

## A. EXEMPLE DE DISSENY D'ELEMENTS REFORÇATS AMB FRP.

### A.1 Introducció

En aquest annex s'ha calculat un element de formigó de la mateixa manera que s'ha fet en les rutines de Matlab 7.0. En els casos que hem volgut determinar el moment com a la ACI 440.1R-06 menys els coeficients de minoració, s'ha trobat el moment de servei com a  $\Phi M_n/1,4$ . En el segon cas que volíem trobar el moment de servei com es proposa en el Newhook et al. (2002) s'ha agafat  $M_n/M_u M_s$  on els valors  $M_u M_s$  són els de la taula 14.2 de la memòria, apartat 4.

### A.2 Exemple

Tenim una biga de formigó de  $f_c = 25 \text{ MPa}$ . La situació de la biga serà interior. Ha de poder suportar una càrrega de servei de  $8 \text{ kN/m}$  i una sobrecarrega d'ús de  $4 \text{ kN/m}$  hi ha de cobrir una longitud de  $4 \text{ m}$ . La fletxa de la biga no pot superar  $l/240$ . Degut a causes constructives l'amplada de la biga no pot superar el  $250 \text{ mm}$ . La biga anirà reforçada amb barres de FRP amb les següents característiques. Resistència a la tracció  $f_{tu} = 550 \text{ MPa}$ , Deformació màxima=0,014 i mòdul elàstic  $40000 \text{ MPa}$ .

#### PAS 1

Hem d'estimar un valor inicial per el cantell de la biga en funció de la longitud que haguem de cobrir a partir de l'equació (1).

$$h = \frac{l}{10} = \frac{4}{10} = 0,4\text{m} \quad (1)$$

Provarem amb un cantell  $h$  de  $375 \text{ mm} < 400 \text{ mm}$ .

Provarem amb una amplada  $b$  de  $250 \text{ mm}$  ja que els necessitem per poder col·locar  $3 \Phi 20$ .

Tindrem un recobriment mecànic de  $40 \text{ mm}$ .

Anem a estimar el cantell útil.  $d = 375 - 40 - 20/2 = 325 \text{ mm}$ .

#### PAS 2

Anem a determinar la càrrega distribuïda que suportarà l'element.

**B. DIAGRAMES MOMENTS, CURVATURES I FLETXES.****ÍNDEX B**

<b>B.1 INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>1</b>
<b>B.2 Determinació del moment, la curvatura i la fletxa.....</b>	<b>2</b>
B.2.1 Biga recolzada amb una carrega puntual al centre reforçada amb ACER.....	3
B.2.2 Biga recolzada amb una carrega puntual al centre reforçada amb GFRP.....	4
B.3.1 Biga recolzada amb dos càrregues centrades reforçada amb ACER.....	5
B.3.2 Biga recolzada amb dos càrregues centrades reforçada amb GFRP.....	6
B.4.1 Biga recolzada amb càrrega uniforme reforçada amb ACER. ....	7
B.4.2 Biga recolzada amb càrrega uniforme reforçada amb GFRP. ....	8

**B.1 Introducció.**

Per comprovar com es comporta un element de formigó reforçat ja sigui amb acer o amb GFRP s'han implementat una sèrie de rutines amb Matlab 7.0. Això, ens permet comparar el resultat obtingut depenen de com considerem que es comporta la secció. En les següents figures tenim tres gràfiques amb el diagrama de moments, el diagrama de curvatures i la fletxa. Per a les curvatures i les fletxes tenim quatre suposicions, la primera consisteix en considerar que la secció no arriba a fissurar mai, cosa que es rotundament falsa si superem el moment de fissuració. La segona consisteix en suposar que la secció es troba totalment fissurada des d'un principi, això també és fals i només passarà quan el moment aplicat sigui molt proper al moment últim de ruptura. Entremig d'aquest dos, que defineixen tot el rang de casos possibles, tenim el cas de l'Eurocodi-2 que suposa una curvatura mitjana i el cas de la Branson que considera una inèrcia equivalent a partir de la qual podem trobar la curvatura de Branson.

En aquest annex es mostren alguns exemples d'elements de formigó reforçats amb acer i GFRP.

## B.2 Determinació del moment, la curvatura i la fletxa.

Com a estudi previ per a la realització del treball s'han implementat diverses rutines en MATLAB per determinar la curvatura i la fletxa en elements de formigó reforçats amb FRP.

S'ha calculat el diagrama de moments, el diagrama de curvatures i mitjançant el teorema de la biga conjugada de curvatures s'ha obtingut la fletxa. Per a l'estudi s'han volgut tenir en compte els casos més típics de distribució d'esforços en elements biga. Es per aquest motiu que la força puntual aplicada al centre de l'element, les dues forces equidistants i la càrrega uniforme s'han pres com a model per a la realització de diferents assaigs per determinar el comportament de les fórmules i teories de càlcul segons ACI 440 i BRANSON.

La ACI 440.1R-06 proposa calcular una inèrcia equivalent per a tot l'element i així poder calcular la fletxa de forma més senzilla. L'equació proposada es la següent:

$$I_e = \left[ \frac{M_{cr}}{M_a} \right]^3 \cdot I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_g \quad (1)$$

On:

$$I_g = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I_{cr} = \frac{b \cdot d^3}{3} \cdot k^3 + n_f + n_f \cdot A_f \cdot d^2 \cdot (1 - k^2) \quad (2) \text{ i } (3)$$

$$k = \sqrt{2 \cdot n_f \cdot \rho_f + (\rho_f \cdot n_f)^2} - n_f \cdot \rho_f \quad n_f = \frac{E_f}{E_c} \quad \rho_f = \frac{A_f}{A_g} \quad (4)$$

BRANSON proposa que si volem determinar la fletxa punt per punt en una biga continua en comptes d'utilitzar l'equació (1) utilitzem la (5), on els termes estan elevats a la quarta potència.

$$I_e = \left[ \frac{M_{cr}}{M_a} \right]^4 \cdot I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^4 \right] \cdot I_g \quad (5)$$

Determinació de la Curvatura mitjana segons MC-90 i EC-2.

$$C_m = \left[ \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{M_{cr}}{M} \right)^2 \right] \cdot C_1 + \left[ 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{M_{cr}}{M} \right)^2 \right] \cdot C_2 \quad (6)$$

### B.2.1 Biga recolzada amb una carrega puntual al centre reforçada amb ACER.

Com ha exemple tenim una biga de secció rectangular reforçada amb ACER, amb les següents característiques.

L=3500;	%longitud de la biga en (mm)
b=250;	%amplada (mm)
h=250;	%cantell (mm)
d=250;	%cantell efectiu (mm)
Ec=32009;	%mòdul elasticitat formigó (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
Ef=200000;	%mòdul elastic ACER (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
fyk=500;	%resistència a tracció ACER (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
fct=2.57;	%resistència a la tracció del formigó
fc=25;	%resis. a compressió formigó(MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
nb=2;	%nombre de barres de ACER
Db=19;	%diàmetre de les barres ACER (mm)
Ecu=0.003;	%deformació màxima del formigó (Ad)

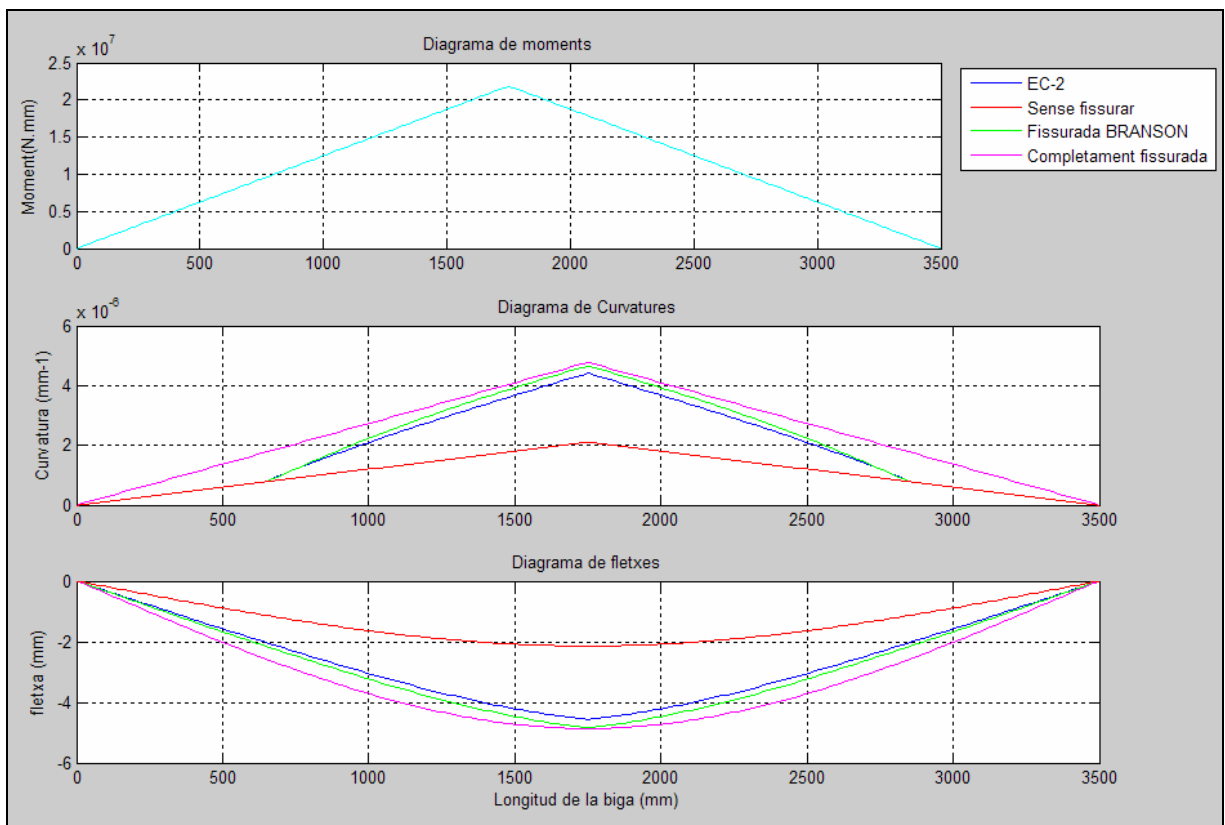


Fig 1. Diagrama de moments, curvatures i fletxes utilitzant reforços d'ACER.

### B.2.2 Biga recolzada amb una carga puntual al centre reforçada amb GFRP.

Com ha exemple tenim una biga de secció rectangular reforçada amb GFRP, amb les següents característiques.

L=3500;	%longitud de la biga en (mm)
b=250;	%amplada (mm)
h=250;	%cantell (mm)
d=250;	%cantell efectiu (mm)
Ec=32009;	%mòdul elasticitat formigó (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
Ef=40000;	%mòdul elastic FRP (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
fu=550;	%resistència a tracció FRP (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
fct=2.57;	%resistència a la tracció del formigó
fc=25;	%resis. a compressió formigó (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
nb=2;	%nombre de barres de FRP
Db=19;	%diàmetre de les barres FRP (mm)
B=0.85;	%factor entre 0.85 i 0.65.
Ecu=0.003;	%deformació màxima del formigó (Ad)

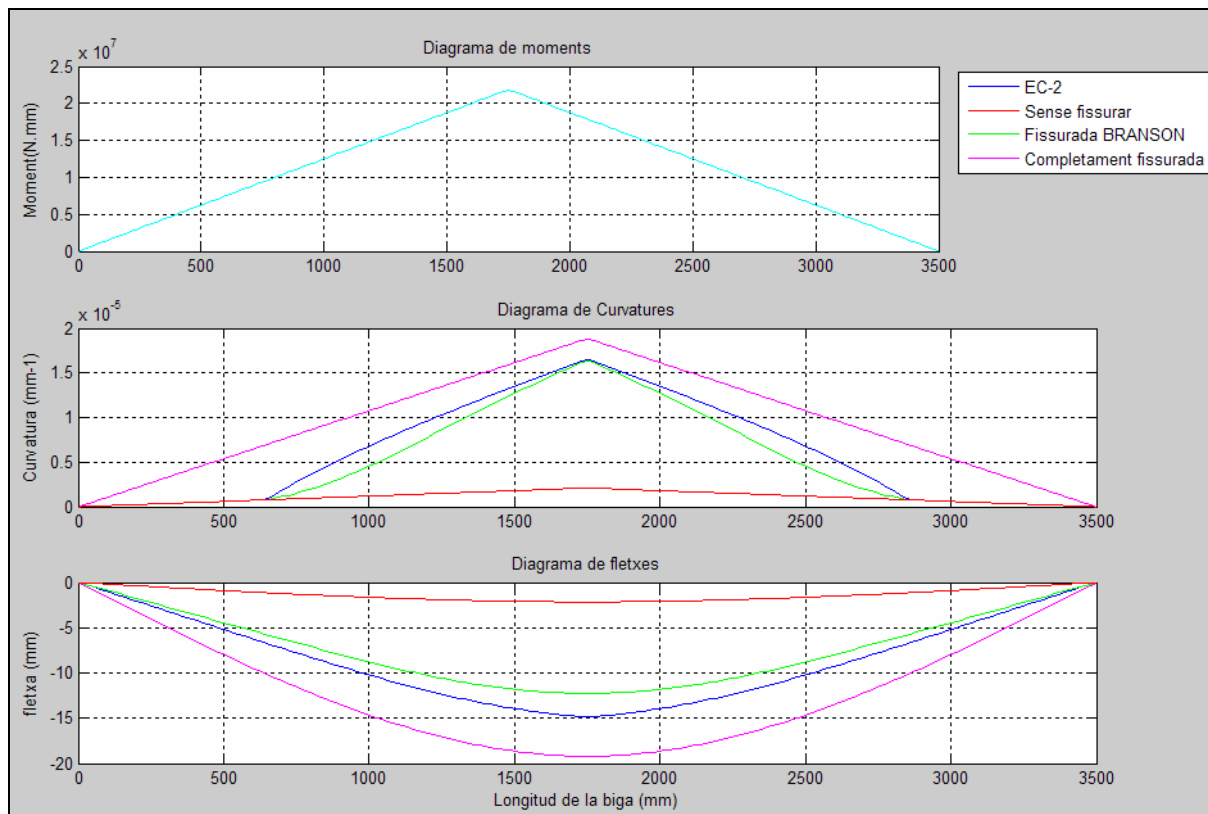


Fig 2. Diagrama de moments, curvatures i fletxes utilitzant reforços de GFRP.

### B.3.1 Biga recolzada amb dos càrregues centrades reforçada amb ACER.

Com ha exemple tenim una biga de secció rectangular reforçada amb ACER, amb les següents característiques.

F=20000;	%força aplicada (N/m)
L=3500;	%longitud de la biga en (mm)
c=1000;	%distància entre les forces (mm)
b=250;	%amplada (mm)
h=250;	%cantell (mm)
d=250;	%cantell efectiu (mm)
Ec=32009;	%mòdul elasticitat formigó (Pa)(N/mm <sup>2</sup> )
Ef=200000;	%mòdul elastic ACER (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
fyk=550;	%resistència a tracció ACER (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
nb=2;	%nombre de barres de ACER
Db=19;	%diàmetre de les barres ACER (mm)
Ecu=0.003;	%deformació màxima del formigó
fct=25;	%resistència del formigó (MPa)

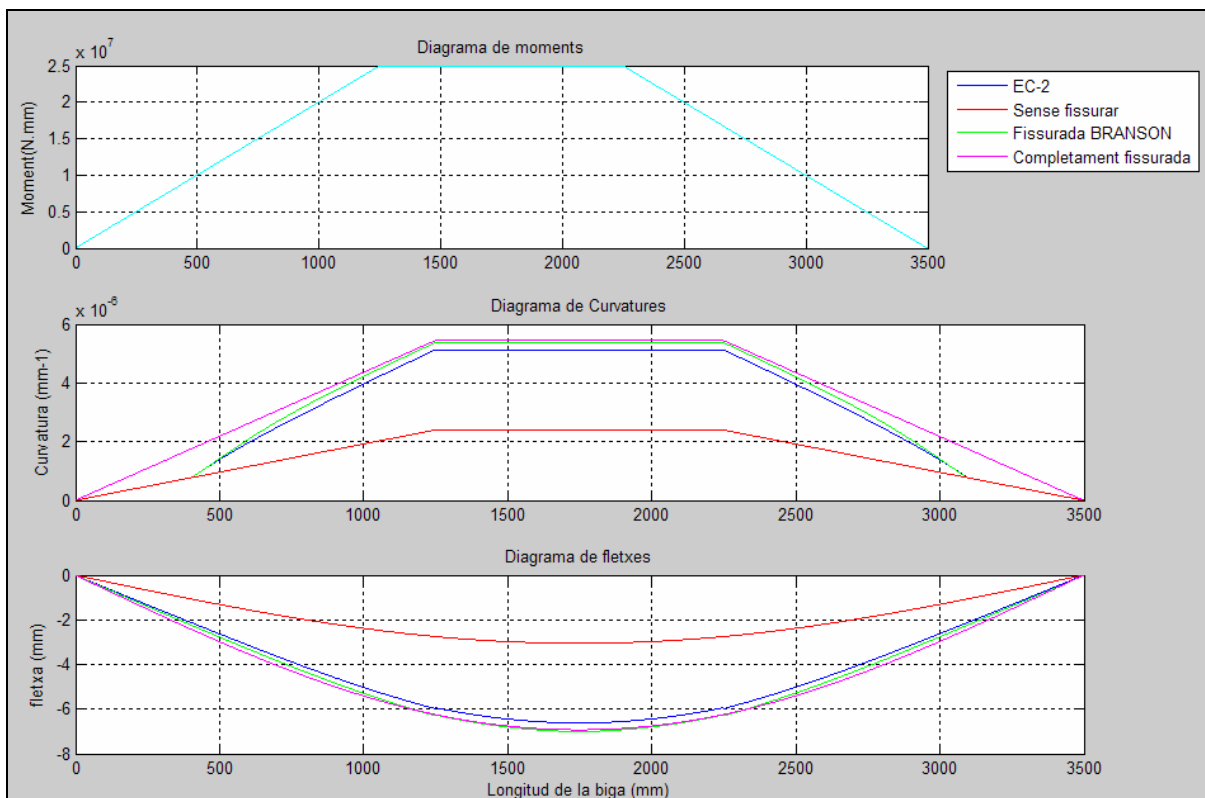


Fig 3. Diagrama de moments, curvatures i fletxes utilitzant reforços d'ACER.

### B.3.2 Biga recolzada amb dos càrregues centrades reforçada amb GFRP.

Com ha exemple tenim una biga de secció rectangular reforçada amb GFRP, amb les següents característiques.

F=20000;	%força aplicada (N/m)
L=3500;	%longitud de la biga en (mm)
c=1000;	%distància entre les forces (mm)
b=250;	%amplada (mm)
h=250;	%cantell (mm)
d=250;	%cantell efectiu (mm)
Ec=32009;	%mòdul elasticitat formigó (Pa)(N/mm <sup>2</sup> )
Ef=40000;	%mòdul elastic FRP (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
fu=550;	%resistència a tracció FRP (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
nb=2;	%nombre de barres de FRP
Db=19;	%diàmetre de les barres FRP (mm)
Ecu=0.003;	%deformació màxima del formigó
fct=25;	%resistència del formigó (MPa)

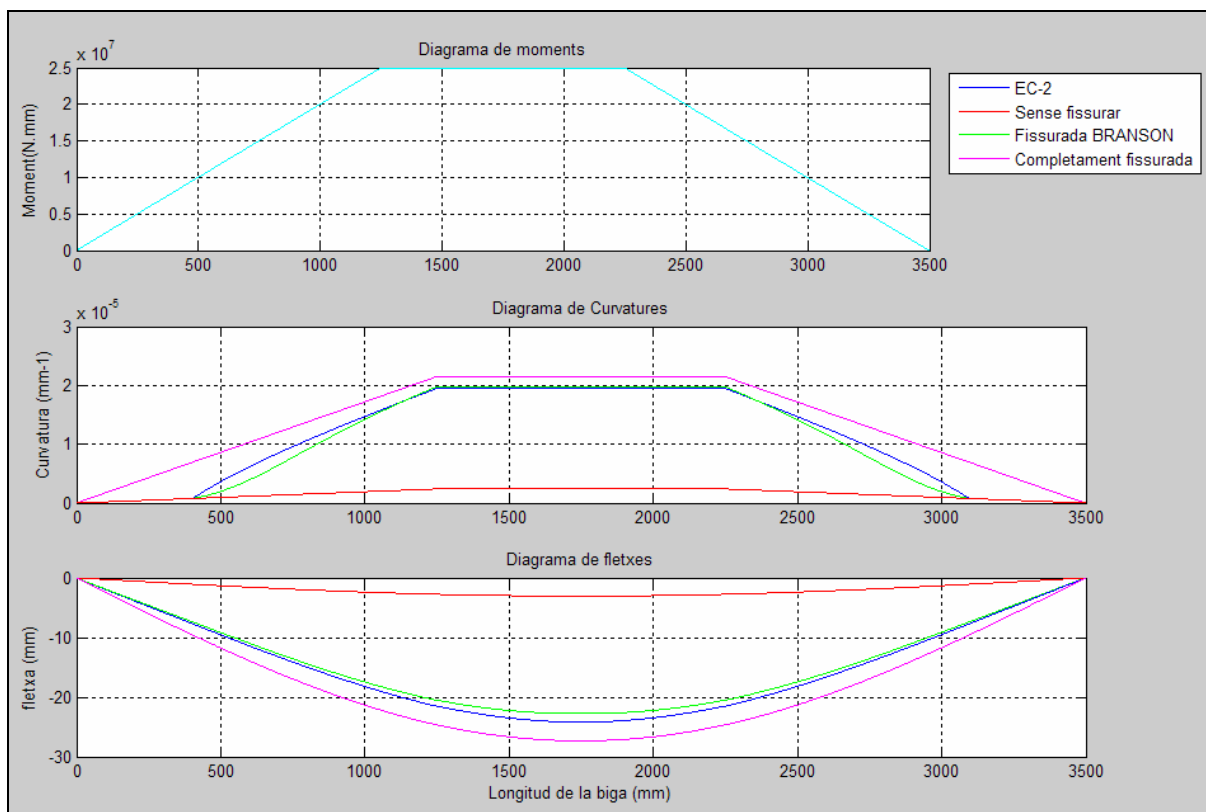


Fig 4. Diagrama de moments, curvatures i fletxes utilitzant reforços de GFRP.

### B.4.1 Biga recolzada amb càrrega uniforme reforçada amb ACER.

Com ha exemple tenim una biga de secció rectangular reforçada amb ACER, amb les següents característiques.

P=20000;	%Càrrega (N/m)
L=3500;	%longitud de la biga en (m)
b=250;	%amplada (mm)
h=250;	%cantell (mm)
d=250;	%cantell efectiu (mm)
Ec=32009;	%mòdul elasticitat formigó (Pa)(N/m <sup>2</sup> )
Ef=200000;	%mòdul elastic FRP (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
r=20;	%longitud dels vectors
fct=2.57	%resistència a tracció del formigó
fyk=500;	%resistència a tracció FRP (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
fc=25;	%resistència del formigó (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
nb=2;	%nombre de barres de FRP
Db=19;	%diàmetre de les barres FRP (mm)
Ecu=0.003;	%deformació màxima del formigó

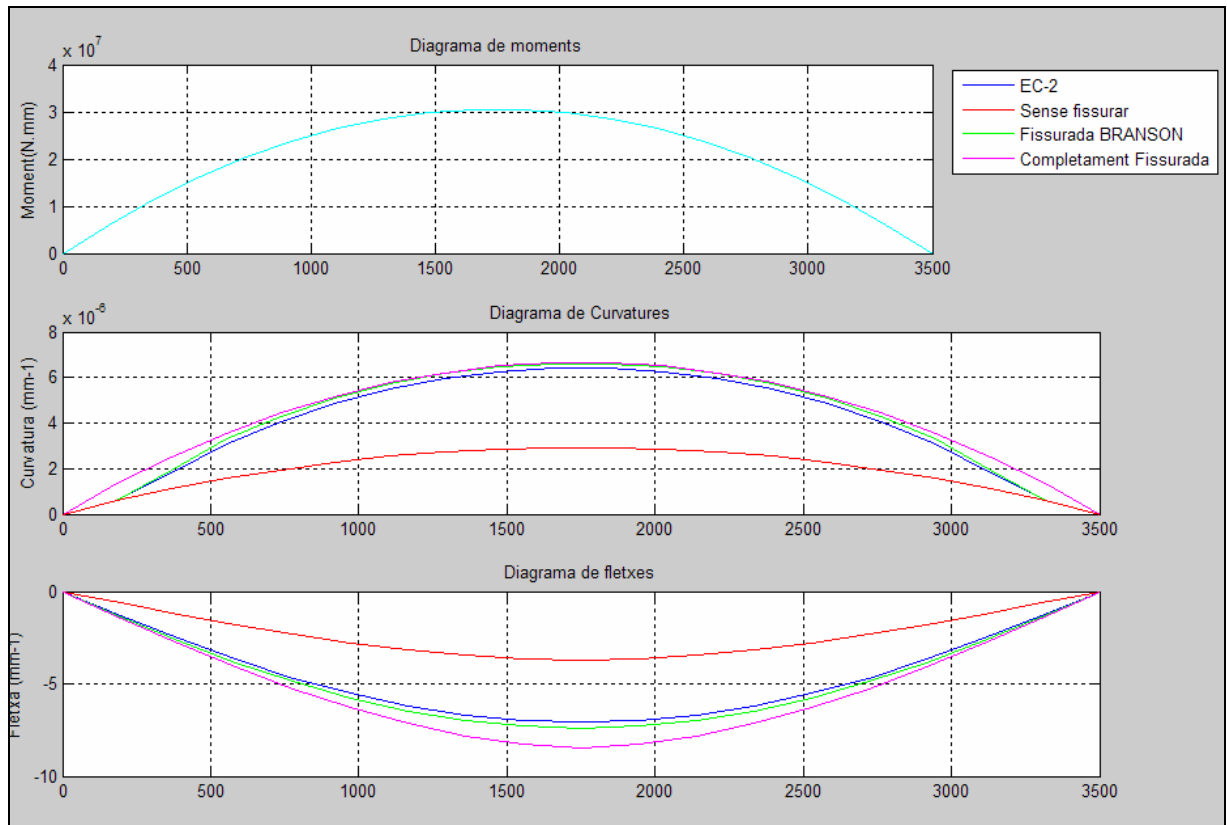


Fig 5. Diagrama de moments, curvatures i fletxes utilitzant reforços d'ACER.



### B.4.2 Biga recolzada amb càrrega uniforme reforçada amb GFRP.

Com ha exemple tenim una biga de secció rectangular reforçada amb GFRP, amb les següents característiques.

P=20000;	%Càrrega (N/m)
L=3500;	%longitud de la biga en (m)
b=250;	%amplada (mm)
h=250;	%cantell (mm)
d=250;	%cantell efectiu (mm)
Ec=32009;	%mòdul elasticitat formigó (Pa)(N/m <sup>2</sup> )
Ef=40000;	%mòdul elastic FRP (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
r=20;	%longitud dels vectors
fct=2.57	%resistència a tracció del formigó
fu=550;	%resistència a tracció FRP (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
fc=25;	%resistència del formigó (MPa)(N/mm <sup>2</sup> )
nb=2;	%nombre de barres de FRP
Db=19;	%diàmetre de les barres FRP (mm)
Ecu=0.003;	%deformació màxima del formigó

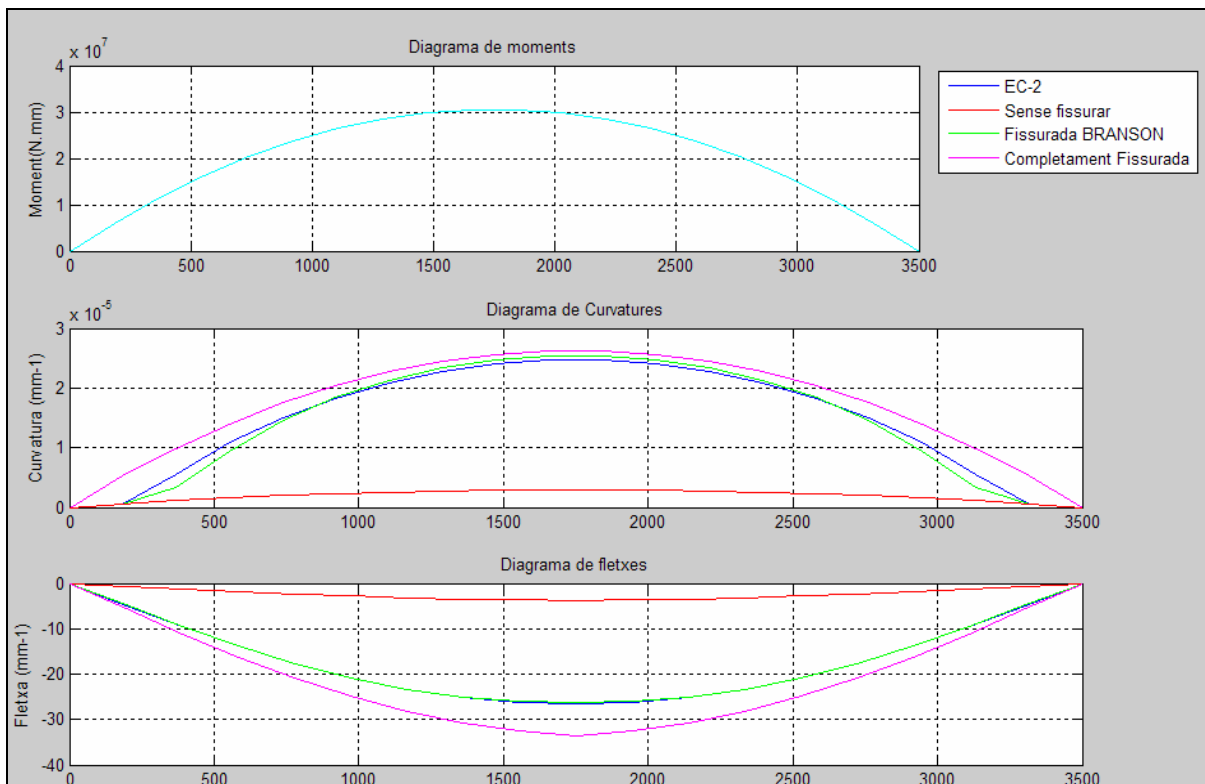


Fig 6. Diagrama de moments, curvatures i fletxes utilitzant reforços de GFRP.

$$W_{DL} = 4 \text{ kN/m} + 0,250\text{m} \cdot 0,375\text{m} \cdot 24\text{kN/m}^3 = \mathbf{6,25 \text{ kN/m}} \quad (2)$$

$$W_u = 1,2 \cdot (6,25 \text{ kN/m}) + 1,6 \cdot (8 \text{ kN/m}) = \mathbf{20,3 \text{ kN/m}} \quad (3)$$

Determinem el moment últim amb les càrregues majorades.

$$M_u = \frac{W_u \cdot l^2}{8} = \frac{(20,3 \text{ kN/m}) \cdot (4 \text{ m})^2}{8} = \mathbf{40,6 \text{ kN/m}} \quad (4)$$

### PAS 3

Hem de considerar un factor de reducció ambiental  $C_E = 0,8$  perquè estem en el cas de una biga interior.

$$f_{fu} = C_E \cdot f_{fu}^* = 0,8 \cdot 550 \text{ MPa} = \mathbf{440 \text{ MPa}} \quad (5)$$

### PAS 4

Hem de determinar l'àrea de reforç que tenim. En aquest cas hem considerat **3  $\Phi$  20**.

$$A_f = 3 \cdot \pi \cdot r^2 = 3 \cdot \pi \cdot 10^2 = \mathbf{942,47 \text{ mm}^2}$$

Caldrà trobar la quantia de reforç balancejat per saber si tindrem ruptura per FRP o per el formigó.

$$\rho_{fb} = 0,85 \frac{f'_c}{f_{fu}} \beta_1 \frac{E_f \epsilon_{cu}}{E_f \epsilon_{cu} + f_{fu}} = 0,85 \frac{25}{440} 0,85 \frac{40000 \cdot 0,003}{40000 \cdot 0,003 + 440} = \mathbf{0,0088} \quad (6)$$

Calculem la quantia de reforç que tenim a la secció.

$$\rho_f = \frac{A_f}{b \cdot d} = \frac{942,47 \text{ mm}^2}{250 \cdot 325} = \mathbf{0,0116} \quad (7)$$

Comprovem la tensió que haurà de suportar el reforç de FRP.

$$f_f = \left[ \sqrt{\frac{(E_f \epsilon_{cu})^2}{4} + \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{\rho_f} \cdot E_f \epsilon_{cu}} - 0,5 \cdot E_f \epsilon_{cu} \right] =$$

$$= \left[ \sqrt{\frac{(40000 \cdot 0,003)^2}{4} + \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{0,0116} \cdot 40000 \cdot 0,003 - 0,5 \cdot 40000 \cdot 0,003} \right] = \mathbf{376,4 \text{ MPa}} \quad (8)$$

Calculem el Moment nominal..

$$M_n = \rho_f \cdot f_f \cdot \left( 1 - 0,59 \frac{\rho_f \cdot f_f}{f_c} \right) \cdot b \cdot d^2 = 0,0116 \cdot (376,4 \text{ MPa}) \cdot \left( 1 - 0,59 \frac{(0,0116) \cdot (376,4 \text{ MPa})}{(25 \text{ MPa})} \right) \cdot 250 \cdot 325^2 = \mathbf{103,4 \text{ kN.m}} \quad (9)$$

Trobem ara el factor de seguretat  $\Phi$ .

Com que  $1,4 \rho_{fb} > \rho_f > \rho_{fb}$

$$\Phi = 0,3 + 0,25 \cdot \frac{\rho_f}{\rho_{fb}} = 0,3 + 0,25 \cdot \frac{0,0116}{0,0088} = \mathbf{0,629}$$

Podem determinar  $\Phi M_n$

Així obtenim  $\Phi M_n = 0,629 \cdot 103,4 = 65 \text{ kN.m} > M_u = 40,6 \text{ kN.m}$  per tant **COMPLEX**

Això voldrà dir que podrem utilitzar una biga de 250 mm d'amplada i 325 mm de cantell útil i 4 metres de longitud.

## A.2 CÀLCUL DE LA INÈRCIA FISSURADA

Hem determinat la inèrcia fissurada de les seccions rectangulars segons l'annex 9 de la EHE.

Profunditat relativa de la fibra neutra

$$\frac{X}{d} = n\rho_1 \left( 1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \left( 1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \frac{d'}{d} \right)}{n\rho_1 \left( 1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^2}} \right) \quad (10)$$

Si no tenim reforç a la part superior de l'element

$$\rho_2 = 0 \Rightarrow \frac{X}{d} = n\rho_1 \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n\rho_1}} \right) \quad (11)$$

I la inèrcia fissurada queda:

$$I_f = nA_{s1}(d - X) \left( d - \frac{X}{3} \right) + nA_{s2}(X - d') \left( \frac{X}{3} - d' \right) \quad (12)$$

On:

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (13)$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{bd} \quad (14)$$

$$\rho_2 = \frac{A_{s2}}{bd} \quad (15)$$

## C. DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA

### ÍNDEX C

<b>C.1 Introducció.....</b>	<b>1</b>
<b>C.2 Determinació dels diagrames moment – curvatura .....</b>	<b>1</b>
<b>Exemple nº1</b> Reforç d'acer .....	3
<b>Exemple nº2</b> Reforç d'acer .....	4
<b>Exemple nº3</b> Reforç de GFRP .....	5
<b>Exemple nº4</b> Reforç de GFRP .....	6
<b>Exemple nº5</b> Reforç de AFRP .....	7
<b>Exemple nº6</b> Reforç de AFRP .....	8
<b>Exemple nº7</b> Reforç de CFRP .....	9
<b>Exemple nº8</b> Reforç de CFRP .....	10
<b>C.3 Conclusions.....</b>	<b>11</b>

#### C.1 Introducció.

Aquests exemples pretenen reforçar els que s'ha explicat a l'apartat 3.2 i comprovar com evoluciona la fissuració en una secció sotmesa a flexió simple en funció del tipus de reforç que s'utilitzi, ja sigui, acer, GFRP, AFRP o CFRP. És pot veure clarament com els elements reforçats amb GFRP són els que suportaran menor càrrega en servei, per això caldrà utilitzar major quantia de reforç tot i tenir una resistència a tracció similar o major a la del acer. El seu baix mòdul elàstic, al voltant de 40 GPa, serà el que ens condicionarà a l'hora del disseny, degut a les grans deformacions i fletxes que es produiran.

En aquest cas tenim tres corbes de curvatura possibles, la curvatura mitjana de l'Eurocodi-2, la inèrcia de Branson, i la inèrcia de Gao, que serà la més conservativa de totes.

#### C.2 Determinació dels diagrames moment – curvatura

Tot seguit es mostraran diferents exemples de diagrames moments curvatures per a seccions de formigó armades de diferents característiques. El tipus d'armadures utilitzades

seran l'acer, el GFRP, l'AFRP i el CFRP. En el diagrames s'hi ha inclòs els comportaments de la secció si es trobés completament fissurada i el cas on no s'arriba a fissurar mai, queden les solucions que donen l'eurocodi 2 i la norma ACI com a interpolacions entre aquests dos casos extrems.

La formula per trobar la curvatura que marcar l'eurocodi 2 es la següent.

$$C_m = \left[ \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{M_{cr}}{M} \right)^2 \right] \cdot C_1 + \left[ 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{M_{cr}}{M} \right)^2 \right] \cdot C_2 \quad (1)$$

La norma ACI 440.1R-06 parteix d'una inèrcia equivalent per a tota la secció i per tant la curvatura mitjana que trobarem amb aquest valor serà vàlida per a totes les secció de l'element de formigó.

$$I_e = \left[ \frac{M_{cr}}{M_a} \right]^3 \cdot I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_g \quad (2)$$

El comportament de la secció si no arribes a fissurar mai es determina a partir de la inèrcia bruta.

$$I_g = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (3)$$

Per determinar el comportament de la secció fissurada es parteix de la inèrcia de fissuració.

$$I_{cr} = \frac{b \cdot d^3}{3} \cdot k^3 + n_f + n_f \cdot A_f \cdot d^2 \cdot (1 - k^2) \quad (4)$$

**Exemple nº1** Reforç d'acer

Determinació del diagrama moment – curvatura en una secció de formigó armat amb reforç d'acer amb les següents característiques:

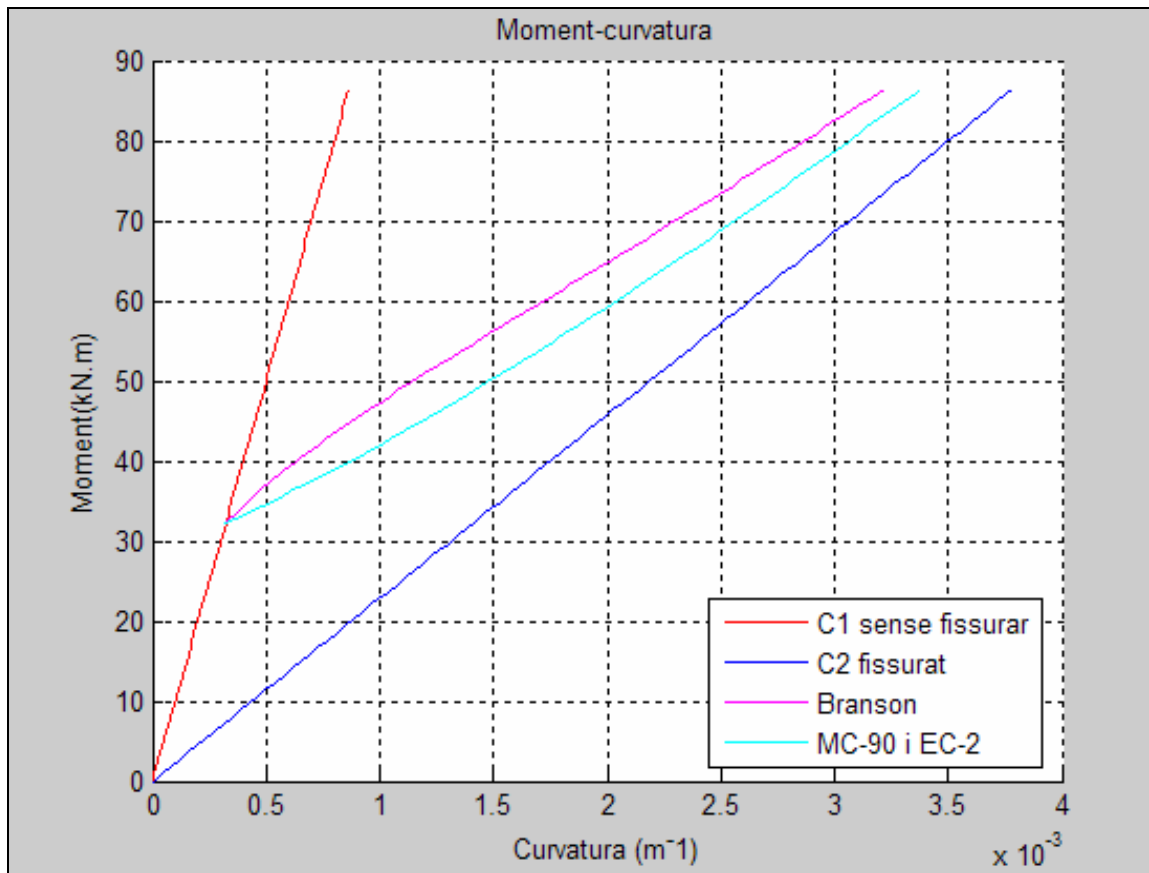
**Secció** = 500 mm de cantell (**h**)  
 450 mm de cantell efectiu (**d**)  
 300 mm d'amplada (**b**)

**reforç** = 4 barres de 16 mm de diàmetre

$d/h = 0.9$

DADES:

Amp.	Cantell	Cantell efectiu	Res. Comp. formigó	Res. tracció formigó	Mòdul elàstic formigó	Tipus de reforç	Res. Tracció reforç	Quantia	Moment de fiss.	Moment últim	Moment de servei
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[%]	[kN.m]	[kN.m]	[kN.m]
300	500	450	25	2,57	32009	ACER	500	0,6	32,2	138,42	86,51



**Fig 1.** Característiques de la secció analitzada a comportament instantani.

**Exemple nº2** Reforç d'acer

Determinació del diagrama moment – curvatura en una secció de formigó armat amb reforç d'acer amb les següents característiques:

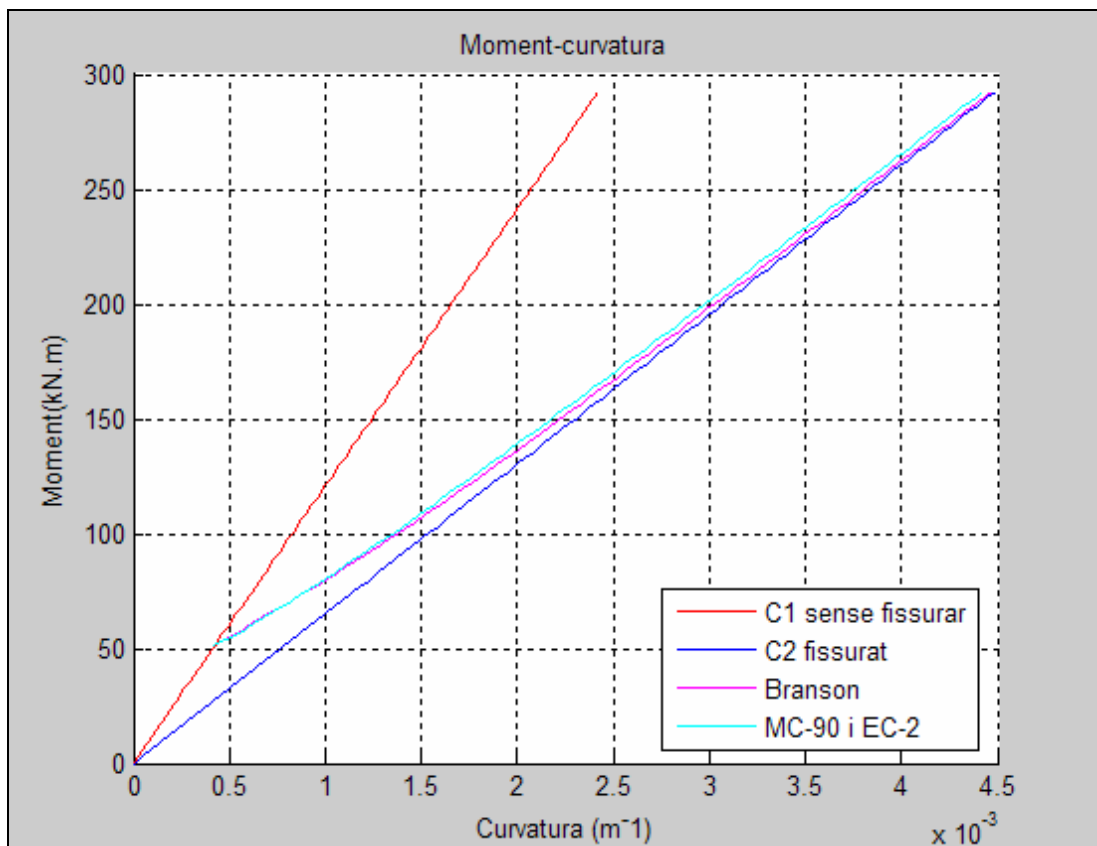
**Secció** = 500 mm de cantell (**h**)  
 450 mm de cantell efectiu (**d**)  
 300 mm d'amplada (**b**)

**reforç** = 6 barres de 25 mm de diàmetre

$d/h = 0.9$

DADES:

Amp.	Cantell	Cantell efectiu	Res. Comp. formigó	Res. tracció formigó	Mòdul elàstic formigó	Tipus de reforç	Res. Tracció reforç	Quantia	Moment de fiss.	Moment últim	Moment de servei
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[%]	[kN.m]	[kN.m]	[kN.m]
300	500	450	50	4,09	38629	ACER	500	2,18	51,17	468,05	292,53



**Fig 2.** Característiques de la secció analitzada a comportament instantani.



**Exemple nº3** Reforç de GFRP

Determinació del diagrama moment – curvatura en una secció de formigó armat amb reforç de GFRP amb les següents característiques. En aquests diagrames s’incorpora l’aproximació de Gao que és una modificació de la de Branson per a FRP.

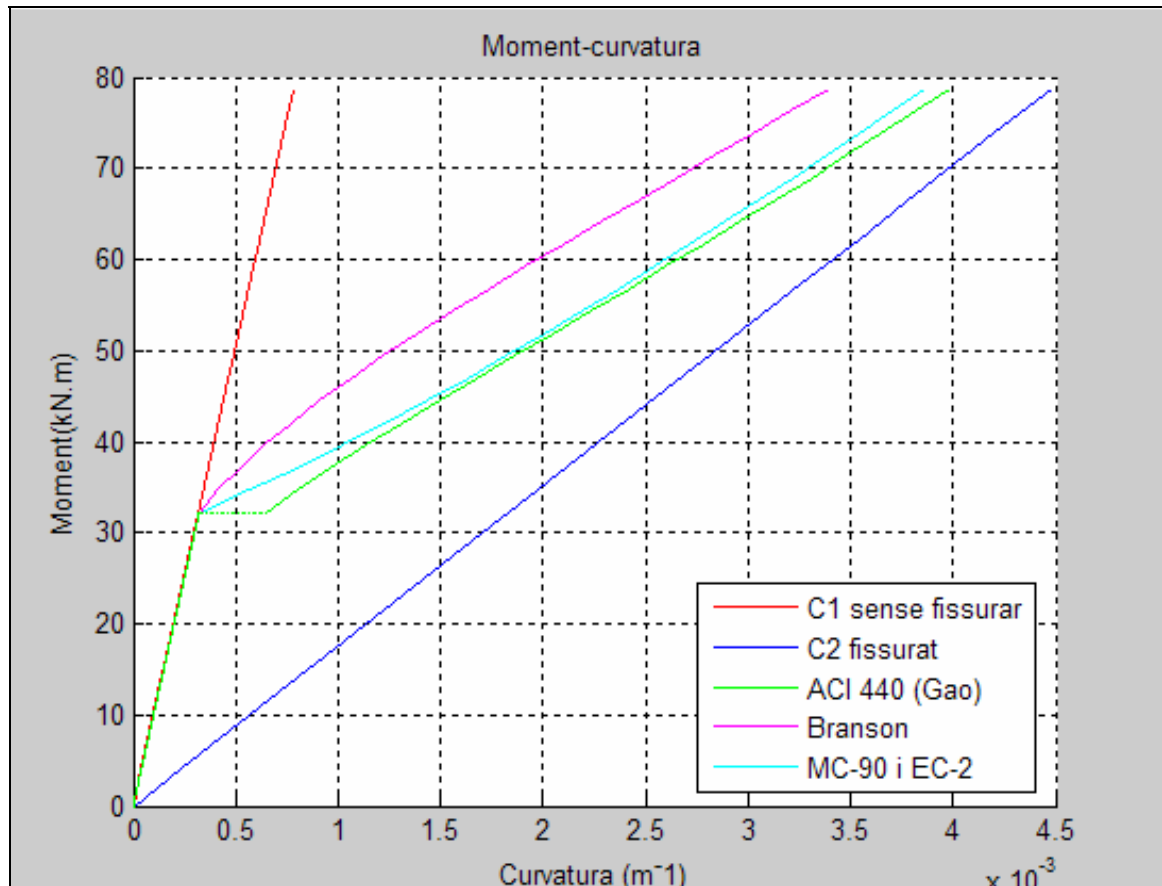
**Secció** = 500 mm de cantell (**h**)  
 450 mm de cantell efectiu (**d**)  
 300 mm d’amplada (**b**)

**reforç** = 6 barres de 25 mm de diàmetre

$d/h = 0.9$

DADES:

Amp.	Cantell	Cantell efectiu	Res. Comp. formigó	Res. tracció formigó	Mòdul elàstic formigó	Tipus de reforç	Res. Tracció reforç	Quantia	Moment de fiss.	Moment últim	Moment de servei
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[%]	[kN.m]	[kN.m]	[kN.m]
300	500	450	25	2,57	32009	GFRP	550	2,18	51,17	468,05	292,53



**Fig 3.** Característiques de la secció reforçada amb GFRP.

**Exemple nº4** Reforç de GFRP

Determinació del diagrama moment – curvatura en una secció de formigó armat amb reforç de GFRP amb les següents característiques. En aquests diagrames s’incorpora l’aproximació de Gao que és una modificació de la de Branson per a FRP.

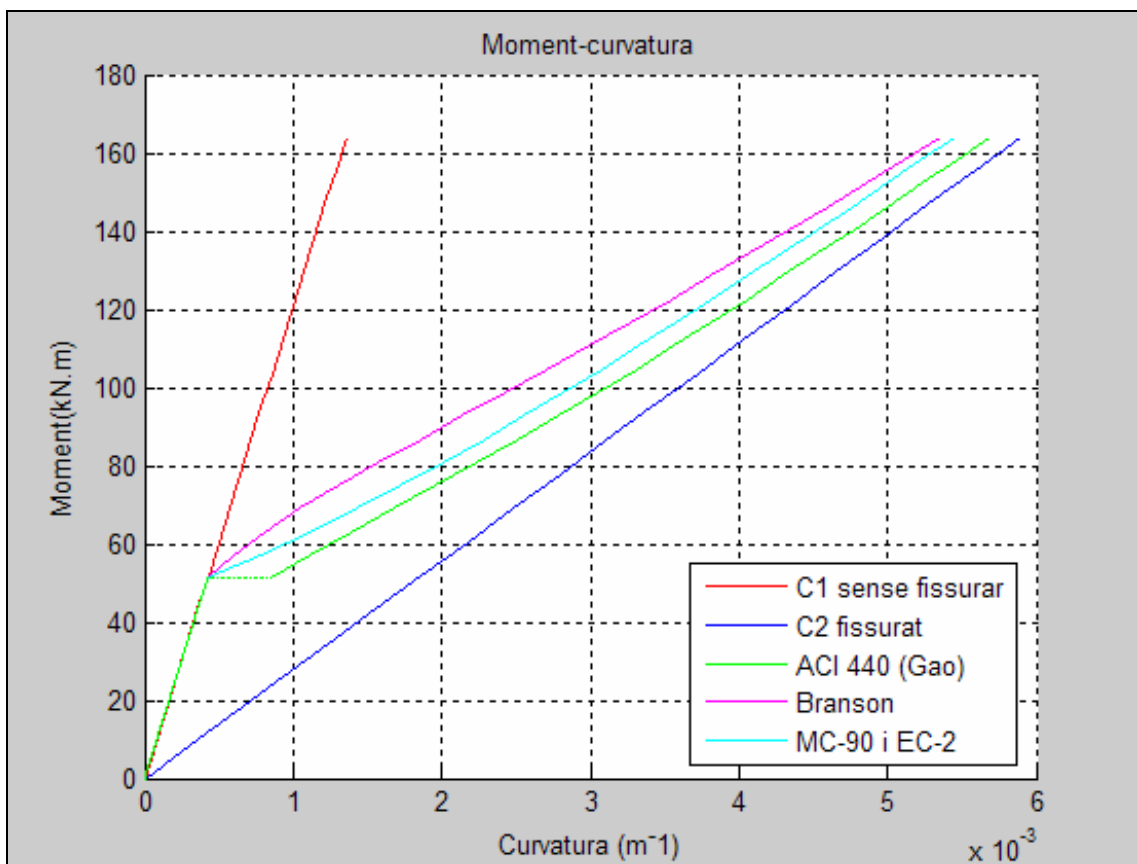
**Secció** = 500 mm de cantell (**h**)  
 450 mm de cantell efectiu (**d**)  
 300 mm d’amplada (**b**)

**reforç** = 10 barres de 25 mm de diàmetre

$d/h = 0.9$

DADES:

Amp.	Cantell	Cantell efectiu	Res. Comp. formigó	Res. tracció formigó	Mòdul elàstic formigó	Tipus de reforç	Res. Tracció reforç	Quantia	Moment de fiss.	Moment últim	Moment de servei
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[%]	[KN.m]	[kN.m]	[kN.m]
300	500	450	50	4,09	38629	GFRP	550	3,64	51,17	330,7	164,12



**Fig 4.** Característiques de la secció reforçada amb GFRP.

**Exemple nº5** Reforç de AFRP

Determinació del diagrama moment – curvatura en una secció de formigó armat amb reforç de AFRP amb les següents característiques. En aquests diagrames s’incorpora l’aproximació de Gao que és una modificació de la de Branson per a FRP.

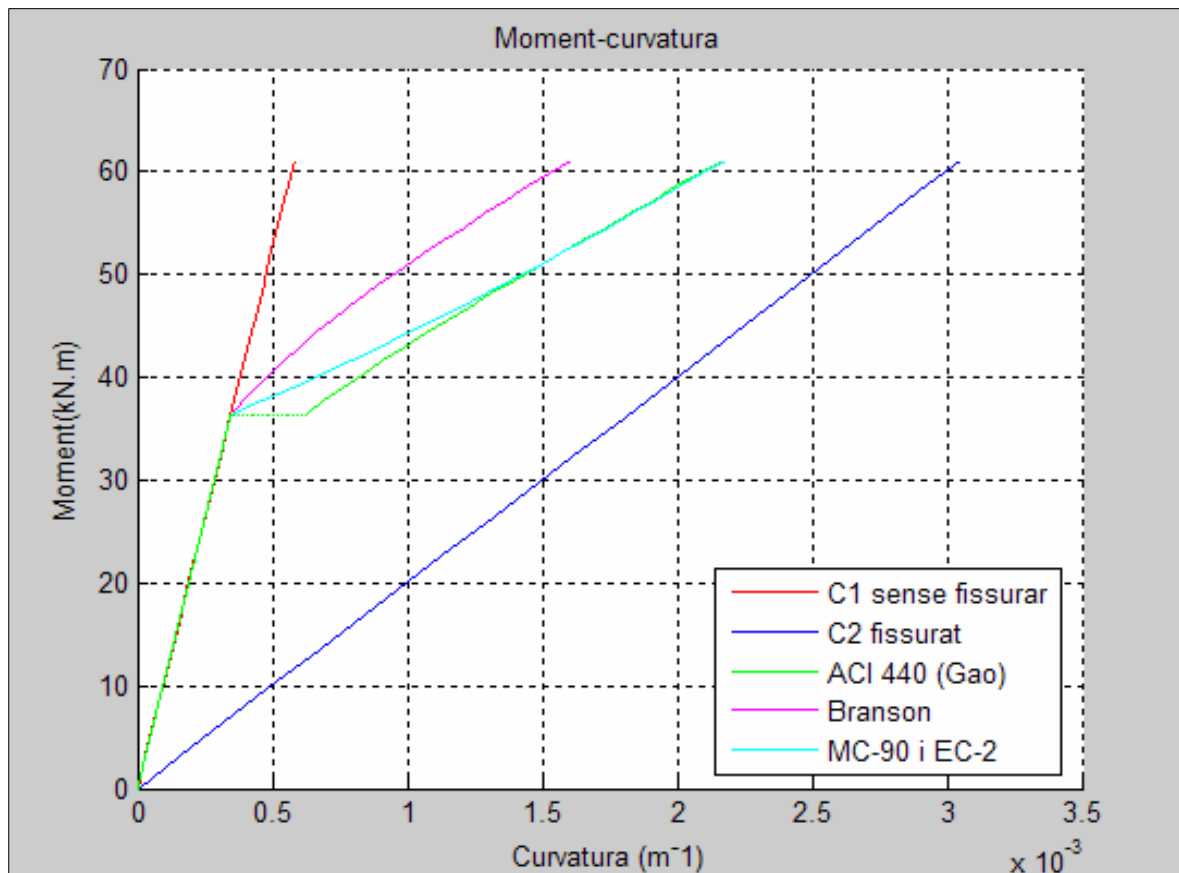
**Secció** = 500 mm de cantell (**h**)  
 450 mm de cantell efectiu (**d**)  
 300 mm d’amplada (**b**)

**reforç** = 6 barres de 19 mm de diàmetre

d/h = 0.9

DADES:

Amp.	Cantell	Cantell efectiu	Res. Comp. formigó	Res. tracció formigó	Mòdul elàstic formigó	Tipus de reforç	Res. Tracció reforç	Quantia	Moment de fiss.	Moment últim	Moment de servei
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[%]	[kN.m]	[kN.m]	[kN.m]
300	500	450	30	2,91	33551	AFRP	1200	1,26	36,4	230,1	61,14



**Fig 5.** Característiques de la secció reforçada amb AFRP.

**Exemple nº6** Reforç de AFRP

Determinació del diagrama moment – curvatura en una secció de formigó armat amb reforç de AFRP amb les següents característiques. En aquests diagrames s’incorpora l’aproximació de Gao que és una modificació de la de Branson per a FRP.

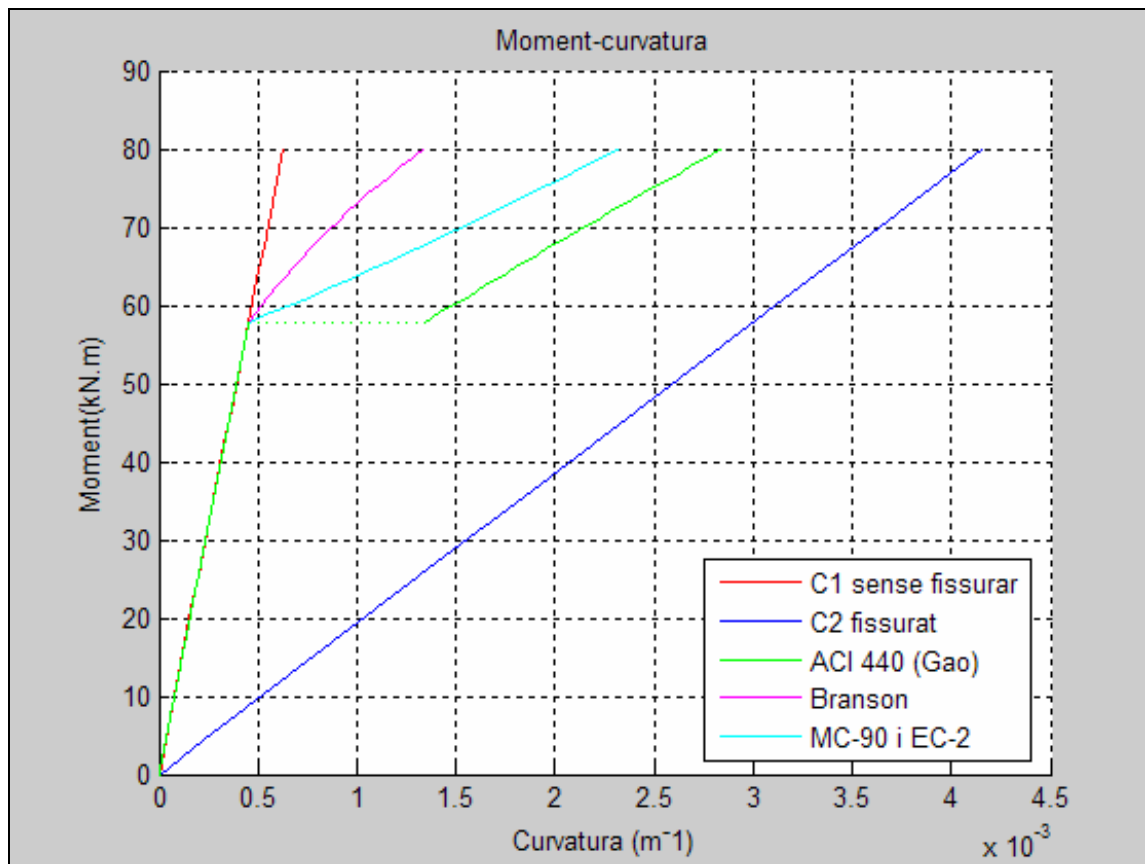
**Secció** = 500 mm de cantell (**h**)  
 450 mm de cantell efectiu (**d**)  
 300 mm d’amplada (**b**)

**reforç** = 5 barres de 25 mm de diàmetre

d/h = 0.9

DADES:

Amp.	Cantell	Cantell efectiu	Res. Comp. formigó	Res. tracció formigó	Mòdul elàstic formigó	Tipus de reforç	Res. Tracció reforç	Quantia	Moment de fiss.	Moment últim	Moment de servei
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[%]	[KN.m]	[kN.m]	[kN.m]
300	500	450	60	4,62	40733	AFRP	1200	1,16	57,78	301,93	80,08



**Fig 6.** Característiques de la secció reforçada amb AFRP.

**Exemple nº7** Reforç de CFRP

Determinació del diagrama moment – curvatura en una secció de formigó armat amb reforç de CFRP amb les següents característiques. En aquests diagrames s’incorpora l’aproximació de Gao que és una modificació de la de Branson per a FRP.

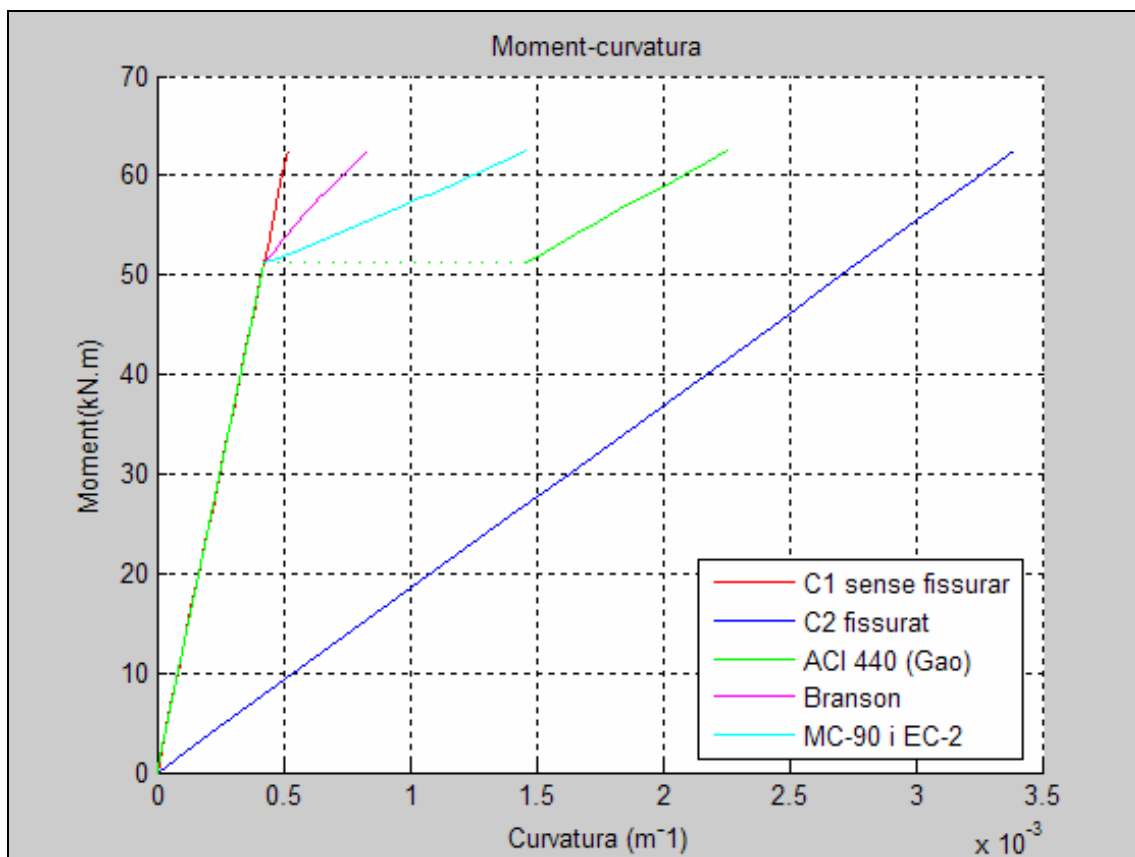
**Secció** = 500 mm de cantell (**h**)  
 450 mm de cantell efectiu (**d**)  
 300 mm d’amplada (**b**)

**reforç** = 5 barres de 25 mm de diàmetre

$d/h = 0.9$

DADES:

Amp.	Cantell	Cantell efectiu	Res. Comp. formigó	Res. tracció formigó	Mòdul elàstic formigó	Tipus de reforç	Res. Tracció reforç	Quantia	Moment de fiss.	Moment últim	Moment de servei
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[%]	[KN.m]	[kN.m]	[kN.m]
300	500	450	50	4,09	38629	CFRP	2000	0,6	51,17	276,19	62,48



**Fig 7.** Característiques de la secció reforçada amb CFRP.

**Exemple nº8** Reforç de CFRP

Determinació del diagrama moment – curvatura en una secció de formigó armat amb reforç de CFRP amb les següents característiques. En aquests diagrames s'incorpora l'aproximació de Gao que és una modificació de la de Branson per a FRP.

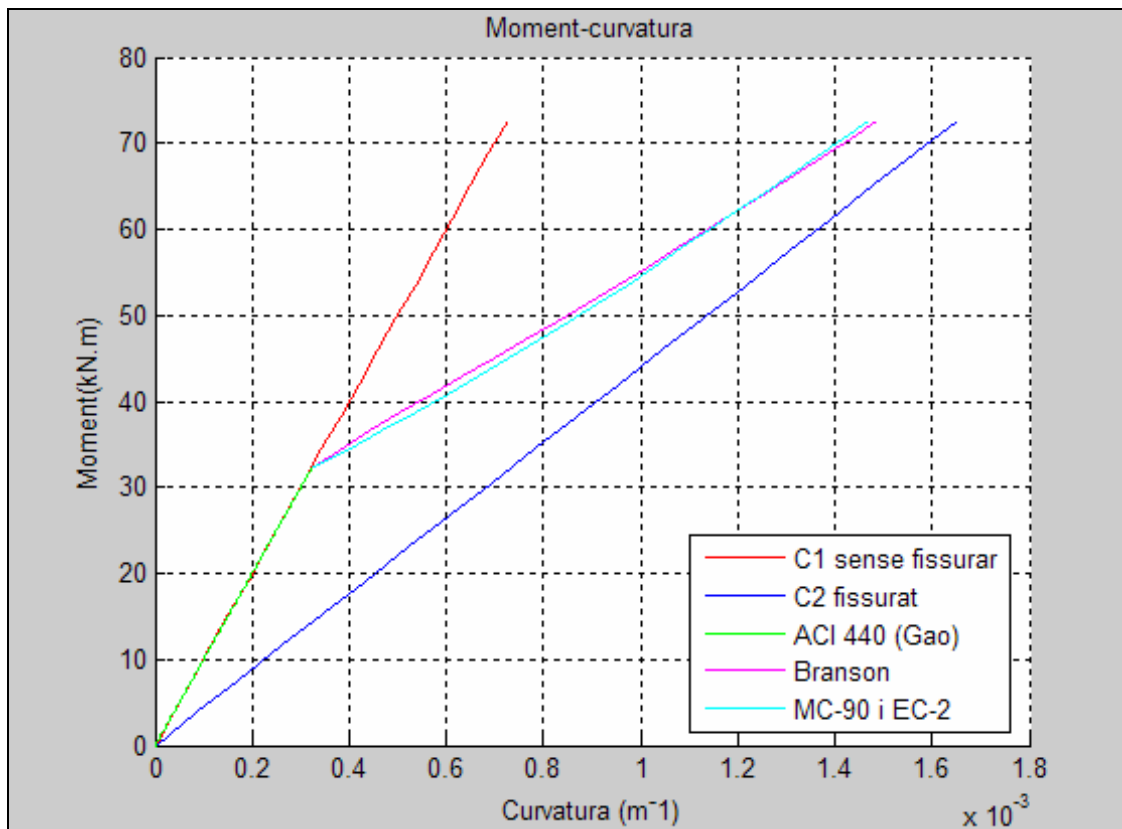
**Secció** = 500 mm de cantell (**h**)  
 450 mm de cantell efectiu (**d**)  
 300 mm d'amplada (**b**)

**reforç** = 5 barres de 25 mm de diàmetre

$d/h = 0.9$

DADES:

Amp.	Cantell	Cantell efectiu	Res. Comp. formigó	Res. tracció formigó	Mòdul elàstic formigó	Tipus de reforç	Res. Tracció reforç	Quantia	Moment de fiss.	Moment últim	Moment de servei
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[%]	[kN.m]	[kN.m]	[kN.m]
300	500	450	25	2,57	32009	CFRP	2000	1,82	32,23	274,04	72,69



**Fig 8.** Característiques de la secció reforçada amb CFRP.

### **C.3 Conclusions**

Com es pot comprovar a les gràfiques anteriors la diferència bàsica entre els diferents tipus de reforç rau en el seu mòdul elàstic i la seva resistència a la tracció. A mesura que augmentem el mòdul elàstic l'element adquireix rigidesa i les curvatures disminueixen al mateix temps que augmenten els moments últims. En l'aproximació de GAO la corba queda desplaçada inicialment cap a la recta de fissuració completa degut a que BRANSON sobreestima la rigidesa de l'element quan tenim quanties de reforç baixes. Les corbes de curvatura mitjana que proporciona l'EC-2 per l'acer són més conservadores que les de BRANSON.

## D. DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA ADIMENSIONALS

### ÍNDEX D

<b>D.1 Introducció.....</b>	<b>1</b>
<b>D.1 DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA PER L'ACER .....</b>	<b>2</b>
<b>D.2 DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA PEL GFRP .....</b>	<b>3</b>
<b>D.3 DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA PER L'AFRP.....</b>	<b>5</b>
<b>D.4 DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA PEL CFRP .....</b>	<b>7</b>

### D.1 Introducció

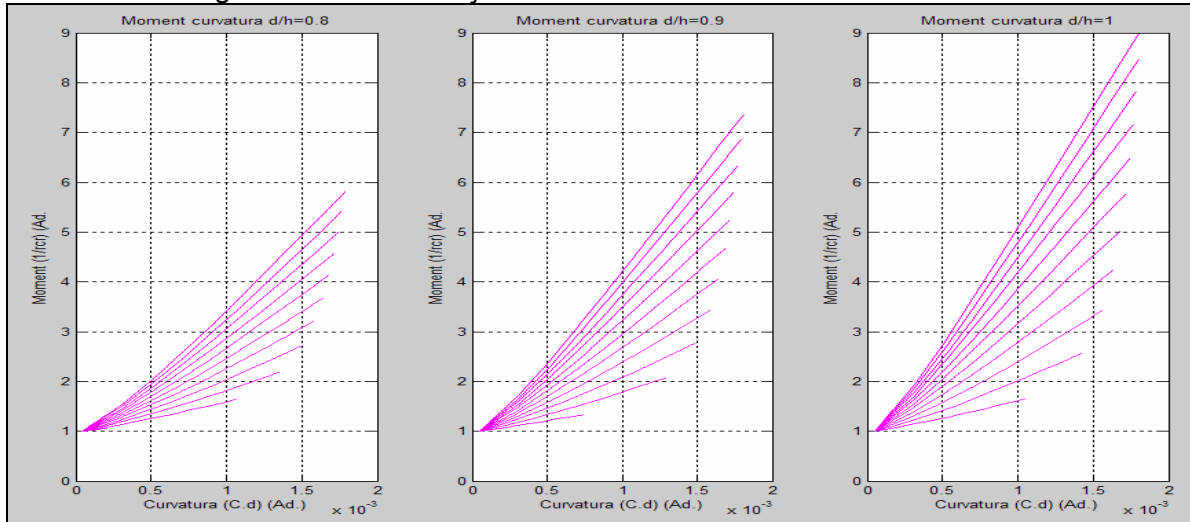
Per comprovar la influència del tipus de reforç i la resistència del formigó en els diagrames moment-curvatura adimensional s'han realitzat els següents gràfics amb les característiques que es detallen a continuació. Per cada tipus de reforç s'ha realitzat el mateix gràfic variant la resistència del formigó, analitzant el cas de 25 MPa, 35 MPa i 60 MPa per veure com evoluciona el resultat. Les quanties que s'han utilitzat van del 0,2% al 2% per l'ACER, de 0,37% a 4% pel GFRP, del 0,18% al 3% pel AFRP i del 0,1% al 1,58% pel CFRP. També s'hi inclouen les gràfiques considerant les condicions de servei que proposa Newhook et al. (2002) i que s'han estudiat al llarg del treball. Aquest gràfics s'han utilitzat per determinar els moment de servei fins on calia calcular les  $\alpha_2$  depenen del mètode de càlcul que s'hagués utilitzat, ja sigui mitjançant els coeficients de minoració de la ACI 440.1R-06 o amb els moments de servei proposats en el Newhook et al. (2002).

Als gràfics s'observa com els moment últims en servei augmenten al augmentar la relació entre els cantells i apropar-se a 1, és a dir, al cas de no tenir recobriment mecànic i aprofitar tota la secció bruta de l'element per col·locar les armadures a la part inferior. També val a dir que si augmenta la resistència a compressió del formigó el moment de fissuració augmentarà i per tant el moment últim en servei adimensional disminuirà, ja que la relació és  $M_u/M_{cr}$ . Com que el GFRP és el reforç amb menor mòdul elàstic serà el que patirà majors curvatures, com s'observa en els gràfics.

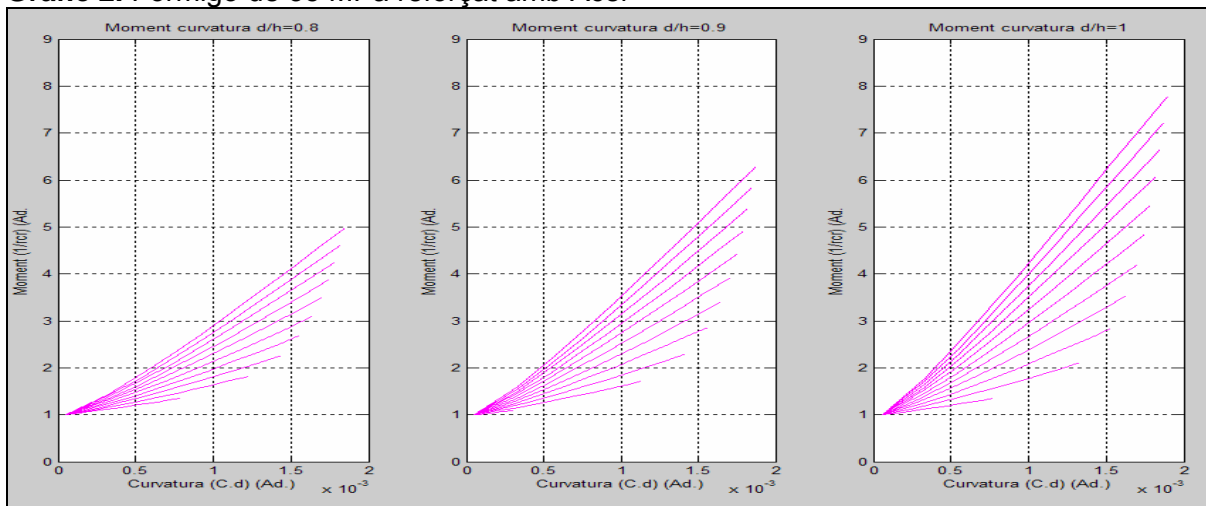


## D.2 DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA PER L'ACER

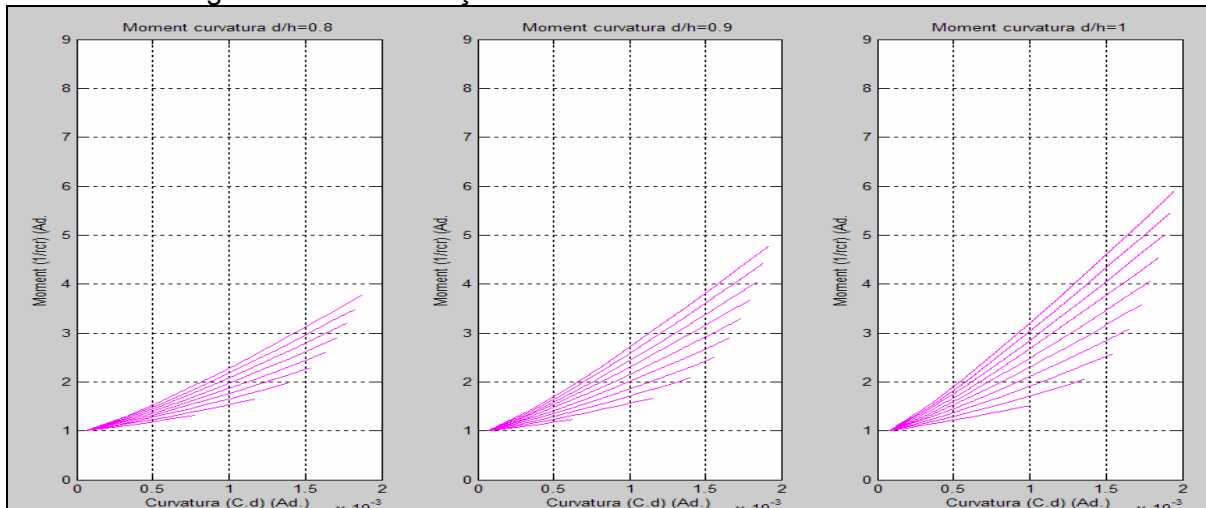
**Gràfic 1. Formigó de 25 MPa reforçat amb Acer**



**Gràfic 2. Formigó de 35 MPa reforçat amb Acer**

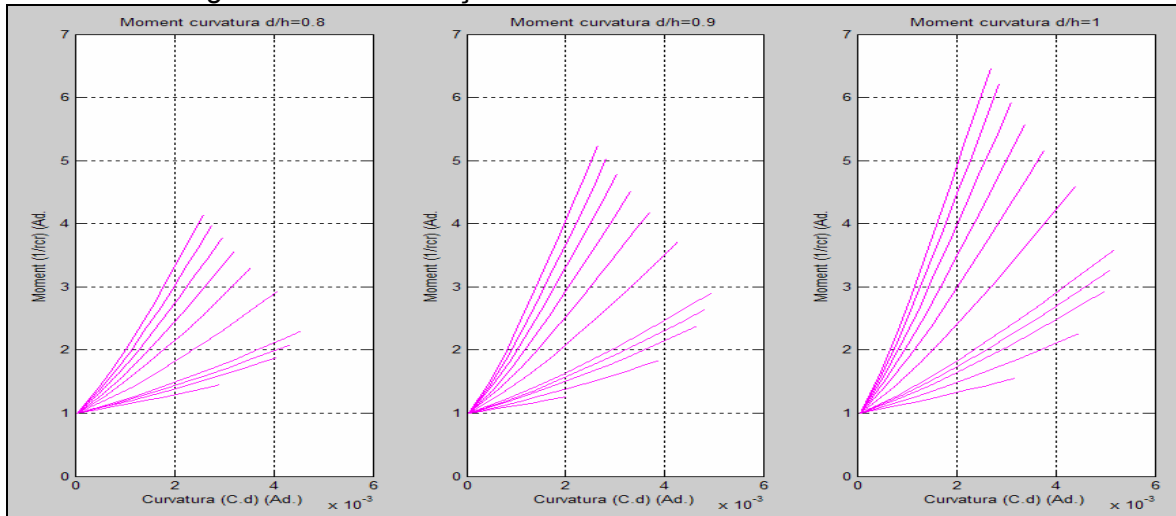


**Gràfic 3. Formigó de 60 MPa reforçat amb Acer**

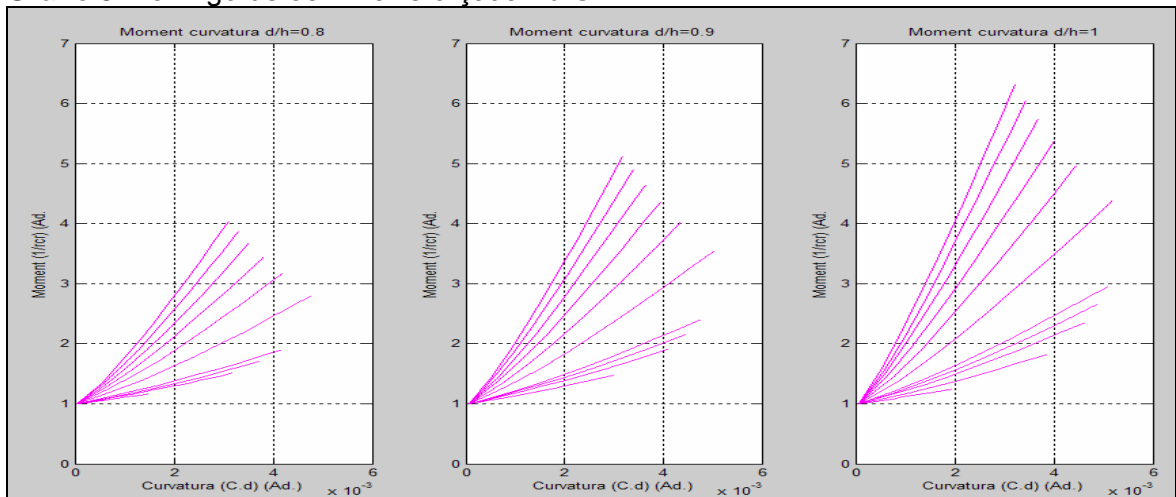


### D.3 DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA PEL GFRP

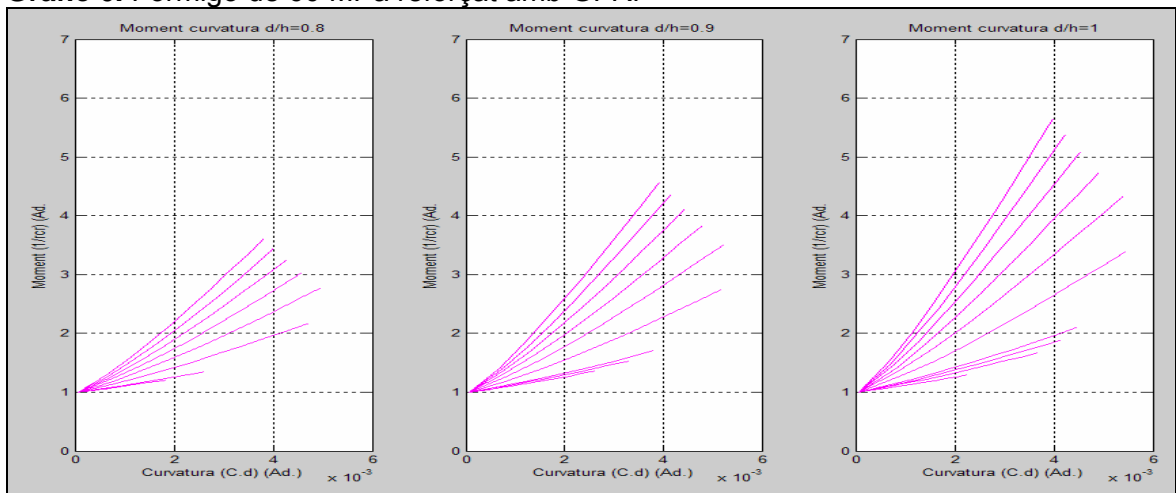
**Gràfic 4.** Formigó de 25 MPa reforçat amb GFRP



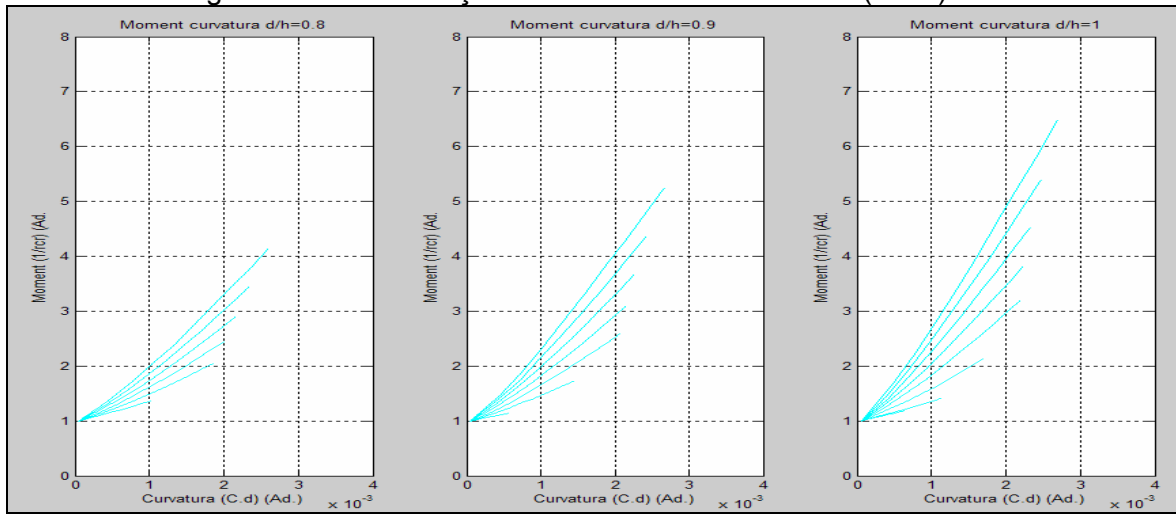
**Gràfic 5.** Formigó de 35 MPa reforçat amb GFRP



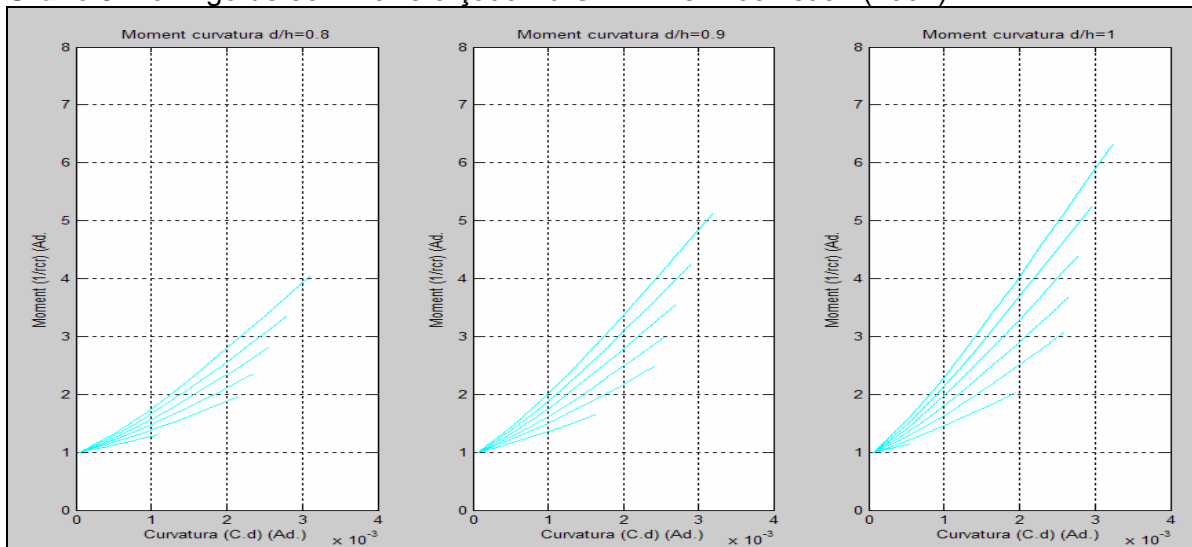
**Gràfic 6.** Formigó de 60 MPa reforçat amb GFRP



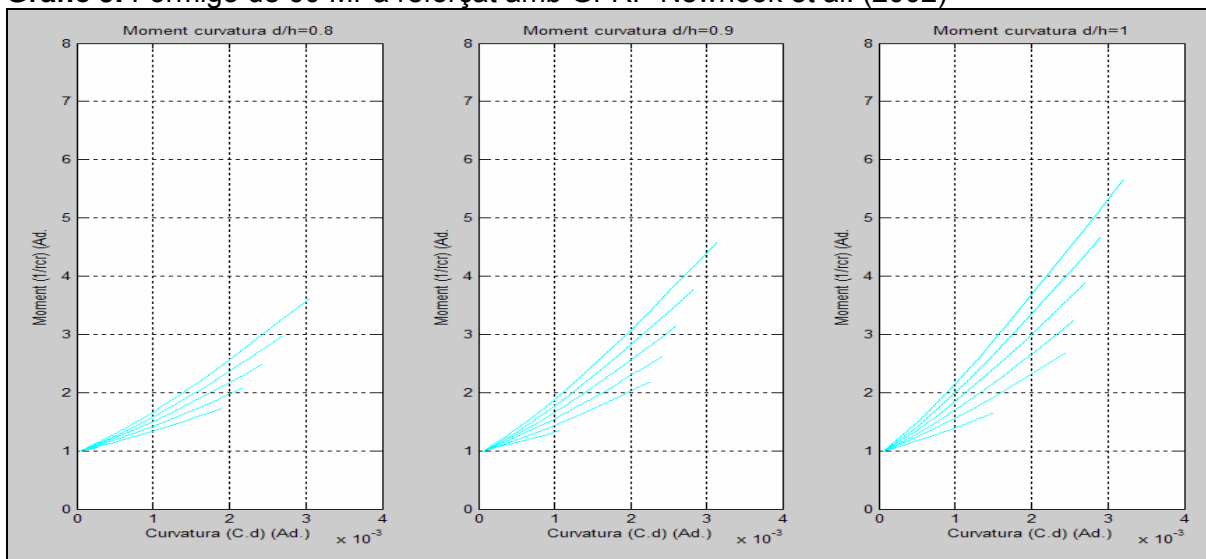
**Gràfic 7.** Formigó de 25 MPa reforçat amb GFRP Newhook et al. (2002)



**Gràfic 8.** Formigó de 35 MPa reforçat amb GFRP Newhook et al. (2002)

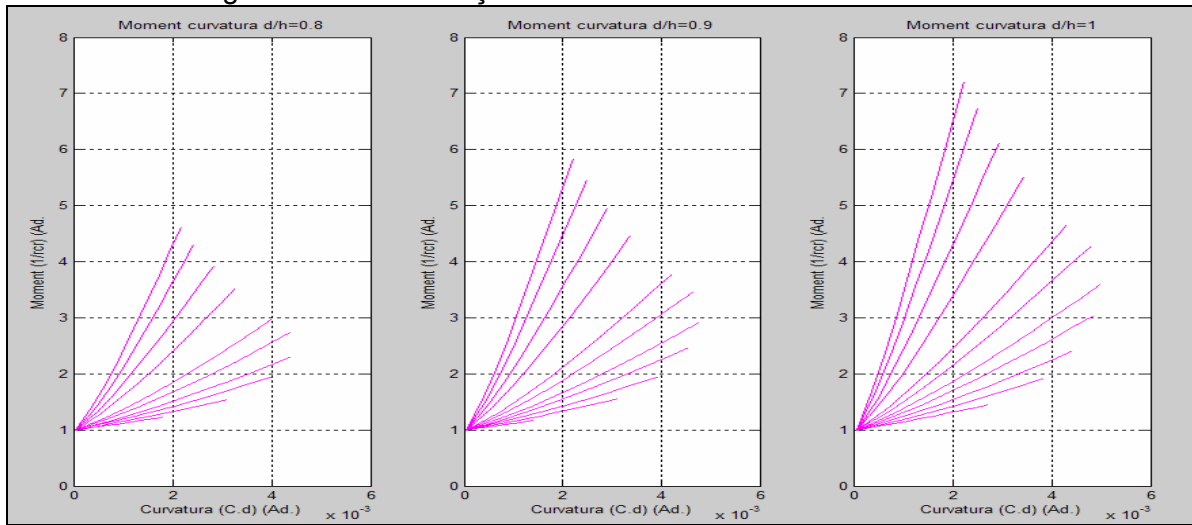


**Gràfic 9.** Formigó de 60 MPa reforçat amb GFRP Newhook et al. (2002)

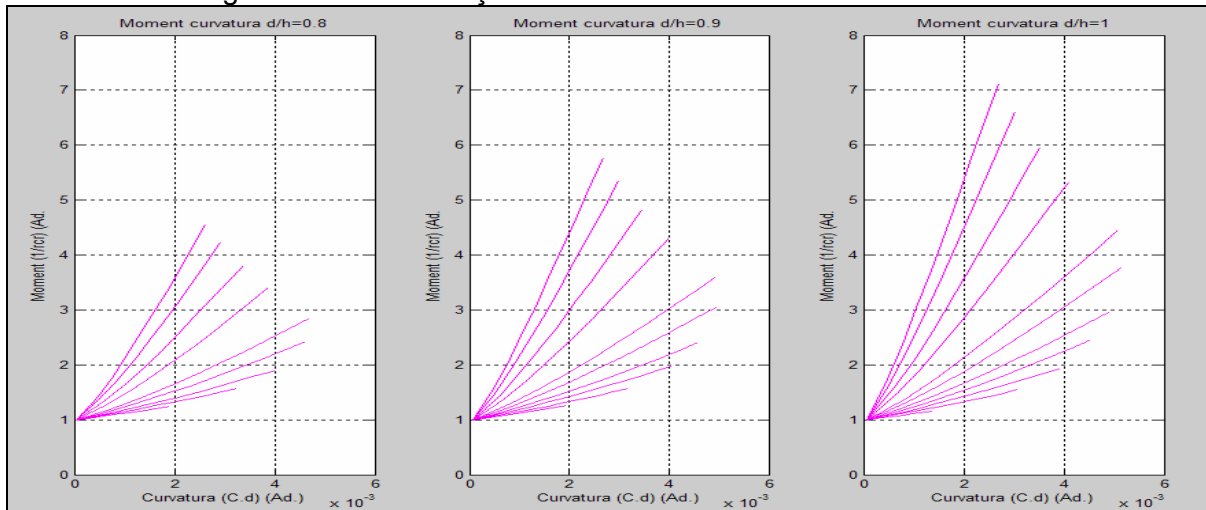


## D.4 DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA PER L'AFRP

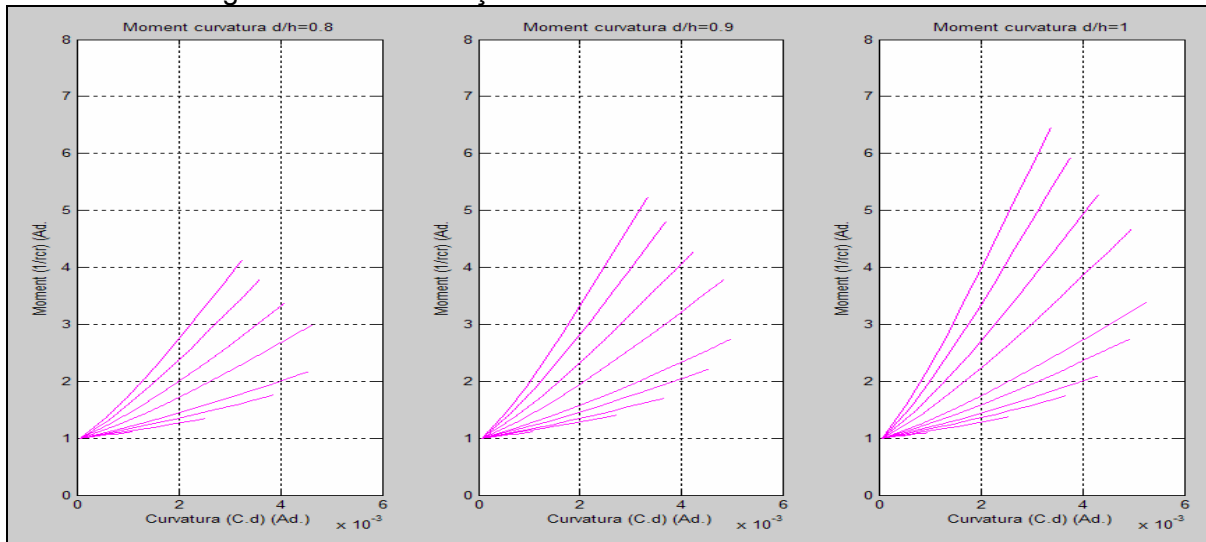
**Gràfic 10.** Formigó de 25 MPa reforçat amb AFRP



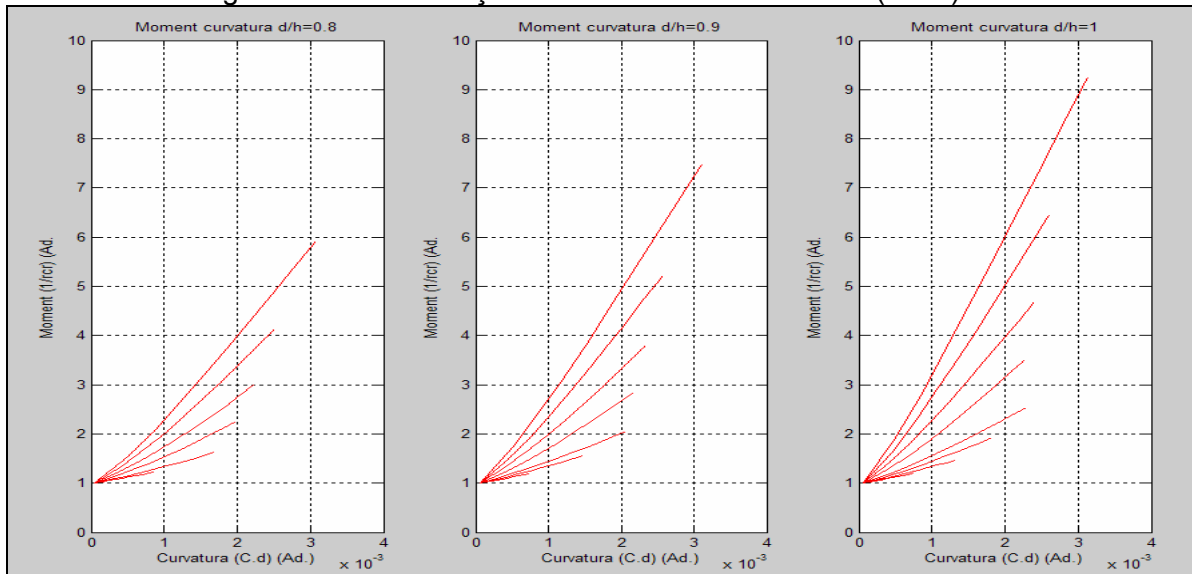
**Gràfic 11.** Formigó de 35 MPa reforçat amb AFRP



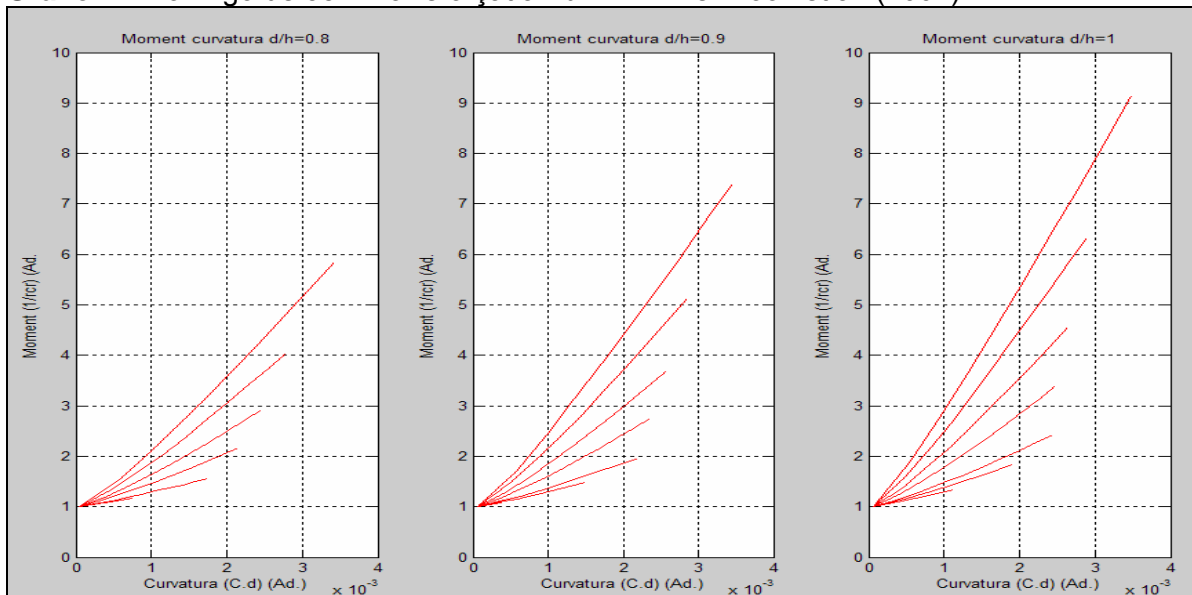
**Gràfic 12.** Formigó de 60 MPa reforçat amb AFRP



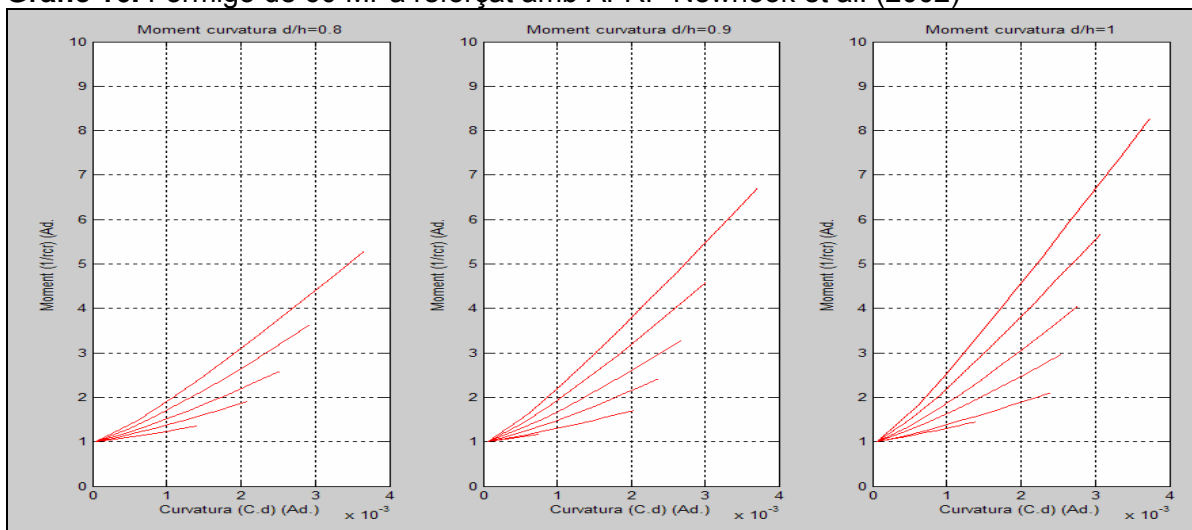
**Gràfic 13.** Formigó de 25 MPa reforçat amb AFRP Newhook et al. (2002)



**Gràfic 14.** Formigó de 35 MPa reforçat amb AFRP Newhook et al. (2002)

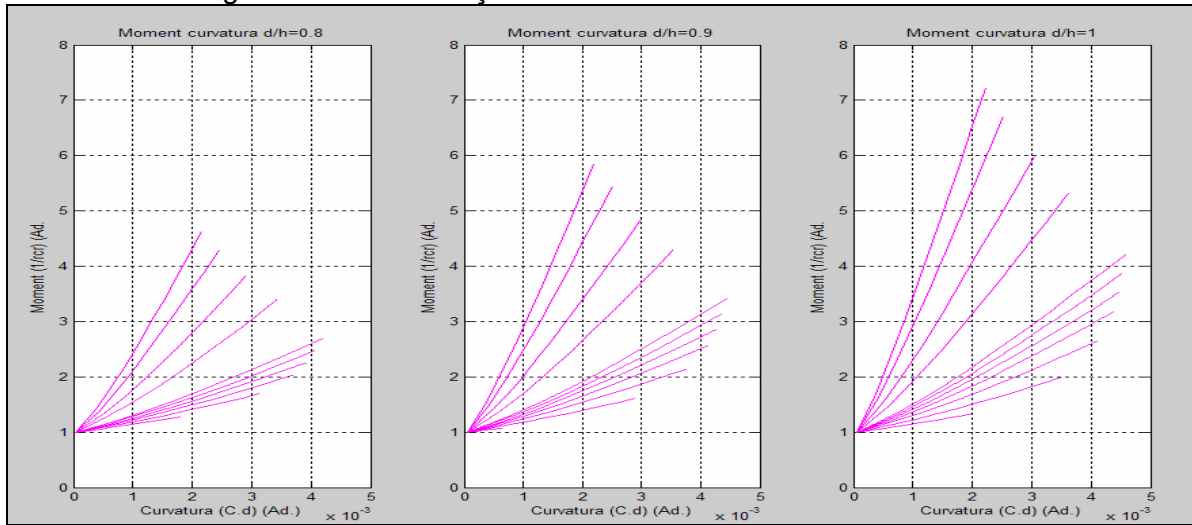


**Gràfic 16.** Formigó de 60 MPa reforçat amb AFRP Newhook et al. (2002)

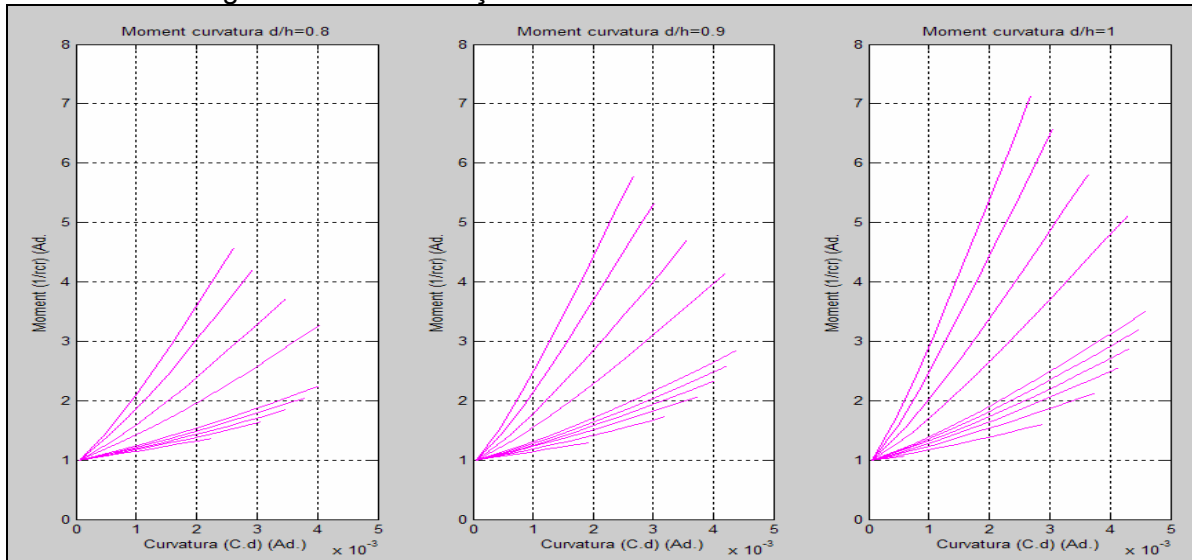


## D.5 DIAGRAMES MOMENT- CURVATURA PEL CFRP

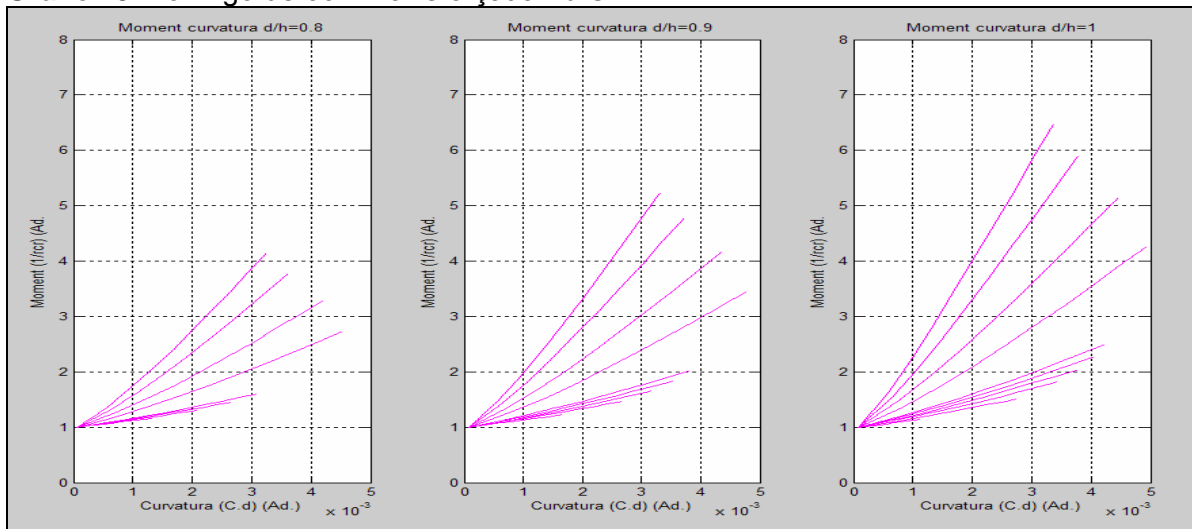
Gràfic 17. Formigó de 25 MPa reforçat amb CFRP



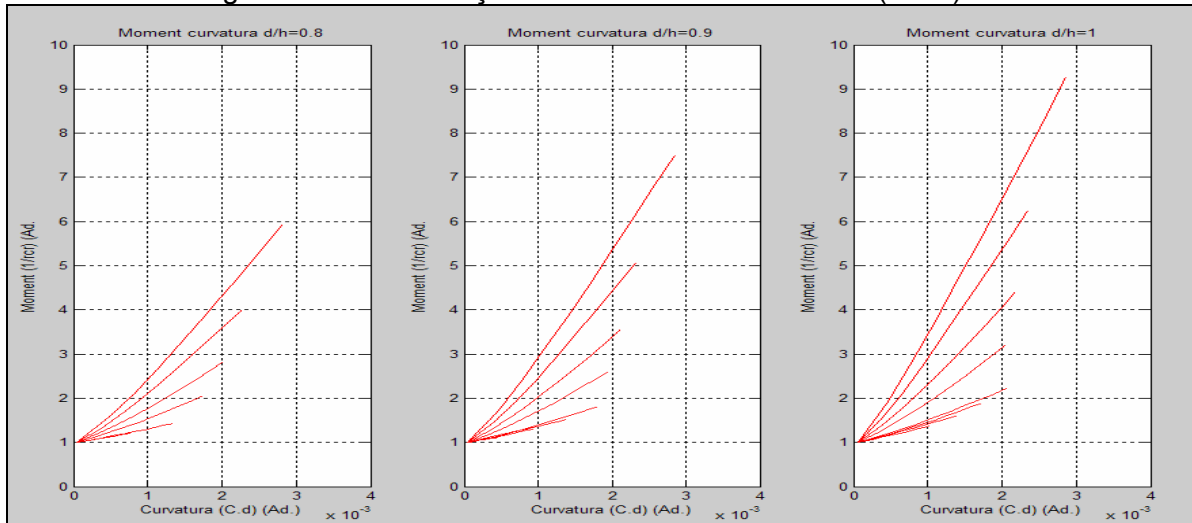
Gràfic 18. Formigó de 35 MPa reforçat amb CFRP



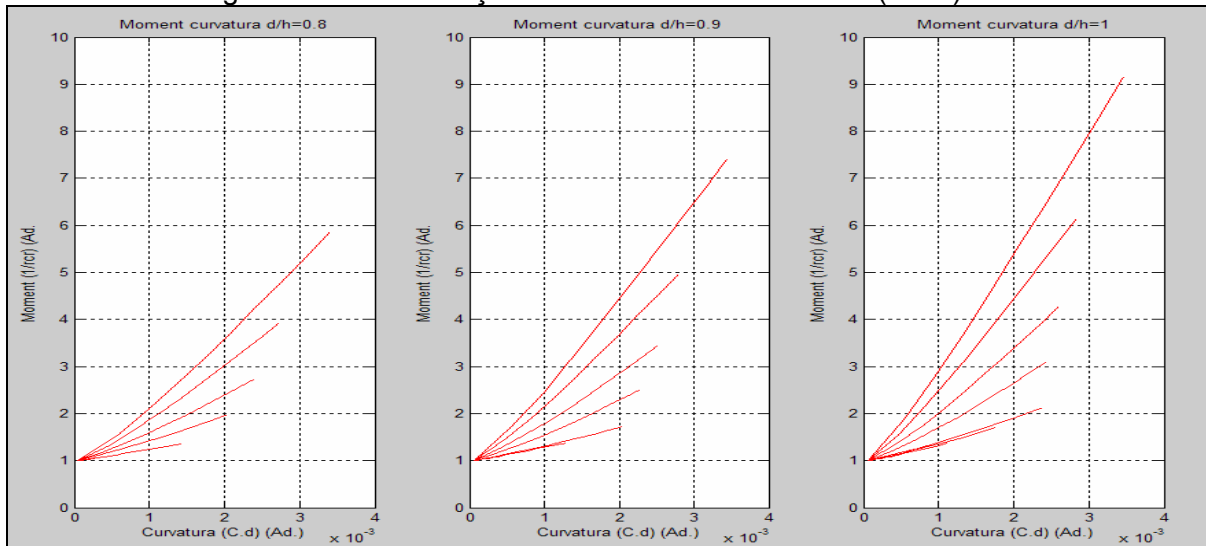
Gràfic 19. Formigó de 60 MPa reforçat amb CFRP



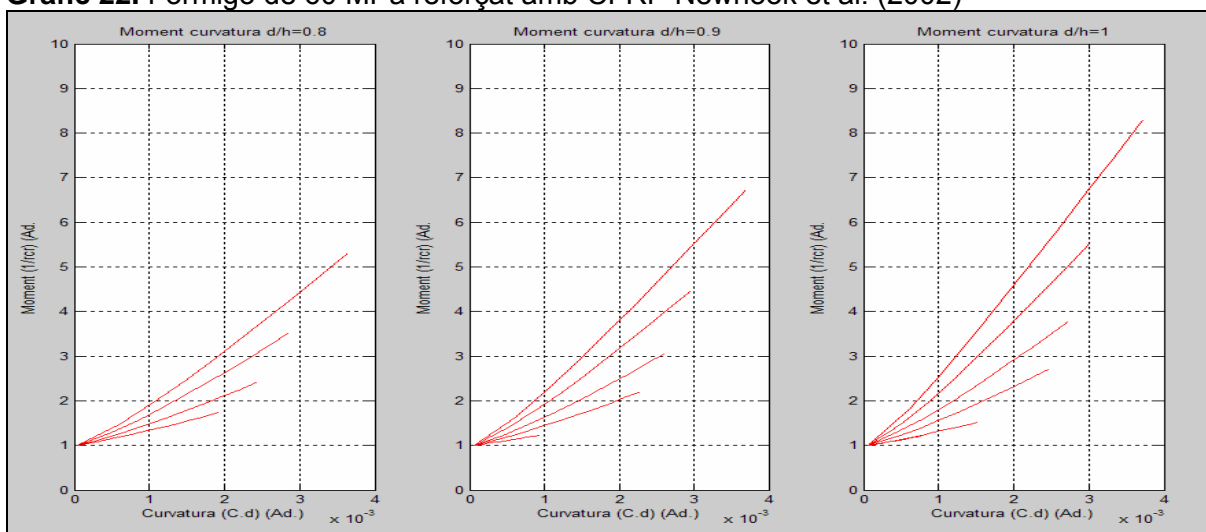
**Gràfic 20.** Formigó de 25 MPa reforçat amb CFRP Newhook et al. (2002)



**Gràfic 21.** Formigó de 35 MPa reforçat amb CFRP Newhook et al. (2002)



**Gràfic 22.** Formigó de 60 MPa reforçat amb CFRP Newhook et al. (2002)



**E. Càlcul del coeficient  $\alpha_2$  per a diferents reforços.****ÍNDEX**

<b>E.1 Introducció.....</b>	<b>1</b>
<b>E.2 Formigó de 25 MPa reforçat amb GFRP amb <math>f_{ct} = 1,75</math> MPa. ....</b>	<b>2</b>
<b>E.3 Formigó de 25 MPa reforçat amb GFRP amb <math>f_{ct} = 2,57</math> MPa. ....</b>	<b>3</b>
<b>E.4 Formigó de 25 MPa reforçat amb GFRP amb <math>f_{ct} = 3,4</math> MPa. ....</b>	<b>4</b>
<b>E.5 Formigó de 30 MPa reforçat amb GFRP.....</b>	<b>5</b>
<b>E.6 Formigó de 35 MPa reforçat amb GFRP.....</b>	<b>6</b>
<b>E.7 Formigó de 50 MPa reforçat amb GFRP.....</b>	<b>7</b>
<b>E.8 Formigó de 60 MPa reforçat amb GFRP.....</b>	<b>8</b>
<b>E.9 Formigó de 25 MPa reforçat amb CFRP .....</b>	<b>9</b>
<b>E.10 Formigó de 30 MPa reforçat amb CFRP .....</b>	<b>10</b>
<b>E.11 Formigó de 35 MPa reforçat amb CFRP .....</b>	<b>11</b>
<b>E.12 Formigó de 50 MPa reforçat amb CFRP .....</b>	<b>12</b>
<b>E.13 Formigó de 60 MPa reforçat amb CFRP .....</b>	<b>13</b>

**E. Càlcul del coeficient  $\alpha_2$  en estructures reforçades amb GFRP****E.1 Introducció.**

En aquest annex s'hi inclouen tots els valors  $\alpha_2$  trobats amb el programa C2gen en funció del tipus de formigó i la resistència a tracció, en el cas de tenir reforços de GFRP i en el cas de tenir CFRP. Aquest valors s'han introduït al Minitab Release 14 per poder obtenir les regressions quadràtica i lineal que ens han servit per trobar les expressions. En els llocs on no apareix valor i en el seu lloc hi ha un (-) o el valor surt en vermell, significa que estem per sota 1,25 vegades el moment de fissuració  $M_{cr}$  i ens és impossible trobar un valor d'  $\alpha_2$  en aquest casos.

La primera columna de cada taula correspon a la quantia utilitzada, que no significa la mateixa quantitat de reforç, ja que la quantia depèn del cantell efectiu i nosaltres l'hem variat per veure la influència que tenia. És a dir, dos seccions amb la mateixa quantia no vol dir que tinguin el mateix nombre de barres amb el mateix diàmetre, ja que si disminueix el cantell efectiu  $d$  l'àrea de reforç també ha de disminuir per mantenir la quantia constant.



E.2 Formigó de 25 MPa reforçat amb GFRP amb  $f_{ct} = 1,75$  MPa.

GFRP		$E_f = 40000$ MPa		$f_u = 500$ MPa							
$f_c = 25$ MPa		Secció $b = 250$ mm $h = 250$ mm		$E_c = 32009$ MPa		$f_{ct,min} = 1,75$ MPa		$M_{cr} = 4,55$ kN.m			
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$				
		d/h									
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1
0,37	2,55	5,813	6,585	7,357	8,220	9,083	-	-	71,2	68,0	63,0
0,50	2,55	7,929	8,982	10,035	11,212	12,389	74,6	70,6	67,0	62,4	56,0
0,54	2,55	8,484	9,611	10,738	11,997	13,257	70,2	66,8	63,4	59,2	54,4
0,70	2,55	10,998	12,459	13,919	15,552	17,184	64,0	58,4	53,4	50,0	46,4
0,79	2,55	12,412	14,061	15,709	17,551	19,394	60,4	56,0	51,8	46,8	44,0
0,88	2,15	13,825	15,662	17,498	19,550	21,602	58,6	54,2	48,4	44,2	40,8
1,44	2,15	19,730	22,350	24,971	27,899	30,828	42,4	37,8	33,0	30,0	27,4
2,00	2,15	22,205	25,155	28,104	31,400	34,696	32,8	28,6	24,8	22,8	19,6
2,50	2,15	23,966	27,149	30,332	33,889	37,447	27,6	24,2	21,1	18,8	15,6
3,00	2,15	25,441	28,820	32,199	35,976	39,752	23,8	20,8	18,2	15,8	13,2
3,50	2,15	26,707	30,255	33,802	37,766	41,730	21,4	18,4	15,8	13,6	11,6
4,00	2,15	27,813	31,507	35,201	39,330	43,458	19,2	16,4	14,0	11,6	10,2
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$				
		d/h									
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1
0,37	6,80	2,176	2,465	2,754	3,077	3,400	-	-	-	-	-
0,50	6,8	3,009	3,409	3,809	4,255	4,702	-	-	-	-	-
0,54	6,69	3,228	3,657	4,086	4,565	5,044	-	-	-	-	-
0,70	6,58	4,255	4,820	5,385	6,016	6,648	-	-	-	-	31,6
0,79	6,18	5,112	5,791	6,470	7,229	7,988	-	-	-	35,4	29,2
0,88	5,78	6,088	6,896	7,705	8,608	9,512	-	-	34,2	30,0	27,4
1,44	4,62	9,198	10,420	11,641	13,007	14,372	31,2	28,0	26,8	24,4	22,0
2,00	3,47	13,783	15,614	17,444	19,490	21,536	28,2	25,4	22,6	19,8	17,6
2,50	3,14	16,439	18,623	20,806	23,246	25,686	24,8	22,2	19,8	17,4	14,6
3,00	2,81	19,501	22,091	24,680	27,575	30,470	22,4	19,6	16,8	15,0	13,2
3,50	2,48	23,195	26,276	29,356	32,799	36,242	20,2	17,8	15,4	13,0	11,6
4,00	2,15	27,863	31,564	35,264	39,400	43,536	19,2	16,4	14,0	11,6	10,2

E.3 Formigó de 25 MPa reforçat amb GFRP amb  $f_{ct} = 2,57$  MPa.

$f_c = 25$ MPa		Secció b = 250 mm h = 250 mm $E_c = 32009$ MPa $f_{ct,mg} = 2,57$ MPa $M_{cr} = 6,71$ kN.m									
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$				
		d/h									
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1
0,37	2,55	5,813	6,585	7,357	8,220	9,083	-	-	-	-	49,6
0,50	2,55	7,929	8,982	10,035	11,212	12,389	-	-	-	-	45,2
0,54	2,55	8,484	9,611	10,738	11,997	13,257	-	-	50,8	46,4	44,0
0,70	2,55	10,998	12,459	13,919	15,552	17,184	51,2	48,4	45,2	41,6	40,0
0,79	2,55	12,412	14,061	15,709	17,551	19,394	49,8	47,8	44,0	40,0	37,8
0,88	2,15	13,825	15,662	17,498	19,550	21,602	48,0	43,8	40,8	38,4	36,6
1,44	2,15	19,730	22,350	24,971	27,899	30,828	37,4	33,6	30,6	27,6	25,0
2,00	2,15	22,205	25,155	28,104	31,400	34,696	29,2	26,2	23,0	21,0	18,8
2,50	2,15	23,966	27,149	30,332	33,889	37,447	24,8	21,6	19,6	17,0	15,4
3,00	2,15	25,441	28,820	32,199	35,976	39,752	21,6	19,0	16,6	15,0	13,0
3,50	2,15	26,707	30,255	33,802	37,766	41,730	19,4	16,8	14,8	12,8	10,8
4,00	2,15	27,813	31,507	35,201	39,330	43,458	17,4	14,6	13,2	11,2	9,2
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$				
Quantia (%)		d/h									
		$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95
0,37	6,80	2,176	2,465	2,754	3,077	3,400	-	-	-	-	-
0,50	6,8	3,009	3,409	3,809	4,255	4,702	-	-	-	-	-
0,54	6,69	3,228	3,657	4,086	4,565	5,044	-	-	-	-	-
0,70	6,58	4,255	4,820	5,385	6,016	6,648	-	-	-	-	-
0,79	6,18	5,112	5,791	6,470	7,229	7,988	-	-	-	-	-
0,88	5,78	6,088	6,896	7,705	8,608	9,512	-	-	-	-	25,0
1,44	4,62	9,198	10,420	11,641	13,007	14,372	30,6	27,0	22,2	19,8	19,8
2,00	3,47	13,783	15,614	17,444	19,490	21,536	24,0	21,2	19,4	17,6	16,0
2,50	3,14	16,439	18,623	20,806	23,246	25,686	21,2	19,0	17,2	15,4	13,8
3,00	2,81	19,501	22,091	24,680	27,575	30,470	19,4	17,2	15,6	13,6	12,2
3,50	2,48	23,195	26,276	29,356	32,799	36,242	18,6	15,8	14,0	12,4	10,8
4,00	2,15	27,863	31,564	35,264	39,400	43,536	17,4	14,6	13,2	11,2	9,2

E.4 Formigó de 25 MPa reforçat amb GFRP amb  $f_{ct} = 3,4$  MPa.

$f_c = 25$ MPa		Secció					$b = 250$ mm $h = 250$ mm		$E_c = 32009$ MPa		$f_{ct,max} = 3,4$ MPa		$M_{cr} = 8,85$ kN.m	
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$							
		d/h												
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1			
0,37	2,55	5,813	6,585	7,357	8,220	9,083	-	-	-	-	-			
0,50	2,55	7,929	8,982	10,035	11,212	12,389	-	-	-	-	-			
0,54	2,55	8,484	9,611	10,738	11,997	13,257	-	-	-	-	37,6			
0,70	2,55	10,998	12,459	13,919	15,552	17,184	-	-	39,0	37,0	33,8			
0,79	2,55	12,412	14,061	15,709	17,551	19,394	-	40,0	37,8	34,2	32,8			
0,88	2,15	13,825	15,662	17,498	19,550	21,602	40,6	39,2	35,4	33,0	31,8			
1,44	2,15	19,730	22,350	24,971	27,899	30,828	32,8	29,6	27,4	25,2	23,2			
2,00	2,15	22,205	25,155	28,104	31,400	34,696	25,6	23,6	21,2	19,4	17,6			
2,50	2,15	23,966	27,149	30,332	33,889	37,447	22,2	19,8	17,8	16,0	13,8			
3,00	2,15	25,441	28,820	32,199	35,976	39,752	19,6	17,4	15,6	13,4	12,0			
3,50	2,15	26,707	30,255	33,802	37,766	41,730	16,0	15,4	13,0	11,6	10,2			
4,00	2,15	27,813	31,507	35,201	39,330	43,458	14,6	14,0	12,0	10,4	9,0			
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$							
		d/h												
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1			
0,37	6,80	2,176	2,465	2,754	3,077	3,400	-	-	-	-	-			
0,50	6,80	3,009	3,409	3,809	4,255	4,702	-	-	-	-	-			
0,54	6,69	3,228	3,657	4,086	4,565	5,044	-	-	-	-	-			
0,70	6,58	4,255	4,820	5,385	6,016	6,648	-	-	-	-	-			
0,79	6,18	5,112	5,791	6,470	7,229	7,988	-	-	-	-	-			
0,88	5,78	6,088	6,896	7,705	8,608	9,512	-	-	-	-	-			
1,44	4,62	9,198	10,420	11,641	13,007	14,372	-	-	24,8	18,2	18,0			
2,00	3,47	13,783	15,614	17,444	19,490	21,536	22,6	19,2	17,0	15,8	14,2			
2,50	3,14	16,439	18,623	20,806	23,246	25,686	19,2	17,2	15,2	14,4	12,2			
3,00	2,81	19,501	22,091	24,680	27,575	30,470	17,2	15,2	14,0	12,0	11,0			
3,50	2,48	23,195	26,276	29,356	32,799	36,242	16,0	14,6	13,0	11,4	9,8			
4,00	2,15	27,863	31,564	35,264	39,400	43,536	14,6	14,0	12,0	10,4	9,0			

## E.5 Formigó de 30 MPa reforçat amb GFRP.

$f_c = 30 \text{ MPa}$		Secció $b = 250 \text{ mm}$ $h = 250 \text{ mm}$					$E_c = 33551 \text{ MPa}$	$f_{ct,mig} = 2,91 \text{ MPa}$		$M_{cr} = 7,58 \text{ kN.m}$		
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
Eurocodi		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,40	2,55	6,285	7,119	7,954	8,887	9,820	-	-	-	-	-	
0,60	2,55	9,427	10,679	11,931	13,330	14,730	-	47,0	46,2	44,0	41,8	
0,80	2,55	12,569	14,239	15,908	17,774	19,639	47,2	44,7	42,2	39,8	37,4	
0,90	2,55	14,140	16,018	17,896	19,995	22,094	46,2	42,6	39,0	36,6	34,2	
1,00	2,55	15,712	17,798	19,885	22,217	24,549	45,2	42,0	38,8	36,1	33,4	
1,50	2,15	22,456	25,438	28,421	31,754	35,088	37,6	34,1	30,6	27,4	24,2	
2,00	2,15	24,975	28,292	31,609	35,316	39,024	30,4	27,4	24,4	22,0	19,6	
2,50	2,15	27,028	30,617	34,207	38,219	42,231	25,2	22,5	19,8	17,8	15,8	
3,00	2,15	28,759	32,579	36,398	40,667	44,936	22,6	20,0	17,4	15,1	12,8	
3,50	2,15	30,254	34,272	38,290	42,781	47,272	19,6	17,5	15,4	13,4	11,4	
4,00	2,15	31,566	35,759	39,951	44,637	49,322	18,0	15,7	13,4	11,8	10,2	
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
NEWHOOK ET AL. (2002)		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,40	6,80	2,353	2,665	2,977	3,327	3,676	-	-	-	-	-	
0,60	6,70	3,581	4,057	4,533	5,064	5,596	-	-	-	-	-	
0,80	6,60	4,848	5,491	6,135	6,855	7,574	-	-	-	-	-	
0,90	6,20	5,805	6,576	7,348	8,209	9,071	-	-	-	-	-	
1,00	5,80	6,895	7,811	8,727	9,750	10,774	-	-	-	-	26,8	
1,50	4,80	10,076	11,415	12,753	14,249	15,744	44,0	33,0	22,0	20,0	18,0	
2,00	3,80	14,156	16,036	17,916	20,017	22,119	24,2	21,9	19,6	17,8	16,0	
2,50	3,45	16,874	19,115	21,356	23,860	26,365	21,2	19,3	17,4	15,7	14,0	
3,00	3,10	19,982	22,635	25,289	28,255	31,221	19,2	17,2	15,2	13,7	12,2	
3,50	2,75	23,695	26,842	29,989	33,507	37,024	18,2	16,2	14,2	12,6	11,0	
4,00	2,40	28,329	32,091	35,854	40,059	44,264	17,4	15,3	13,2	11,5	9,8	

## E.6 Formigó de 35 MPa reforçat amb GFRP.

$f_c = 35 \text{ MPa}$		Secció		$b = 250 \text{ mm}$ $h = 250 \text{ mm}$			$E_c = 34962 \text{ MPa}$		$f_{ct,miq} = 3,22 \text{ MPa}$		$M_{cr} = 8,4 \text{ kN.m}$	
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
Eurocodi		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,43	2,55	6,796	7,698	8,601	9,610	10,618	-	-	-	-	-	
0,67	2,55	10,589	11,995	13,401	14,973	16,545	-	-	43,6	41,7	39,8	
0,90	2,55	14,224	16,113	18,002	20,113	22,225	45,8	43,0	40,2	37,4	34,6	
1,01	2,55	15,962	18,082	20,202	22,571	24,941	44,0	40,9	37,8	35,6	33,4	
1,13	2,55	17,859	20,230	22,602	25,253	27,904	42,4	39,5	36,6	33,8	31,0	
1,56	2,20	23,813	26,976	30,138	33,673	37,208	36,4	33,3	30,2	27,5	24,8	
2,00	2,15	26,709	30,256	33,804	37,768	41,733	31,2	28,1	25,0	22,4	19,8	
2,50	2,15	28,967	32,814	36,661	40,961	45,261	26,2	23,7	21,2	18,6	16,0	
3,00	2,15	30,881	34,983	39,084	43,668	48,252	22,8	20,2	17,6	15,5	13,4	
3,50	2,15	32,542	36,864	41,186	46,017	50,847	20,6	18,1	15,6	13,7	11,8	
4,00	2,15	34,007	38,523	43,040	48,088	53,136	18,8	16,4	14,0	12,1	10,2	
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
NEWHOOK ET AL. (2002)		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,43	6,80	2,544	2,882	3,220	3,597	3,975	-	-	-	-	-	
0,67	6,71	4,017	4,550	5,084	5,680	6,276	-	-	-	-	-	
0,90	6,62	5,469	6,196	6,922	7,734	8,546	-	-	-	-	-	
1,01	6,22	6,532	7,400	8,267	9,237	10,207	-	-	-	-	-	
1,13	5,82	7,811	8,848	9,885	11,045	12,204	-	-	-	-	21,6	
1,56	4,98	10,518	11,915	13,312	14,873	16,434	-	23,6	21,2	19,5	17,8	
2,00	4,13	13,929	15,779	17,629	19,697	21,764	24,4	21,8	19,2	17,6	16,0	
2,50	3,76	16,593	18,797	21,001	23,464	25,927	21,0	18,9	16,8	15,3	13,8	
3,00	3,39	19,621	22,226	24,832	27,745	30,657	19,4	17,2	15,0	13,5	12,0	
3,50	3,02	23,209	26,291	29,374	32,819	36,264	18,0	16,0	14,0	12,5	11,0	
4,00	2,65	27,640	31,311	34,982	39,085	43,187	17,4	15,2	13,0	11,4	9,8	

## E.7 Formigó de 50 MPa reforçat amb GFRP.

$f_c = 50 \text{ MPa}$		Secció		b = 250 mm h = 250 mm		$E_c = 38629 \text{ MPa}$		$f_{ct,mig} = 4,09 \text{ MPa}$		$M_{cr} = 10,66 \text{ kN.m}$	
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$				
		d/h									
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1
0,53	2,55	8,474	9,600	10,725	11,983	13,241	-	-	-	-	-
0,86	2,55	13,751	15,577	17,403	19,444	21,486	-	-	39,6	36,9	34,2
1,19	2,55	19,027	21,554	24,081	26,906	29,730	40,4	37,4	34,4	32,2	30,0
1,34	2,55	21,426	24,271	27,117	30,297	33,478	38,8	35,8	32,8	30,3	27,8
1,50	2,51	23,870	27,040	30,210	33,753	37,297	36,8	34,1	31,4	28,7	26,0
1,75	2,33	27,345	30,976	34,608	38,667	42,726	34,2	31,5	28,8	26,2	23,6
2,00	2,17	30,881	34,982	39,083	43,667	48,251	32,4	29,3	26,2	23,5	20,8
2,50	2,15	33,894	38,395	42,897	47,928	52,959	27,4	24,8	22,2	19,7	17,2
3,00	2,15	36,274	41,092	45,910	51,294	56,679	23,8	21,2	18,6	16,5	14,4
3,50	2,15	38,359	43,453	48,548	54,242	59,936	21,8	19,2	16,6	14,6	12,6
4,00	2,15	40,213	45,554	50,895	56,864	62,833	19,4	17,0	14,6	12,6	10,6
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$				
		d/h									
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1
0,53	6,80	3,191	3,614	4,038	4,512	4,985	-	-	-	-	-
0,86	6,74	5,223	5,917	6,611	7,386	8,161	-	-	-	-	-
1,19	6,68	7,292	8,261	9,230	10,312	11,394	-	-	-	-	-
1,34	6,28	8,735	9,895	11,055	12,351	13,648	-	-	-	-	20,2
1,50	5,88	10,443	11,830	13,217	14,767	16,317	-	-	-	21,2	17,6
1,75	5,51	12,393	14,039	15,685	17,524	19,364	-	28,6	20,6	18,2	15,8
2,00	5,13	14,042	15,907	17,772	19,856	21,941	29,2	23,9	18,6	16,7	14,8
2,50	4,70	16,728	18,950	21,171	23,654	26,137	23,2	19,9	16,6	14,8	13,0
3,00	4,27	19,740	22,361	24,983	27,913	30,843	19,0	17,0	15,0	13,5	12,0
3,50	3,83	23,308	26,404	29,499	32,959	36,419	18,2	16,1	14,0	12,4	10,8
4,00	3,40	27,564	31,225	34,886	38,978	43,069	17,0	15,1	13,2	11,5	9,8

## E.8 Formigó de 60 MPa reforçat amb GFRP.

$f_c = 60 \text{ MPa}$		Secció		b = 250 mm h = 250 mm		$E_c = 40733 \text{ MPa}$		$f_{ct,mig} = 4,62 \text{ MPa}$		$M_{cr} = 12,03 \text{ kN.m}$	
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$				
		d/h									
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1
0,60	2,55	9,649	10,931	12,212	13,645	15,077	-	-	-	-	-
0,99	2,55	15,921	18,036	20,150	22,513	24,877	-	38,2	36,2	33,9	31,6
1,38	2,55	22,193	25,141	28,088	31,382	34,677	37,4	34,6	31,8	29,7	27,6
1,57	2,55	25,249	28,602	31,955	35,703	39,451	35,6	32,9	30,2	27,8	25,4
1,75	2,45	27,850	31,548	35,247	39,381	43,515	34,2	31,4	28,6	26,3	24,0
1,88	2,37	29,674	33,615	37,556	41,961	46,366	33,0	30,2	27,4	24,9	22,4
2,00	2,29	31,372	35,538	39,705	44,361	49,018	31,6	29,2	26,8	24,2	21,6
2,50	2,15	36,503	41,351	46,199	51,617	57,036	28,0	25,1	22,2	20,1	18,0
3,00	2,15	39,134	44,331	49,529	55,338	61,147	25,0	22,3	19,6	17,4	15,2
3,50	2,15	41,447	46,952	52,456	58,608	64,761	22,2	19,8	17,4	15,0	12,6
4,00	2,15	43,512	49,291	55,070	61,529	67,988	20,4	17,7	15,0	13,0	11,0
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$				
		d/h									
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1
0,60	6,80	3,612	4,092	4,571	5,108	5,644	-	-	-	-	-
0,99	6,75	6,004	6,801	7,599	8,490	9,381	-	-	-	-	-
1,38	6,70	8,432	9,551	10,671	11,923	13,174	-	-	-	-	-
1,57	6,30	10,201	11,556	12,911	14,425	15,940	-	-	-	-	17,0
1,75	5,90	11,574	13,111	14,648	16,366	18,084	-	-	-	20,8	15,6
1,88	5,65	12,439	14,091	15,743	17,589	19,436	-	-	21,6	18,4	15,2
2,00	5,40	13,340	15,112	16,883	18,863	20,844	-	28,6	19,4	17,0	14,6
2,50	4,95	15,883	17,993	20,102	22,460	24,817	29,4	22,7	16,0	14,3	12,6
3,00	4,50	18,731	21,218	23,706	26,486	29,267	20,6	17,5	14,4	13,1	11,8
3,50	4,05	22,042	24,969	27,897	31,169	34,441	17,6	15,5	13,4	11,9	10,4
4,00	3,60	26,033	29,491	32,948	36,812	40,677	16,4	14,6	12,8	11,4	10,0

## E.9 Formigó de 25 MPa reforçat amb CFRP

CFRP	$E_f = 150000 \text{ Mpa}$	$f_u = 2000 \text{ Mpa}$
------	----------------------------	--------------------------

25 MPa	Secció	b=250 mm h=250 mm					$E_c = 32009 \text{ MPa}$	$f_{ct,mig} = 2,57 \text{ MPa}$	$M_{cr} = 6,71 \text{ kN.m}$			
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
Quantia (%)	$M_u/M_s$	d/h										
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,10	2,55	5,699	6,456	7,213	8,059	8,905	-	-	-	-	-	
0,15	2,55	8,549	9,684	10,820	12,089	13,358	-	-	49,0	46,6	44,2	
0,20	2,55	11,399	12,913	14,426	16,118	17,810	52,6	48,5	44,4	41,8	39,2	
0,24	2,55	13,678	15,495	17,312	19,342	21,372	48,6	45,7	42,8	40,1	37,4	
0,25	2,55	14,399	16,311	18,224	20,361	22,498	46,8	43,9	41,0	38,4	35,8	
0,27	2,46	15,200	17,218	19,237	21,493	23,750	45,2	42,3	39,4	36,9	34,4	
0,30	2,33	16,668	18,882	21,096	23,570	26,044	43,2	40,1	37,0	34,4	31,8	
0,33	2,22	18,152	20,563	22,974	25,669	28,363	41,2	38,1	35,0	32,4	29,8	
0,50	2,15	21,291	24,119	26,947	30,107	33,268	32,5	29,8	27,1	25,0	22,9	
0,58	2,15	22,861	25,897	28,933	32,326	35,720	28,2	25,7	23,2	21,3	19,4	
0,75	2,15	24,782	28,073	31,364	35,043	38,722	23,9	21,8	19,7	18,0	16,2	
0,83	2,15	25,742	29,161	32,580	36,401	40,222	21,8	19,9	18,0	16,3	14,6	
1,00	2,15	27,128	30,731	34,334	38,361	42,388	19,7	17,7	15,7	14,3	13,0	
1,21	2,15	28,861	32,694	36,527	40,811	45,095	17,0	14,9	12,8	11,9	11,0	
1,25	2,15	29,107	32,972	36,838	41,159	45,479	16,6	14,6	12,6	11,7	10,8	
1,50	2,15	30,581	34,642	38,704	43,243	47,782	14,5	13,0	11,6	10,4	9,3	
1,58	2,15	31,072	35,199	39,326	43,938	48,550	13,8	12,5	11,2	10,0	8,8	
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
Quantia (%)	$M_u/M_s$	d/h										
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,15	6,58	3,307	3,746	4,186	4,677	5,167	-	-	-	-	-	
0,20	6,38	4,548	5,152	5,756	6,431	7,106	-	-	-	-	-	
0,24	5,88	5,921	6,708	7,494	8,373	9,252	-	-	-	-	31,6	
0,25	5,63	6,396	7,245	8,095	9,044	9,994	-	-	-	34,2	27,9	
0,27	5,37	6,923	7,843	8,762	9,790	10,817	-	-	32,8	28,5	24,2	
0,30	4,78	8,101	9,177	10,252	11,455	12,657	-	32,6	27,8	25,6	23,4	
0,33	4,18	9,606	10,882	12,158	13,583	15,009	31,6	28,8	26,0	24,4	22,8	
0,50	3,77	12,423	14,072	15,722	17,566	19,410	25,7	23,7	21,6	20,1	18,7	
0,58	3,56	13,831	15,668	17,505	19,558	21,611	22,8	21,1	19,4	18,0	16,6	
0,75	3,14	17,226	19,514	21,801	24,358	26,915	20,3	18,7	17,1	15,9	14,6	
0,83	2,93	18,923	21,436	23,950	26,759	29,568	19,0	17,5	16,0	14,8	13,6	
1,00	2,66	22,473	25,458	28,442	31,778	35,114	17,8	16,2	14,6	13,5	12,4	
1,21	2,31	26,910	30,484	34,058	38,053	42,047	16,4	14,6	12,8	11,8	10,8	
1,25	2,24	28,35	32,11	35,88	40,08	44,29	16,2	14,4	12,6	11,6	10,6	
1,50	1,82	36,96	41,87	46,78	52,27	57,76	15,0	13,4	11,7	10,6	9,6	
1,58	1,68	39,836	45,127	50,417	56,330	62,244	14,6	13,0	11,4	10,3	9,2	



## E.10 Formigó de 30 MPa reforçat amb CFRP

$f_c = 30 \text{ MPa}$		Secció $b = 250 \text{ mm}$ $h = 250 \text{ mm}$					$E_c = 33551 \text{ MPa}$	$f_{ct,miq} = 2,91 \text{ MPa}$			$M_{cr} = 7,58 \text{ kN.m}$	
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,11	2,55	6,269	7,102	7,935	8,865	9,796	-	-	-	-	-	
0,17	2,55	9,689	10,976	12,262	13,701	15,139	-	49,2	47,8	44,2	40,6	
0,23	2,55	13,108	14,849	16,590	18,536	20,482	46,6	44,0	41,4	39,1	36,8	
0,25	2,55	14,411	16,325	18,239	20,378	22,517	46,3	43,4	40,5	38,1	35,8	
0,27	2,55	15,388	17,432	19,476	21,760	24,044	45,8	42,5	39,2	36,8	34,4	
0,30	2,55	17,075	19,343	21,611	24,145	26,680	42,2	39,7	37,2	34,7	32,2	
0,40	2,21	21,982	24,902	27,821	31,084	34,347	37,6	34,5	31,4	29,1	26,8	
0,50	2,15	24,397	27,637	30,877	34,499	38,120	32,2	29,5	26,8	24,7	22,6	
0,75	2,15	28,141	31,879	35,616	39,794	43,971	24,2	22,0	19,8	18,2	16,6	
1,00	2,15	30,930	35,038	39,146	43,737	48,328	19,6	17,9	16,2	14,7	13,2	
1,25	2,15	33,017	37,402	41,787	46,688	51,589	18,1	16,5	14,9	13,5	12,1	
1,40	2,15	34,269	38,821	43,372	48,459	53,546	15,6	14,1	12,6	11,4	10,2	
1,50	2,15	34,895	39,530	44,164	49,344	54,524	13,7	12,3	11,0	9,9	8,9	
1,80	2,15	36,772	41,656	46,540	51,998	57,456	13,0	11,7	10,4	9,4	8,4	
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,11	6,80	2,347	2,658	2,970	3,318	3,667	-	-	-	-	-	
0,17	6,60	3,737	4,233	4,729	5,284	5,839	-	-	-	-	-	
0,23	6,40	5,214	5,906	6,598	7,372	8,146	-	-	-	-	-	
0,25	6,11	6,028	6,829	7,629	8,524	9,419	-	-	-	-	-	
0,27	5,90	6,639	7,521	8,402	9,388	10,373	-	-	-	-	24,2	
0,30	5,40	8,017	9,081	10,146	11,336	12,526	-	-	31,8	27,3	22,8	
0,40	4,70	10,291	11,658	13,024	14,552	16,079	32,6	28,2	23,8	21,7	19,6	
0,50	4,00	13,137	14,881	16,626	18,576	20,526	28,0	24,6	21,2	19,8	18,4	
0,75	3,43	17,671	20,018	22,365	24,988	27,611	20,4	18,8	17,2	15,8	14,4	
1,00	2,85	23,375	26,480	29,584	33,054	36,524	18,2	16,5	14,8	13,6	12,4	
1,25	2,49	29,00	32,85	36,70	41,01	45,31	17,2	15,6	13,9	12,7	11,5	
1,40	2,28	32,373	36,673	40,972	45,778	50,583	15,6	14,0	12,4	11,2	10,0	
1,50	2,13	35,927	40,699	45,470	50,803	56,136	14,4	12,8	11,2	10,1	9,0	
1,80	1,70	46,589	52,777	58,964	65,880	72,795	14,0	12,4	10,8	9,7	8,6	

## E.11 Formigó de 35 MPa reforçat amb CFRP

$f_c = 35 \text{ MPa}$		Secció $b = 250 \text{ mm}$ $h = 250 \text{ mm}$					$E_c = 34962 \text{ MPa}$	$f_{ct,mig} = 3,22 \text{ MPa}$			$M_{cr} = 8,4 \text{ kN.m}$	
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
Eurocodi		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,12	2,55	6,881	7,794	8,708	9,730	10,751	-	-	-	-	-	
0,19	2,55	10,894	12,341	13,788	15,405	17,022	-	48,8	44,2	41,5	38,8	
0,25	2,55	14,521	16,450	18,378	20,534	22,689	49,8	45,2	41,7	39,3	36,8	
0,26	2,55	14,908	16,888	18,868	21,081	23,294	44,8	42,0	39,2	37,0	34,8	
0,30	2,55	17,201	19,486	21,771	24,324	26,877	43,4	40,4	37,4	35,1	32,8	
0,33	2,55	18,892	21,401	23,910	26,714	29,519	34,8	34,9	35,0	32,7	30,4	
0,50	2,55	26,075	29,538	33,001	36,872	40,742	33,0	30,1	27,2	25,3	23,4	
0,67	2,15	29,019	32,873	36,727	41,034	45,341	36,4	29,4	22,4	20,5	18,6	
0,92	2,15	32,386	36,687	40,988	45,795	50,603	21,2	19,4	17,6	16,1	14,6	
1,00	2,15	33,268	37,686	42,105	47,043	51,981	19,2	17,5	15,7	14,3	12,9	
1,17	2,15	35,033	39,686	44,339	49,539	54,739	18,2	16,5	14,8	13,4	12,0	
1,25	2,15	35,709	40,452	45,194	50,495	55,796	15,5	13,9	12,4	11,1	9,7	
1,59	2,15	38,482	43,593	48,704	54,416	60,128	14,8	13,3	11,8	10,5	9,2	
2,02	2,15	41,188	46,659	52,129	58,243	64,357	12,6	11,2	9,8	8,7	7,6	
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
NEWHOOK ET AL. (2002)		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,12	6,82	2,568	2,909	3,250	3,631	4,013	-	-	-	-	-	
0,19	6,62	4,189	4,745	5,302	5,923	6,545	-	-	-	-	-	
0,25	6,44	5,745	6,508	7,271	8,124	8,976	-	-	-	-	-	
0,26	6,42	5,911	6,696	7,481	8,358	9,236	-	-	-	-	-	
0,30	5,93	7,384	8,364	9,345	10,441	11,537	-	-	-	-	26,0	
0,33	5,43	8,813	9,984	11,155	12,463	13,771	-	-	30,8	26,5	22,2	
0,50	4,63	12,130	13,741	15,352	17,153	18,953	26,4	23,5	20,6	18,9	17,2	
0,67	3,82	16,362	18,535	20,708	23,136	25,565	22,4	20,2	18,0	16,8	15,6	
0,92	3,29	21,202	24,018	26,833	29,981	33,128	18,2	16,8	15,4	14,1	12,8	
1,00	2,50	23,215	26,298	29,381	32,827	36,273	17,3	15,7	14,1	12,8	11,6	
1,17	2,77	27,240	30,858	34,476	38,519	42,563	16,8	15,1	13,4	12,2	11,0	
1,25	2,66	29,154	33,026	36,898	41,226	45,554	14,9	13,4	12,0	10,8	9,6	
1,59	2,24	37,002	41,916	46,830	52,323	57,815	14,4	13,0	11,6	10,4	9,2	
2,02	1,72	51,578	58,428	65,278	72,934	80,590	13,2	11,7	10,2	9,1	8,0	

## E.12 Formigó de 50 MPa reforçat amb CFRP

$f_c = 50 \text{ MPa}$		Secció $b = 250 \text{ mm}$ $h = 250 \text{ mm}$					$E_c = 38629 \text{ MPa}$	$f_{ct,mig} = 4,09 \text{ MPa}$			$M_{cr} = 10,66 \text{ kN.m}$	
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,14	2,55	8,124	9,203	10,282	11,488	12,694	-	-	-	-	-	
0,24	2,55	13,927	15,776	17,626	19,693	21,761	-	41,0	38,2	34,8	31,6	
0,34	2,55	19,730	22,350	24,970	27,899	30,827	39,8	37,0	34,2	32,0	29,8	
0,39	2,55	22,631	25,637	28,642	32,001	35,361	37,0	34,9	32,8	30,2	27,6	
0,43	2,49	24,773	28,063	31,353	35,030	38,707	34,8	32,8	30,8	28,6	26,4	
0,50	2,15	12,130	13,741	15,352	17,153	18,953	26,8	24,6	22,5	20,6	18,7	
0,80	2,15	36,274	41,092	45,910	51,294	56,679	25,0	22,8	20,6	18,8	17,0	
1,00	2,15	39,136	44,334	49,532	55,341	61,151	22,3	20,3	18,3	16,7	15,1	
1,17	2,15	41,521	47,036	52,551	58,714	64,877	19,0	17,3	15,6	14,2	12,8	
1,25	2,15	42,454	48,092	53,730	60,032	66,334	17,3	15,8	14,3	12,9	11,5	
1,42	2,15	44,318	50,204	56,090	62,668	69,247	16,4	15,0	13,6	12,2	10,8	
1,50	2,15	45,115	51,107	57,098	63,795	70,492	15,5	13,9	12,4	11,1	9,7	
1,67	2,15	46,709	52,912	59,116	66,049	72,982	15,0	13,4	11,8	10,5	9,2	
2,00	2,15	49,589	56,175	62,761	70,122	77,483	14,2	12,7	11,1	9,9	8,7	
2,17	2,15	50,633	57,358	64,082	71,598	79,114	12,6	11,2	9,8	8,8	7,8	
2,50	2,15	52,720	59,722	66,724	74,550	82,375	12,0	10,6	9,3	8,3	7,4	
2,67	2,15	53,764	60,905	68,045	76,026	84,006	10,8	9,5	8,2	7,4	6,6	
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,14	6,87	3,010	3,410	3,810	4,256	4,703	-	-	-	-	-	
0,24	6,67	5,315	6,021	6,727	7,516	8,304	-	-	-	-	-	
0,34	6,47	7,762	8,793	9,824	10,976	12,128	-	-	-	-	-	
0,39	6,00	9,601	10,876	12,151	13,576	15,002	-	-	-	-	20,6	
0,43	5,53	11,132	12,611	14,089	15,741	17,394	-	-	34,2	26,6	19,0	
0,50	5,33	12,130	13,741	15,352	17,153	18,953	-	-	24,9	20,5	16,1	
0,80	4,40	17,757	20,115	22,473	25,109	27,745	20,2	17,9	15,6	14,4	13,2	
1,00	3,78	22,989	26,042	29,095	32,508	35,920	18,5	16,6	14,7	13,5	12,4	
1,17	3,27	27,349	30,981	34,613	38,673	42,733	16,4	15,0	13,6	12,5	11,4	
1,42	2,89	33,029	37,416	41,802	46,705	51,608	15,2	14,0	12,8	11,5	10,2	
1,50	2,77	35,327	40,018	44,710	49,954	55,198	14,7	13,3	12,0	10,7	9,4	
1,67	2,52	39,922	45,224	50,526	56,452	62,378	14,4	13,0	11,6	10,3	9,0	
2,00	2,27	47,281	53,560	59,840	66,858	73,876	13,8	12,4	11,0	9,8	8,6	
2,17	2,14	50,960	57,729	64,497	72,061	79,626	12,6	11,2	9,8	8,8	7,8	
2,50	1,89	60,602	68,651	76,700	85,696	94,691	12,3	10,9	9,5	8,5	7,5	
2,67	1,77	65,423	74,112	82,802	92,513	102,224	11,6	10,2	8,8	7,8	6,8	

## E.13 Formigó de 60 MPa reforçat amb CFRP

$f_c = 60 \text{ MPa}$		Secció		$b = 250 \text{ mm}$ $h = 250 \text{ mm}$			$E_c = 40733 \text{ MPa}$		$f_{ct,mig} = 4,62 \text{ MPa}$		$M_{cr} = 12,03 \text{ kN.m}$	
Eurocodi		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
Eurocodi		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,16	2,55	9,340	10,580	11,821	13,207	14,593	-	-	-	-	-	
0,28	2,55	16,344	18,515	20,686	23,112	25,538	46,0	41,4	36,8	34,7	32,6	
0,39	2,55	22,765	25,789	28,813	32,192	35,571	36,8	34,1	31,4	29,6	27,8	
0,45	2,55	26,268	29,756	33,245	37,144	41,043	35,6	33,2	30,8	28,6	26,4	
0,50	2,42	28,826	32,655	36,483	40,762	45,041	33,2	30,9	28,6	26,3	24,0	
1,00	2,15	42,507	48,153	53,798	60,108	66,417	22,2	20,1	18,0	16,5	15,0	
1,50	2,15	49,017	55,527	62,037	69,312	76,588	16,6	15,0	13,4	12,2	11,0	
1,75	2,15	51,597	58,450	65,302	72,961	80,620	15,0	13,4	11,8	10,5	9,2	
2,00	2,15	53,868	61,022	68,176	76,172	84,168	13,6	12,2	10,8	9,7	8,6	
2,50	2,15	57,678	65,338	72,998	81,560	90,121	13,4	12,0	10,6	9,5	8,5	
2,55	2,15	58,059	65,770	73,481	82,099	90,717	11,6	10,3	9,0	8,0	7,0	
3,00	2,15	60,838	68,918	76,998	86,029	95,059	11,3	10,1	8,8	7,8	6,8	
3,10	2,15	61,456	69,618	77,780	86,902	96,024	10,2	9,0	7,8	6,8	5,8	
NEWHOOK ET AL. (2002)		Moment de servei (kN.m)					$\alpha_2$					
NEWHOOK ET AL. (2002)		d/h										
Quantia (%)	$M_u/M_s$	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
0,16	6,90	3,446	3,903	4,361	4,872	5,384	-	-	-	-	-	
0,28	6,70	6,210	7,034	7,859	8,781	9,702	-	-	-	-	-	
0,39	6,50	8,915	10,099	11,283	12,607	13,930	-	-	-	-	-	
0,45	6,05	11,052	12,520	13,987	15,628	17,268	-	-	-	-	19,8	
0,50	5,60	12,537	14,202	15,867	17,727	19,588	-	-	25,2	21,4	17,6	
1,00	4,25	21,542	24,403	27,264	30,462	33,660	17,6	15,7	13,8	13,0	12,2	
1,50	2,90	36,405	41,240	46,075	51,479	56,883	15,0	13,6	12,2	11,1	10,0	
1,75	2,63	42,255	47,867	53,480	59,752	66,024	14,0	12,6	11,2	10,0	8,8	
2,00	2,35	49,371	55,928	62,486	69,814	77,143	13,6	12,1	10,6	9,5	8,4	
2,50	2,10	59,143	66,998	74,853	83,632	92,411	11,8	10,5	9,1	8,1	7,1	
2,55	2,08	60,120	68,105	76,089	85,013	93,937	11,6	10,3	9,0	8,0	7,0	
3,00	1,85	71,097	80,540	89,982	100,536	111,089	10,8	9,5	8,2	7,2	6,2	
3,10	1,80	73,537	83,303	93,070	103,985	114,901	10,6	9,3	8,0	7,0	6,0	

## **F. RUTINES DE MATLAB DE L'ANNEX B.**

### **ÍNDEX F**

<b>F.1. Càlcul de la fletxa biga amb carrega al centre.....</b>	<b>2</b>
<b>F.2. Càlcul de la fletxa biga amb 2 càrregues centrades. ....</b>	<b>5</b>
<b>F.3. Càlcul de la fletxa biga amb carrega continua .....</b>	<b>9</b>

## F.1. Càlcul de la fletxa biga amb carrega al centre

```

clear all

%constants
F=25000;           %força aplicada (N)
L=3500;           %longitud de la biga en (mm)
b=250;            %amplada (mm)
h=250;            %cantell (mm)
d=250;            %cantell efectiu (mm)
Ec=32009;         %mòdul elasticitat formigó (MPa)(N/mm2)
Ef=200000;        %mòdul elastic FRP (MPa)(N/mm2)
fu=500;           %resistència a tracció FRP (MPa)(N/mm2)
fct=2.57;         %resistència a la tracció del formigó
fc=25;            %resistència a compressió formigó (MPa)(N/mm2)
nb=2;             %nombre de barres de FRP
Db=19;            %diàmetre de les barres FRP (mm)
B=0.85;           %factor entre 0.85 i 0.65.
Ecu=0.003;        %deformació màxima del formigó
r=100;           %tamany vectors
x=linspace(0,L/2,r);
k=linspace(L/2,L,r);
l=[x k];

%càlculs dels moments a la biga
M1=F*x/2;
M2=F*(L-k)/2;
R1=F/2;
Mmax=R1*L/2;

%càlcul de les inèrcies
ffu=0.8*fu;
Ig=(b*h^3)/12;
fr=0.62*sqrt(fc);
Mcr=2*fr*Ig/h;

%correcció deguda al factor ambiental
%Inèrcia sense fisurar (mm4)
%moment de fisuració (N.mm)

%càlcul inèrcia de la secció completament fisurada
Af=nb*pi*(Db/2)^2;
pf=Af/(b*d);
pfb=((0.85*fc*B)/ffu)*((Ef*Ecu)/((Ef*Ecu)+ffu));
nf=Ef/Ec;
k=sqrt(2*pf*nf+(pf*nf)^2)-pf*nf;
Icr=(b*(d^3)*(k^3)/3)+(nf*Af*(d^2)*(1-k)^2);

%Area reforç FRP (mm2)
%quantia
%Inèrcia completament fissurat (mm4)

Ccf1=M1./(Ec*Icr)
Ccf2=M2./(Ec*Icr)
Ccf=[Ccf1 Ccf2];

for i=1:r
if M1(i)>=Mcr
Ie4=((Mcr^4)/(M1(i)^4))*Ig+(1-(Mcr^4)/(M1(i)^4))*Icr;
C4(i)=M1(i)/(Ec*Ie4);
elseif M1(i)<Mcr
C4(i)=M1(i)/(Ec*Ig);
end
end
C4(1)=0;

Cmax=Mmax/(Ec*Ig);
D=Mcr/R1;
if D>L/2;
D=L/2;
end

%càlculs de la curvatura
area1=Mmax*L/2;
y=M1;
area2=0;
for i=1:r-1;
area2=area2+((y(i)+y(i+1))/2)*(x(i+1)-x(i));
end
area2=2*area2;

```

```

B1=1; %coeficient: 1 per alta adherencia, 0.5 per barres llises
B2=1; %coeficient: 1 per carregues de curta durada, 0.5 per
carregues mantingudes
area=0;
for i=1:r
    if Mcr>M1(i);
        Cml(i)=M1(i)/(Ec*Ig);
        n=i;
    else
        C22(i)=M1(i)/(Ec*Icr);
        C11(i)=M1(i)/(Ec*Ig);
        Cml(i)=C22(i)-(C22(i)-C11(i)).*B1.*B2.*(Mcr/M1(i))^2; %Cm segons EC-2 i MC-90
    end
end

%reaccions de la biga conjugada
areaC=Cmax*(L/2);
y=Cml;
area3=0;
for i=1:r-1;
    area3=area3+((y(i)+y(i+1))/2)*(x(i+1)-x(i));
end
R2=area3;
area3=2*area3;

%reaccions de la biga conjugada de curvatures BRANSON
areaC=Cmax*(L/2);
y=C4;
area4=0;
for i=1:r-1;
    area4=area4+((y(i)+y(i+1))/2)*(x(i+1)-x(i));
end
R4=area4;
area4=2*area4;

%calcul de la fletxa
if Mcr>M1(r);
    f1=-R2.*x+(Cml./2.*x.*(1/3).*x); %fletxa fins a L/2
else
    for i=1:n;
        f1(i)=-R2.*x(i)+(Cml(i)./2.*x(i).(1/3).*x(i));
    end
    for i=n:r;
        f1(i)=-R2*x(i)+((Cml(i)-Cml(n))/2*(x(i)-D)*(1/3)*(x(i)-
D))+Cml(n)/2.*D.*((1/3).*D+(x(i)-D))+Cml(n)*(x(i)-D)/2;
    end
end

%calcul de la fletxa BRANSON
if Mcr>M1(r);
    f4=-R4.*x+(C4./2.*x.*(1/3).*x); %fletxa fins a L/2
else
    for i=1:n;
        f4(i)=-R4.*x(i)+(C4(i)./2.*x(i).(1/3).*x(i));
    end
    for i=n:r;
        f4(i)=-R4*x(i)+((C4(i)-C4(n))/2*(x(i)-D)*(1/3)*(x(i)-D))+C4(n)/2.*D.*((1/3).*D+(x(i)-
D))+C4(n)*(x(i)-D)/2;
    end
end

for i=1:r;
    f2(i)=f1(r-i+1);
    f44(i)=f4(r-i+1);
    Cm2(i)=Cml(r-i+1);
    C44(i)=C4(r-i+1);
end

%càlcul de la fletxa amb la secció completament fissurada
fcf=F.*x.*(4*x.^2-3*L^2)/(48*Ec*Icr);
for i=1:r;
    fcf2(i)=fcf(r-i+1);

```

```

end

%gràfica del diagrama de moments
M=[M1 M2];
subplot(3,1,1),plot(1,M);
hold on;
subplot(3,1,1),plot(1,M,'r');
subplot(3,1,1),plot(1,M,'g');
subplot(3,1,1),plot(1,M,'m');
subplot(3,1,1),plot(1,M,'c');
grid on;
ylabel('Moment(N.mm)');
title('Diagrama de moments');
legend('EC-2','Sense fissurar','Fissurada BRANSON','Completament
fissurada','location','NorthEastOutside')

%grafica del diagrama de curvatures
c=[Cm1 Cm2];
C4=[C4 C44];

subplot(3,1,2),plot(1,c);
hold on;
subplot(3,1,2),plot(1,C4,'g');
subplot(3,1,2),plot(1,Ccf,'m');
grid on;
ylabel('Curvatura (mm-1)');
title('Diagrama de Curvatures');

%grafica del diagrama de fletxes
f=[f1 f2];
f4=[f4 f44];
fcf=[fcf fcf2];
subplot(3,1,3),plot(1,f);
hold on;
subplot(3,1,3),plot(1,f4,'g');
subplot(3,1,3),plot(1,fcf,'m');
grid on;
ylabel('Curvatura (mm-1)');
title('Diagrama de Fletxes');

%càlculs de la curvatura
Ig=(b*h^3)/12;
C10=M1./(Ec*Ig);
C11=M2./(Ec*Ig);
Cmax=Mmax/(Ec*Ig);
R2=Cmax*L/4; %reaccions de la viga conjugada de curvatures
R3=R2;

%càlculs de la fletxa
f1=-R2.*x+(C10./2.*x.*(1/3).*x); %fletxa fins a L/2
for i=1:r;
    f2(i)=f1(r-i+1);
end

%grafica del diagrama de curvatures
C=[C10 C11];
subplot(3,1,2),plot(1,C,'r');
grid on;
ylabel('Curvatura (mm-1)');
title('Diagrama de Curvatures');

%grafica del diagrama de fletxes
f=[f1 f2];
subplot(3,1,3),plot(1,f,'r');
grid on;
xlabel('Longitud de la biga (mm)');
ylabel('fletxa (mm)');
title('Diagrama de fletxes');

```



## F.2. Càlcul de la fletxa biga amb 2 càrregues centrades.

```

clear all

%constants
F=20000;           %força aplicada (N/m)
L=3500;           %longitud de la biga en (mm)
c=1000;           %distància entre les forces (mm)
a=(L-c)/2;        %distància entre les forces i el recolzament (mm)
b=250;            %amplada (mm)
h=250;            %cantell (mm)
d=250;            %cantell efectiu (mm)
Ec=32009;         %mòdul elasticitat formigó (Pa)(N/mm2)
Ef=200000;        %mòdul elastic FRP (MPa)(N/mm2)
fu=500;           %resistència a tracció FRP (MPa)(N/mm2)
fc=25;            %resistència a compressió formigó (MPa)(N/mm2)
nb=2;             %nombre de barres de FRP
Db=19;            %diàmetre de les barres FRP (mm)
B=0.85;           %factor entre 0.85 i 0.65 depenen de la resitencia del formigó
Ecu=0.003;        %deformació màxima del formigó
fct=2.57;
r=1000;

x=linspace(0,a,r);
x2=linspace(0,c/2,r);
x1=linspace(a,L-a,r);
x3=linspace(a,L/2,r);
x4=linspace(L/2,c/2+L/2,r);
z=linspace(a+c,L,r);
c1=linspace(a,a+c,r);
dis=linspace(0,L,3*r);

%càlculs dels moments a la biga
M1=F*x;
M2=F*a;
R1=F;
Mmax=M2;

%càlcul de les inèrcies
%càlcul de les inèrcies
ffu=0.8*fu;
ffu=ffu/115;
Ig=(b*h^3)/12;
fr=0.62*sqrt(fc);
Mcr=2*fr*Ig/h;

%correcció deguda al factor ambiental
%Inèrcia sense fisurar (mm4)

%moment de fisuració (N.mm)

%càlcul inèrcia de la secció completament fisurada
Af=nb*pi*(Db/2)^2;
pf=Af/(b*d);
pfb=((0.85*fc*B)/ffu)*((Ef*Ecu)/((Ef*Ecu)+ffu));
nf=Ef/Ec;
k=sqrt(2*pf*nf+(pf*nf)^2)-pf*nf;
Icr=(b*(d^3)*(k^3)/3)+(nf*Af*(d^2)*(1-k)^2);

%Area reforç FRP (mm2)
%quantia
%Inèrcia completament fissurat (mm4)

D=Mcr/R1;
if D>L/2;
    D=L/2;
end

B1=1;
B2=1;
carregues mantingudes

%coeficient: 1 per alta adherencia, 0.5 per barres llises
%coeficient: 1 per carregues de curta durada, 0.5 per

for i=1:r
if x(i)<a;

```

```

M1(i)=F*x(i);
else
M1(i)=F*a;
end
end

for i=1:r
    if Mcr>M1(i);
        Cml(i)=M1(i)/(Ec*Ig);
        C4(i)=M1(i)/(Ec*Ig);
        n=i;
    else
        C22(i)=M1(i)/(Ec*Icr);
        C11(i)=M1(i)/(Ec*Ig);
        Cml(i)=C22(i)-(C22(i)-C11(i)).*B1.*B2.*(Mcr/M1(i))^2;    %Cm segons EC-2 i MC-90
        Ie4=((Mcr^4)/(M1(i)^4))*Ig+(1-(Mcr^4)/(M1(i)^4))*Icr;    %BRANSON
        C4(i)=M1(i)/(Ec*Ie4);
    end
end

%reaccions de la biga conjugada de curvatures BRANSON
y=C4;
area4=0;
for i=1:r-1;
area4=area4+((y(i)+y(i+1))/2)*(x(i+1)-x(i));
end
R4=area4+C4(r)*c/2;
area4=2*area4;

%calcul de la fletxa BRANSON
if Mcr>M1(r);
    f4=-R4.*x+(C4./2.*x.*(1/3).*x);    %fletxa fins a L/2
else
    for i=1:n;
        f4(i)=-R4.*x(i)+(C4(i)./2.*x(i).*(1/3).*x(i));
    end
    for i=n:r;
        f4(i)=-R4*x(i)+((C4(i)-C4(n))/2*(x(i)-D)*(1/3)*(x(i)-D))+C4(n)/2.*D.*((1/3).*D+(x(i)-
D)))+C4(n)*(x(i)-D)/2;
    end
end

%reaccions de la biga conjugada de curvatures EC2
y=Cml;
area3=0;
for i=1:r-1;
area3=area3+((y(i)+y(i+1))/2)*(x(i+1)-x(i));
end

R2=area3+Cml(r)*c/2;
area3=2*area3;
Cmax=Cml(r)

%calcul de les fletxes

    if Mcr>M1(r);
        f1=-R2.*x+(Cml./2.*x.*(1/3).*x);    %fletxa fins a L/2
    else
        for i=1:n;
            f1(i)=-R2.*x(i)+(Cml(i)./2.*x(i).*(1/3).*x(i));
        end
        for i=n:r;
            f1(i)=-R2*x(i)+((Cml(i)-Cml(n))/2*(x(i)-D)*(1/3)*(x(i)-
D))+Cml(n)/2.*D.*((1/3).*D+(x(i)-D)))+Cml(n)*(x(i)-D)/2;
        end
    end

    for i=1:r;
        f3(i)=f1(r-i+1);
        f444(i)=f4(r-i+1);
        Cm3(i)=Cml(r-i+1);

```

```

C444(i)=C4(r-i+1);
M3(i)=M1(r-i+1);
end

M2=linspace(M1(r),M1(r),r);

if Mcr<M1(r)
Cm2=linspace(Cm1(r),Cm1(r),r);
f21=(-R2.*(a+x2))+(Cm1(n)*D/2.*((D/3)+(a-D)+x2))+(Cm1(n).*(a-D).*(1/2.*(a-D)+x2))+((Cm1(r)-
Cm1(n))/2*(a-D).*((a-D)/3+x2))+(Cm1(r).*x2*(1/2).*x2);
f21=f21-0.23;
for i=1:r;
    f22(i)=f21(r-i+1);
end

end

if Mcr<M1(r)
C44=linspace(C4(r),C4(r),r);
f44=(-R4.*(a+x2))+(C4(n)*D/2.*((D/3)+(a-D)+x2))+(C4(n).*(a-D).*(1/2.*(a-D)+x2))+((C4(r)-
C4(n))/2*(a-D).*((a-D)/3+x2))+(C4(r).*x2*(1/2).*x2);
f44=f44-0.23;
for i=1:r;
    f44b(i)=f44(r-i+1);
    f444(i)=f4(r-i+1);
end

end

%calcul de la curvatura i la fletxa de la viga completament fissurada i sense fissurar

Csf1=M1/(Ec*Ig);
Csf2=Mmax/(Ec*Ig);
Ccf1=M1/(Ec*Icr);
Ccf2=Mmax/(Ec*Icr);
Csf2=linspace(Csf2,Csf2,r);
Ccf2=linspace(Ccf2,Ccf2,r);

fsf1=F*x.*(x.^2+3*a^2-3*L*a)./(6*Ec*Ig);
fsf2=F*a*(3*x.^2+a^2-3*L.*x)./(6*Ec*Ig);

fcf1=F*x.*(x.^2+3*a^2-3*L*a)./(6*Ec*Icr);
fcf2=F*a*(3*x1.^2+a^2-3*L.*x1)./(6*Ec*Icr);

for i=1:r;
    fsf3(i)=fsf1(r-i+1);
    fcf3(i)=fcf1(r-i+1);
    Csf3(i)=Csf1(r-i+1);
    Ccf3(i)=Ccf1(r-i+1);
end

Csf=[Csf1 Csf2 Csf3];
Ccf=[Ccf1 Ccf2 Ccf3];
fsf=[fsf1 fsf2 fsf3];
fcf=[fcf1 fcf2 fcf3];

%gràfica del diagrama de moments
M=[M1 M2 M3]
l=[x x1 z]
subplot(3,1,1),plot(l,M);
hold on;
subplot(3,1,1),plot(l,M,'r');
subplot(3,1,1),plot(l,M,'g');
subplot(3,1,1),plot(l,M,'m');
subplot(3,1,1),plot(l,M,'c');
grid on;
ylabel('Moment(N.mm)');
title('Diagrama de moments');
legend('EC-2','Sense fissurar','Fissurada BRANSON','Completament
fissurada','location','NorthEastOutside')

%grafica del diagrama de curvatures

subplot(3,1,2),plot(x,Cm1);

```

```

hold on;
if Mcr<M1(r)
subplot(3,1,2),plot(x1,Cm2);
end
subplot(3,1,2),plot(z,Cm3);
subplot(3,1,2),plot(x,Ccf1,'m');
subplot(3,1,2),plot(x1,Ccf2,'m');
subplot(3,1,2),plot(z,Ccf3,'m');
grid on,
ylabel('Curvatura (mm-1)');
title('Diagrama de Curvatures');

%grafica del diagrama de fletxes
subplot(3,1,3),plot(x,f1);
hold on;
if Mcr<M1(r)
subplot(3,1,3),plot(x3,f21);
subplot(3,1,3),plot(x3,f44,'g');
subplot(3,1,3),plot(x4,f22);
subplot(3,1,3),plot(x4,f44b,'g');
subplot(3,1,3),plot(x,f4,'g');
subplot(3,1,3),plot(z,f444,'g');
end
subplot(3,1,3),plot(z,f3);
grid on;
ylabel('Fletxa (mm)');
title('Diagrama de Fletxes');

%càlculs de la curvatura
Ig=(b*h^3)/12;
C1=M1./(Ec*Ig);
C2=M2./(Ec*Ig);
C3=M3./(Ec*Ig);
Cmax=Mmax/(Ec*Ig);

%càlculs de la fletxa
R22=(Cmax*a+Cmax*c)/2
R3=R22;
f1=-R22.*x+(C1./2.*x.*(1/3).*x);
f2=-R22*c1+(Cmax*a/2.*((c1-a)+(a/3)))+Cmax.*(c1-a).*(c1-a)/2;
f3=-R3.*(L-z)+(C3./2.*(L-z).*(1/3).*(L-z));

%grafica del diagrama de curvatures
C=[C1 C2 C3];
C4=[C4 C44 C444];
subplot(3,1,2),plot(1,C4,'g');
hold on;
subplot(3,1,2),plot(1,C,'r');
grid on,
ylabel('Curvatura (mm-1)');
title('Diagrama de Curvatures');

%grafica del diagrama de fletxes
f=[f1 f2 f3];
subplot(3,1,3),plot(1,f,'r');
subplot(3,1,3),plot(x,fcf1,'m');
subplot(3,1,3),plot(x1,fcf2,'m');
subplot(3,1,3),plot(z,fcf3,'m');
hold on;
l=linspace(0,L,4*r);

grid on;
xlabel('Longitud de la biga (mm)');
ylabel('fletxa (mm)');
title('Diagrama de fletxes');

```

### F.3. Càlcul de la fletxa biga amb carrega continua

```

clear all

%constants
P=20000; %N/M
w=P/1000; %força aplicada (N/mm)
L=3500; %longitud de la biga en (m)
b=250; %amplada (mm)
h=250; %cantell (mm)
d=250; %cantell efectiu (mm)
Ec=32009; %mòdul elasticitat formigó (Pa)(N/m2)
Ef=200000; %mòdul elastic FRP (MPa)(N/mm2)
r=20; %longitud dels vectors
fct=2.57 %resistència a tracció del formigó
fu=500; %resistència a tracció FRP (MPa)(N/mm2)
fc=25; %resistència a compressió formigó (MPa)(N/mm2)
nb=2; %nombre de barres de FRP
Db=19; %diàmetre de les barres FRP (mm)
B=0.85; %factor entre 0.85 i 0.65.
Ecu=0.003; %deformació màxima del formigó
s=linspace(0,L,r); %vector longitud de la biga
y=linspace(0,L/2,r);

%càlculs dels moments a la biga
M=w.*s./2.*(L-s); %moment que suporta la biga
syms x;
M1=w.*x./2.*(L-x);
R1=w*L/2;

W=1/6*b*h^2;
Mcr=W*fct; %moment de fisuració (N.mm)

%càlcul de les inèrcies
ffu=0.8*fu; %correcció deguda al factor
ambiental %per el cas de l'acer
%ffu=fu/1.15;
Ig=(b*h^3)/12; %Inèrcia sense fisurar (mm4)
fr=0.62*sqrt(fc);
Mcr=2*fr*Ig/h; %moment de fisuració (N.mm)

%càlcul inèrcia de la secció completament fisurada
Af=nb*pi*(Db/2)^2; %Area reforç FRP (mm2)
pf=Af/(b*d); %quantia
pfb=((0.85*fc*B)/ffu)*((Ef*Ecu)/((Ef*Ecu)+ffu));
nf=Ef/Ec;
k=sqrt(2*pf*nf+(pf*nf)^2)-pf*nf;
Icr=(b*(d^3)*(k^3)/3)+(nf*Af*(d^2)*(1-k)^2); %Inèrcia completament fissurat
(mm4)

Pfis=Mcr*1000/(L^2/4-L^2/8);

for i=1:r/2 %distància on començarà la fisuració
    if Mcr>M(i);
        e=i;
    end
end
D=s(e);

B1=1; %coeficient: 1 per alta adherència, 0.5 per barres llises
B2=1; %coeficient: 1 per carregues de curta durada, 0.5 per
carregues mantingudes

for i=1:r
    if Mcr>M(i);
        Cm(i)=M(i)/(Ec*Ig);
        C4(i)=M(i)/(Ec*Ig);
        Cf(i)=M(i)/(Ec*Icr);
        n=i;
    else
        C22(i)=M(i)/(Ec*Icr);
    end
end

```

```

    C11(i)=M(i)/(Ec*Ig);
    Cm(i)=C22(i)-(C22(i)-C11(i)).*B1.*B2.*(Mcr/M(i))^2;    %Cm segons EC-2 i MC-90
    Ie4=((Mcr^4)/(M(i)^4)*Ig+(1-(Mcr^4)/(M(i)^4))*Icr;    %BRANSON
    C4(i)=M(i)/(Ec*Ie4);
    Cf(i)=M(i)/(Ec*Icr);
end
end
C44=C4;
Cm2=Cm;
Csf=M/(Ec*Ig);    %curvatura de la biga sense fissures
fsf=w.*s./(24*Ec*Ig).*(2*L.*s.^2-s.^3-L^3);    %fletxa de la biga sense fissures
fcf=w.*s./(24*Ec*Icr).*(2*L.*s.^2-s.^3-L^3);

%gràfica del diagrama de moments
subplot(3,1,1),plot(s,M);
hold on;
subplot(3,1,1),plot(s,M,'r');
hold on;
subplot(3,1,1),plot(s,M,'g');
subplot(3,1,1),plot(s,M,'m');
subplot(3,1,1),plot(s,M,'c');
grid on;
ylabel('Moment(N.mm)');
title('Diagrama de moments');
legend('EC-2','Sense fissurar','Fissurada BRANSON','Completament
Fissurada','location','NorthEastOutside');

%grafica del diagrama de curvatures
subplot(3,1,2),plot(s,Cm);
hold on;
subplot(3,1,2),plot(s,C4,'g');
subplot(3,1,2),plot(s,Cf,'m');
subplot(3,1,2),plot(s,Csf,'r');
grid on;
ylabel('Curvatura (mm-1)');
title('Diagrama de Curvatures');

%càlcul dels centroides
area=0;

for i=1:r
    if Mcr>M(i)    %quan el moment aplicat es inferior al de fissuració
        syms x;
        Cm1=M1/(Ec*Ig);
        Cm1x=M1.*x/(Ec*Ig);
        a=INT(Cm1,x,0,s(i));
        n(i)=eval(a);
        b=INT(Cm1x,x,0,s(i));
        m(i)=eval(b);
        c(i)=m(i)/n(i);
        p=i;
        area=n(p);
    else    %quan el moment aplicat es superior al de fissuració
        syms x;
        C22=M1/(Ec*Icr);
        C11=M1/(Ec*Ig);
        Cm1=C22-(C22-C11).*B1.*B2.*(Mcr./M1)^2;
        y=Cm1;
        area=area+((y(i)+y(i+1))/2)*(s(i+1)-s(i));
        areal(i)=area;
        Cm1x=x*C22-x*(C22-C11).*B1.*B2.*(Mcr./M1)^2;
        b=INT(Cm1x,x,s(e),s(i));
        g(i)=m(p)+eval(b);
        c(i)=g(i)/areal(i);
    end
end
end

%càlcul de la reaccio de la viga conjugada de curvatures
y=Cm2;
area3=0;
for i=1:r-1;

```

```

area3=area3+((y(i)+y(i+1))/2)*(s(i+1)-s(i));
end
R2=area3/2;
u=s-c;
u(1)=0;

%calcul de l'area punt a punt
y=Cm2;
area(1)=0;
f(1)=0;
for i=1:r-1;
area(i+1)=area(i)+((y(i)+y(i+1))/2)*(s(i+1)-s(i));
end

for i=1:r;
f(i)=-R2.*s(i)+area(i)*(u(i));      %calcul de la fletxa
end

for i=1:r/2
    f1(i)=f(i);
end
for i=1:r/2;
    f2(i)=f1(r/2-i+1);
end

area=0;

%BRANSON
for i=1:r
    if Mcr>M(i)                %quan el moment aplicat es inferior al de fissuració
        syms x;
        C4=M1/(Ec*Ig);
        C4x=M1.*x/(Ec*Ig);
        a=INT(C4,x,0,s(i));
        n(i)=eval(a);
        b=INT(C4x,x,0,s(i));
        m(i)=eval(b);
        c(i)=m(i)/n(i);
        p=i;
        area=n(p);
    else
        syms x;
        Ie4=((Mcr^4)/(M.^4))*Ig+(1-(Mcr^4)/(M.^4))*Icr;
        C4=M./(Ec*Ie4);
        y=C44;
        area=area+((y(i)+y(i+1))/2)*(s(i+1)-s(i));
        areal(i)=area;
        C4x=x*M1./(Ec*Ie4);
        b=INT(C4x,x,s(i),s(i));
    end
end

%càlcul de la reaccio de la viga conjugada de curvatures BRANSON
y=C44;
area3=0;
for i=1:r-1;
area3=area3+((y(i)+y(i+1))/2)*(s(i+1)-s(i));
end
R4=area3/2;
u=s-c;
u(1)=0;

%calcul de l'area punt a punt BRANSON
y=C44;
area(1)=0;
f(1)=0;
for i=1:r-1;
area(i+1)=area(i)+((y(i)+y(i+1))/2)*(s(i+1)-s(i));
end

for i=1:r;
f(i)=-R4.*s(i)+area(i)*(u(i));      %calcul de la fletxa
end

```

```
for i=1:r/2;
    f41(i)=f(i);
end
for i=1:r/2;
    f42(i)=f41(r/2-i+1);
end

s=linspace(0,L/2,r/2);
y=linspace(L/2,L,r/2);

%grafica de les curvatures

if Mcr<M(r/2);
    subplot(3,1,3),plot(s,f1);
    hold on;
    subplot(3,1,3),plot(y,f2);
    subplot(3,1,3),plot(s,f41,'g');
    subplot(3,1,3),plot(y,f42,'g');
end

s=[s y];
subplot(3,1,3),plot(s,fsf,'r');
subplot(3,1,3),plot(s,fcf,'m');
grid on;
Fmax=-5*w*L^4/(384*Ec*Ig);
ylabel('Fletxa (mm-1)');
title('Diagrama de fletxes');
```



## G. 1 Rutines de MATLAB de l'ANNEX C.

Em considerat una rutina tipus de les que s'han utilitzat per al càlcul dels diagrames moment-curvatura de l'Annex C.

```

clear all;

%constants
Mmax=2000;           %moment aplicat en (KN.m)
b=300;              %amplada (mm)
h=500;              %cantell (mm)
d=450;              %cantell efectiu (mm)
fc=50;              %resistència a compressió formigó (MPa)(N/mm2)
fcd=fc/1.5;         %resistencia de calcul formigo
fu=550;             %resistència a tracció FRP (MPa)(N/mm2)
Ce=0.8;             %factor ambiental (Adimensional)
fct=1.4*(fc/10)^(2/3); %resistencia a traccio formigó
Ec=21500*((fc+8)/10)^(1/3); %modul elastic formigo
Ef=40000;           %mòdul elastic FRP (MPa)(N/mm2)
nb=10;              %nombre de barres de FRP
Db=25;              %diàmetre de les barres FRP (mm)
Cb=(fc-27.58)/6.895;
r1=20;
if fc<27.58
B=0.85;             %factor entre 0.85 i 0.65.
end
if 0<Cb
    B=0.85;
end
if 1<Cb
    B=0.80;
end
if 2<Cb
    B=0.75;
end
if 3<Cb
    B=0.70;
end
if 4<Cb
    B=0.65;
end

Ecu=0.003;          %deformació màxima del formigó

Mmax=Mmax*1000000; %moment màxim aplicat (N.mm)
M=linspace(0,Mmax,r1); %moment aplicat (N.mm)

%càlcul de les inèrcies
Ig=(b*h^3)/12;      %Inèrcia sense fisurar (mm4)
fr=0.62*sqrt(fc);
Mcr=2*fr*Ig/h;      %moment de fisuració (N.mm)
Wl=b*h^2/6;
Mcr=Wl*fct;         %moment de fisuració (N.mm)
Mcr1=Mcr/1000000;

%càlcul inèrcia de la secció completament fisurada
Af=nb*pi*(Db/2)^2; %Area refor FRP (mm2)

pf=Af/(b*d); %quantia

ffu=0.8*fu;
pfb=((0.85*fc*B)/ffu)*((Ef*Ecu)/((Ef*Ecu)+ffu));
nf=Ef/Ec;
k=sqrt(2*pf*nf+(pf*nf)^2)-pf*nf;
Icr=(b*(d^3)*(k^3)/3)+(nf*Af*(d^2)*(1-k)^2); %Inèrcia completament fisurat (mm4)
Icr2=nf*Af*(d-k)^2+(1/3*b*k^3);
Icr3=nf*Af*(d-k)*(d-k/3);
if Icr>Ig;

```

```

    Icr=Ig;
end
%Determinació de Mn
Af1=Af/1000000;
d=d/1000;
b=b/1000
if pf<=pfb
    Efu=ffu/Ef;
    Mn=1000*Af1*ffu*d*(1-B/2*Ecu/(Ecu+Efu));
    r=0.55;
    rMn=r*Mn;
else
    Efu=ffu/Ef;
    ff=sqrt((Ef*Ecu)^2/4+(0.85*B*fc*Ef*Ecu/pf))-0.5*Ef*Ecu;
    Mn=1000*Af1*ff*(d-Af1*ff/(1.7*fc*b));
    if pf>1.4*pfb
        r=0.65;
    else
        r=0.3+0.25*pf/pfb;
    end
    rMn=r*Mn;
end

%determinació de Ms màx

w=pf*ffu/fcd
u=-0.5+sqrt(0.25+w)
Md=u*b*d^2*fcd
Ms=Md/1.4;
Ms1=Ms/1000000;
Md1=Md/1000000;
Mmax=Mn*1000000;
if pf>0.004;
    f=6.8;
end
if pf>=0.006;
    f=6.7;
end
if pf>=0.008;
    f=6.6;
end
if pf>=0.01;
    f=5.8;
end
if pf>=0.015;
    f=4.8;
end
if pf>=0.02;
    f=3.8;
end
if pf>=0.03;
    f=3.1;
end
if pf>=0.04;
    f=2.4;
end

Mmax=Mmax/f;
M=linspace(0,Mmax,r1);           %moment aplicat (N.mm)

%càlcul de la inèrcia equivalent de la secció mentre va fisurant

Bd=0.2*pf/pfb;                   %Correcció deguda a la
sobrestimació de la rigidesa de BRANSON
if Bd>1
    Bd=1;
end
Ma=linspace(Mcr,Mmax,r1);        %Moment aplicat a la biga (N.mm)
Ie1=((Mcr^3)./(Ma.^3))*Bd*Ig+(1-(Mcr^3)./(Ma.^3))*Icr; %Inèrcia equivalent de la secció
(mm4) segons ACI 440 (Gao.1998)
if Ie1<Icr;
    Ie1=Icr;
end

```

```

Ie2=((Mcr^3)./(Ma.^3))*Ig+(1-(Mcr^3)./(Ma.^3))*Icr;           %Inèrcia equivalent de la secció
(mm4) segons Branson per acer

%calcul de les curvatures

C1=M./(Ec*Ig);           %curvatura de la biga sense fisurar
C2=M./(Ec*Icr);         %curvatura de la biga completament fisurada
C3=Ma./(Ec*Ie1);       %curvatura de la biga parcialment fisurada seons aci 440
(Gao.1998)
C4=Ma./(Ec*Ie2);       %curvatura de la biga segons Branson per acer

B1=1;                   %coeficient: per alta adherencia, 0.5 per barres llises
B2=1;                   %coeficient: 1 per carregues de curta durada, 0.5 per
carregues mantingudes

C11=Ma./(Ec*Ig);
C22=Ma./(Ec*Icr);
Cm=C22-(C22-C11).*B1.*B2.*(Mcr./Ma).^2;   %Cm segons EC-2 i MC-90

Ie4=Bd*Ig;             %Inercia equivalent a l'inici de C3.
if Ie4<Icr
    Ie4=Icr;
end

Ccri=Mcr/(Ec*Ig);     %curvatura a l'inici de la fisuració
Ccrf=Mcr/(Ec*Ie4);   %curvatura a l'inici de C3.

%grafica de les solucions
hold on;

M=linspace(0,Mmax,r1);   %moment aplicat (N.mm)
Ma=linspace(Mcr,Mmax,r1);

plot(C1*1000,M/1000000,'r');           %curvatura sense fisurar
plot(C2*1000,M/1000000);             %curvatura completament fisurat
plot(C3*1000,Ma/1000000,'g');       %curvatura a la zona de transició (verda)segons ACI
440
plot(C4*1000,Ma/1000000,'m');       %curvatura Branson per acer (magenta)
plot(Cm*1000,Ma/1000000,'c');       %curvatura segon MC-90 (groga)

%curvatura segons ACI 440 abans d'arribar a Mcr
M1=0:100000:Mcr;
C1=M1/(Ec*Ig);
Ccr=linspace(Ccri,Ccrf,r1);
plot(C1*1000,M1/1000000,'g');
plot(Ccr*1000,Mcr/1000000,'g');
grid on;
xlabel('Curvatura (m^-1)');
ylabel('Moment(kN.m)');
title('Moment-curvatura');
legend('C1 sense fissurar','C2 fissurat','ACI 440 (Gao)','Branson','MC-90 i EC-
2','location','SouthEast')

```

## H. 1 Rutines de MATLAB de l'ANNEX D.

```

clear all

%moment curvatura adimensional
fyk=500; %resistencia característica reforç
fyd=fyk/1.15; %resistencia reforç
fck=25; %resistencia característica del formigo
fcd=fck/1.5; %resistencia de calcul formigo
fct=1.4*(fck/10)^(2/3); %resistencia a traccio formigo
b1=1000; %amplada
h1=1000; %cantell
Ec=21500*((fck+8)/10)^(1/3); %modul elastic formigo
Es=200000; %modul elastic reforç
r=10; %tamany del vectors

for k=0:2;
    dh=0.8+0.1*k;
    d1=h1*dh; %cantell efectiu
    for i=0:r;
        j=(0.125-0.017)/r;
        nP=0.017+j*i;
        npl(i+1)=nP;

        %moment adimensional
        W1=b1*h1^2/6;
        n=Es/Ec;
        m=fyd/(fcd*n);

        wmed=m*nP;
        u=-0.5+sqrt(0.25+wmed);
        u1(i+1)=u;
        rcrmax1=(u*fcd)/((1.6)*fct*W1/(b1*d1^2));
        if rcrmax1<1
            rcrmax1=1;
        end
        rcrmax1l(i+1)=rcrmax1;

        %curvatura adimensional
        xd=nP*(-1+sqrt(1+2/(nP)));
        WD1=2*(dh);
        WD2=1/(2*(dh)^2*(1/3*(xd)^3+nP*(1-xd)^2));

        a=linspace(1,rcrmax1,r);
        v=1./a;
        x1d=(v)./((WD1)*(v).^2+(WD2*(1-(v).^2)));
        f1=(fct/Ec)*(1./x1d);
        hold on
        subplot(3,3,k+1),plot(f1,a)
        end

        xlabel('Curvatura (C.d) (Ad.)');
        ylabel('Moment (1/rcr) (Ad.)');
        title(['Moment curvatura d/h=',num2str(dh),' b=1m h=1m']);
        axis([0,0.006,0,10]);
        grid
        end

        %moment curvatura adimensional

        b2=400; %amplada
        h2=500; %cantell

        for k=0:2;
            dh=0.8+0.1*k;
            d2=h2*dh; %cantell efectiu
            for i=0:r;
                j=(0.125-0.017)/r;
                nP=0.017+j*i;

```

```

%moment adimensional
W2=b2*h2^2/6;
wmed=m*nP;
u=-0.5+sqrt(0.25+wmed);
rcrmax2=(u*fcd)/((1.6)*fct*W2/(b2*d2^2));
if rcrmax2<1
    rcrmax2=1;
end
rcrmax22(i+1)=rcrmax2;

%curvatura adimensional
xd=nP*(-1+sqrt(1+2/(nP)));
WD1=2*(dh);
WD2=1/(2*(dh)^2*(1/3*(xd)^3+nP*(1-xd)^2));
a=linspace(1,rcrmax2,r);
v=1./a;
xld=(v)./((WD1)*(v).^2+(WD2*(1-(v).^2)));
f2=(fct/Ec)*(1./xld);

subplot(3,3,k+4),plot(f2,a);
hold on;

end
grid
xlabel('Curvatura (C.d) (Ad.)');
ylabel('Moment (1/rcr) (Ad.)');
title(['Moment curvatura d/h=',num2str(dh),'b=0,4m h=0,5m']);
axis([0,0.006,0,10]);
end

%moment curvatura adimensional

b3=300; %amplada
h3=400; %cantell

for k=0:2;
    dh=0.8+0.1*k;
    d3=h3*dh; %cantell efectiu
for i=0:r;
    j=(0.125-0.017)/r;
    nP=0.017+j*i;

%moment adimensional
W3=b3*h3^2/6;
wmed=m*nP;
u=-0.5+sqrt(0.25+wmed);
rcrmax3=(u*fcd)/((1.6)*fct*W3/(b3*d3^2));
if rcrmax3<1
    rcrmax3=1;
end
rcrmax33(i+1)=rcrmax3;

%curvatura adimensional
xd=nP*(-1+sqrt(1+2/(nP)));
WD1=2*(dh);
WD2=1/(2*(dh)^2*(1/3*(xd)^3+nP*(1-xd)^2));
a=linspace(1,rcrmax3,r);
v=1./a;
xld=(v)./((WD1)*(v).^2+(WD2*(1-(v).^2)));
f3=(fct/Ec)*(1./xld);
hold on;

subplot(3,3,k+7),plot(f3,a);

end
grid
xlabel('Curvatura (C.d) (Ad.)');
ylabel('Moment (1/rcr) (Ad.)');
title(['Moment curvatura d/h=',num2str(dh),'b=0,3 h=0,4']);
axis([0,0.006,0,10]);
end

```

```

%curvatura adimensional en funcio dh i np
%moment curvatura adimensional

b=1000;           %amplada
h=1000;           %cantell
dh=1;             %relacio amplada,cantell
d=h*dh;           %cantell efectiu

r=28;             %tamany del vectors

np=linspace(0.017,0.125,r)
dh=linspace(0.8,1,r)

%curvatura adimensionalx
[DH,NP]=meshgrid(dh,np);
xd=NP.*(-1+sqrt(1+2./(NP)));
WD11=2.*(DH);
WD22=1./(2.*(DH).^2.*(1./3*(xd).^3.+NP.*(1.-xd).^2));

figure(2)

for a=1:rcrmax1;
v=1./a;
X1D=(v./((WD11)*(v).^2+(WD22.*(1-(v).^2)));
f=0.33*(fct/Ec)*(1./X1D);
hold on;
view(30,30);
mesh(DH,NP,f);
surf(DH,NP,f);
xlabel('DH');
ylabel('NP');
zlabel('C.d');
title('valor C.d en funció "dh" i "np"');
rotate3d;
grid on;
end

%comparació entre dh1 dh09 i dh
figure(3)
r=10;

%moment curvatura adimensional

W=b*h^2/6;
for k=0:2;
    dh=0.8+0.1*k;
    d=h*dh;           %cantell efectiu
for i=0:r;
j=(0.125-0.017)/r;
nP=0.017+j*i;
np1(i+1)=nP;

%moment adimensional
wmed=m*nP;
u=-0.5+sqrt(0.25+wmed);
rcrmax1=(u*fcd)/((1.6)*fct*W/(b*d^2));
if rcrmax1<1
    rcrmax1=1;
end

%curvatura adimensional
xd=nP*(-1+sqrt(1+2/(nP)));
WD1=2*(dh);
WD2=1/(2*(dh)^2*(1/3*(xd).^3+nP*(1.-xd).^2));

a=linspace(1,rcrmax1,r);
v=1./a;
x1d=(v./((WD1)*(v).^2+(WD2*(1-(v).^2)));
f=(fct/Ec)*(1./x1d);
hold on;

```

```

subplot(1,3,k+1),plot(f,a)
end

xlabel('Curvatura (C.d) (Ad.)');
ylabel('Moment (1/rcr) (Ad.)');
title(['Moment curvatura d/h=',num2str(dh),' b=1m h=1m']);
axis([0,0.003,0,9]);
grid
end

%moment curvatura adimensional

b=400;                %amplada
h=500;                %cantell

W=b*h^2/6;
for k=0:2;
    dh=0.8+0.1*k;
    d=h*dh;           %cantell efectiu
    for i=0:r;
        j=(0.125-0.017)/r;
        nP=0.017+j*i;

        %moment adimensional
        wmed=m*nP;
        u=-0.5+sqrt(0.25+wmed);
        rcrmax2=(u*fcd)/((1.6)*fct*W/(b*d^2));
        if rcrmax2<1
            rcrmax2=1;
        end
        %curvatura adimensional
        xd=nP*(-1+sqrt(1+2/(nP)));
        WD1=2*(dh);
        WD2=1/(2*(dh)^2*(1/3*(xd)^3+nP*(1-xd)^2));
        a=linspace(1,rcrmax2,r);
        v=1./a;
        xld=(v)./((WD1)*(v).^2+(WD2*(1-(v).^2)));
        f=(fct/Ec)*(1./xld);
        hold on;
        subplot(1,3,k+1),plot(f,a,'g')

    end
end
grid
xlabel('Curvatura (C.d) (Ad.)');
ylabel('Moment (1/rcr) (Ad.)');
title(['Moment curvatura d/h=',num2str(dh),' b=0,4m h=0,5m']);
axis([0,0.003,0,9]);
end

%moment curvatura adimensional

b=300;                %amplada
h=400;                %cantell

W=b*h^2/6;
for k=0:2;
    dh=0.8+0.1*k;
    d=h*dh;           %cantell efectiu
    for i=0:r;
        j=(0.125-0.017)/r;
        nP=0.017+j*i;

        %moment adimensional
        wmed=m*nP;
        u=-0.5+sqrt(0.25+wmed);
        rcrmax3=(u*fcd)/((1.6)*fct*W/(b*d^2));
        if rcrmax3<1
            rcrmax3=1;
        end
    end
end

```

```
%curvatura adimensional
xd=nP*(-1+sqrt(1+2/(nP)));
WD1=2*(dh);
WD2=1/(2*(dh)^2*(1/3*(xd)^3+nP*(1-xd)^2));
a=linspace(1,rcrmax3,r);
v=1./a;
xld=(v./((WD1)*(v).^2+(WD2*(1-(v).^2))));
f=(fct/Ec)*(1./xld);
hold on;
subplot(1,3,k+1),plot(f,a,'m');
end
grid;
xlabel('Curvatura (C.d) (Ad.)');
ylabel('Moment (1/rcr) (Ad.)');
title(['Moment curvatura d/h=',num2str(dh),]);
axis([0,0.003,0,9]);

end
```

Signat

El redactor, Gerard Vancells i Xuclà