una lineal quan és en funció de la quantia i l'altre lineal quan depenem de la relació entre cantells.

Per comprovar l'ajust dels valors obtinguts a través de l'expressió, s'ha realitzat un anàlisi de sensibilitat, comparant el valor real obtingut i el valor de l'expressió de MINITAB. Així es pot veure com les expressions s'ajusten amb prou fidelitat als valors determinats experimentalment. Per últim, hem estudiat la influència que té el fet de no considerar el fenomen del *Tension-stiffening* en el disseny d'elements de formigó sobretot quan ens trobem prop del moment de fissuració, arribant a la conclusió que l'error que cometem si no el tenim en compte en el càlcul de la curvatura pot arribar al 90% del seu valor.