


Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Treball final de grau

Estudi: GETI

Títol: ESTUDI PARAMÈTRIC DE LA DEGRADACIÓ DE LA LLEI ADHERÈNCIA-LLISCAMENT EN LA RESPOSTA ADHERENT DE LA UNIÓ FORMIGÓ-FRP

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Aniol Castells Coll

Tutor: Cristina Barris Peña

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria de la Construcció i de la Mecànica dels Medis Continus i Teoria d'Estructures

Convocatòria (mes/any): juny/2022

ÍNDEX

| | |
|---|-----|
| Índex | i |
| Índex de figures..... | iv |
| Índex de taules | vii |
| 1 Introducció | 1 |
| 1.1 Antecedents..... | 2 |
| 1.2 Objecte..... | 2 |
| 1.3 Abast..... | 2 |
| 2 Definició dels materials | 3 |
| 2.1 Formigó..... | 3 |
| 2.2 Acer..... | 5 |
| 2.3 FRP..... | 7 |
| 2.3.1 Tipus de fibra | 7 |
| 2.4 Unió FRP-Formigó..... | 9 |
| 2.4.1 Tipus de tècnica d'unió..... | 9 |
| 2.4.2 Modes de falla | 10 |
| 3 Modelització i metodologia del comportament de la unió formigó-FRP..... | 11 |
| 3.1 Introducció..... | 11 |
| 3.2 Modelització del comportament adherent instantani de la unió formigó-FRP..... | 11 |
| 3.2.1 Introducció | 11 |
| 3.2.2 Equació de govern del comportament de la unió i resposta local..... | 12 |
| 3.2.3 Llei local d'adherència-lliscament..... | 13 |
| 3.2.4 Resposta global càrrega-lliscament | 14 |
| 3.3 Resolució per diferències finites del comportament adherent instantani..... | 16 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.4 | Modelització del comportament adherent a llarg termini de la unió formigó-FRP | 18 |
| 3.4.1 | Assaig de llarg termini..... | 18 |
| 3.4.2 | Modificacions en la modelització per a l'assaig de llarg termini..... | 18 |
| 3.5 | Mètode numèric d'assaig de llarg termini | 23 |
| 4 | Estudi Paramètric del comportament a llarg termini de la unió formigó-FRP | 27 |
| 4.1 | Introducció | 27 |
| 4.2 | Paràmetres que influeixen en el comportament adherent de la unió | 27 |
| 4.2.1 | Paràmetres objecte d'estudi | 27 |
| 4.2.2 | Valors inicials dels paràmetres que no es varien a l'estudi..... | 28 |
| 4.3 | Limitacions trobades i propostes de millora | 28 |
| 4.3.1 | Limitacions | 28 |
| 4.3.2 | Propostes de millora | 30 |
| 4.4 | Efecte de la longitud adherida en el comportament a llarg termini de la unió..... | 31 |
| 4.4.1 | Interpretació de la resposta a través de les equacions | 31 |
| 4.4.2 | Resposta gràfica del comportament adherent..... | 32 |
| 4.4.3 | Temps de trencament | 38 |
| 4.5 | Efecte del percentatge de càrrega en el comportament a llarg termini de la unió 39 | |
| 4.5.1 | Interpretació de la resposta a través de les equacions | 39 |
| 4.5.2 | Resposta gràfica del comportament adherent..... | 40 |
| 4.5.3 | Temps de trencament | 46 |
| 4.6 | Relació entre la longitud adherida i la càrrega aplicada per aconseguir vida infinita | 48 |
| 5 | Modelització en cas de fluència no-lineal | 51 |
| 5.1 | Introducció | 51 |
| 5.2 | Primera proposta | 51 |
| 5.2.1 | Plantejament..... | 51 |
| 5.2.2 | Resposta obtinguda..... | 53 |
| 5.3 | Segona proposta | 56 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.3.1 | Plantejament..... | 56 |
| 5.3.2 | Resposta obtinguda..... | 56 |
| 5.4 | Tercera proposta..... | 60 |
| 5.4.1 | Plantejament..... | 60 |
| 5.4.2 | Resposta obtinguda..... | 62 |
| 6 | Resum del pressupost..... | 67 |
| 7 | Conclusions..... | 69 |
| 8 | Referències..... | 71 |
| | Annex A – Pressupost..... | 75 |
| A.1 | Introducció..... | 75 |
| A.2 | Quadre de preus..... | 75 |
| A.3 | Pressupost parcial..... | 75 |
| A.3.1 | Programari..... | 75 |
| A.3.2 | Recerca d'informació..... | 75 |
| A.3.3 | Generació de la rutina de càlcul..... | 76 |
| A.3.4 | Interpretació de resultats i redactat..... | 76 |
| A.4 | Pressupost global..... | 76 |
| | Annex B – Codi..... | 77 |
| B.1 | Codi Lineal..... | 77 |
| B.2 | Codi Lineal – Temps..... | 98 |
| B.3 | Codi No Lineal Model 1..... | 119 |
| B.4 | Codi No Lineal Model 2..... | 143 |
| B.5 | Codi No Lineal Model 3..... | 168 |

ÍNDIX DE FIGURES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Variació estàndard de la resistència a compressió del formigó en funció de la relació aigua-ciment (a/c) [1]..... | 4 |
| Figura 2: Comportament del formigó a compressió i a tracció [2]..... | 4 |
| Figura 3: Guany de la resistència a compressió del formigó respecte al temps [3]..... | 5 |
| Figura 4: Esquema d'una biga de formigó armat [4]..... | 6 |
| Figura 5: Barres de 4 tipus de fibra [5]..... | 8 |
| Figura 6: Comparació de les resistències de diverses fibres [7]..... | 8 |
| Figura 7: Tècniques d'enfortiment amb FRP (a) làmina d'EBR (b) barra de NSM (c) Tira NSM [7]..... | 9 |
| Figura 8: Modes de falla en la unió NSM-FRP amb el formigó [9]..... | 10 |
| Figura 9: Representació de l'assaig instantani experimental per estudiar el comportament adherent [12]..... | 12 |
| Figura 10: Tensions en el diferencial del conjunt del formigó i FRP i de només el FRP..... | 12 |
| Figura 11: Llei local bilineal d'adherència-lliscament..... | 14 |
| Figura 12: Distribució de la tensió tallant i de la propagació del desenganxament de a la superfície per una longitud llarga adherida [10]..... | 15 |
| Figura 13: Corba teòrica de la càrrega-desplaçament per un assaig instantani [10]..... | 15 |
| Figura 14: Esquema de la discretització al llarg de l'FRP [12]..... | 17 |
| Figura 15: Diagrama de flux del mètode numèric d'assaig instantani [12]..... | 17 |
| Figura 16: Muntatge de l'assaig a llarg termini experimental [13]..... | 18 |
| Figura 17: Llei local bilineal d'adherència-lliscament amb la reducció del pendent ascendent..... | 20 |
| Figura 18: Relació entre $\alpha - \tau_{avg}/\tau_{max}$ [13]..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Figura 19: Llei local bilineal d'adherència-lliscament amb la reducció de la tensió tallant màxima..... | 21 |
| Figura 20: Llei local bilineal d'adherència-lliscament resultant de la combinació de les dues modificacions | 22 |
| Figura 21: Corbes experimentals de la compliància de l'adhesiu a 15%, 30% i 50% de la càrrega màxima [13] | 23 |
| Figura 22: Diagrama de flux del mètode numèric d'assaig de llarg termini [13]..... | 25 |
| Figura 23: Variació errònia de la degradació de la tensió tallant màxima en funció del temps | 29 |
| Figura 24: Variació errònia del coeficient de degradació de la tensió tallant màxima en funció del temps..... | 29 |
| Figura 25: Representació gràfica de la millora en el càlcul del coeficient de la degradació del tallant màxim..... | 30 |
| Figura 26: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció de la longitud adherida | 33 |
| Figura 27: Variació del lliscament a l'extrem carregat en funció de la longitud adherida i del temps | 33 |
| Figura 28: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en funció de la longitud adherida i del temps..... | 34 |
| Figura 29: Variació de la deformació unitària de l'FRP al llarg de longitud adherida en funció d'aquesta i del temps | 35 |
| Figura 30: Variació del lliscament al llarg de longitud adherida i en funció d'aquesta i del temps | 36 |
| Figura 31: Variació de la tensió tallant al llarg de longitud adherida en funció d'aquesta i del temps | 37 |
| Figura 32: Evolució del lliscament en funció del temps i de la longitud adherida..... | 39 |
| Figura 33: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció del percentatge de càrrega aplicat..... | 41 |
| Figura 34: Variació del lliscament a l'extrem carregat en funció del percentatge de càrrega i del temps..... | 41 |
| Figura 35: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en funció del percentatge de càrrega i del temps..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Figura 36: Variació de la deformació unitària de l'FRP al llarg de longitud adherida en funció del percentatge de la càrrega i del temps..... | 43 |
| Figura 37: Variació del lliscament de l'FRP al llarg de longitud adherida en funció del percentatge de la càrrega i del temps..... | 44 |
| Figura 38 Variació de la tensió tallant al llarg de longitud adherida en funció del percentatge de la càrrega i del temps | 46 |
| Figura 39: Evolució del lliscament en funció del temps i del percentatge de càrrega aplicat | 47 |
| Figura 40: Relació entre la càrrega aplicada i la longitud adherida..... | 49 |
| Figura 41: Evolució del lliscament a l'extrem carregat en funció de la longitud | 50 |
| Figura 42: Diagrama de flux del mètode numèric d'assaig de llarg amb la implementació no-lineal..... | 52 |
| Figura 43: Variació del coeficient de fluència funció de la càrrega suportada i del temps pel 1r model no-lineal..... | 53 |
| Figura 44: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció de la posició pel 1r model no-lineal..... | 54 |
| Figura 45: Variació del lliscament a l'extrem carregat en el model lineal i en el 1r model no-lineal..... | 55 |
| Figura 46: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en el model lineal i en el 1r model no-lineal..... | 55 |
| Figura 47: Variació del coeficient de fluència funció de la càrrega suportada i del temps pel 2n model no-lineal..... | 57 |
| Figura 48: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció de la posició pel 2n model no-lineal..... | 58 |
| Figura 49: Variació del lliscament a l'extrem carregat en el model lineal, i en el 1r i 2n model no-lineal..... | 59 |
| Figura 50: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en el model lineal, i en el 1r i 2n model no-lineal | 59 |
| Figura 51: Diagrama de flux del mètode numèric d'assaig de llarg amb la implementació de la 3a proposta de mètode no-lineal..... | 61 |
| Figura 52: Variació del coeficient de degradació de la tensió tallant màxima en funció de la càrrega suportada i del temps pel 3r model no-lineal | 62 |

Figura 53: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció de la posició pel 3r model no-lineal.....63

Figura 54: Variació del lliscament a l'extrem carregat en el model lineal, i en el 1r, 2n i 3r model no-lineal64

Figura 55: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en el model lineal, i en el 1r, 2n i 3r model no-lineal64

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Comparació de les propietats mecàniques dels FRP i de l'acer. [6].....8

Taula 2: Paràmetres que intervenen a les equacions de la rutina de l'assaig a llarg termini ..27

Taula 3: Condicions inicials de l'estudi paramètric.....28

Taula 4: Relació de la longitud adherida amb el temps que tarda la unió a trencar-se.38

Taula 5: Relació del percentatge de càrrega amb el temps que tarda la unió a trencar-se....47

Taula 6: Relació del percentatge de càrrega amb el lliscament de l'extrem carregat en el temps de trencament.....48

Taula 7 Relació entre la longitud adherida i la càrrega aplicada en el temps de trencament;49

Taula 8: Relació del percentatge de càrrega amb el temps que tarda la unió a trencar-se pel model lineal i pel 2n model no-lineal proposat.....60

Taula 9: Relació del percentatge de càrrega amb el temps que tarda la unió a trencar-se pel model lineal i pel 3r model no-lineal proposat65

Taula 10: Preus unitaris dels diversos elements que conformen el treball75

Taula 11: Pressupost parcial del programari.....75

Taula 12: Pressupost parcial de la recerca d'informació.....75

Taula 13: Pressupost parcial de la generació de la rutina de càlcul76

Taula 14: Pressupost parcial de la interpretació de resultats i redactat76

Taula 15: Pressupost global del treball76

1 INTRODUCCIÓ

L'enginyeria civil, des de la revolució industrial fins als nostres dies, s'ha basat en dos materials bàsics: l'acer, component utilitzat per pràcticament totes les estructures fetes al segle XIX, i ja en temps més moderns el formigó armat. Va ser durant el segle XVIII que es van establir les bases teòriques de la revolució industrial i molts enginyers civils van posar el seu interès en el formigó romà, les glòries del qual, fins i tot avui dia es mantenen drets.

El formigó és un material que s'obté barrejant un conglomerant, habitualment ciment, amb grava i aigua. Aquesta barreja té unes propietats molt modelable abans de l'enduriment, permetent fabricar tota mena de bigues o pilars. Ara bé, el formigó és un material molt fràgil, que té una bona capacitat per aguantar tensions a compressió però té una molt baixa resistència a la tracció i a la flexió.

Així doncs, per tal de millorar les propietats del formigó es va començar a utilitzar la combinació de barres d'acer amb el formigó generant un nou material compost que es coneix com a formigó armat. Aquestes barres tenen un greu problema i és que en ambients humits i alcalins es veuen afectades per la corrosió i consegüentment un deteriorament de les propietats mecàniques.

El formigó armat, vist des d'un punt de vista contemporani passa a ser, doncs, un precursor dels materials compostos, que obre camí a les combinacions, tecnològicament més avançades, actuals, i que ens permet albirar, amb esperança, un gran futur als nous materials.

Un d'aquests nous materials compostos és la fibra contínua i de matriu polimèrica (en anglès, Fiber Reinforced Polymers, FRP) que s'empra per a reforçar estructures ja existents de formigó armat i que ha rebut una especial atenció en els camps de l'enginyeria civil i estructural. Les seves propietats úniques, com l'alta relació resistència-pes i l'excel·lent resistència a la corrosió, ha fet que sigui una adequada i efectiva alternativa al reforç convencional mitjançant l'acer.

En el reforç d'estructures s'utilitzen habitualment fibres de carboni i vidre. Les fibres de carboni posseeixen propietats superiors a les de la fibra de vidre, però són més cares. En la unió de les fibres s'usen diversos tipus de resines com poden ser l'epòxid, la polièster o la vinilèster.

Un dels problemes d'aquest nou mètode de reforç d'estructures de formigó és la poca recerca que té respecte al ja estudiat formigó armat, dificultant així la implementació real en estructures.

1.1 Antecedents

Els materials compostos de matriu polimèrica i fibra contínua (en anglès Fiber Reinforced Polymer, FRP) s'han mostrat materials molt adequats per reforçar estructures existents de formigó armat. No obstant això, sovint aquestes estructures pateixen un desenganxament prematur del FRP abans d'arribar a la seva càrrega màxima. És per això que resulta fonamental el coneixement del comportament adherent de la unió formigó-FRP, que sovint es realitza mitjançant una resina tipus epòxid.

En el cas de càrrega instantània, els fenòmens que produeixen aquest desenganxament estan profundament analitzats i actualment coexisteixen nombrosos models que defineixen la llei local adherència-lliscament. Tanmateix, per a altres situacions, com és el cas de la càrrega diferida o càrrega de fatiga, no es troben estudis al respecte. Recentment, al grup de recerca AMADE de la Universitat de Girona s'ha desenvolupat una eina numèrica que permet determinar l'evolució de diferents paràmetres, com el lliscament de la unió formigó-FRP i la distribució de tensions i deformacions sota càrrega sostinguda. Aquest efecte es simula a través d'una degradació de la llei local adherència-lliscament. Aquesta rutina, però, es troba en un estat preliminar i necessita ser contrastada i avaluada. A més, la rutina únicament està preparada per al cas que l'adhesiu es trobi en el seu règim de comportament lineal.

1.2 Objecte

El principal objecte d'aquest treball és estudiar la resposta càrrega-lliscament de la unió formigó-FRP sota càrrega sostinguda a través de la rutina prèviament mencionada. Aquest estudi es farà de forma paramètrica, avaluant els diferents factors que més afecten en la resposta, entre els que s'hi trobaran diferents lleis d'adherència-lliscament i diferents degradacions d'aquesta llei. Partint d'aquest estudi també s'abordarà la necessitat d'obtenir un model no-lineal de la llei d'adherència-lliscament amb la finalitat de poder predir el comportament en les condicions de no-linealitat.

1.3 Abast

Primer s'estudiarà el comportament adherent instantani (resposta càrrega-lliscament a partir de la llei local d'adherència-lliscament), per entendre tots el conceptes relacionats. Seguidament aquests coneixements s'implementaran a llarg termini per tal de continuar desenvolupant la rutina numèrica de la llei adherència-lliscament. Es preveu realitzar un estudi paramètric on s'avalui la influència dels paràmetres principals en la resposta càrrega-lliscament. Finalment, es desenvoluparà un nou model de la llei d'adherència-lliscament per ajustar-se al comportament no-lineal.

2 DEFINICIÓ DELS MATERIALS

2.1 Formigó

El formigó és un dels materials de la construcció per excel·lència, ja que té unes propietats que el fan pràcticament únic. Està format per una mescla de ciment, sorra, aigua i grava o pedra picada. A més, pot portar algun tipus d'additiu millorant així les seves característiques en funció de l'ús que tindrà. Les quantitats necessàries de cada element es calculen en funció del tipus i qualitat de formigó que es vol obtenir. Les propietats d'aquest es mesuren a partir del 28è dia de la mescla, ja que fins a aquest dia encara guanya resistència.

El ciment consisteix en una mescla pulverulenta de calcària i argila (clínquer) i de guix, el qual actua com a regulador de l'enduriment del formigó, és a dir, del procés químic pel qual el formigó endureix i adquireix resistència. El ciment actua de conglomerant hidràulic, com a “cola” de la mescla, ja que en entrar en contacte amb l'aigua forma una pasta emmotllable amb propietats adherents que endureix amb el pas del temps.

La sorra i la grava són les partícules sòlides de la mescla. Encara que no actuen durant l'enduriment del formigó, són molt importants, ja que representen aproximadament el 80% del volum del formigó. A més, exerceixen una influència positiva en la resistència mecànica, retracció, fluència i abrasió. També influeixen en la durabilitat: si els àrids tenen un diàmetre gran s'obtenen formigons més porosos, menys densos i menys duradors pel fet que són més propensos a ser atacats pels agents atmosfèrics externs i a patir carbonatació, en el cas del formigó armat.

L'aigua és l'element indispensable perquè el ciment adquireixi les seves propietats adhesives. Les seves principals funcions són la d'hidratar els components actius del ciment i actuar de lubricant perquè la massa sigui modelable. Ha d'estar neta i sense impureses. Una quantitat major o menor d'aigua respecte de la quantitat del ciment també influeix en la qualitat del formigó, Figura 1, obtenint-se per regla general formigons porosos i poc duradors si hi ha un excés d'aigua i formigons molt secs i difícils de treballar si hi ha escassetat d'aigua. En el procés de solidificació l'aigua no s'evapora totalment, sinó que hidrata el ciment.

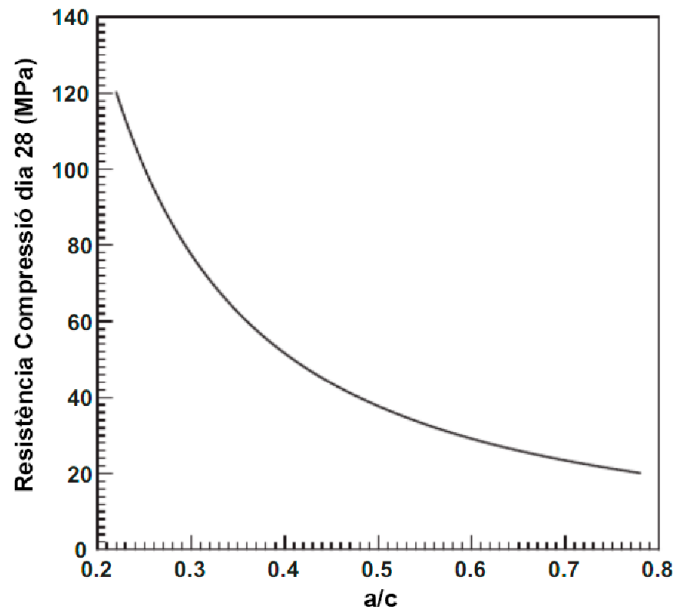


Figura 1: Variació estàndard de la resistència a compressió del formigó en funció de la relació aigua-ciment (a/c) [1]

Els additius són elements generalment pulverulents que s'afegeixen als formigons per a millorar algunes propietats o per facilitar la seva posada en obra.

Un dels principals avantatges del formigó és la seva gran resistència a les tensions a compressió. Tanmateix, la seva resistència a tracció és relativament baixa, sent entre un 10% i un 15% del valor de la tracció a compressió, com s'observa en la Figura 2. Tampoc té una bona resistència al tallant, a la flexió ni a la torsió, per la qual cosa només s'utilitza en sol·licitacions on aquestes tensions siguin molt baixes. Per determinar la resistència es preparen assajos mecànics (assajos de trencament) sobre provetes de formigó.

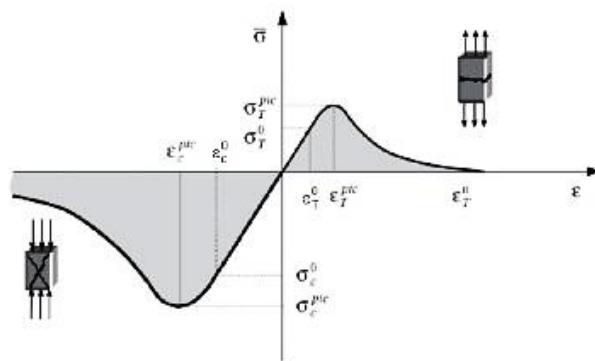


Figura 2: Comportament del formigó a compressió i a tracció [2]

Un procés importantíssim per aconseguir augmentar la resistència a mesura que el formigó va endurint és el curat d'aquest, tal com queda graficat en la Figura 3. Aquest procés consisteix en mantenir el formigó humit per tal d'evitar la pèrdua d'aigua en edats primerenques afectant en les propietats mecàniques i de durabilitat. Ara bé, un mal curat del formigó també és un problema, ja que pot fer disminuir considerablement les propietats d'aquest.

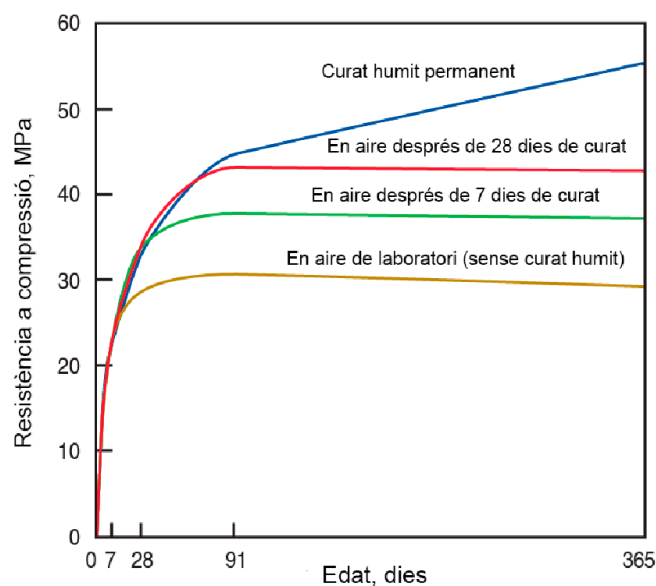


Figura 3: Guany de la resistència a compressió del formigó respecte al temps [3]

Per superar les baixes resistències a tracció, flexió o tallant “s’arma” el formigó introduint barres d’acer, creant l’anomenat formigó armat. Amb aquesta combinació és possible construir elements estructurals com per exemple les bigues, columnes o murs. Un aspecte clau en conformar-lo és garantir l’adherència entre l’acer i el formigó permetent treballar els dos materials com un de sol. Per assegurar-ho, la mescla del formigó ha de recobrir en el seu interior les barres o malles d’acer de reforç, també anomenades armadures.

2.2 Acer

L’acer és una aliatge de ferro i carboni en un percentatge d’aquest últim element entre el 0,03% i el 1,075%. Les principals diferències entre el ferro i l’acer és que el fet d’afegir aquest percentatge de carboni fa augmentar la resistència i la ductilitat, per la qual cosa es pot deformar sense necessàriament trencar-se.

En el cas de l’acer emprat per a les armadures, s’utilitza l’acer corrugat i la seva composició és: 0,22% carboni, 0,05% fòsfor, 0,05% sofre i 0,012% nitrogen. Aquest acer es fabrica en forma de barres que presenten ressalts o corrugues que milloren l’adherència entre el formigó. El conjunt de les barres d’acer corrugat s’anomena armadura. Consisteix en un conjunt homogeni que treballen unidament per resistir cert tipus de tensió en combinació amb el formigó. A més, les armadures també poden complir una funció de muntatge i s’utilitzen per evitar la fissuració del formigó. En la Figura 4 es pot observar com està conformat el formigó armat.

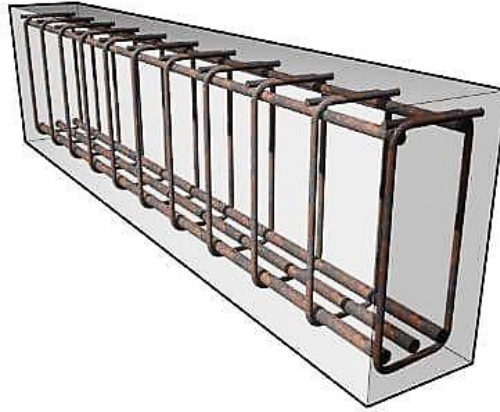


Figura 4: Esquema d'una biga de formigó armat [4]

La funció principal de l'acer corrugat en el conjunt amb el formigó és absorbir les tensions de tracció que no és capaç d'absorbir aquest últim, ja que li aporta el nivell de ductilitat necessari i una major deformabilitat abans d'arribar al trencament, una condició imprescindible en les construccions.

L'avantatge més significatiu de l'acer és la capacitat d'augmentar les propietats mecàniques en el conjunt de la biga. També millora les propietats del formigó en sí, tot i que continua no sent aconsellable utilitzar-lo per suportar aquest tipus de tensions, a causa de la seva baixa resistència. Així doncs, sempre es dimensiona perquè sigui el reforç encarregat de suportar la totalitat dels esforços de tracció. Ara bé, és molt important que la unió entre el formigó i les barres d'acer sigui la correcta, ja que si no pot haver-hi lliscament a l'interior del formigó treballant de forma no òptima.

Un altre avantatge important que té l'acer corrugat envers els altres tipus de reforç és la seva semblança en les propietats tèrmiques respecte del formigó i això implica que no es produeixen tensions elevades a la interfície entre els dos materials.

Ara bé, el formigó armat té un problema molt habitual a causa de l'acer que és la seva oxidació. Aquesta és causada per la formació d'òxid de ferro a la capa superficial i que s'acaba endinsant més enllà d'aquesta. Aquest fenomen es pot observar quan es formen fissures o esquerdes longitudinals que molt temps després acaba amb un desprendiment de part de la superfície disminuint el diàmetre original de la barra. Per aquest motiu, la barra perd capacitat de càrrega i adherència. Aquest fenomen no s'ha de confondre amb la corrosió, que és una etapa molt avançada de l'oxidació i involucra la formació d'esquerdes en l'acer.

Per evitar la corrosió apareix l'ús dels materials compostos (FRP) evitant el deteriorament de les propietats mecàniques del conjunt amb el formigó causat per aquest fenomen.

En el cas d'aquest treball els esforços principals que ha d'aguantar el formigó armat és l'esforç tallant. És molt necessari que el pugui suportar per poder aconseguir estudiar de forma precisa el comportament d'adherència de l'FRP i el formigó, sinó es trencaria abans que es desenganxés.

2.3 FRP

2.3.1 Tipus de fibra

Els materials compostos de matriu polimètrica (Fiber Reinforced Polymer, FRP) són un material compòsit format per una matriu polimètrica reforçada per fibres sintètiques o orgàniques. Les fibres acostumen a ser de carboni, vidre, aramida o basalt.

Els materials amb la matriu polimètrica de fibres de carboni (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP) tenen una gran resistència a la tracció i un mòdul elàstic molt elevat sent aquest similar al de l'acer en algun cas. Pel que fa a la seva densitat és molt baixa i poden arribar a suportar temperatures fins a 3000°C. En comparar-lo amb l'acer, el CFRP és molt més lleuger i fort sent ideal per aplicacions d'equips aeroespacials, automobilístics, mèdics i esportius. Un dels inconvenients és el seu elevat preu respecte d'altres alternatives.

Els materials amb la matriu polimètrica de fibres de vidre (Glass Fiber Reinforced Polymer, GFRP) són àmpliament utilitzats en la indústria de la construcció a causa del seu cost assequible. Ara bé, la seva rigidesa és baixa i és molt susceptible a ambients calents, humits i alcalins. A més, poden patir un trencament sobtat quan es troben sotmesos a càrregues superiors a una determinada fracció a la resistència instantània.

Els materials amb la matriu polimètrica de fibres d'armadía (Aramid Fiber Reinforced Polymer, AFRP) presenta una resistència a l'impacte millorada en comparació amb altres materials compostos. També es caracteritza per tenir una baixa densitat i una elevada resistència i mòdul de Young. Un problema que tenen les fibres d'armadía és l'absorció d'humitat. Principalment l'AFRP s'utilitza en el sector aeroespacial i aeronàutic. Com el CFRP, l'AFRP té un cost molt elevat i consegüentment no és un dels materials més utilitzats.

Finalment, els materials amb la matriu polimètrica de fibres de basalt (Basalt Fiber Reinforced Polymer, BFRP) són molt respectuosos amb el medi ambient. Les seves propietats són molt similars a les del GRP però amb un cost més baix. Tenen una forta resistència als ambients químics i d'alta temperatura. El BFRP és un material relativament nou i el seu comportament encara ha de ser investigat a fons.

En tots els materials compostos es poden diferenciar els dos components: els elements de reforç i la matriu. Els elements de reforç consisteixen en fibres fortes incrustades en una matriu de resina. La fibra dóna la rigidesa i la resistència al material compost. En canvi, la funció de les matrius és protegir les fibres per tal d'assegurar que es mantinguin alineades i permetin una bona distribució de càrregues entre aquestes. Les resines més utilitzades són epòxids, polièsters, èsters de vinil i fenòlics.

En la Figura 5 queden reunides la forma de les barres de CFRP, GFRP, AFRP i BFRP.

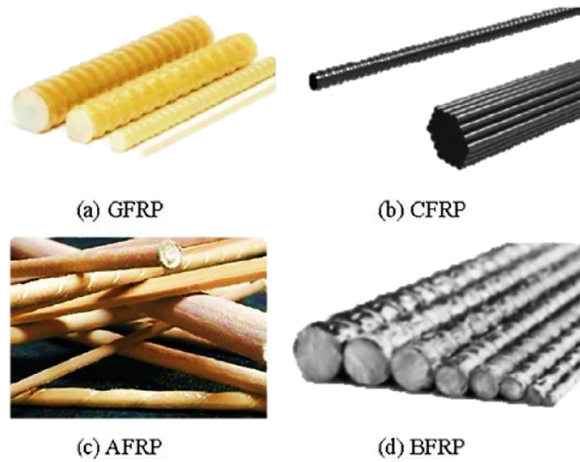


Figura 5: Barres de 4 tipus de fibra [5]

En la Taula 1 queden reunides totes les propietats mecàniques de dels tres primers tipus de fibres i de l'acer.

Taula 1: Comparació de les propietats mecàniques dels FRP i de l'acer. [6]

| Característiques | GFRP | CFRP | AFRP | Acer |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|
| Densitat (kg/m ³) | 1,25÷2,10 | 1,50÷1,60 | 1,25÷1,40 | 7,90 |
| Ceof. dilatació long. (x10 ⁻⁶ /°C) α | 6÷10 | -9÷0 | -6÷-2 | 11,7 |
| Ceof. dilatació transv. (x10 ⁻⁶ /°C) α | 21÷23 | 74÷104 | 60÷80 | 11,7 |
| Límit elàstic (MPa) | - | - | - | 400÷500 |
| Resistència a tracció (MPa) | 480÷1600 | 600÷3690 | 1720÷2540 | 550 |
| Mòdul elàstic (GPa) | 35÷60 | 120÷580 | 41÷125 | 200 |
| Allargament límit elàstic (%) | - | - | - | 0,2÷0,25 |
| Allargament en ruptura (%) | 1,2÷3,1 | 0,5÷1,7 | 1,9÷4,4 | 15÷20 |

En la Figura 6 s'observen la variació de la resistència en funció de diversos tipus de fibra i de l'acer. En aquesta figura es pot veure que els FRP no presenten zona plàstica, sinó que el seu comportament és completament elàstic.

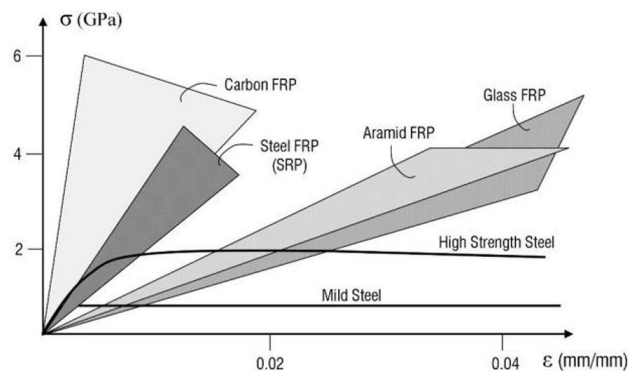


Figura 6: Comparació de les resistències de diverses fibres [7]

Per fer l'estudi d'aquest treball s'ha escollit el CFRP, ja que és el que té les millor propietats mecàniques.

2.4 Unió FRP-Formigó

2.4.1 Tipus de tècnica d'unió

A part de la classificació pel tipus de fibra, els FRP també es poden classificar segons la tècnica d'unió amb el formigó: Reforç inserit en el recobriment (Near-Surface Mounted, NSM) i reforç d'unió externa (Externally Bonded Reinforcement, EBR).

L'EBR, en general, s'utilitza per augmentar la resistència a tensions tallants i a flexió i per controlar el procés de fissuració del formigó. Malgrat els avantatges d'aquesta tècnica, la unió entre el FRP i la superfície pot ser susceptible a la degradació, especialment a causa de condicions ambientals com el foc, altes temperatures, radiació ultraviolada, humitat i fins i tot actes vandàlics.

La tècnica NSM es va proposar com una alternativa a l'EBR per tal de solucionar els desavantatges d'aquest últim. L'NSM respecte l'EBR té una millor eficiència, ja que té una millor distribució de la tensió, obtenint com a resultat una major utilització de la tensió disponible i la seva major resistència. A més, els reforços es poden ancorar més fàcilment als membres adjacents i aquests estan protegits per la cobertura de formigó i, en conseqüència, menys exposats a danys mecànics i a càrrega d'impacte. També estan menys exposats al foc i al vandalisme i l'estètica de l'estructura queda pràcticament inalterada. Tot i això, la susceptibilitat a la temperatura és lleugerament alta, però es pot reduir considerablement canviant el tipus de farciment de la ranura.

De tècniques d'NSM n'hi ha de dos tipus segons la forma de la barra: barres circulars o tires, tal com mostra la Figura 7 juntament amb la tècnica EBR.

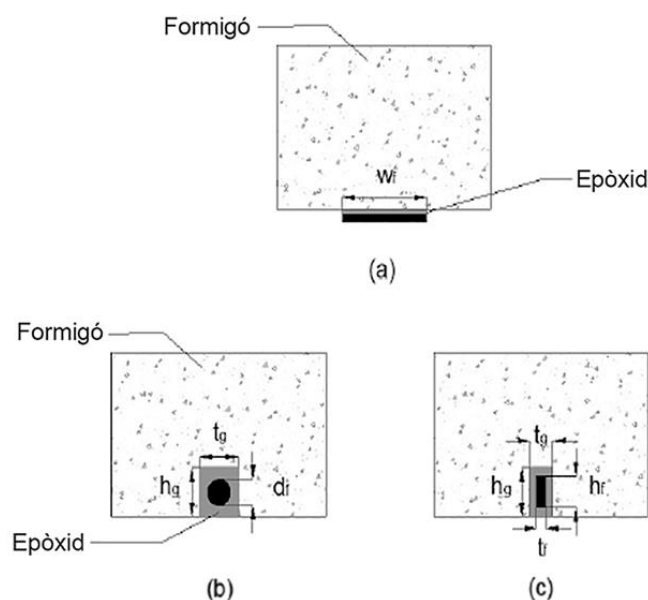


Figura 7: Tècniques d'enfortiment amb FRP (a) làmina d'EBR (b) barra de NSM (c) Tira NSM [7]

Davant de tota aquesta sèrie d'avantatges que té la tècnica NSM envers l'EBR es decideix utilitzar la primera per a tot el treball, per així continuar contribuint en el desenvolupament d'aquesta.

2.4.2 Modes de falla

La vida útil que ha de tenir la unió de l'FRP amb el formigó és de 50 anys [8], ara bé a causa dels modes de falla pot ser que no hi arribi. Aquests modes són:

- Ruptura o desenganxament de l'adhesiu generalment associat a una capa adhesiva massa gran. La ruptura s'espera en la capa adhesiva que rodeja la barra.
- Ruptura del formigó, que sol ocórrer quan la resistència del formigó circumdant és inferior a la de l'adhesiu.
- Ruptura per tracció de l'FRP, on la capacitat de la unió de l'adhesiu és alta en relació amb la resistència del perfil FRP.
- Separació del recobriment del formigó, a causa de la ruptura del formigó a l'alçada de les barres de reforç.

Tots aquests modes de falla queden recollits en la Figura 8.

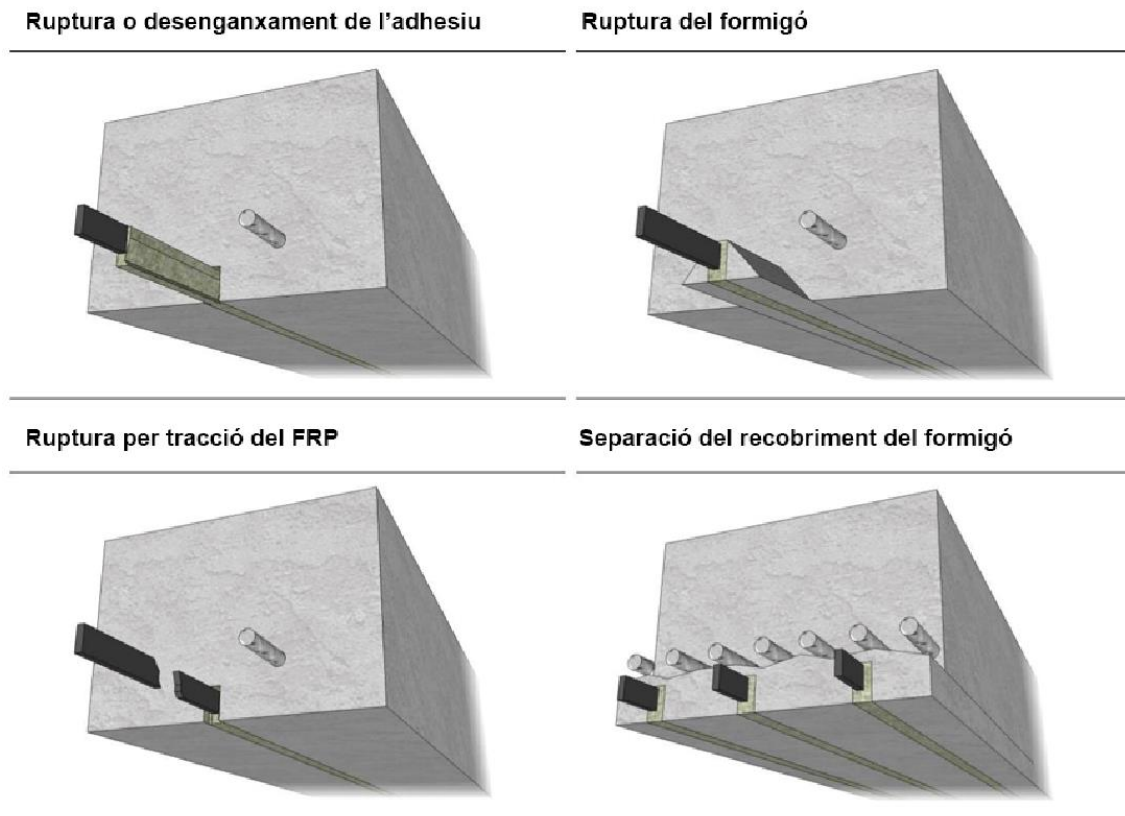


Figura 8: Modes de falla en la unió NSM-FRP amb el formigó [9]

3 MODELITZACIÓ I METODOLOGIA DEL COMPORTAMENT DE LA UNIÓ FORMIGÓ-FRP

3.1 Introducció

Per tal de poder trobar quin és el comportament de la unió del formigó amb l'FRP segons certs paràmetres com el temps o la càrrega, primer cal definir com es modelitza aquest comportament i quina metodologia s'utilitza per resoldre el sistema d'equacions. La modelització està extreta de [[10],[11]] i la metodologia de resolució està extreta de [[12]-[13]]. Els mètodes numèrics van ser desenvolupats mitjançant el programari Matlab que és un entorn de computació numèrica i un llenguatge de programació que permet manipular amb facilitat matrius, dibuixar funcions i dades i implementar algoritmes.

3.2 Modelització del comportament adherent instantani de la unió formigó-FRP

3.2.1 Introducció

El comportament adherent de la unió formigó-FRP es determina a través d'un assaig d'adherència tipus pull-out. L'assaig consisteix en l'aplicació d'una càrrega creixent en el temps en l'FRP adherit en el formigó i que, per tal de fer el creixement uniforme, se li aplica un desplaçament constant en el temps. La intenció de l'assaig és trobar la màxima càrrega que permet aguantar la unió FRP-formigó. Generalment s'assaja en blocs de formigó armat en forma de prisma i de mida reduïda on s'hi adhereix la làmina o la barra d'FRP.

Aquest tipus de comportament adherent s'ha estudiat amb detall en moltes ocasions [[14-18], però és de vital importància explicar-lo, ja que és a partir d'aquest amb el que després es poden construir altres tipus d'assajos com el de llarga durada o el de fatiga. Aquests assajos són molt més interessants si es fa referència a la pràctica real de l'FRP, que molt poques vegades serà utilitzat en situacions de càrrega instantània. En la Figura 9 es pot veure el muntatge d'un assaig experimental.

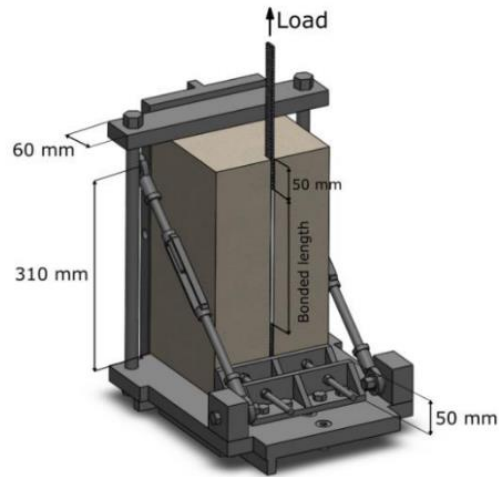


Figura 9: Representació de l'assaig instantani experimental per estudiar el comportament adherent [12]

3.2.2 Equació de govern del comportament de la unió i resposta local

L'equació de govern s'obté des de l'equilibri, la compatibilitat i les lleis constitutives del materials en un diferencial de l'element. Primer de tot, s'assumeix que el formigó i l'FRP estan només subjectes a tensions axials, mentre que la capa d'adhesiu de gruix constant pateix tensions tallants, tal com es mostra en la Figura 10.

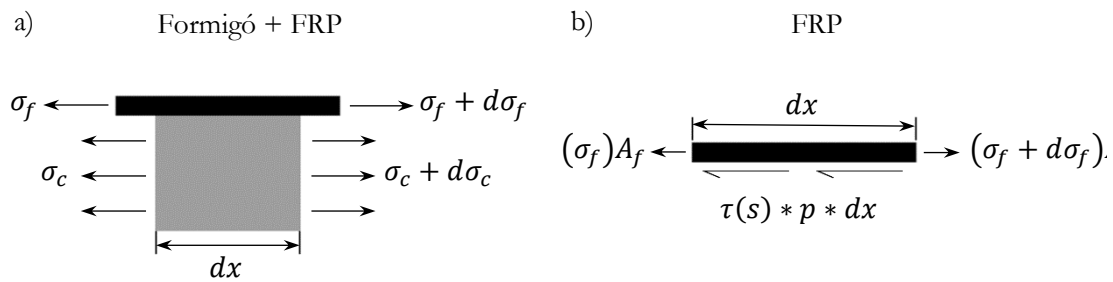


Figura 10: Tensions en el diferencial del conjunt del formigó i FRP i de només el FRP

L'Equació (1) mostra l'equilibri de forces del conjunt del formigó i FRP (Figura 10a):

$$A_f d\sigma_f + A_c d\sigma_c = 0 \quad (1)$$

On A_f i $d\sigma_f$ són l'àrea de la secció transversal i el diferencial de la tensió axial de l'FRP, respectivament. I A_c i $d\sigma_c$ són l'àrea de la secció transversal i el diferencial de la tensió axial del formigó, respectivament. Les àrees de l'FRP i del formigó depenen de les dimensions de cadascun.

L'Equació (2) mostra l'equilibri de forces de l'FRP (Figura 10b):

$$A_f d\sigma_f = \tau(s) p dx \quad (2)$$

On $\tau(s)$ és la tensió tallant en funció del lliscament, p és el perímetre intermedi de la capa adhesiva, que depèn de les mides de l'FRP i les dimensions de la regata, i dx és el diferencial de longitud.

Combinant aquestes dues equacions anteriors s'obtenen dues equacions equivalents, que queden representades a l'Equació (3):

$$\frac{\partial \sigma_c}{\partial x} + \frac{\tau(s)p}{A_c} = 0 \quad \text{o} \quad \frac{\partial \sigma_f}{\partial x} - \frac{\tau(s)p}{A_f} = 0 \quad (3)$$

Tot seguit, a l'Equació (4), es relaciona el lliscament entre el formigó i l'FRP a partir dels desplaçaments dels dos materials. Derivant aquesta expressió, es pot determinar la relació entre el lliscament i les deformacions unitàries dels materials:

$$s = u_f - u_c \rightarrow \frac{ds}{dx} = \varepsilon_f - \varepsilon_c \quad (4)$$

On s és el desplaçament relatiu entre el formigó i el FRP, també s'expressa com a lliscament; u_f i u_c són els desplaçaments de l'FRP i del formigó, respectivament, i ε_f i ε_c són les deformacions unitàries de l'FRP i del formigó, respectivament.

Sabent que ambdós materials es troben en el seu règim elàstic (Equació (5)), i combinant-la amb l'Equació (3) s'obté l'Equació (6) que és l'equació de govern, suposant que $\varepsilon_c \ll \varepsilon_f$:

$$\begin{aligned} \sigma_f &= E_f \varepsilon_f \rightarrow \frac{ds}{dx} = \frac{\sigma_f}{E_f} - \frac{\sigma_c}{E_c} \\ \sigma_c &= E_c \varepsilon_c \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} - \frac{\tau(s) * p}{E_f * A_c} = 0 \quad (6)$$

Sent E_f i E_c els mòduls de Young del FRP i del formigó, respectivament.

L'equació de govern és una equació diferencial de segon ordre que expressa el comportament adherent de la unió de l'FRP amb el formigó i pot ser resolta si la llei local adherència-lliscament representada com a $\tau(s)$ és definida.

3.2.3 Llei local d'adherència-lliscament

Al llarg dels anys s'han dut a terme diversos estudis de models de la llei d'adherència-lliscament [[17-21] desenvolupant-ne de tot tipus, dels quals es destaquen: bilineal, lineal descendent, una llei de dues etapes amb una branca ascendent no lineal, bilineal amb fricció o la llei de Borchet.

En aquest cas s’ha utilitzat la llei bilineal, ja que s’ha demostrat [[22],[23] que s’obté una molt bona aproximació a la realitat. La llei consisteix en una branca ascendent i una altra descendent, les dues de forma lineal on la tensió tallant depèn del lliscament., tal com es mostra en la Figura 11.

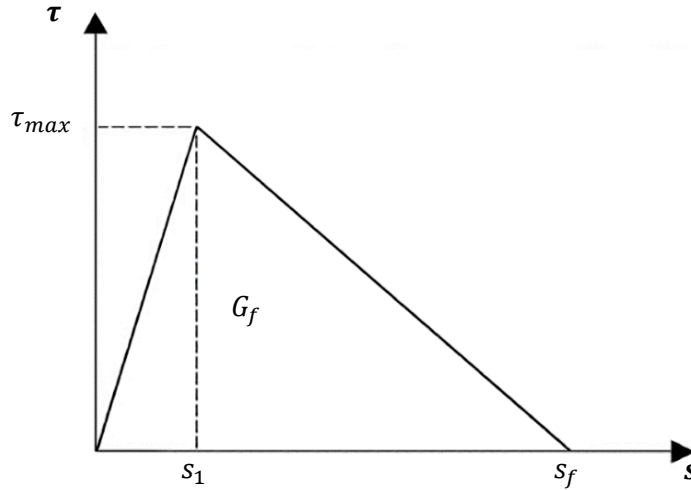


Figura 11: Llei local bilineal d'adherència-lliscament

La branca ascendent acaba quan s’arriba al pic de la tensió tallant τ_{max} i on el lliscament en aquest punt és anomenat s_1 . Tot seguit, a causa de la micro-fissuració, la tensió es comença a reduir a mesura que va avançant el lliscament intern, fins que arriba a un punt on la tensió pren un valor de zero i el lliscament pren un valor de s_f . Aquesta absència de tensió significa que la tensió residual de fricció és ignorada, això només passa quan, en cas d’elements adherits mitjançant la tècnica NSM, la regata no és de dimensions elevades, en cas contrari cal tenir-la en compte i és representada per τ_f . Cal afegir que l’àrea que queda per sota la corba de qualsevol llei d’adherència-lliscament consisteix en l’energia de interfacial de fractura expressada per G_f , que és l’encarregada d’aguantar la unió i com més petita sigui més proper es troba el trencament. La llei local es pot veure representada per l’Equació (7):

$$\tau(s) = \begin{cases} \tau_{max} * \frac{s}{s_1}, & s < s_1 \\ \tau_{max} * \frac{(s_f - s_1)}{s_1}, & s > s_1 \text{ i } s \leq s_f \\ 0, & s \geq s_f \end{cases} \quad (7)$$

La primera equació correspon a la branca ascendent i la segona a la descendent.

3.2.4 Resposta global càrrega-lliscament

Amb la llei d’adherència-lliscament local i l’equació de govern prèviament definides ja es pot resoldre i trobar la resposta del comportament adherent global. Aquesta correspon a la distribució de tensió tallant a la interfície, considerada com a única interfície formigó-FRP, i la resposta càrrega-

desplaçament a la unió. En la Figura 12 es pot veure la solució esquemàtica per cada etapa amb unes il·lustracions que representen la distribució de tensió tallant de la interfície i la Figura 13 representa també de forma esquemàtica la solució càrrega-desplaçament

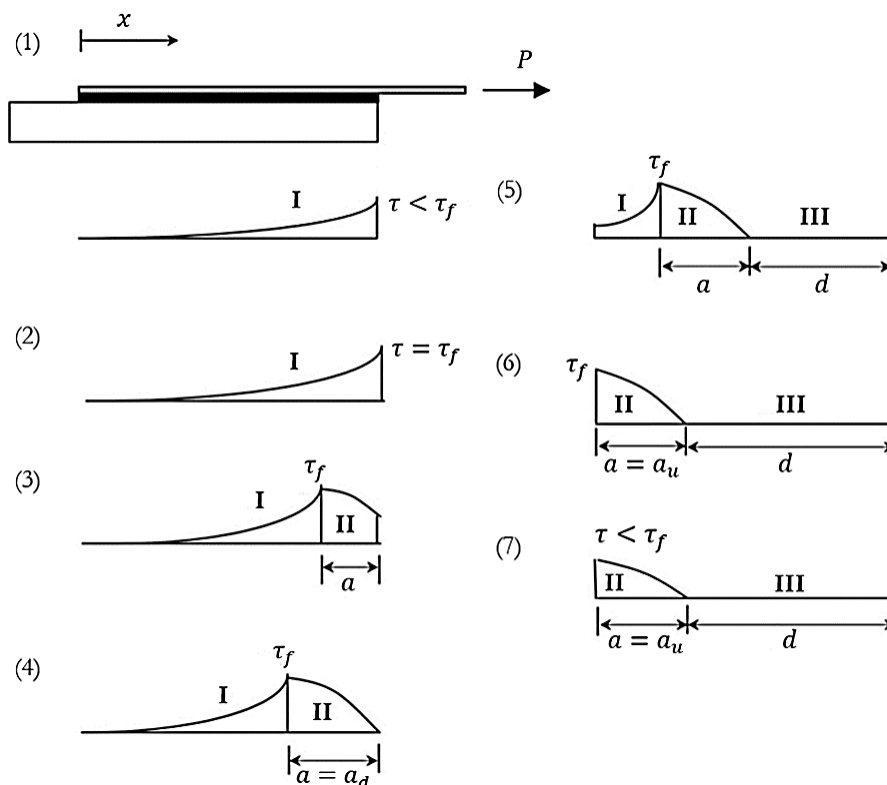


Figura 12: Distribució de la tensió tallant i de la propagació del desenganxament de a la superfície per una longitud llarga adherida [10]

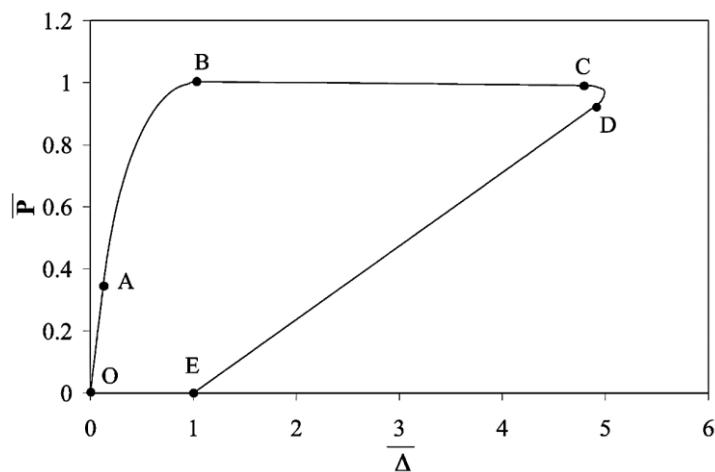


Figura 13: Corba teòrica de la càrrega-desplaçament per un assaig instantani [10]

El desplaçament consisteix en el lliscament entre l'FRP i el formigó a l'extrem més carregat i es representa en la Figura 13 amb el símbol $\bar{\Delta}$. L'estudi de l'evolució de la càrrega també es pot estudiar en funció del lliscament.

Les etapes de la distribució de la tensió tallant representades en la Figura 12 són: (1) Estat de la deformació elàstica; (2) Inici de la deformació plàstica a $x = L$ (punt A a la Figura 13, (3)

Propagació de la zona de deformació plàstica, (4) Inici del desenganxament a $x = L$ (punt B a la Figura 13, (5) Propagació de la zona de desenganxament, (6) Pic de la tensió tallant a $x = L$, (7) Descàrrega lineal.

3.3 Resolució per diferències finites del comportament adherent instantani

A fi de poder resoldre l'equació diferencial de govern es poden utilitzar dues maneres principals: de forma analítica, en casos molt concrets de la llei d'adherència-lliscament com per exemple [10], o de forma numèrica, que serà el mètode que escau en aquest treball.

El mètode numèric estudiat en aquest treball està extret de [12] i consisteix en un mètode de diferències finites i que té l'avantatge que es pot resoldre per qualsevol llei local d'adherència-lliscament. Amb aquesta metodologia la longitud adherida de la unió formigó-FRP (L_b) és discretitzada en n segments uniformes de longitud Δx , calculada a l'Equació (8).

$$\Delta x = \frac{L_b}{n} \quad (8)$$

Els increments estan delimitats per $n + 1$ punts, on cada posició està definida per $x_i = i \cdot \Delta x$ sent $i = 0, 1, 2, \dots, n$ (Figura 14). La metodologia comença per l'extrem carregat i s'avança cap a l'extrem lliure, calculant per a cada punt estudiat, el lliscament i la càrrega transmesa entre les dues seccions adjacents. A la primera iteració j el valor inicial de la càrrega i del lliscament pren un valor de 0. Per a un cert valor de lliscament a l'extrem carregat, es duu a terme un procés iteratiu en el qual $P(j, 1)$ és un valor de major càrrega a l'extrem carregat respecte a la iteració anterior $j - 1$. La variable $P(j, i)$ s'utilitza per calcular la deformació corresponent en l'FRP ε_f (Equació (10)), la deformació en el formigó ε_c (Equació (11)) i el lliscament s (Equació (12)). Aquesta càrrega en cada punt i per a una iteració j , $P(j, i)$ es calcula utilitzant l'Equació (9) al llarg de l'FRP.

$$P(j, i) = P(j, i - 1) - \tau(j, i - 1) * L_{per} * \Delta x \quad (9)$$

$$\varepsilon_f = \frac{P}{A_f * E_f} \quad (10)$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_f * E_f}{E_c} \quad (11)$$

$$s(j, i) = s(j, i - 1) - (\varepsilon_f - \varepsilon_c) * \Delta x \quad (12)$$

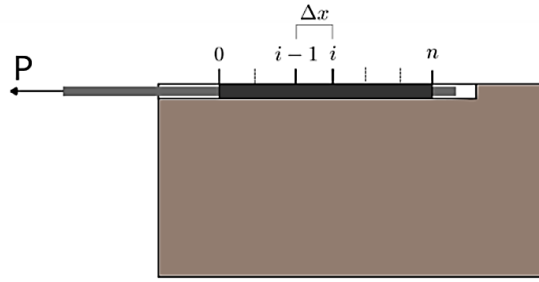


Figura 14: Esquema de la discretització al llarg de l'FRP [12]

Per obtenir els valors de la tensió tallant, s'utilitza la llei local d'adherència-lliscament, ja que per cada lliscament li correspon una tensió tallant com ja s'ha contemplat en la Figura 11.

Els increments de la càrrega a l'extrem carregat s'apliquen fins que s'aconsegueix la convergència, que ocorre quan la deformació de l'FRP a l'extrem lliure és menor que una tolerància prescrita, establerta com un valor molt proper a zero. Una vegada s'aconsegueix la convergència, la càrrega corresponent es registra i el procés es repeteix per un nou valor de lliscament a l'extrem carregat, definit com $s(j + 1, i)$. En aquest punt, es repeteix de nou el procediment iteratiu. El procediment acaba quan es calculen tots els punts de la corba de càrrega-lliscament global. Per saber-ho es mira quan el següent valor de la càrrega és molt inferior a l'anterior, això voldrà dir que hi ha hagut el trencament de la unió.

Tot aquest procediment queda representat en la Figura 15 en forma de diagrama de flux, passant per cada pas esmentat anteriorment.

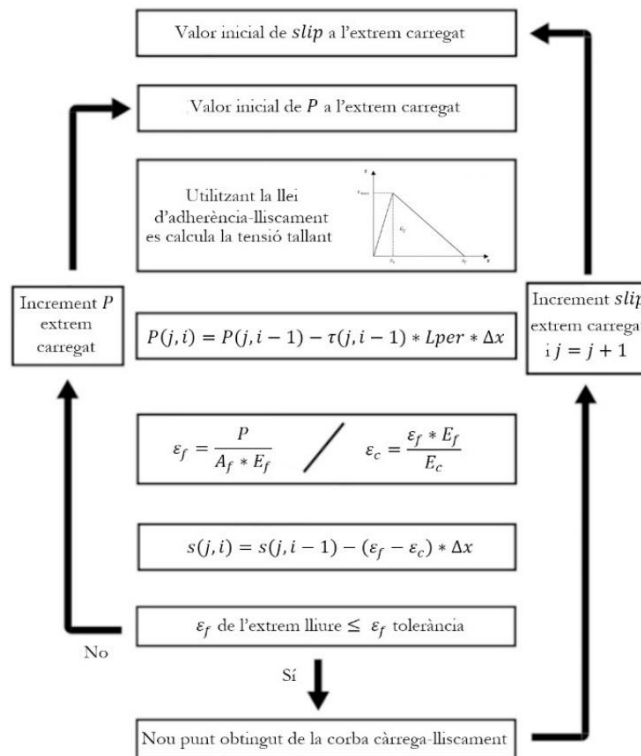


Figura 15: Diagrama de flux del mètode numèric d'assaig instantani [12]

3.4 Modelització del comportament adherent a llarg termini de la unió formigó-FRP

3.4.1 Assaig de llarg termini

El comportament de la unió formigó-FRP a llarg termini es pot observar experimentalment a través d'un assaig que consisteix en l'aplicació d'una càrrega constant en el temps en l'FRP adherit en el formigó. Per obtenir el valor d'aquesta s'aplica un tant per cent de càrrega respecte la càrrega màxima que suporta la unió en les mateixes condicions en l'assaig instantani. En tot moment la temperatura i humitat també es mantenen constants. La intenció de l'assaig és trobar les característiques del comportament de la unió FRP-formigó. S'espera un increment del lliscament de l'FRP a llarg del temps, a causa de la fluència de la unió, que és deguda principalment a la fluència de l'adhesiu.

Aquest comportament ha estat molt menys estudiat que el comportament instantani, tot i això hi ha diversos estudis ja fets [[24]-[27]]. En la Figura 16 es pot observar un assaig experimental de llarg termini.



Figura 16: Muntatge de l'assaig a llarg termini experimental [13]

3.4.2 Modificacions en la modelització per a l'assaig de llarg termini

A la modelització de l'assaig de llarg termini s'utilitza com a llavor la modelització feta per l'assaig instantani, canviant d'aquesta certes equacions per poder representar la realitat física. Els principals canvis a tenir en compte són els paràmetres que poden dependre del temps. Tots aquests canvis ja han estat estudiats a [13]. A continuació s'explica la degradació de la llei local d'adherència-lliscament i el canvi en la resposta global. L'equació de govern no es torna a explicar en aquest apartat, ja que es manté igual que en l'assaig instantani.

3.4.2.1 Llei local d'adherència -lliscament

El primer canvi a tenir en compte és la simulació de la degradació de la llei de adherència-lliscament amb el temps. En aquest treball es suposa la degradació proposada per [13] en la qual s'aplica una reducció al pendent de la branca ascendent de la llei i una altra reducció a la tensió tallant màxima.

La primera reducció, representada en la Figura 17, consisteix en l'aplicació d'un coeficient de fluència $\phi(t)$, que redueix la rigidesa efectiva dependent del temps $K_e(t)$ i el lliscament màxim s_{max} . Per evitar un augment irreal de l'energia de fractura, la branca ascendent de la nova llei local adherència-lliscament disminueix respecte la inicial mitjançant l'Equació (13). En tot moment el temps (t) s'expressa en hores.

$$K_e(t) = \frac{K_{e,0}}{(1 + \phi(t))} \quad (13)$$

Com es pot veure els nous pendents depenen també de la rigidesa inicial, que s'extreu de la modelització de l'assaig instantani, prèviament explicat. L'altre terme del qual depèn és el coeficient de fluència que s'expressa segons l'Equació (14).

$$\phi(t) = 0,046 \cdot t^{0,39} \quad (14)$$

Aquesta equació està modelada a través d'assajos de la resina a càrrega sostinguda i vàlida per percentatges de càrrega menors al 30% [13].

La tensió tallant màxima d'aquesta reducció es defineix mitjançant la intersecció del nou pendent de la branca ascendent amb el pendent de la branca descendent de la llei original ($K_{s,0}$). Aquesta tensió màxima s'expressa segons l'Equació (15).

$$\tau_{max,1}(t) = K_e(t) \cdot s_{1,1} \quad (15)$$

Sent $s_{1,1}$ el lliscament de la nova tensió tallant màxima i queda definida a l'Equació (16).

$$s_{1,1} = \frac{-K_{s,0} \cdot s_f}{(K_e(t) - K_{s,0})} \quad (16)$$

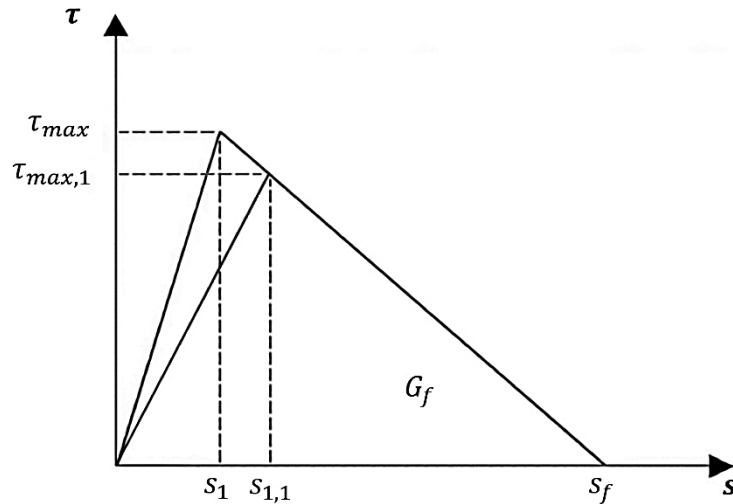


Figura 17: Llei local bilineal d'adherència-lliscament amb la reducció del pendent ascendent

La segona reducció, representada en la Figura 19, es basa en la reducció del tallant màxim $\tau_{max}(t)$ amb un coeficient que també depèn del temps $a(t)$ tal com es pot veure a l'Equació (17).

$$\tau_{max,2}(t) = \tau_{max,0} \cdot a(t) \tag{17}$$

On $\tau_{max,0}$ consisteix en la tensió tallant màxima extreta de l'assaig instantani i el coeficient $a(t)$ està expressat a l'Equació (18).

$$a(t) = \frac{1}{1 + f(t)} \tag{18}$$

Sent $f(t)$ el coeficient de reducció de la rigidesa. Aquest coeficient s'obté dels resultats experimentals per càrregues per sota d'un 30% de la càrrega màxima de l'assaig instantani i la forma de les corbes d'aquest coeficient es descriu segons l'Equació (19).

$$f(t) = \alpha \cdot t^\beta \tag{19}$$

Sent α un factor escalar i β un paràmetre que controla la taxa de creixement de la funció. El calibratge d'aquests dos paràmetres s'ha realitzat mitjançant el mètode dels mínims quadrats i per validar resultats es van comparar amb els valors experimentals [13]. Atès que els valors que es van obtenir per β oscil·len entre 0,35 i 0,5, per simplificar s'ha adoptat un valor mitjà de 0,45.

Un cop fixat el valor de β s'obtenen els valors de α que es defineixen mitjançant la regressió lineal dels valors obtinguts en resultats experimentals tal com es pot veure en la Figura 18.

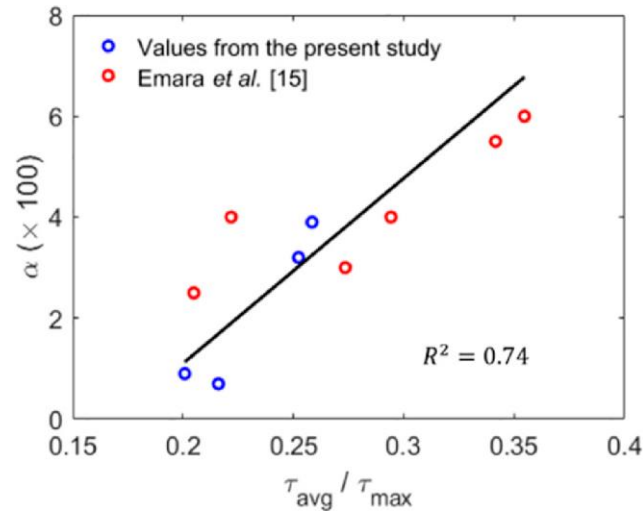


Figura 18: Relació entre $\alpha - \tau_{avg}/\tau_{max}$ [13]

L'equació resultant de la regressió lineal s'expressa segons l'Equació (20).

$$\alpha = \frac{\frac{\tau_{avg}}{\tau_{max}} - 0,18}{2,21} \quad (20)$$

La tensió tallant mitjana τ_{avg} està definida a l'Equació (21).

$$\tau_{avg} = \frac{P}{L_b \cdot L_{per}} \quad (21)$$

Sent P la càrrega aplicada, que correspon al resultat d'aplicar un tant per cent a la càrrega màxima en assaig instantani, L_b la longitud adherida i L_{per} el perímetre intermedi de la capa adhesiva, que depèn de les mides de l'FRP i les dimensions de la regata.

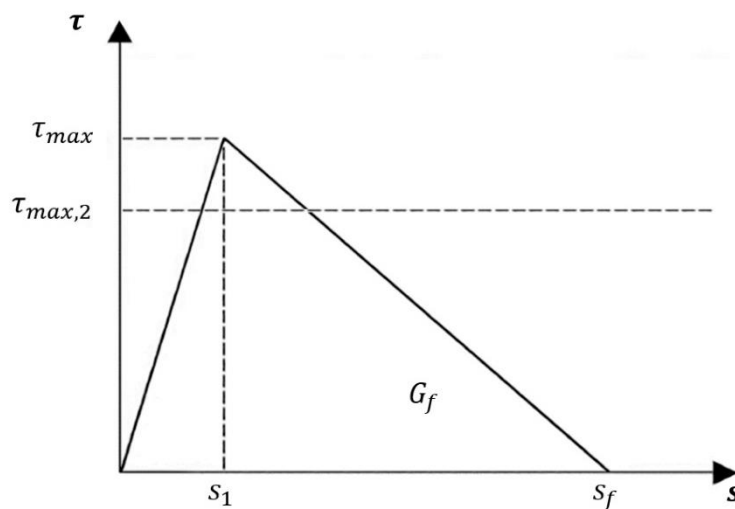


Figura 19: Llei local bilineal d'adherència-liscament amb la reducció de la tensió tallant màxima

Finalment, la tensió tallant màxima de la nova llei d'adherència-lliscament serà la combinació d'aquestes dues modificacions. En cas que $\tau_{max,1} < \tau_{max,2}$ significa que la reducció de la tensió tallant màxima no té cap efecte envers la nova llei i que només es tindran en compte els valors de tensió i lliscament obtinguts en la primera modificació (Figura 17). En cas contrari es combinen les dues modificacions obtenint un gràfic similar al de la Figura 20, on es pot observar una branca ascendent que correspon al comportament elàstic, una branca constant on la tensió dels lliscaments prenen el valor del tallant màxim i una branca descendent que correspon al comportament plàstic. Els valors del lliscament de l'inici s_2 i del final s_3 de la branca constant de la nova llei s'obtenen a través de l'Equació (22) i de l'Equació (23).

$$s_2 = \frac{\tau_{max,2}(t)}{K_e(t)} \tag{22}$$

$$s_3 = s_1 + \frac{\tau_{max,2}(t) - \tau_{max}}{K_s} \tag{23}$$

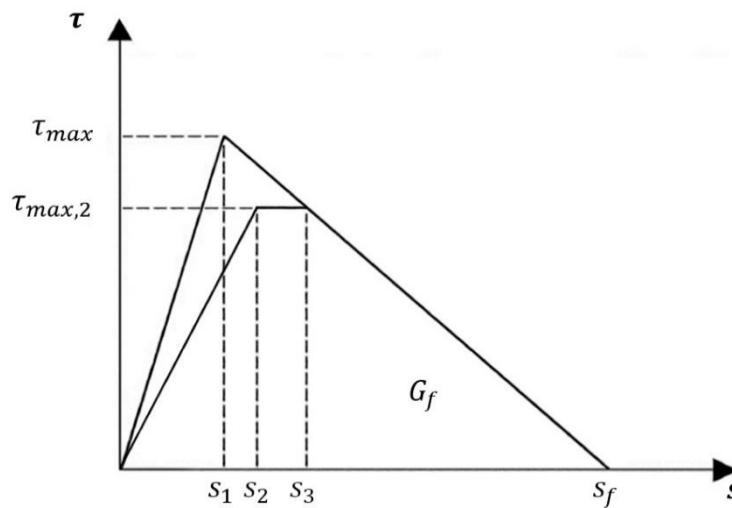


Figura 20: Llei local bilineal d'adherència-lliscament resultant de la combinació de les dues modificacions

Tal com s'ha comentat prèviament, aquesta llei lineal d'adherència-lliscament local només és vàlida per càrregues sostingudes inferiors a un 30% de la càrrega màxima que suporta en assaig instantani amb les mateixes característiques. Això ho explica l'assaig experimental de [13] on estudia el comportament de l'adhesiu utilitzat pels assajos experimentals i demostra que per aquells percentatges de càrrega que la compliància $J_c(t)$, paràmetre que determina el comportament viscoelàstic del material (Equació (24)), es manté constant, el comportament de la llei d'adherència-lliscament és lineal. En canvi, per aquells percentatges superiors on la compliància és també superior, el comportament passa a ser no-lineal, tal com es pot observar a la Figura 21. En cas de canviar de resina, caldria estudiar el seu comportament viscoelàstic i caracteritzar-la i, per tant, canviar l'Equació (14) i l'Equació (20).

$$J_c(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_o} \quad (24)$$

Sent $\varepsilon(t)$ la deformació unitària i σ_o la tensió aplicada.

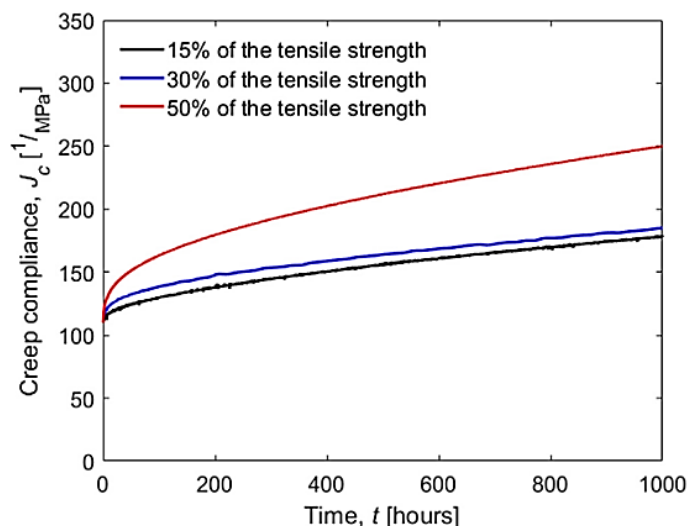


Figura 21: Corbes experimentals de la compliància de l'adhesiu a 15%, 30% i 50% de la càrrega màxima [13]

3.4.2.2 Resposta global

La resposta global a l'assaig instantani consistia a estudiar l'evolució de la càrrega en funció del lliscament (o desplaçament) per així trobar quina és la càrrega màxima que pot arribar a suportar la unió FRP-formigó. Ara bé, en el cas de l'assaig de llarg termini aquest estudi de la resposta global no té sentit, ja que la càrrega es manté constant al llarg del temps. Per estudiar aquesta resposta es miren paràmetres que depenguin del temps com són el lliscament, la tensió tallant o la deformació unitària en el laminat d'FRP.

3.5 Mètode numèric d'assaig de llarg termini

El mètode numèric estudiat per resoldre l'equació de govern i les noves equacions de la llei local d'adherència-lliscament va ser desenvolupat a [13]. Es basa en un mètode numèric de diferències finites i parteix de la rutina desenvolupada per l'assaig instantani.

La metodologia divideix la longitud adherida de la unió FRP-formigó en petits increments de la longitud Δx , de manera que es defineix la posició, x , de tots els punts en els quals s'avaluaran les equacions d'equilibri. Començant des de l'extrem carregat i avançant cap a l'extrem lliure, el procediment calcula, per a cada punt estudiat i per a un cert nivell de càrrega, el lliscament i la càrrega transmesa per Δx tenint en compte la degradació de la llei d'adherència-lliscament en funció del temps. Aquesta rutina és pràcticament igual a la de l'assaig instantani amb una única diferència. En

lloc d'incrementar la càrrega a l'extrem carregat quan encara no es compleix la condició de la tolerància, s'incrementa el lliscament a l'extrem carregat, ja que la càrrega sempre és constant.

L'altra diferència crucial és que aquesta rutina esmentada és en realitat una subrutina que es troba dins d'una major. Aquesta major consisteix en recórrer cada instant de temps de l'assaig, on es calcula la degradació de la llei d'adherència-lliscament, i, posteriorment, amb la subrutina es troba el lliscament i la tensió tallant de l'extrem carregat també per cada instant de temps fixat.

Per calcular la càrrega aplicada, es duu a terme la rutina de l'assaig instantani al principi de tot abans de començar a calcular la resposta adherent a llarg termini. Aquesta serveix per trobar la càrrega màxima per les condicions inicials de l'assaig i aplicant-li el coeficient de percentatge de càrrega s'obté la càrrega aplicada.

Les equacions per trobar la càrrega P i el lliscament s per cada punt en l'assaig de llarg termini són les mateixes que en l'instantani, amb la diferència que en l'instantani la càrrega i lliscament inicial era 0 i en aquest cas és la càrrega aplicada i el lliscament d'aquesta. En canvi, hi ha una petita variació a l'hora de trobar la tensió tallant al llarg de la longitud, ja que dependrà de la nova llei d'adherència-lliscament. Un cop s'arriba al temps màxim de l'assaig la rutina s'acaba i s'obtenen els resultats pertinents. En la Figura 22 es pot visualitzar en forma de diagrama de flux com funciona la rutina esmentada. d_2

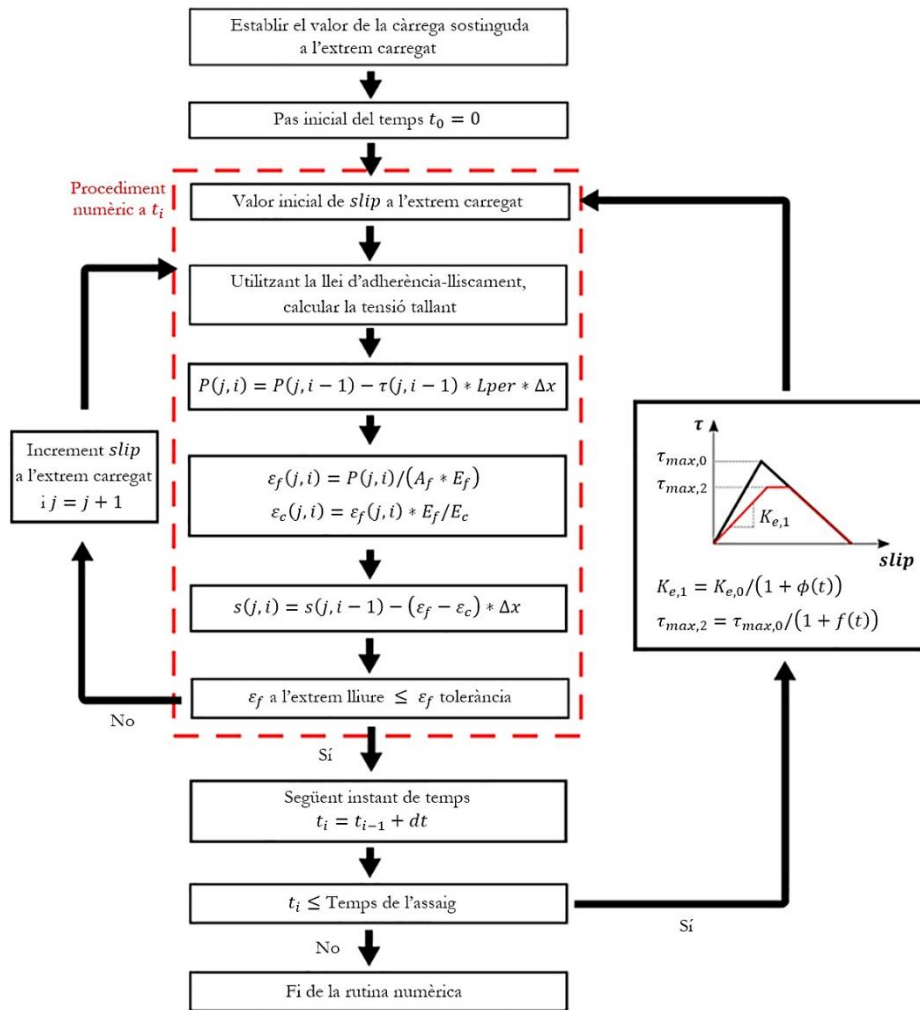


Figura 22: Diagrama de flux: del mètode numèric d'assaig de llarg termini [13]

4 ESTUDI PARAMÈTRIC DEL COMPORTAMENT A LLARG TERMINI DE LA UNIÓ FORMIGÓ-FRP

4.1 Introducció

Un estudi paramètric consisteix a estudiar la resposta segons els valors de certs paràmetres. Aquests paràmetres cal que siguin fàcilment modificables a la realitat. Així doncs, l'objectiu d'aquest apartat és dur a terme un estudi paramètric per entendre i treballar el comportament de la unió FRP-Formigó a llarg termini. Abans de tot caldrà fer un estudi de quines són les variables que intervenen a les equacions i, tot seguit, escollir aquelles que són realment rellevants per a l'estudi. Les principals variables-resposta objectes d'estudi són la degradació de la llei d'adherència-lliscament, el lliscament, la tensió tallant i la deformació unitària de l'FRP [13].

4.2 Paràmetres que influeixen en el comportament adherent de la unió

4.2.1 Paràmetres objecte d'estudi

Primer de tot, cal saber quins són tots els paràmetres que intervenen en la rutina de l'assaig a llarg termini i quines són les equacions on intervenen. Tot això queda reunit en la Taula 2.

Taula 2: Paràmetres que intervenen a les equacions de la rutina de l'assaig a llarg termini

| Paràmetres | Símbol | Equacions |
|---|--|---|
| Longitud adherida | L_b | Equació (8) i Equació (21) |
| Dimensions de la làmina o barra del FRP | d (diàmetre) o b_f (amplada) i t_f (gruix) | Equació (9), assaig instantani i llarg termini; Equació (10) i Equació (21) |
| Dimensions de la regata | t_g (gruix) i h_g (alçada) | Equació (9), assaig instantani i llarg termini, i Equació (21) |
| Percentatge de la càrrega màxima | per_{carr} | Equació (21) |
| Mòdul de Young del FRP | E_f | Equació (10) i Equació (11) |
| Mòdul de Young del formigó | E_c | Equació (11) |

Les dues variables escollides per dur a terme l'estudi paramètric són la longitud adherida i el percentatge de la càrrega màxima. La resta de variables fan canviar la llei local d'adherència-lliscament i, per tant, no són d'interès [13].

4.2.2 Valors inicials dels paràmetres que no es varien a l'estudi

Les condicions en què es duu a terme l'estudi han de ser definides per a què els resultats puguin ser contrastats si així és necessari. Aquestes condicions són totes les característiques del bloc de formigó i de l'FRP que queden reunides a la Taula 3.

Taula 3: Condicions inicials de l'estudi paramètric

| Paràmetres | Símbol | Valor |
|---|--------|------------|
| Amplada del FRP | b_f | 10 mm |
| Gruix del FRP | t_f | 3 mm |
| Amplada de la regata | h_g | 15 mm |
| Gruix de la regata | t_g | 7,5 mm |
| Amplada del bloc de formigó | b_c | 200 mm |
| Alçada secció transversal del bloc de formigó | t_c | 200 mm |
| Mòdul de Young del FRP | E_f | 170000 MPa |
| Mòdul de Young del formigó | E_c | 46859 MPa |

Aquestes dades, juntament amb la llei local d'adherència-lliscament utilitzada i les propietats de la resina emparada, s'han extret d'un estudi ja fet de forma numèrica i experimental [13]

4.3 Limitacions trobades i propostes de millora

La rutina utilitzada a [13] no va ser contemplada per estudiar casos més genèrics. Prèviament a la realització de l'estudi paramètric s'ha examinat la rutina per contemplar si a l'hora de generalitzar-la sorgien errors o limitacions del codi. Aquestes s'han solucionat a través d'unes propostes de millora, que com sempre caldrien ser contrastades amb resultats experimentals.

4.3.1 Limitacions

4.3.1.1 Degradació del tallant màxim

La primera limitació que s'ha trobat, succeeix pels estudis dels dos paràmetres: longitud adherida i percentatge de càrrega. Per valors petits del percentatge o per valors grans de la longitud s'obtenien valors del tallant màxim en la seva degradació majors que l'original, tal com es mostra en la Figura 23.

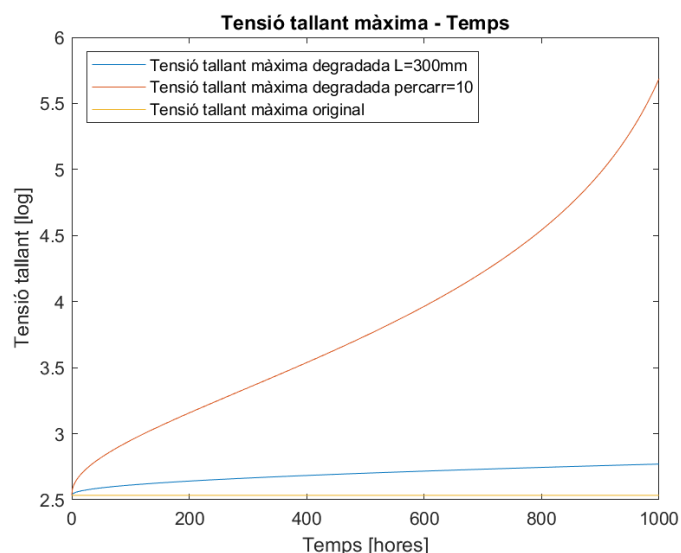


Figura 23: Variació errònia de la degradació de la tensió tallant màxima en funció del temps

Aquest fet és causat per un càlcul erroni del coeficient de degradació de la tensió tallant màxima, ja que quan $\tau_{avg}/\tau_{max,0} < 0,18$ el valor de α calculat a través de l'Equació (20) és negatiu. Aquest signe negatiu es manté en el càlcul del coeficient de degradació de la tensió tallant (Equació (19)) i fa augmentar la tensió tallant màxima $\tau_{max,2}$ mitjançant l'Equació (17) i l'Equació (18).

L'evolució del coeficient de degradació del tallant màxim en funció dels dos paràmetres esmentats i del temps es troba representada en la Figura 24.

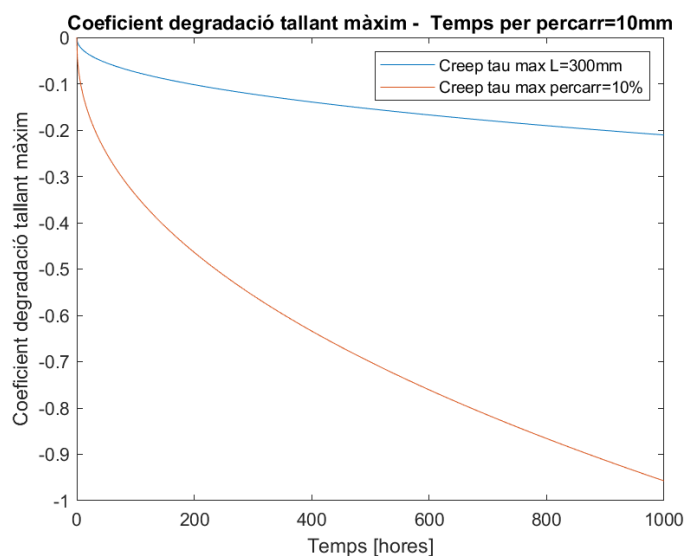


Figura 24: Variació errònia del coeficient de degradació de la tensió tallant màxima en funció del temps

4.3.1.2 Linealitat de la llei local d'adherència-lliscament

Un aspecte de vital rellevància és la linealitat de la llei local d'adherència-lliscament, on es va demostrar que es complia per percentatges de càrrega menors del 30% (Figura 21) i que, per tant, els càlculs superiors a aquest percentatge poden ser erronis. Aquest fet no s'ha tingut en compte durant

l'assaig paramètric, ja que s'ha utilitzat un percentatge de càrrega superior del 30%. A més a més, l'Equació (14) i l'Equació (19), que s'utilitzen per degradar la llei local, també estan modelades dins d'aquest rang, generant error si el percentatge és major.

4.3.2 Propostes de millora

4.3.2.1 Degradació del tallant màxim

Per tal de suprimir aquest error es proposa modelar l'Equació (20) afegint-hi una restricció per evitar que el coeficient de degradació del tallant màxim prengui valors negatius, sinó que el mínim sigui zero. Aquest canvi queda reflectit a la nova Equació (25):

$$\alpha = \begin{cases} \frac{\frac{\tau_{avg}}{\tau_{max}} - 0,18}{2,21}, & \frac{\tau_{avg}}{\tau_{max,0}} \geq 0,18 \\ 0, & \frac{\tau_{avg}}{\tau_{max,0}} < 0,18 \end{cases} \quad (25)$$

A nivell gràfic la solució quedaria representada per la Figura 25, on es poden contemplar els dos tipus de comportaments que pot tenir el coeficient α . Primer de tot s'observa la part constant de valor $\alpha = 0$ i a partir del valor de $\frac{\tau_{avg}}{\tau_{max,0}} = 0,18$ com ascendeix de forma lineal.

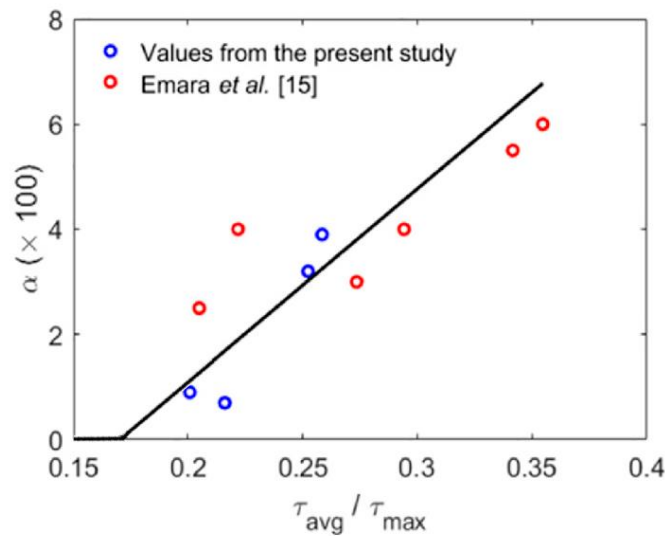


Figura 25: Representació gràfica de la millora en el càlcul del coeficient de la degradació del tallant màxim

4.3.2.2 Linealitat de la llei local d'adherència-lliscament

La solució per obtenir una rutina apta per qualsevol percentatge de càrrega passa o per intentar dissenyar unes equacions i llavors comprovar si es compleixen de forma experimental o per realitzar molts assajos experimentals i extreure, a través del comportament físic assajat, unes equacions experimentals pels casos on el percentatge de la càrrega és major al 30%.

En aquest cas s'ha escollit la primera opció, per així continuar treballant amb la rutina numèrica, ja que és un dels objectius d'aquest treball. Així doncs, en el següent apartat s'intenta modelitzar el comportament no-lineal de la llei local d'adherència amb unes modificacions en les equacions de degradació.

4.4 Efecte de la longitud adherida en el comportament a llarg termini de la unió

La longitud adherida pren una importància molt elevada a causa de la seva participació directa en tot el procés iteratiu del mètode numèric. Aquesta participació es veu demostrada a l'Equació (8) on la longitud adherida és dividida en diverses parts i cada petita part resulta ser una iteració de la rutina.

4.4.1 Interpretació de la resposta a través de les equacions

Abans d'extreure resultats i conclusions és necessari fer un estudi analític a través de les equacions. Amb aquestes s'intenta deduir quin és el comportament de la resposta en funció de si el paràmetre, en aquest cas la longitud adherida, creix o decreix. Per fer-ho, es duu a terme un procés lògic invers a la rutina.

La primera equació rellevant a tenir en compte és la ja esmentada Equació (8) on el fet que la longitud augmenti mantenint constant el diferencial de posició implica un augment de les iteracions. Aquest augment comporta un creixement de la càrrega màxima permesa, en la part de l'instantani, i conseqüentment la càrrega aplicada del llarg termini. Ara bé, per obtenir uns resultats clars, serà necessari fixar la càrrega aplicada per les diferents longituds, ja que no interessa tenir dos variables que canvien.

L'altra equació important a tenir en compte és l'Equació (21) on en augmentar el percentatge de càrrega disminueix el tallant mitjà. Aquesta disminució comporta una disminució de la variable α a l'Equació (21) i del coeficient de reducció de la rigidesa $f(t)$ a l'Equació (19). Finalment, aquesta reducció de la variable $f(t)$ acaba fent créixer, mitjançant l'Equació (18) i l'Equació (17), la tensió tallant màxima, que en aquest cas és $\tau_{max,2}$. Això implica un augment del lliscament s_2 i un decreixement del lliscament s_3 expressats en l'Equació (22) i Equació (23), respectivament. Aquest fet significa que per un mateix lliscament en longituds més elevades, la unió FRP-formigó tindrà una major tensió tallant augmentant l'energia de fractura i, per tant, el temps sense trencament. Aquesta energia de fractura juga un paper molt important, ja que és l'encarregada d'aguantar l'adhesió, a mesura que disminueix el tallant, el lliscament inicial haurà d'augmentar per aconseguir tenir una major àrea.

Cal especificar que el comportament per cada punt de la longitud que es recorre, el lliscament va disminuint i, consegüent, també ho fa el tallant, implicant una disminució de la càrrega que ha

d'aguantar cada diferencial de longitud. Ara bé, si el lliscament no és capaç de disminuir suficientment ràpid per tal que a l'extrem lliure la càrrega sigui suficientment petita com per tenir una deformació unitària de l'FRP amb un valor molt proper a 0 (Equació (10)) implicarà un trencament. Per tant, com més petita sigui la longitud més gran haurà de ser el lliscament a l'extrem carregat per aconseguir prou energia per aguantar la càrrega.

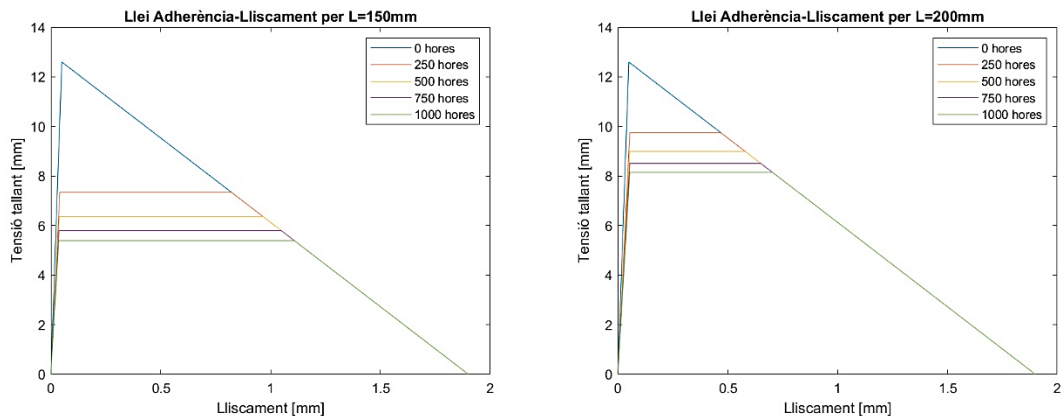
4.4.2 Resposta gràfica del comportament adherent

Mitjançant la rutina d'assaig de llarg termini desenvolupada a [13], s'han pogut obtenir les dades necessàries per posteriorment graficar-les i poder comprovar els supòsits fets a través de les equacions. Els valors utilitzats per parametritzar la longitud adherida són: 150 mm, 200 mm, 250 mm i 300 mm. A més, la càrrega aplicada és constant per totes les longituds sent un 30% de la càrrega màxima en l'assaig instantani per una longitud de 225 mm. Aquesta càrrega aplicada pren el valor exacte de 17838.6 N i s'obté en resoldre numèricament l'assaig instantani amb les característiques comentades. El temps d'assaig és de 1000 hores.

4.4.2.1 Evolució de la llei d'adherència-lliscament amb el temps

La primera resposta en estudiar és la variació de la llei local d'adherència-lliscament, ja que per mitjà d'aquesta es podran explicar la resta de comportaments. Segons la interpretació de la resposta adherent feta a través de les equacions que intervenen s'espera un creixement de la tensió tallant màxima a mesura que augmenta la longitud. A la Figura 26 es confirma el comportament esperat, on es veu que com més gran sigui la longitud adherida més gran és la tensió tallant màxima fins que per una longitud suficientment gran, en aquest cas de 300 mm, la degradació de la tensió tallant màxima deixa de tenir efecte i només es té en compte la reducció del pendent ascendent.

Aquest comportament porta implícit una major àrea a sota de la corba amb l'increment de longitud, i, per tant, una major energia de fractura. Això suposaria un augment de la càrrega màxima en l'assaig instantani, però a llarg termini segurament implicarà una disminució del lliscament a l'extrem carregat i un major temps abans de patir un trencament.



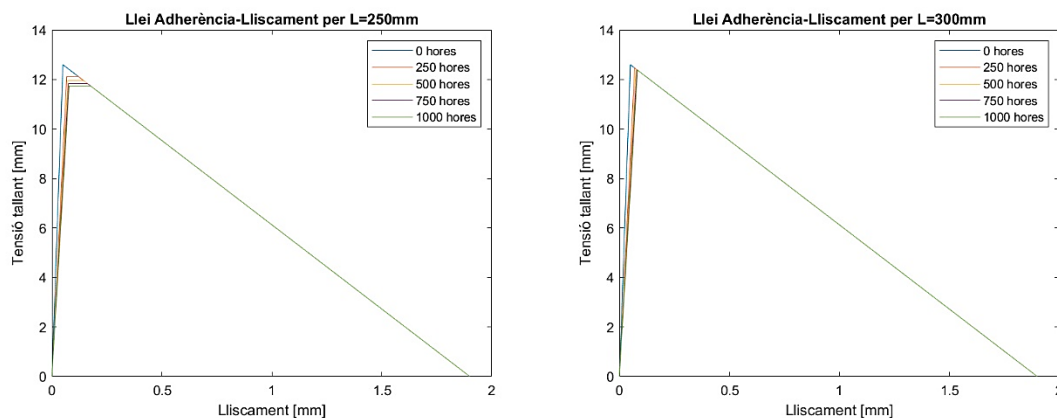


Figura 26: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció de la longitud adherida

4.4.2.2 Evolució del lliscament a l'extrem carregat amb el temps

Un cop estudiada la llei local passa a ser molt més senzill explicar la resta de respostes i en aquest cas, la variació del lliscament en la posició de l'extrem carregat en funció del temps. Aquesta queda representada en la Figura 27 on es pot veure el decreixement del lliscament en augmentar la longitud adherida. Expressat d'una altra manera, a mesura que decreix la longitud i/o incrementa el temps, el lliscament també creix. L'explicació d'aquest fet es troba en la llei local i en el valor que pren l'àrea de sota la corba, que com ja s'ha anat comentant al llarg del treball correspon a l'energia de fractura. Com ja s'esperava, en longituds més petites l'àrea que té la llei per un mateix lliscament és inferior i això implica que necessita un valor del lliscament major per poder disminuir suficientment ràpid la càrrega per obtenir una deformació unitària de l'FRP amb un valor molt proper a 0, ja que si no passa implica el trencament de la unió.

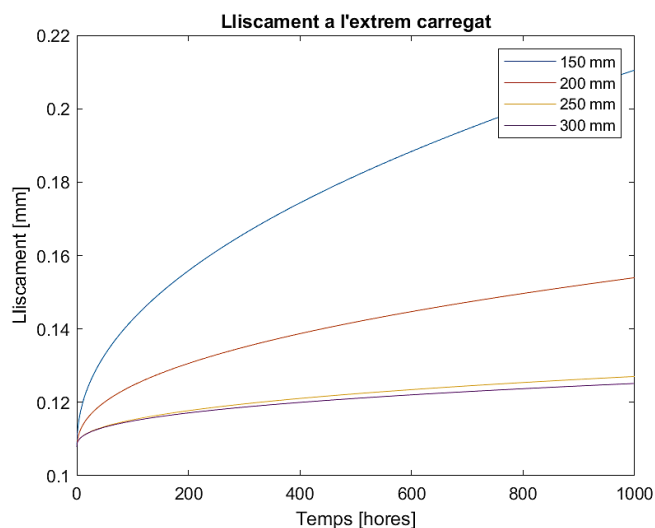


Figura 27: Variació del lliscament a l'extrem carregat en funció de la longitud adherida i del temps

4.4.2.3 Evolució del tallant a l'extrem carregat amb el temps

A través de l'evolució del lliscament a l'extrem carregat juntament amb la llei local d'adherència-lliscament es pot estudiar com es comporta la tensió tallant en aquest mateix punt. Primer de tot cal conèixer el valor del lliscament en al tensió màxima de la llei original que és 0,05 mm, ja que qualsevol valor major que aquest significarà que no es troba a la branca ascendent de la llei local. Tot seguit, observant la Figura 27 es comprova que, en tot moment, els valors del lliscament són majors de 0,1 mm. Això significa que entre en joc la branca constant o la branca descendent, per tant el lliscament i la tensió tindran una relació inversament dependent. A mesura que augmenta el lliscament, que va lligat a l'increment de posició, disminueix la tensió tallant. Aquest comportament queda recollit en la Figura 28.

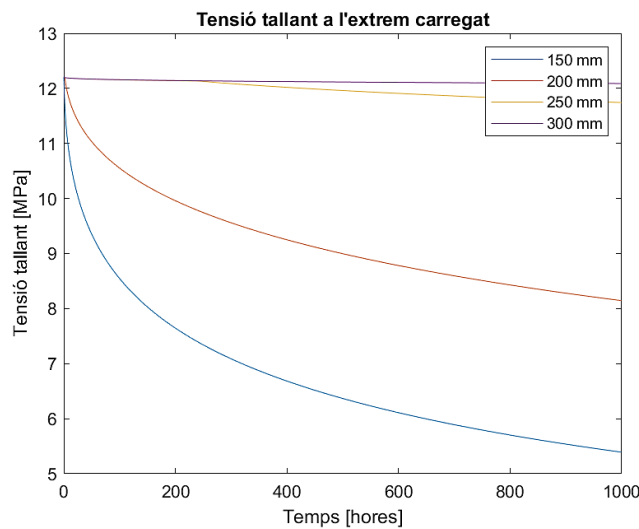


Figura 28: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en funció de la longitud adherida i del temps

4.4.2.4 Evolució de la deformació unitària de l'FRP en funció de la posició i del temps

Com ja s'ha comentat prèviament, la deformació unitària de l'FRP està relacionada amb la càrrega que ha d'aguantar cada punt al llarg de la longitud. Aquesta càrrega depèn de la tensió tallant (Equació (9)) i, per tant, també del lliscament a través de la llei local d'adherència-lliscament. A la conclusió que s'havia arribat prèviament era que a mesura que es disminuïa la longitud adherida i/o augmentava el temps, el valor màxim de la tensió tallant era menor (Figura 26). Això implicava un decreixement de l'energia de fractura i la necessitat d'augmentar el lliscament a l'extrem carregat incrementant l'energia per aconseguir aguantar la càrrega aplicada (Figura 27). El fet de tenir un lliscament major implica un decreixement el tallant (Figura 28) i conseqüentment un augment de la càrrega de cada punt de la longitud adherida i, per tant, també la deformació unitària de l'FRP, com s'observa en la Figura 29.

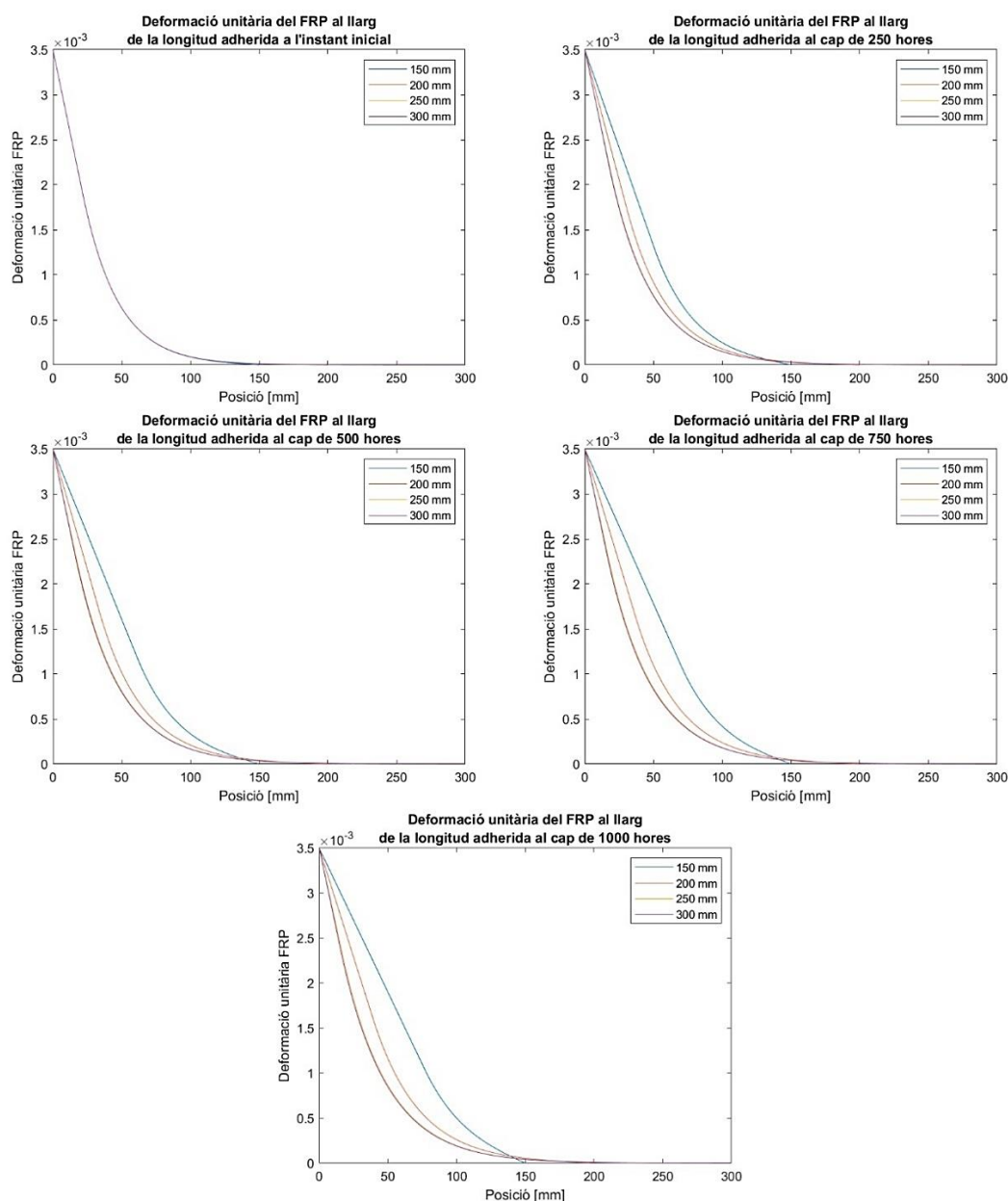


Figura 29: Variació de la deformació unitària de l'FRP al llarg de longitud adherida en funció d'aquesta i del temps

4.4.2.5 Evolució del lliscament en funció de la posició i del temps

Per acabar de comprovar el comportament del lliscament en funció de la longitud adherida s'estudia l'evolució d'aquest al llarg de la longitud i també en funció del temps. El comportament que s'observa en la Figura 30 és l'esperat i idèntic al de la Figura 27 on a mesura que augmenta la longitud i el temps també ho fa el lliscament. També es pot observar com a l'extrem lliure el lliscament és pràcticament zero exceptuant la longitud de 150 mm on el valor d'aquest va augmentant. Això és degut al fet que l'energia de fractura per aquesta longitud i per un temps elevat és molt baixa i provoca un lliscament a tots els punts i un possible trencament al cap de poc temps.

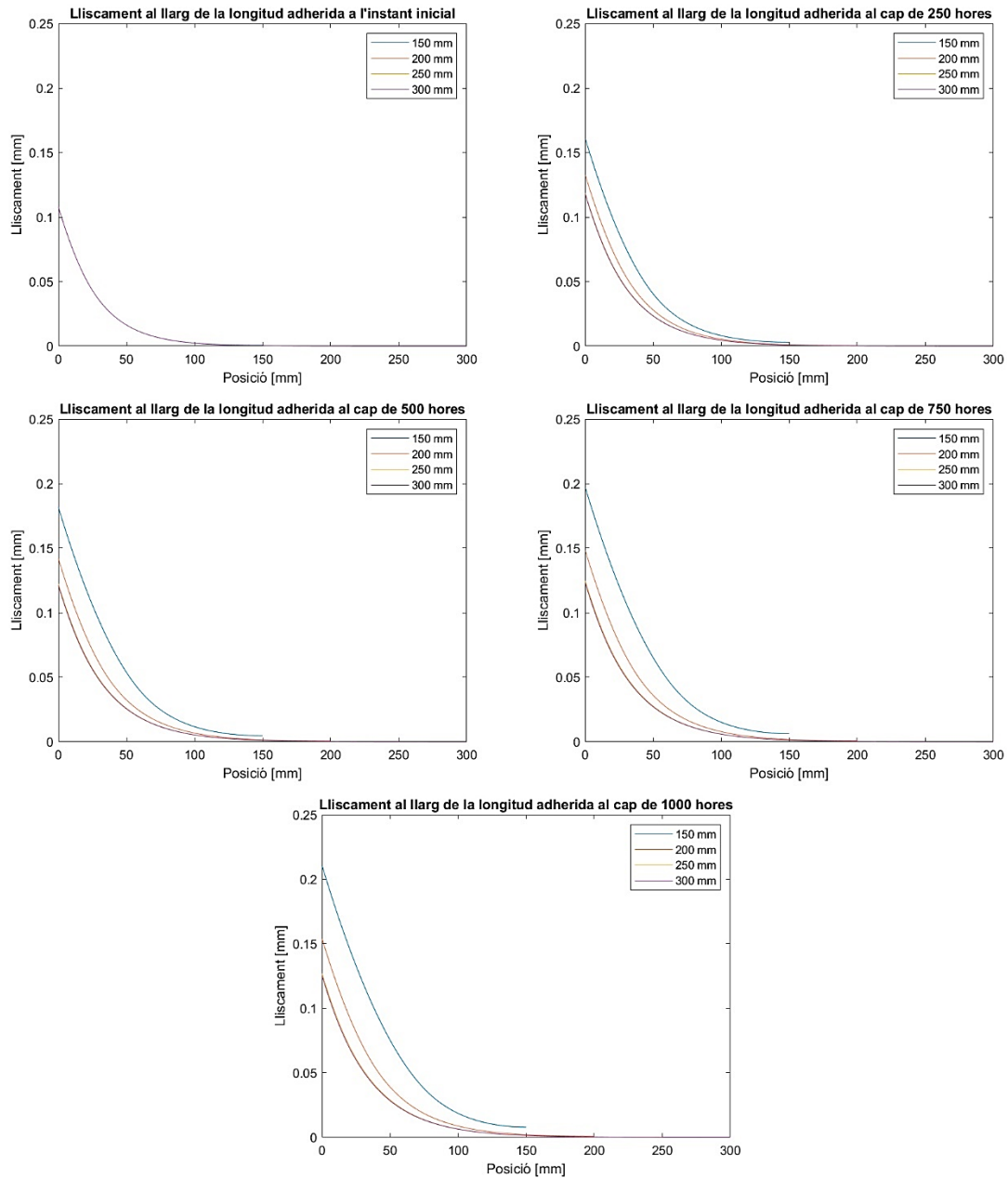


Figura 30: Variació del lliscament al llarg de longitud adherida i en funció d'aquesta i del temps

4.4.2.6 Evolució de la tensió tallant en funció de la posició i del temps

Finalment l'última resposta a estudiar és la que té la tensió tallant al llarg de la longitud adherida en funció del valor d'aquesta i del temps. Segons la Figura 28 a la zona propera a l'extrem carregat la tensió haurà de disminuir com menor sigui la longitud adherida i major el temps. Aquesta resposta queda rectificadada en la Figura 31.

Ara bé, aquest comportament no es compleix en totes les posicions. Existeix un punt on la situació es reverteix i les longituds adherides més petites passen a tenir un major tallant. Aquest fet és causat per tenir la branca ascendent i la branca constant en joc, exceptuant la longitud de 300 mm

ja que no existeix la branca constant (Figura 26). Així doncs, per les primeres posicions qui actua és la branca constant on per qualsevol dels lliscaments la tensió tallant és la mateixa.

En canvi, a mesura que el lliscament va disminuint hi haurà un moment on es passarà de la branca constant a la descendent. Això passarà primer per les longituds més grans, ja que el lliscament és menor i arriben abans a tensions mínimes. En canvi, per les longituds petites on el lliscament és major es tarda més en aconseguir minimitzar el lliscament i, per tant, tingui tallants més elevats. Una altra qüestió que es pot observar és que per la longitud adherida de 150 mm la tensió tallant a un temps elevat no arriba a zero a l'extrem lliure. Aquest fet és causat perquè el lliscament, com ja s'ha vist, tampoc hi arriba.

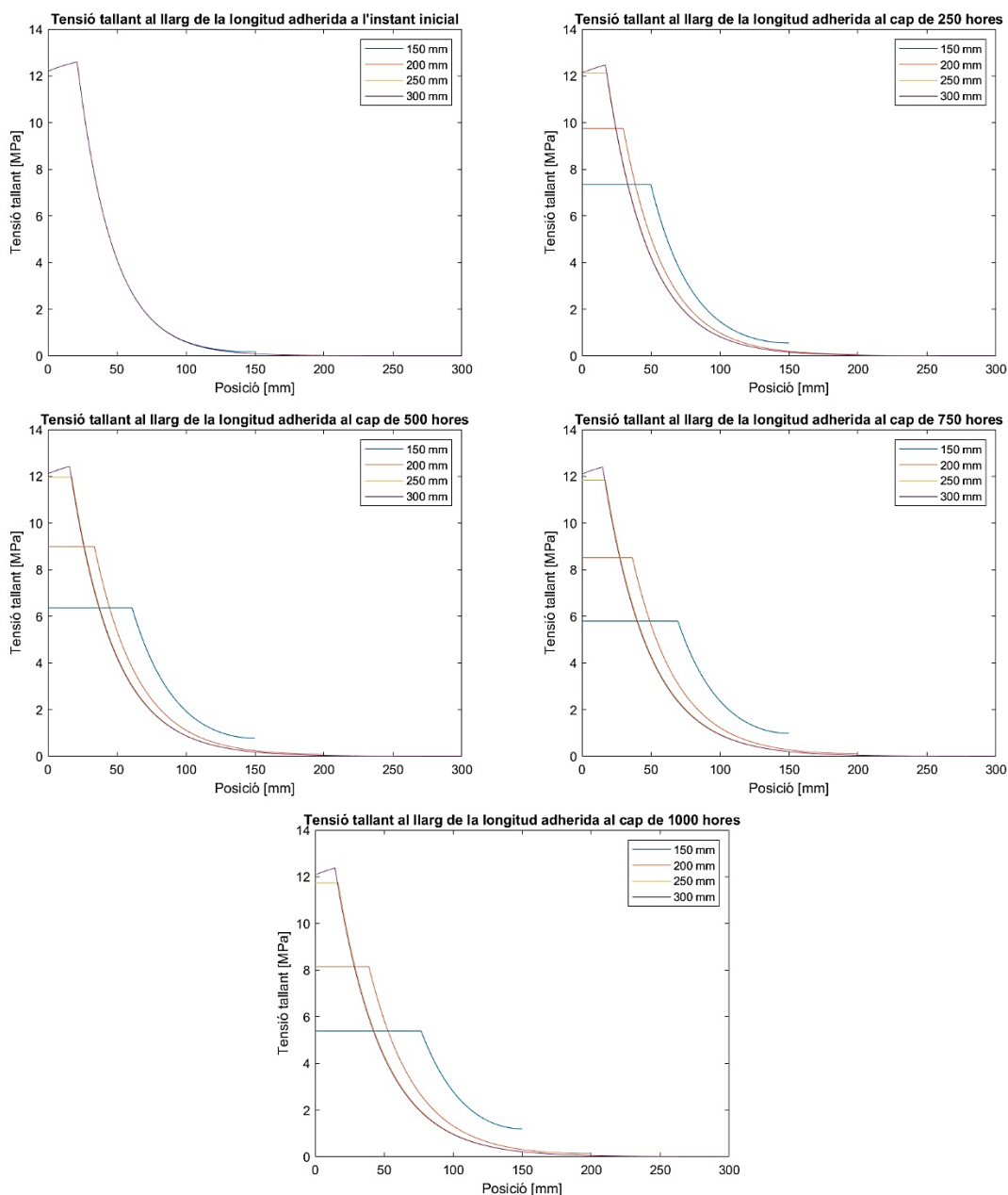


Figura 31: Variació de la tensió tallant al llarg de longitud adherida en funció d'aquesta i del temps

4.4.3 Temps de trencament

Un aspecte clau en l'assaig de llarg termini és la durada d'aquest. A la realitat és inviable fer assajos que durin molts dies, o fins i tot anys, per això és necessari tenir eines informàtiques per dur-los a terme. La resposta més important a obtenir és poder predir quan la unió de l'FRP amb el formigó es trencarà, en cas que així sigui. En teoria, les estructures es dissenyen per a una vida útil de 50 anys. Així doncs, aquesta unió hauria d'aguantar 50 anys, però com s'ha vist anteriorment hi ha condicions on l'energia de fractura és molt baixa i implica que hi pot haver un trencament en temps relativament curts.

Així doncs, a través de la rutina [13] es duu a terme aquest estudi en les mateixes condicions inicials dels resultats gràfics. Per tal d'obtenir la solució, cal trobar el moment en què el mètode numèric es quedi en bucle en la part en què intenta trobar el lliscament en l'extrem carregat. Si es queda en bucle significarà que és incapaç de tenir una deformació menor a la tolerància, és a dir, pràcticament igual a zero i que, per tant, la unió s'ha trencat. En el supòsit que la unió aguantí més de 50 anys, que equivalen a 438000 hores, s'expressarà de la següent manera: +438000 hores, significat que ha complert amb el requisit d'arribar al temps necessari. Tots aquests temps de trencament queden reunits en la Taula 4.

Taula 4: Relació de la longitud adherida amb el temps que tarda la unió a trencar-se.

| Longitud adherida | Temps |
|-------------------|---------------|
| 150 mm | 3039 hores |
| 200 mm | 53267 hores |
| 250 mm | +438000 hores |
| 300 mm | +438000 hores |

Segons els càlculs realitzats, amb una longitud superior a 250 mm la unió serà capaç de suportar els 50 anys, complint així la seva funció.

Per acabar-ho de representar millor es realitza una gràfica del lliscament en funció del temps i de la longitud adherida, Figura 32. En aquest es pot veure una relació directe entre la longitud adherida i el lliscament inicial en el temps de trencament. Com més gran sigui la longitud el conjunt té més capacitat per aguantar la càrrega malgrat la degradació de la llei local d'adherència-lliscament. Ja s'havia vist que a mesura que la llei es degrada el lliscament a l'extrem carregat es veu obligat a augmentar per aconseguir tenir la mateixa energia de fractura. Així doncs, per lliscaments a l'extrem carregat més elevats, la unió ha de poder disminuir aquests fins que el final sigui molt petit. En cas contrari, farà augmentar la càrrega que ha de suportar l'extrem lliure fins comportar un trencament de la unió.

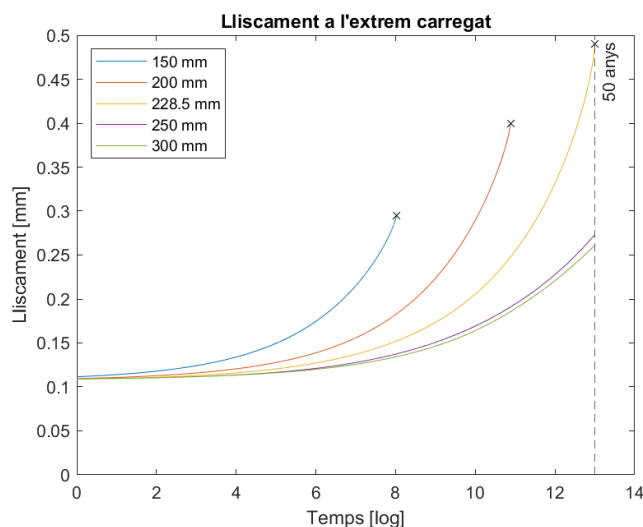


Figura 32: Evolució del lliscament en funció del temps i de la longitud adherida

4.5 Efecte del percentatge de càrrega en el comportament a llarg termini de la unió

El segon paràmetre important en l'estudi paramètric és el percentatge de càrrega mantinguda, ja que aquest afecta de forma directa a la càrrega aplicada, augmentant-la o disminuint-la. Això comporta una variació notòria en el comportament de la unió FRP-Lliscament pel fet que intervé en la degradació de la llei d'adherència-lliscament i també intervé en calcular els diversos paràmetres de la resposta.

4.5.1 Interpretació de la resposta a través de les equacions

De la mateixa forma que s'ha fet amb la longitud, abans de passar a explicar els resultats gràfics del comportament de la unió de l'FRP amb el formigó cal estudiar com afecta la variació del percentatge de càrrega en aquesta resposta a través de les equacions on hi intervé.

L'equació principal a contemplar és l'Equació (21), ja que és l'única on la càrrega aplicada a l'extrem de la longitud intervé de forma directa. En aquesta, en augmentar el percentatge de càrrega, també ho fa la càrrega aplicada fent créixer la tensió tallant mitjana τ_{avg} . La tensió mitjana es troba també a l'Equació (20), que realment és l'Equació (25), i l'increment d'aquesta tensió causa també un increment de la variable α fent augmentar el coeficient de reducció de la rigidesa $f(t)$ (Equació (19) i Equació (18)). Finalment, el creixement de $f(t)$ condiona la tensió tallant màxima $\tau_{max,2}$ patint un decreixement del seu valor (Equació (17)) i acabant causant una disminució de s_2 (Equació (22)) i un augment de s_3 (Equació (23)).

A més, la càrrega aplicada també intervé en el càlcul del lliscament en funció de la posició, ja que un augment d'aquesta a l'extrem fa créixer la deformació unitària del FRP (Equació (10)) i del formigó (Equació (11)) comportant un augment del lliscament (Equació (12)).

Pel que fa a la resta del comportament, aquest ha de ser molt semblant al de la longitud adherida, però de forma inversa. És a dir, la variació de la resposta per un augment de la longitud adherida hauria de ser succeir de forma similar però per un decreixement del percentatge de la càrrega.

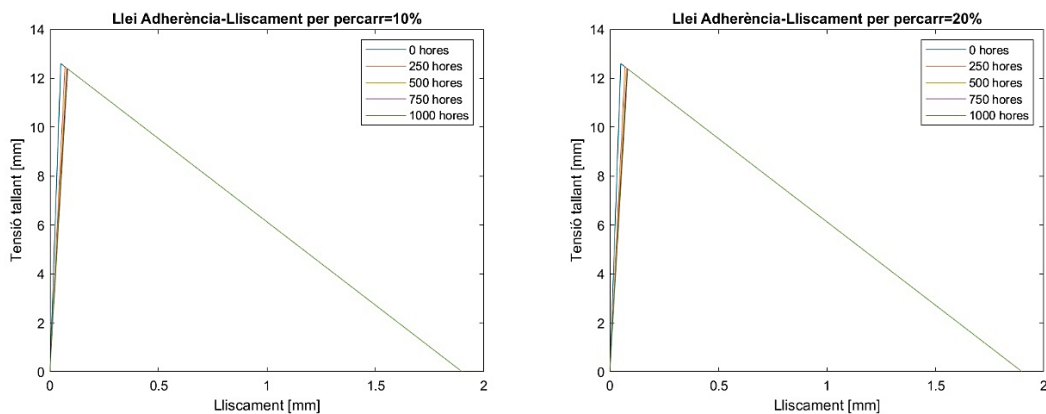
4.5.2 Resposta gràfica del comportament adherent

Utilitzant la rutina d'assaig de llarg termini desenvolupada per [13], s'han obtingut les gràfiques per poder estudiar el comportament en funció del percentatge de la càrrega. Els valors utilitzats del paràmetre són: 10%, 20%, 30% i 40%, tots amb una longitud de 150 mm, ja que és la que ha obtingut una menor capacitat per aguantar la càrrega i té un punt d'interès especial a l'hora d'estudiar-ho. No s'utilitzen percentatges de càrrega majors perquè pateixen un trencament en temps inferior al de l'assaig (Taula 5). El temps d'assaig és de 1000 hores i la càrrega aplicada és el percentatge multiplicat per la càrrega màxima que s'obté de l'assaig instantani, $P_{max} = 48879,2 N$.

4.5.2.1 Evolució de la llei d'adherència-lliscament amb el temps

En primer lloc, la resposta més important d'observar és la variació de la llei local d'adherència-lliscament, ja que té un paper molt rellevant en la resta de comportaments. A través de l'estudi analític dut a terme amb les equacions, s'espera que en augmentar el percentatge de càrrega disminueixi la tensió tallant màxima i viceversa. Això es pot comprovar en la Figura 33, ara bé, quan es mira de forma inversa es pot veure com a partir d'un cert percentatge de càrrega, en aquest cas del 20%, la degradació de la tensió màxima deixa de tenir efecte tenint només en compte la reducció del pendent ascendent.

Aquesta resposta també implica que l'energia de fractura decreixi en funció de l'augment del percentatge de càrrega condicionant el lliscament a l'extrem carregat. Convé recordar que l'energia de fractura consisteix en l'àrea que es troba per sota de les corbes de la llei local.



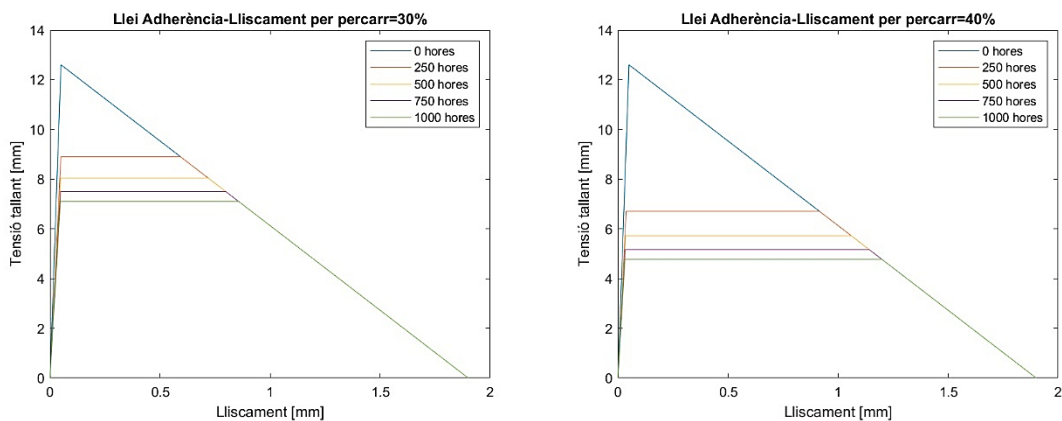


Figura 33: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció del percentatge de càrrega aplicat

4.5.2.2 Evolució del lliscament a l'extrem carregat amb el temps

El lliscament a l'extrem carregat en l'instant inicial depèn directament de la càrrega aplicada, tal com s'ha vist en l'estudi analític, tenint un major lliscament en incrementar el percentatge de càrrega. A més, a mesura que passa el temps el lliscament es regeix per les dues equacions principals del mètode numèric: l'Equació (9) i l'Equació (12) i amb la llei local d'adherència-lliscament.

Així doncs, de la mateixa forma que en l'apartat de la longitud adherida, el fet de tenir una energia de fractura menor per càrregues elevades i per temps elevats implica una necessitat de tenir un major lliscament que en les càrregues petites per tal de cobrir la mateixa àrea per sota la corba de la llei local. Per conseqüent, com més temps passi, el lliscament es veu obligat a anar creixent a causa de la degradació de la tensió tallant.

Tot i això, es pot observar que per percentatges de càrrega baixos, el lliscament pràcticament no augmenta. La causa es troba en la llei local, ja que pràcticament es manté igual que l'original al llarg del temps. Això implica que per a un mateix lliscament, la tensió tallant també serà quasi constant independentment del temps i, per tant, l'energia de fractura no variarà i no caldrà augmentar el lliscament. Tota aquesta explicació queda recollida gràficament en la Figura 34.

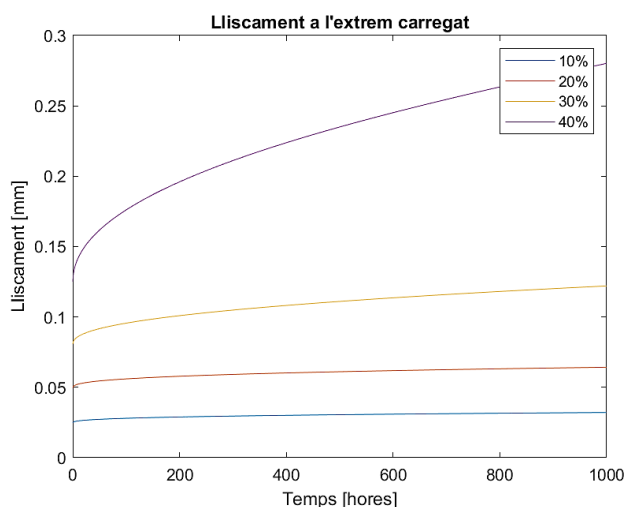


Figura 34: Variació del lliscament a l'extrem carregat en funció del percentatge de càrrega i del temps

4.5.2.3 Evolució del tallant a l'extrem carregat amb el temps

Per obtenir el valor de la tensió tallant s'ha d'anar a buscar a la llei local d'adherència-lliscament on el valor del lliscament en el tallant màxim és de 0,05 mm. Amb aquesta informació es pot saber en quina branca es troba el lliscament de l'extrem carregat. En el cas dels percentatges de 20% i més grans la branca en el temps inicial és la descendent. Per tant, de forma lògica cada vegada que el lliscament augmenta (Figura 34), la tensió tallant disminueix.

En canvi, pel percentatge de càrrega del 10%, el lliscament inicial es troba per sota del valor de 0,05 mm trobant-se així a la branca ascendent i, en conseqüència, el valor inicial del tallant serà molt baix respecte els altres percentatges. Ara bé, la lògica fa intuir que com major sigui el lliscament també ho ha de ser la tensió tallant, però com que per aquest percentatge el lliscament pràcticament no creix sinó que es manté constant, acaba suposant un decreixement del tallant en funció del temps, ja que el pendent ascendent es va reduint i per un mateix lliscament s'obté un menor tallant.

Tot això queda reunit de forma gràfica en la Figura 35.

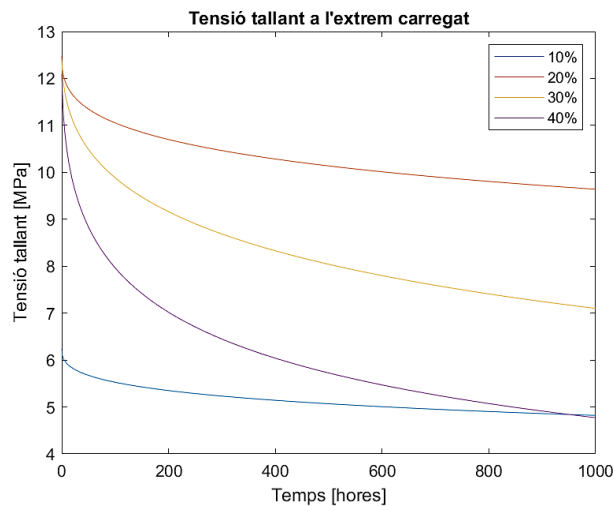


Figura 35: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en funció del percentatge de càrrega i del temps

4.5.2.4 Evolució de la deformació unitària de l'FRP en funció de la posició i del temps

La deformació unitària de l'FRP ϵ_f depèn directament de la càrrega, tal com s'ha vist abans. Per tant, la deformació a l'extrem carregat és major per un percentatge de la càrrega més gran, tal i com s'observa en la Figura 36. A més, per cada increment de la posició que es fa, la càrrega va disminuint, ja que aquesta depèn de la tensió tallant, que és qui aguanta la unió de l'FRP amb el formigó, i també del lliscament.

Com que per les càrregues altes es té un tallant menor per un temps major (Figura 33) el lliscament ha de ser més gran per aconseguir tenir una energia de fractura suficient. Aquest augment del lliscament acaba comportant que la tensió tallant està més estona a la branca constant disminuint

de forma lineal la càrrega per cada punt durant aquesta part i, per tant, també de la deformació unitària.

Pel percentatge de càrrega del 40% es pot observar que a les 1000 hores el decreixement és pràcticament tot lineal. Això significa que el trencament està força a prop de què es produeixi, ja que quan tot el decreixement és lineal al següent instant de temps no hi ha prou energia de fractura per aconseguir fer disminuir la deformació unitària fins a zero.

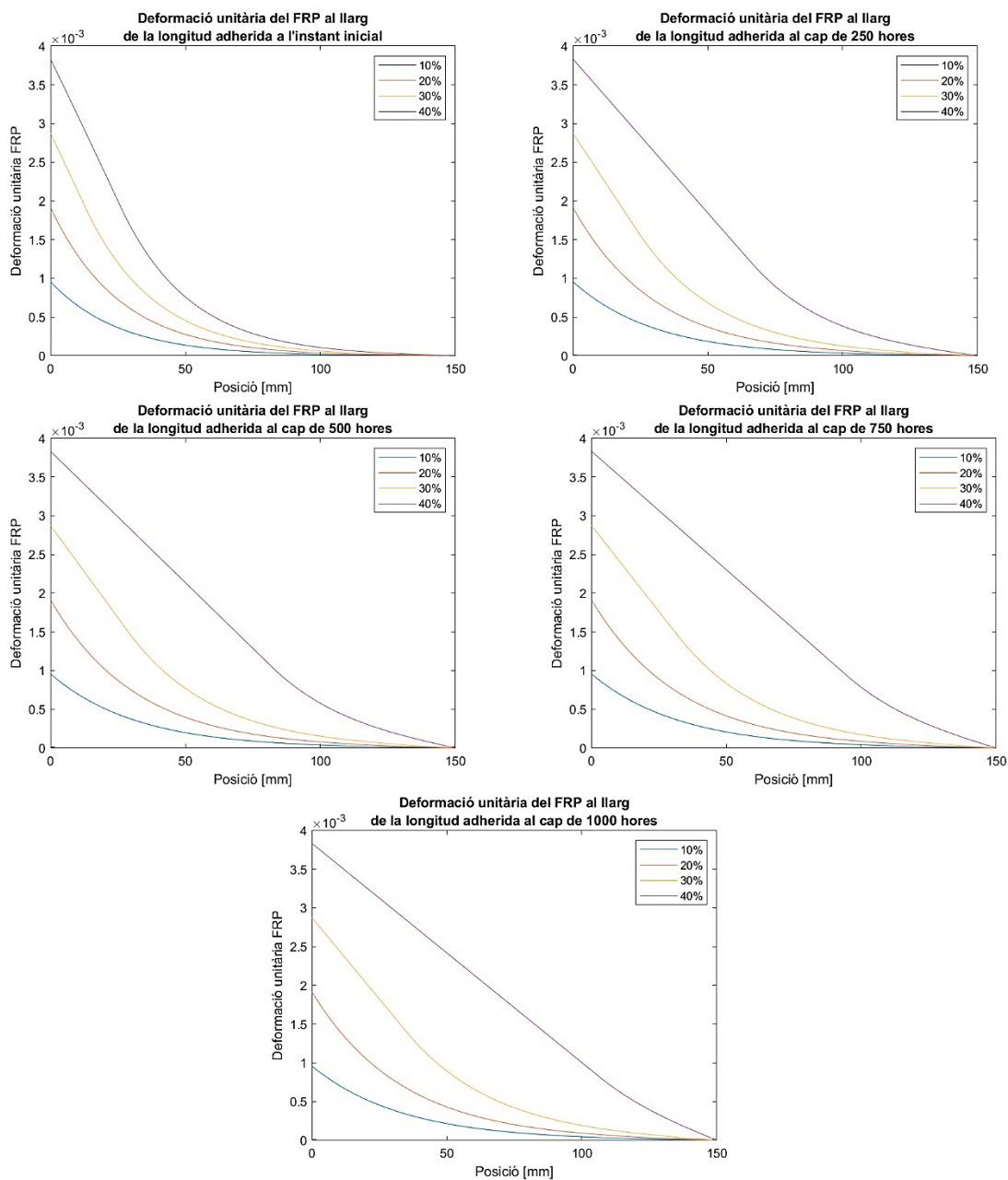


Figura 36: Variació de la deformació unitària de l'FRP al llarg de longitud adherida en funció del percentatge de la càrrega i del temps

4.5.2.5 Evolució del lliscament en funció de la posició i del temps

A part d'observar el lliscament a l'extrem carregat també és necessari estudiar-lo al llarg de la posició per saber si el comportament és el mateix o en algun moment de la posició varia. Aquest queda representat en la Figura 37. En atenció a això, es demostra que la resposta en el lliscament és igual per tota la longitud. Aquesta consisteix en què per percentatges de càrrega elevats el lliscament també ho és i a mesura que el temps passa el lliscament en tota la longitud va augmentant.

Un altra conseqüència que es pot contemplar és el creixement del lliscament a l'extrem lliure en el percentatge del 40% implicant un possible trencament en poc temps. Això és degut a la poca energia de fractura que té la llei d'adherència-lliscament per aquest temps.

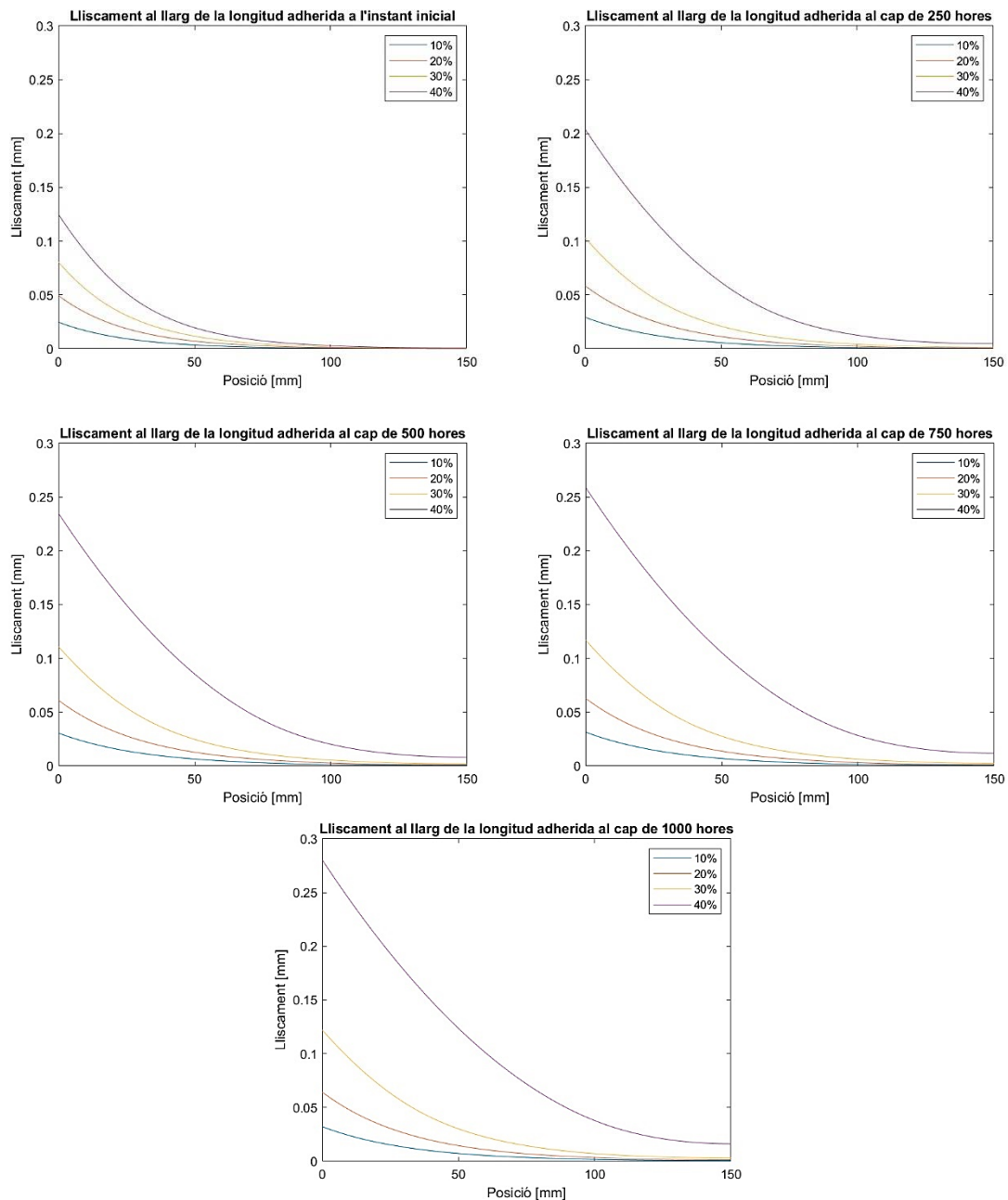


Figura 37: Variació del lliscament de l'FRP al llarg de longitud adherida en funció del percentatge de la càrrega i del temps

4.5.2.6 Evolució de la tensió tallant en funció de la posició i del temps

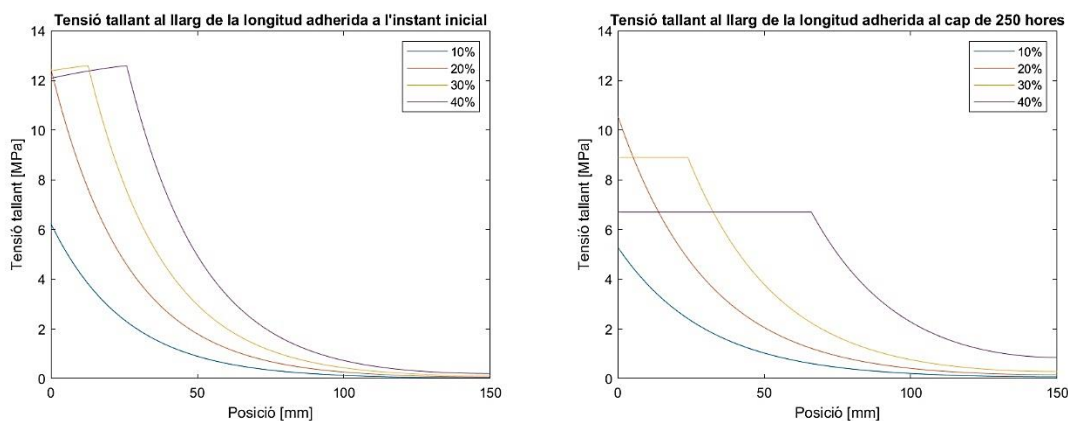
L'últim comportament a estudiar és el que té la tensió tallant al llarg de la longitud adherida i en funció del temps, que queda representat en la Figura 38. Com s'ha vist en l'estudi de la longitud adherida (Figura 31), generalment la tensió tallant té dos comportaments: un que correspon quan es troba en la branca constant de la llei local d'adherència-lliscament (Figura 33) i l'altre que pertany a la branca ascendent.

Aquesta dualitat en la resposta només existeix pels percentatges majors del 30% on s'observa en claredat una tensió tallant constant fins a un punt que comença a decreixer. Aquest punt succeeix en una posició major pel percentatge del 40% que el del 30%. Això és causat perquè per un mateix instant de temps la branca constant per càrregues més elevades avarca un rang de lliscaments majors i, en conseqüència, tardarà més en arribar a un lliscament mínim.

En canvi, pels percentatges del 10% i del 20% el tallant només descendeix. Això ho causa el fet que el lliscament en tot moment es troba en la branca ascendent i encara que superi el valor del lliscament per la tensió màxima en el temps inicial, aquest també va augmentant per culpa de la degradació del pendent ascendent de la llei local.

També es pot veure com en el temps inicial la tensió tallant depèn directament dels valors del lliscament, ja que la llei local és igual per tots els percentatges.

Finalment, es pot concloure que a mesura que el temps avança la tensió tallant disminueix per qualsevol dels percentatges, però de forma més notòria per aquells més elevats. I afegir que per la càrrega del 40% la tensió tallant a l'extrem lliure pren un valor diferent de zero, de manera semblant al comportament del lliscament.



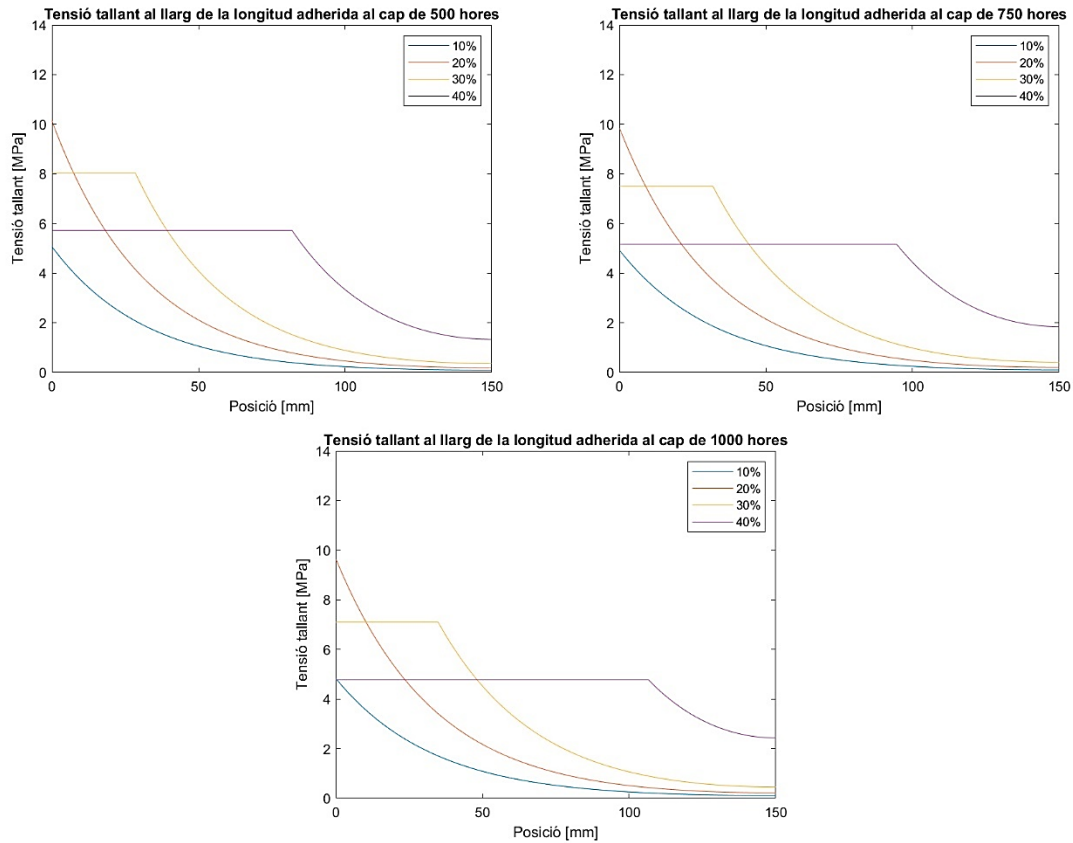


Figura 38 Variació de la tensió tallant al llarg de longitud adherida en funció del percentatge de la càrrega i del temps

4.5.3 Temps de trencament

Un cop analitzat el comportament per les diverses variables de resposta és necessari conèixer si pels diferents percentatges de càrrega amb les mateixes condicions inicials, la unió de l'FRP amb el formigó pot aguantar el temps necessari per complir amb la seva funció. Com prèviament ja s'ha explicat aquest temps correspon a 50 anys que són 438000 hores.

Mitjançant la rutina [13] es passa de fer els càlculs per un assaig de 1000 hores a fer-ne un de 438000 hores. En cas que no arribi en aquesta xifra, la rutina no serà capaç de continuar i entrarà en bucle en un instant de temps determinat on degut a no tenir suficient energia de fractura serà incapaç de trobar un lliscament inicial per obtenir una deformació unitària a l'extrem inferior a la tolerància, que és pràcticament igual a 0.

Per fer aquest estudi s'avaluen 11 percentatges de càrrega repartits del 0% al 100% Així es pot visualitzar de forma més clara la dependència de la càrrega amb el temps de trencament. En cas que arribi els 50 anys el temps s'expressarà amb +438000 hores que significarà que la unió té vida infinita.

Tota la informació sobre el comportament del temps de trencament en funció del percentatge de càrrega queda reunida a la Taula 5 on es pot veure una dependència inversa entre les dues variables. Quan s'aplica la càrrega màxima trobada en l'assaig instantani, la unió és incapaç de

suportar-la ni un segon. A mesura que el percentatge decreix, el temps de ruptura va augmentant fins que per un percentatge del 20% s'aconsegueix ja la vida infinita.

Taula 5: Relació del percentatge de càrrega amb el temps que tarda la unió a trencar-se.

| Percentatge de càrrega | Temps |
|------------------------|---------------|
| 10% | +438000 hores |
| 20% | +438000 hores |
| 25% | 196483 hores |
| 30% | 18771 hores |
| 40% | 1425 hores |
| 50% | 249 hores |
| 60% | 60 hores |
| 70% | 17 hores |
| 80% | 4,8 hores |
| 90% | 1,1 hores |
| 100% | 0 hores |

En la Figura 39 es representa gràficament l'evolució del lliscament a l'extrem carregat en el temps de trencament en funció del percentatge de càrrega aplicat. Es pot observar que per càrregues elevades el lliscament també és elevat, tal com es mostrava en la Figura 34. Això implica que necessitarà una energia de fractura elevada per aguantar aquesta càrrega i que quan la llei local es degradi es trencarà en poc temps. El cas contrari passa per les càrregues baixes, en les quals l'energia de fractura necessària és molt més baixa i, per tant, té la capacitat d'aguantar més temps.

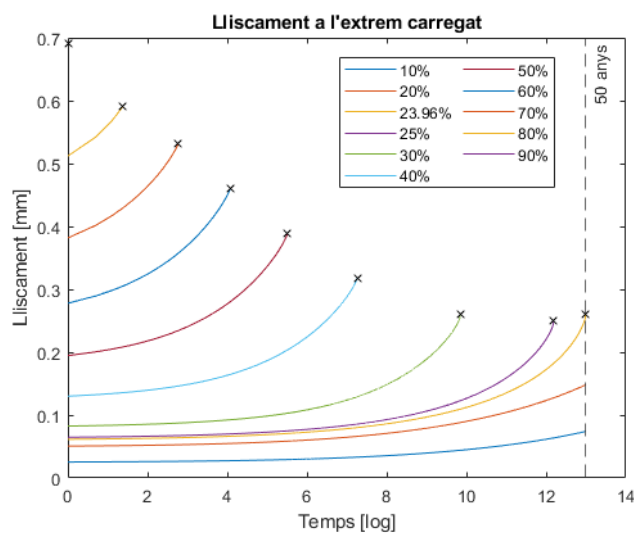


Figura 39: Evolució del lliscament en funció del temps i del percentatge de càrrega aplicat

Un fenomen que es pot observar és el ràpid creixement en el temps per un increment en el percentatge de càrrega molt petit per valors menors al 30%. Per exemple, reduint el percentatge del 40% al 30% només augmenta 17346 hores, en canvi, del 30% al 25% el temps augmenta 177712 hores.

Una altra característica de la resposta adherent és que pel percentatge de càrrega del voltant del 25% el lliscament màxim a l'extrem carregat es troba en un valor mínim. S'han fet els càlculs per trobar els valors dels lliscaments a l'extrem carregat en el temps de trencament pels percentatges entre el 22% i el 31%. Els resultats queden reunits en la Taula 6 on s'observa clarament com del 25% al 28% el lliscament a l'extrem carregat en el temps de trencament és constant i augmenta per percentatges més petits i més grans.

Taula 6: Relació del percentatge de càrrega amb el lliscament de l'extrem carregat en el temps de trencament

| Percentatge de càrrega | Lliscament | Temps de trencament |
|------------------------|------------|---------------------|
| 22% | 0,37 mm | 6700019 hores |
| 23% | 0,29 mm | 1193504 hores |
| 24% | 0,26 mm | 421908 hores |
| 25% | 0,25 mm | 196483 hores |
| 26% | 0,25 mm | 106397 hores |
| 27% | 0,25 mm | 63405 hores |
| 28% | 0,25 mm | 40385 hores |
| 29% | 0,26 mm | 27017 hores |
| 30% | 0,26 mm | 18771 hores |
| 31% | 0,27 mm | 13441 hores |

Això significa que a partir d'un tant per cent de càrrega suficientment baix, la unió a part d'aguantar més temps també té la capacitat de suportar un lliscament superior. Aquest percentatge no s'ha pogut calcular de forma exacta, ja que per fer-ho amb la rutina utilitzada s'ha de realitzar un procés iteratiu manual. Així doncs, s'ha considerat que no és necessària tanta precisió, sinó que és suficient en conèixer que el valor mínim del lliscament a l'extrem carregat es troba al voltant del percentatge del 25%.

4.6 Relació entre la longitud adherida i la càrrega aplicada per aconseguir vida infinita

L'últim estudi paramètric a fer consisteix en conèixer l'evolució de la longitud adherida en relació amb la càrrega aplicada per tal d'obtenir unions que arribin a la vida infinita, és a dir a 50 anys, sense patir un desenganxament. Aquest apartat és clau per contribuir en el desenvolupament de tècniques de predicció i disseny d'estructures de formigó amb FRP.

En aquest cas no té sentit estudiar el percentatge de càrrega, ja que la càrrega màxima aplicada canvia a causa de la variació de la longitud adherida. Per tant, el percentatge no s'aplica respecte la mateixa càrrega en tots els casos i com a conseqüència dóna una informació insuficient per entendre el comportament. Tot i això, cal tenir-la en compte només per conèixer si es troba dins del rang del comportament lineal de la llei d'adherència o no.

La longitud adherida és una variable que en augmentar-la fa créixer el temps de trencament, mentre que la càrrega aplicada en ser incrementada fa disminuir el temps. Això fa pensar que pot existir una possible relació lineal entre la longitud adherida i la càrrega aplicada. La Taula 7 mostra el resultat amb la càrrega que fa possible que la unió arribi pràcticament a les 438000 hores (50 anys) de vida útil. També es mostra la relació entre les dues variables.

Taula 7 Relació entre la longitud adherida i la càrrega aplicada en el temps de trencament;

| Longitud adherida | Càrrega aplicada | Percentatge de càrrega | Temps de trencament | Càrrega/Longitud |
|-------------------|------------------|------------------------|---------------------|------------------|
| 150 mm | 11711,46 N | 23,96% | 436954 hores | 78,08 |
| 175 mm | 13661,67 N | 25,41% | 438107 hores | 78,07 |
| 200 mm | 15614,27 N | 27,25 % | 437551 hores | 78,07 |
| 225 mm | 17565,07 N | 29,54% | 438070 hores | 78,07 |
| 250 mm | 19515,47 N | 32,31% | 438675 hores | 78,06 |
| 275 mm | 21467,27 N | 35,40% | 438563 hores | 78,06 |
| 300 mm | 23420,62 N | 38,60% | 437869 hores | 78,07 |

La relació entre la càrrega i la longitud és pràcticament constant independentment del valor de les dues variables. Les petites variacions estan associades al fet que la càrrega aplicada no correspon exactament a 438000 hores. Aquest fet significa que les dues variables són linealment dependents, tal com també es pot observar en la Figura 40

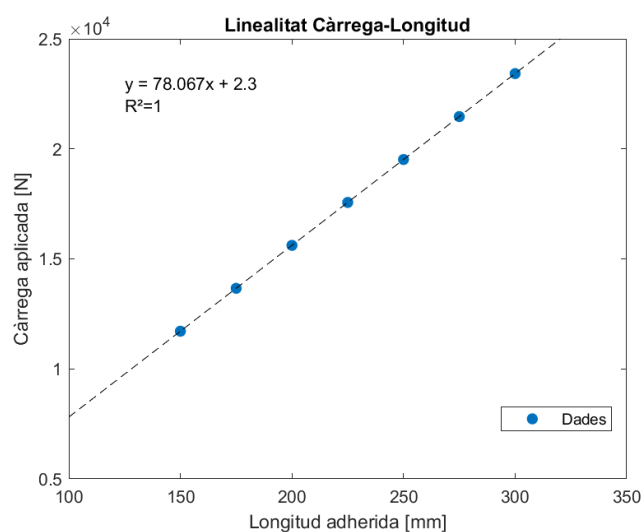


Figura 40: Relació entre la càrrega aplicada i la longitud adherida

A través de la línia de regressió s'obté una funció que relaciona la càrrega aplicada amb la longitud adherida i té una correlació amb valor igual a 1, és a dir, s'ajusta perfectament. Aquesta funció queda recollida a l'Equació (26):

$$P = 78,067 \cdot L + 2,3 \tag{26}$$

Sent P la càrrega en Newtons i la L la longitud adherida en mil·límetres.

Aquesta equació només és vàlida per valors de la longitud adherida entre 150 mm i 300 mm que ha sigut la zona estudiada i per les característiques de la llei local d'adherència-lliscament utilitzada.

Per acabar de demostrar el comportament lineal s'ha estudiat el comportament adherent que té la unió pel temps de vida necessari, 50 anys, i per una longitud adherent determinada. La Figura 41 mostra l'evolució d'aquest comportament mitjançant el lliscament a l'extrem carregat, on es pot observar que en el trencament la distància entre les diferents corbes sembla ser igual.

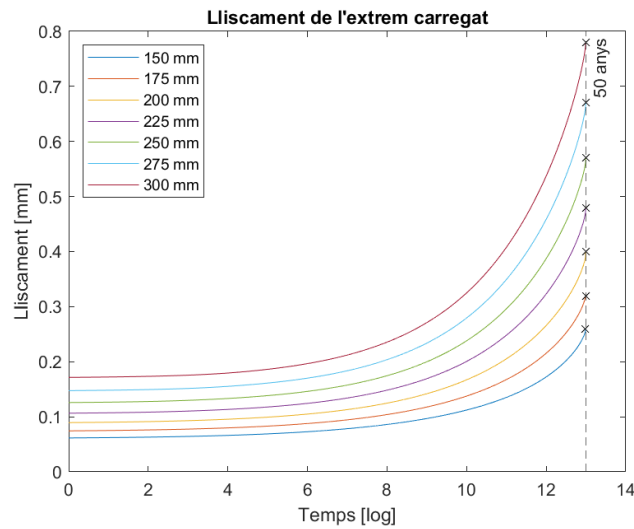


Figura 41: Evolució del lliscament a l'extrem carregat en funció de la longitud

5 MODELITZACIÓ EN CAS DE FLUÈNCIA NO-LINEAL

5.1 Introducció

La llei local d'adherència-lliscament té una influència molt important en l'estudi de la resposta adherent. En els apartats anteriors s'ha explicat que aquesta llei té un comportament lineal en el cas de percentatges de càrrega inferiors al 30% i que ja ha sigut estudiat, però que pels casos superiors al 30% aquesta linealitat desapareix degut al comportament viscos de l'adhesiu. Això comporta la possibilitat de tenir resultats erronis en aplicar la rutina matemàtica utilitzada durant tot el treball en percentatges superiors a l'esmentat i, per tant, neix la necessitat d'intentar trobar un nou model per ajustar-se millor a la realitat. Amb el nou model el comportament serà menys penalitzat pel que fa l'energia de fractura, ja que dependrà de la càrrega suportada per cada punt de la longitud adherida.

Així doncs, en aquest apartat es desenvoluparà una nova proposta de modelització de la llei d'adherència per complir amb la no-linealitat, tot i que caldrà ser contrastada en futur amb assajos experimentals. Els valors inicials són els mateixos que en l'estudi paramètric i amb una longitud adherida de 150 mm i un percentatge de càrrega del 50%.

5.2 Primera proposta

5.2.1 Plantejament

La primera proposta per modificar la llei local d'adherència-lliscament i adaptar-la en el comportament no-lineal consisteix en afegir una dependència de la càrrega aplicada en la degradació de la branca ascendent, concretament en el coeficient de fluència $\phi(t)$, Equació (14). La modificació s'ha d'aplicar en els primers instants de la longitud on la càrrega que suporta la unió per aquesta distància sigui superior al 30% i a partir d'aquest percentatge i inferiors la modificació deixa d'existir per mantenir el comportament original

Per aconseguir aquest canvi hi ha d'haver un terme en l'equació que depengui de la càrrega i faci augmentar el valor del coeficient de fluència. En aquesta primera proposta el fa augmentar de forma lineal, a través de la relació entre la càrrega aplicada i el 30% de la càrrega màxima en l'assaig instantani (P_{max}). Així per les càrregues superiors al 30% el coeficient augmenta de la mateixa manera que el percentatge de càrrega.

L'altre terme de la degradació de la llei d'adherència-lliscament, la reducció de la tensió tallant màxima, no se'l té en compte. Això és degut a la restricció de linealitat que també té i primer es vol conèixer l'afectació en la degradació del pendent ascendent.

Així doncs, l'Equació (14), canvia i passa a ser l'Equació (27).

$$\phi(t) = \begin{cases} \frac{P}{P_{max} \cdot 0,3} \cdot 0,046 \cdot t^{0,39} & \frac{P}{P_{max} \cdot 0,3} > 1 \\ 0,046 \cdot t^{0,39} & \frac{P}{P_{max} \cdot 0,3} \leq 1 \end{cases} \quad (27)$$

Aquest coeficient intervé per cada iteració en la part on es calcula l'evolució del lliscament en funció de la posició de la rutina de llarg termini. També intervé en el càlcul inicial de la degradació de la llei d'adherència. A la Figura 42 queda representada la modificació de la rutina.

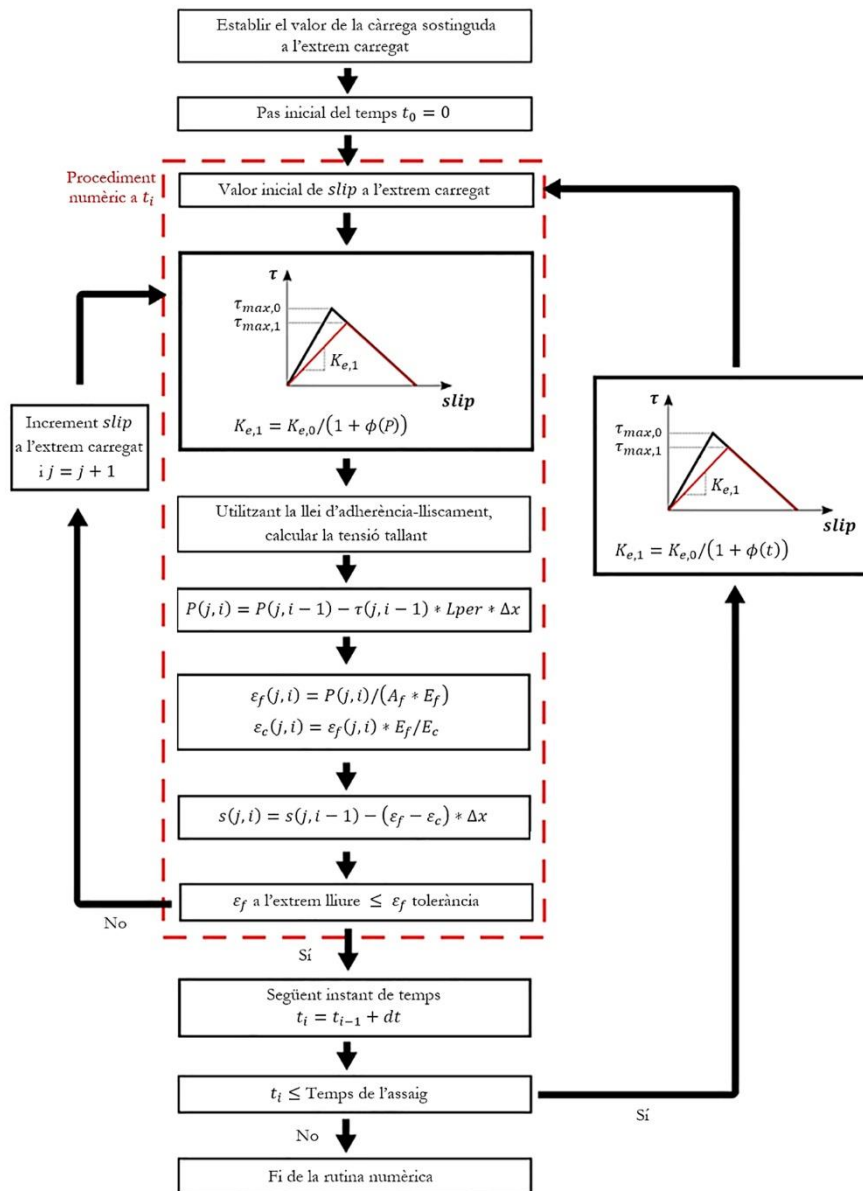


Figura 42: Diagrama de flux del mètode numèric d'assaig de llarg amb la implementació no-lineal

Es pot observar en el diagrama de flux que hi ha dues vegades la degradació del pendent de la llei local, una que depèn de l'instant de temps i el que depèn de la càrrega aplicada en cada posició al llarg de la longitud adherida.

5.2.2 Resposta obtinguda

5.2.2.1 Evolució del coeficient de fluència amb el temps i la càrrega

El primer paràmetre en observar la resposta és el coeficient de fluència en funció de la càrrega suportada i del temps. La dependència d'aquest coeficient amb aquestes dues variables està ja especificada a l'Equació (27). La Figura 43 representa l'evolució del coeficient amb les variables esmentades. En aquesta es pot observar la no-linealitat del model on per càrregues baixes, que pertanyen a un percentatge inferior del 30% de la càrrega màxima de l'assaig instantani el coeficient es manté constant en funció de la càrrega i a partir del 30% comença a créixer. A més el coeficient creix amb el temps, com ja passava en el model lineal. Com més temps passa, el creixement en la part no lineal també augmenta.

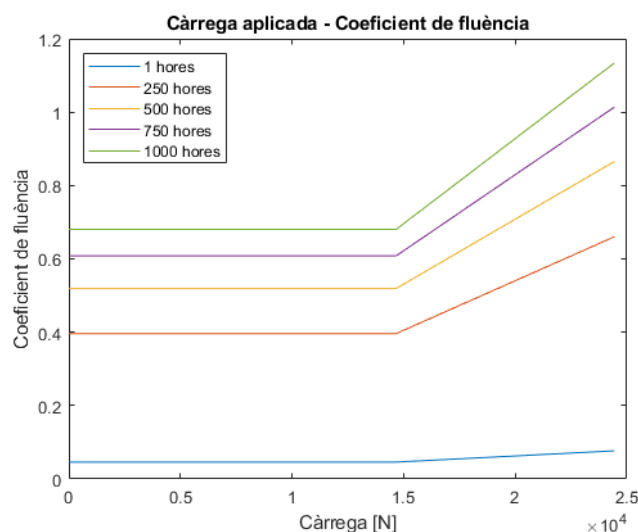


Figura 43: Variació del coeficient de fluència funció de la càrrega suportada i del temps pel 1r model no-lineal

5.2.2.2 Evolució de la llei d'adherència-lliscament amb el temps

Tot seguit s'estudia l'evolució de la llei local d'adherència-lliscament. Aquesta, per càrregues elevades ha de comportar-se de forma no-lineal, per tant cal esperar que pel primer tram de la longitud adherida hi hagi diverses branques ascendents i que a partir d'una punt concret el comportament passi a ser lineal i que ja no depengui de la càrrega suportada. Això queda demostrat a la Figura 44 que a mesura que passa el temps apareix una branca blava que correspon a la llei local a l'extrem carregat. A causa del poc augment del dany en la degradació la branca ascendent no baixa suficient com per veure més posicions, ja que de seguida es comporta de forma lineal.

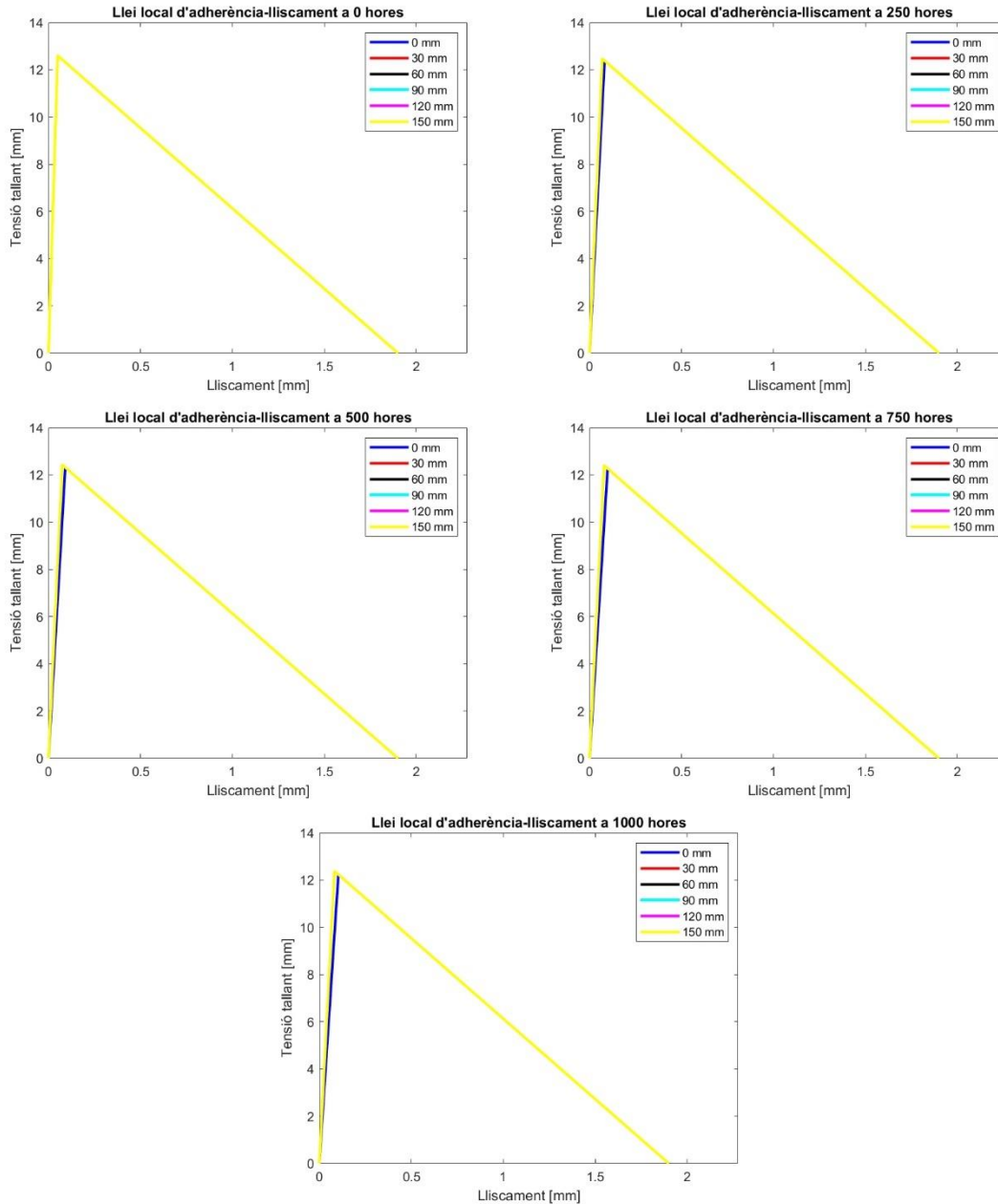


Figura 44: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció de la posició pel 1r model no-lineal

5.2.2.3 Evolució del lliscament a l'extrem carregat amb el temps

Per analitzar el comportament de la resposta adherent s'examina la variació del lliscament a l'extrem carregat en funció del temps comparat amb el mètode lineal, ja que si s'observen diferències es podrà saber si aquesta modelització no-lineal està sent bona o no. Així doncs, la variació del lliscament queda graficat a la Figura 45, on es pot comprovar que la resposta és idèntica.

L'explicació d'aquest es troba en el fet de que els valors del lliscament a l'extrem carregat a l'inici es troben a la branca descendent. A mesura que s'estudia les diverses posicions de la longitud adherida el lliscament va disminuint fins que en un punt determinat arriba a la branca ascendent. En aquí és on hauria d'existir la diferència entre el model lineal i el model no-lineal, però enlloc de trobar-

se amb una branca ascendent generada pel model no-lineal es troba amb una del lineal. Això és degut a què aquest punt es troba en una posició on el percentatge de la càrrega suportada és inferior al 30% i consegüentment no es percep cap canvi a causa de què l'energia de fractura no canvia respecte el model lineal.

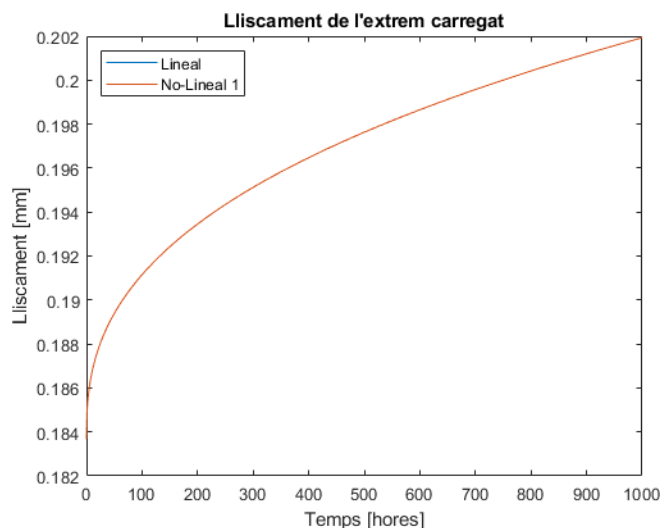


Figura 45: Variació del liscament a l'extrem carregat en el model lineal i en el 1r model no-lineal

5.2.2.4 Evolució del tallant a l'extrem carregat amb el temps

Els canvis que pugui rebre la tensió tallant a l'extrem carregat van lligats als patits pel liscament. Com que el liscament es manté igual que en el comportament lineal, el tallant també es mantindrà igual. Això és perquè la tensió tallant és directament proporcional al liscament. A la Figura 46 es mostra la resposta de la tensió tallant a l'extrem carregat pel model lineal i pel model no-lineal.

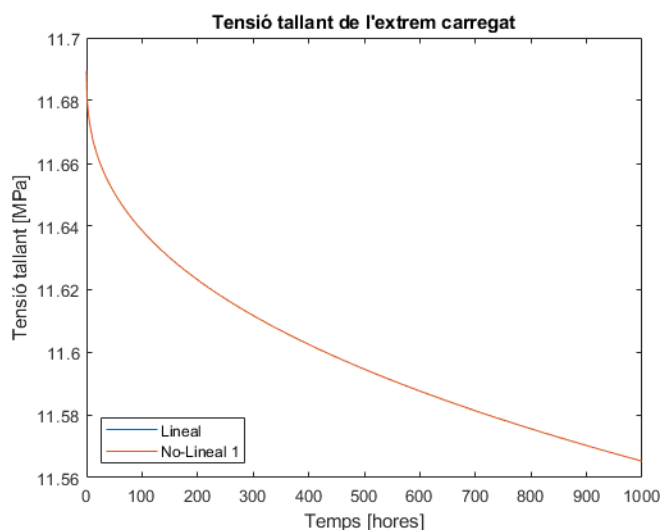


Figura 46: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en el model lineal i en el 1r model no-lineal

5.2.2.5 Altres

La resta de respostes també seran idèntiques al model lineal per una única degradació en la branca ascendent.

5.3 Segona proposta

5.3.1 Plantejament

Davant de la resposta inalterada aplicant la primera proposta de modificació, on s'ha vist que és exactament igual que el comportament lineal, es fa una segona proposta per tal d'obtenir un model no-lineal. Aquesta consisteix en aplicar més dany en funció de la càrrega en la degradació del pendent i continuar sense tenir en compte la degradació del tallant màxim. El dany en la llei local, igual que en el cas anterior, s'aplica en el coeficient de fluència i en lloc de fer-lo augmentar de forma lineal en funció de la càrrega suportada per cada punt de la longitud adherida se'l fa augmentar a través d'una funció.

De forma arbitrària s'ha decidit que quan el percentatge de càrrega sigui del 100%, el coeficient de fluència ha de ser 50 vegades més gran i quan el percentatge de càrrega sigui del 30% no ha de patir cap increment. A més, de la mateixa manera que a l'anterior apartat, per percentatges inferiors al 30% el coeficient ha de mantenir-se constant mantenint la formulació original de l'Equació (14). Així doncs, la nova formulació del coeficient de fluència queda definit per l'Equació (28).

$$\phi(t) = \begin{cases} \left(70 \cdot \frac{P}{P_{max}} - 20\right) \cdot 0,046 \cdot t^{0,39} & \frac{P}{P_{max} \cdot 0,3} > 1 \\ 0,046 \cdot t^{0,39} & \frac{P}{P_{max} \cdot 0,3} \leq 1 \end{cases} \quad (28)$$

On P/P_{max} representa el percentatge de càrrega que existeix en cada punt de la longitud adherida.

La rutina numèrica per realitzar els càlculs no pateix cap variació respecte la primera proposta de model no-lineal, Figura 42.

5.3.2 Resposta obtinguda

5.3.2.1 Evolució del coeficient de fluència amb el temps i la càrrega

De la mateixa forma que s'ha fet a l'apartat anterior, la primera variable a observar és el coeficient de fluència. A l'anterior cas, el pendent de la part no-lineal era força baixa i com a conseqüència no afectava a la resposta adherent.

En aquest cas, el fet d'aplicar-li un factor multiplicador més gran per càrregues elevades ha d'implicar un augment en el pendent. Així doncs, a la Figura 47, que representa el comportament del coeficient de fluència pel segon model no-lineal proposat, es pot veure com el valor màxim d'aquest

coeficient és aproximadament 10. En canvi, pel primer model, Figura 43, el valor màxim del coeficient és aproximadament 1,2, per tant, l'increment en el multiplicador de l'Equació (28) és notori.

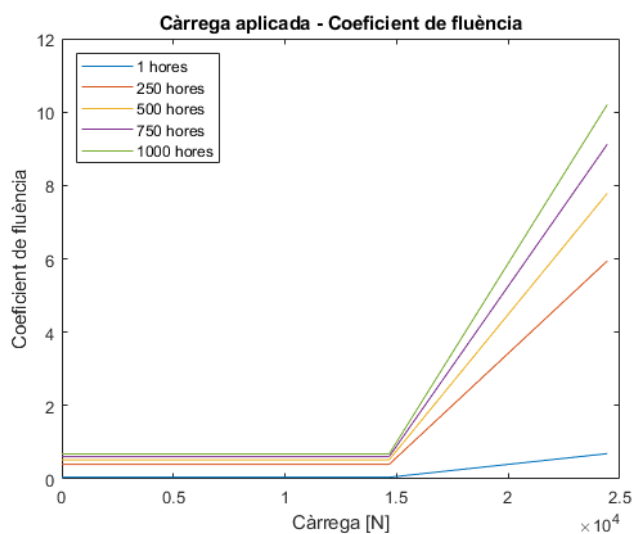


Figura 47: Variació del coeficient de fluència funció de la càrrega suportada i del temps pel 2n model no-lineal

5.3.2.2 Evolució de la llei d'adherència-lliscament amb el temps

La part més important de totes, com s'ha repetit de forma reiterada durant el treball, és la llei local d'adherència-lliscament. En aquesta segona proposta de modelització no-lineal, la reducció el pendent en funció de càrregues amb un percentatge superior al 30% ha de ser més destacable que a la primera proposta.

A la Figura 48 queda representada l'evolució de la llei on també s'hi ha afegit la resposta per un temps de 40 hores, ja que, com més endavant s'explica, per temps petits malgrat que la unió està modelitzada de forma no-lineal, el seu comportament és del tot lineal. La causa d'aquest fet és la mateixa que a la primera proposta. En canvi, a partir d'un temps determinat ja apareix una branca ascendent més, implicant un canvi en el comportament en la resposta i passant a ser no-lineal.

Aquest canvi en la resposta també es deu al fet que per instants inicials el punt on el percentatge de la càrrega és menor que el 30% es troba molt a l'inici i, de forma semblant a les respostes ja vistes sobre la deformació unitària al FRP, que al cap i a la fi és directament proporcional a la càrrega suportada, la distribució de la càrrega suportada anirà augmentant. En conseqüència, el punt on hi ha el canvi de no-lineal a lineal, és a dir, on la càrrega suportada és del 30%, anirà desplaçant-se cap a distàncies més elevades. Aquest desplaçament implica un comportament no-lineal en més distància de la longitud adherida i, per tant, a mesura que el lliscament disminueix al llarg de la longitud, anirà recorrent enrere la branca descendent de la llei local fins a topar-se amb la branca ascendent del model no-lineal. Això acaba implicant que la resposta en el lliscament ja es veu afectada per la no-linealitat del model.

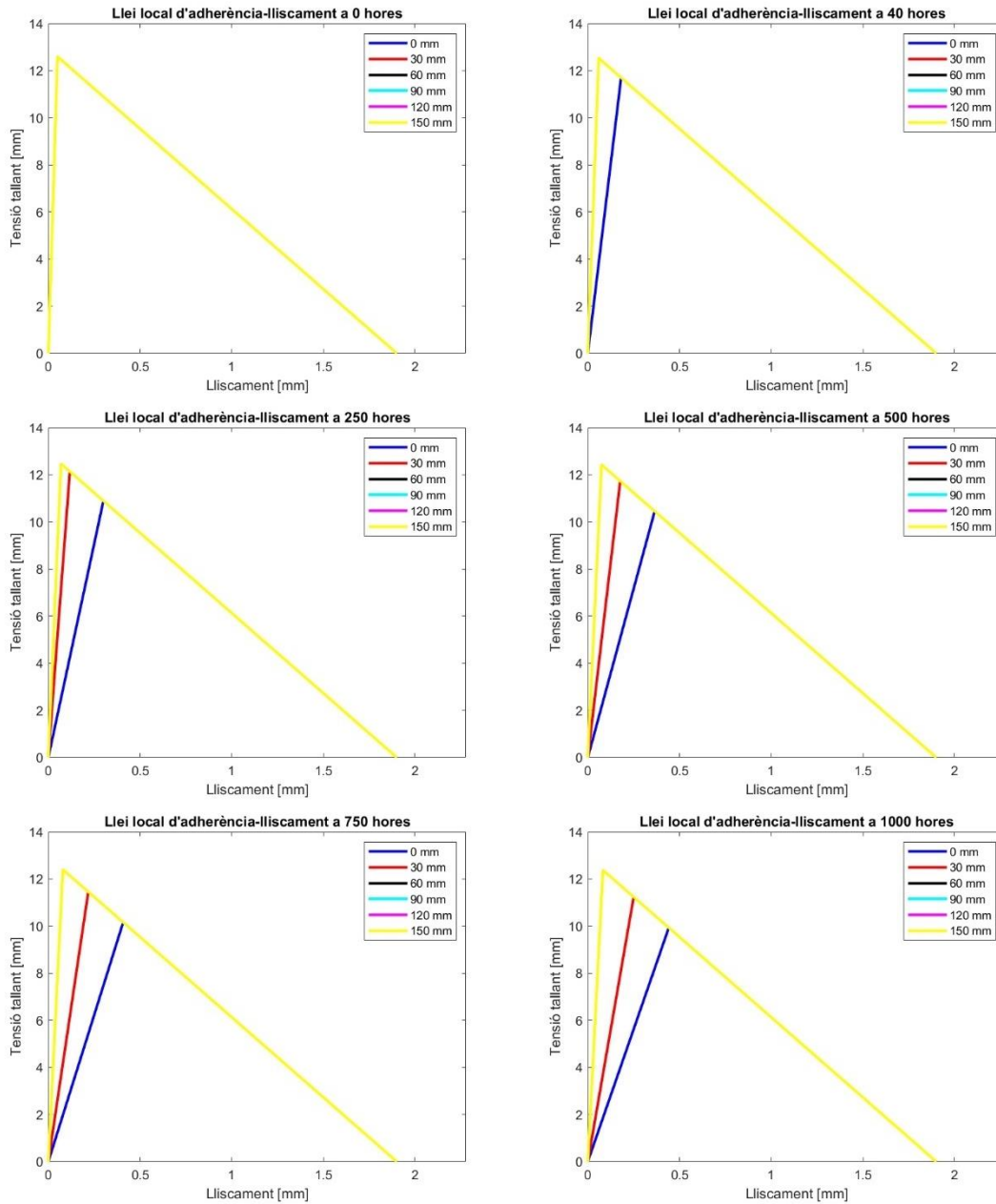


Figura 48: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció de la posició pel 2n model no-lineal

5.3.2.3 Evolució del lliscament a l'extrem carregat amb el temps

La variació de la resposta del lliscament a l'extrem carregat per la segona proposta del model no-lineal està representada a la Figura 49 ("No-Lineal 2"), juntament amb el cas lineal i la primera proposta del model no-lineal ("No-Lineal 1"). El model lineal comparat només contempla la degradació de la branca ascendent i no del tallant màxim, d'igual forma que a la primera proposta del model no-lineal.

En aquesta gràfica es pot veure clarament que per un temps inferior a les 75 hores, aproximadament, el lliscament a l'extrem es comporta igual pels 3 models representats, però passat aquest temps el lliscament del 2n model no-lineal passa a ser diferent augmentant amb molta consideració. L'explicació d'aquest fet es troba a la llei local d'adherència-lliscament (Figura 48) on

s'observa també aquest canvi de resposta. L'explicació del canvi en la llei local ja ha estat explicada a l'apartat anterior.

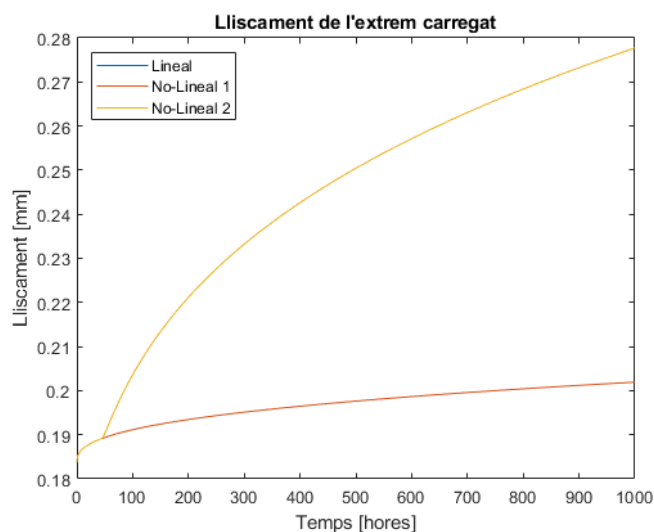


Figura 49: Variació del lliscament a l'extrem carregat en el model lineal, i en el 1r i 2n model no-lineal

5.3.2.4 Evolució del tallant a l'extrem carregat amb el temps

Pel que fa a la resposta de la tensió tallant a l'extrem carregat aquest és semblant, però de forma inversa, a la del lliscament. Per instants inicials el comportament és igual pels 3 models, però a partir de cert temps aquesta segona proposta passa a comportar-se de forma no-lineal. Aquesta variació esmentada queda representada a la Figura 50.

L'explicació és que la tensió tallant està directament relacionada al lliscament a través de la llei local d'adherència-lliscament, per tant, per qualsevol canvi en la resposta del lliscament també ho patirà el tallant.

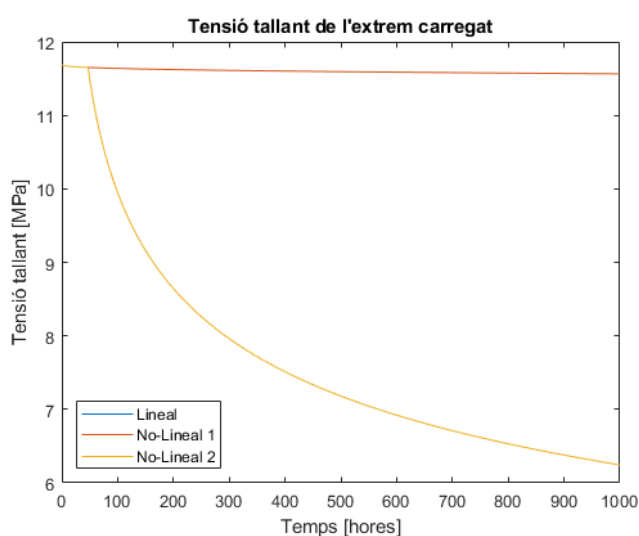


Figura 50: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en el model lineal, i en el 1r i 2n model no-lineal

5.3.2.5 Temps de trencament

Finalment, l'últim aspecte important a estudiar és com canvia el temps de trencament en funció del percentatge de càrrega respecte el model lineal. Aquest temps és avaluat per diversos percentatges que van des del 40%, que haurà de ser igual pels dos models, fins al 100%. Els percentatges inferiors no tenen sentit d'estudi, ja que el model no-lineal no els contempla. Els valors queden recollits a la Taula 8.

Taula 8: Relació del percentatge de càrrega amb el temps que tarda la unió a trencar-se pel model lineal i pel 2n model no-lineal proposat

| Percentatge de càrrega | Temps model lineal | Temps 2n model no-lineal |
|------------------------|--------------------|--------------------------|
| 40% | 1425 hores | 16120027 hores |
| 50% | 249 hores | 570190 hores |
| 60% | 60 hores | 66223 hores |
| 70% | 17 hores | 12578 hores |
| 80% | 4,8 hores | 2940 hores |
| 90% | 1,1 hores | 640 hores |
| 100% | 0 hores | 0 hores |

En aquesta taula s'observen comportaments molt estranys. No té sentit físic que una càrrega del 50% respecte la màxima suportada aplicada de forma sostinguda comporti un trencament a un temps major al de una càrrega del 25% (Taula 6). Concretament el temps de trencament pel 2n model no-lineal per un càrrega del 50% és 2,9 vegades més gran que el temps de trencament per la càrrega del 25% en el model lineal utilitzat a l'estudi paramètric.

L'explicació d'aquest fet es troba en l'augment d'energia de fractura a causa de la no implementació de la degradació de la tensió tallant màxima. Per tant, davant d'aquests resultats obtinguts es pot concloure que aquest model tampoc és bo i per tant cal estudiar una altra opció.

5.4 Tercera proposta

5.4.1 Plantejament

Finalment, es planteja una tercera proposta on a part d'intervenir la degradació de la branca ascendent també intervingui la degradació de la tensió tallant màxima juntament amb la primera proposta.

La modificació de la llei local es pot fer a través del paràmetre τ_{avg} , tensió tallant mitjana, ja que depèn directament de la càrrega aplicada (Equació (21)). La idea és suposar que enlloc de calcular la tensió mitjana a través de la càrrega aplicada, aquesta depengui de la càrrega suportada i, per tant, per cada posició de la longitud adherida la tensió mitjana del FRP és diferent. Amb això s'aconsegueix canviar el valor del coeficient de la degradació de la tensió tallant màxima en funció de la càrrega.

La única diferència respecte el model lineal pel que fa a les equacions, la variable P de l'Equació (21), en lloc de ser la càrrega aplicada a l'extrem carregat passa a ser la càrrega suportada

per cada punt de la longitud adherida. Les equacions de la degradació de la branca ascendent són les utilitzades a la primera proposta.

La diferència en la rutina numèrica respecte el primer model no-lineal és l'aplicació de la degradació del tallant màxim en funció del temps i en funció de la càrrega. La nova rutina numèrica queda representada pel diagrama de flux de la Figura 51.

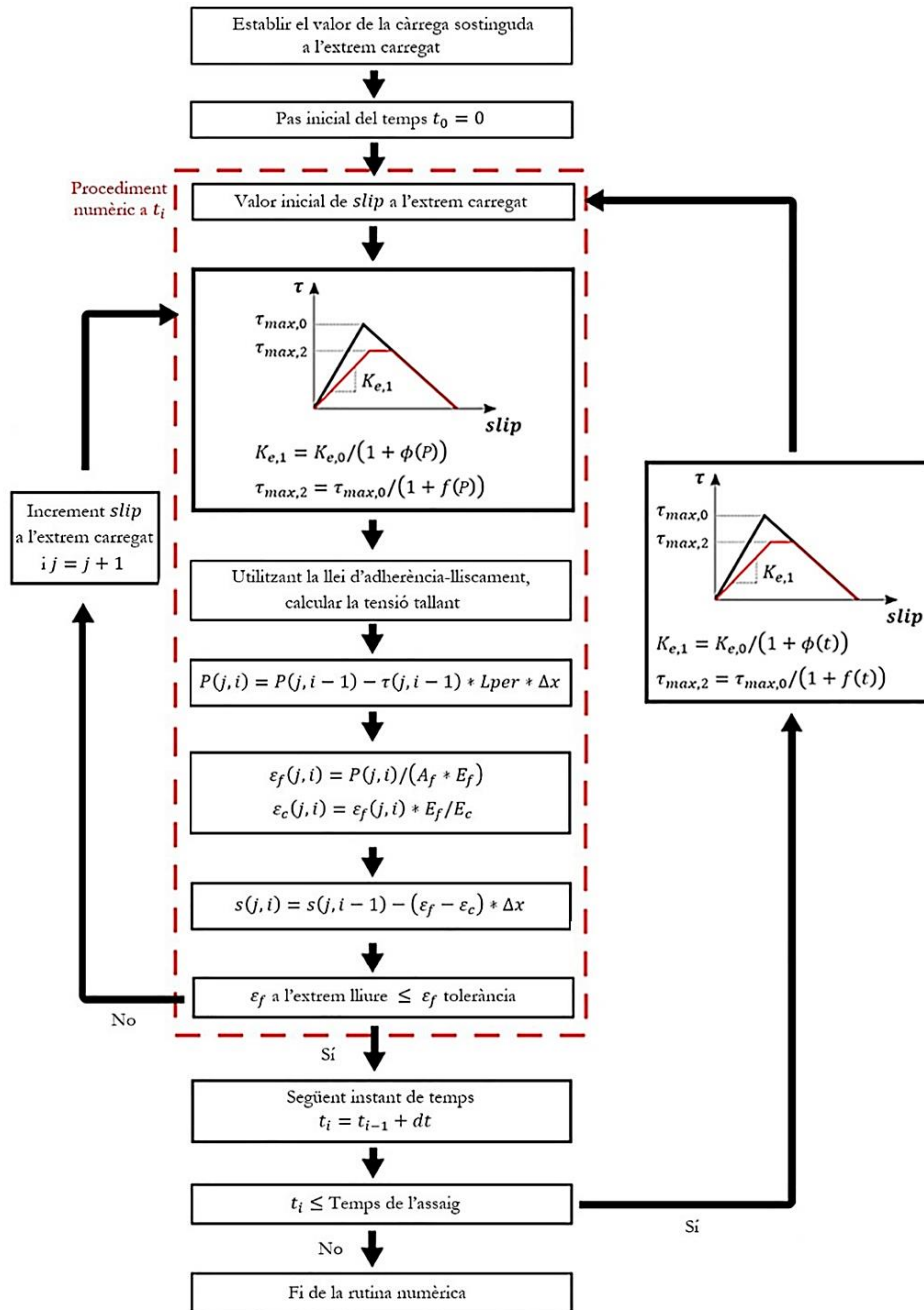


Figura 51: Diagrama de flux del mètode numèric d'assaig de llarg amb la implementació de la 3a proposta de mètode no-lineal

5.4.2 Resposta obtinguda

5.4.2.1 Evolució del coeficient de fluència amb el temps i la càrrega

El coeficient de fluència no rep cap modificació respecte la primera proposta de model no-lineal (Figura 43)

5.4.2.2 Evolució del coeficient de degradació del tallant màxim amb el temps i la càrrega

De forma molt semblant al coeficient de fluència, en aquest cas s'estudia el coeficient de la degradació de la tensió tallant màxim. El comportament que té s'explica a través del fet que per càrregues més elevades el tallant va disminuint en funció de la càrrega suportada per cada posició fins a arribar a un moment on la càrrega suportada sigui igual al 30% de la càrrega màxima. A partir d'aquí la tensió mitjana es manté constant i correspon al resultat del càlcul fet per la càrrega del 30%. El coeficient també augmenta en funció del temps. Tot això queda recollit a la Figura 52.

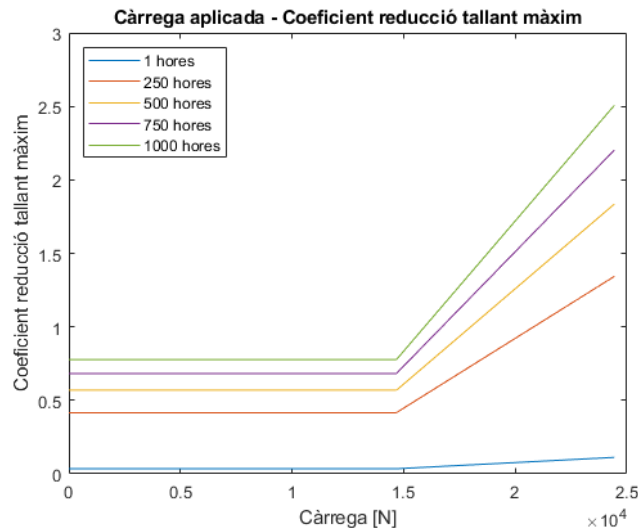


Figura 52: Variació del coeficient de degradació de la tensió tallant màxima en funció de la càrrega suportada i del temps pel 3r model no-lineal

5.4.2.3 Evolució de la llei d'adherència-lliscament amb el temps

La llei local d'adherència-lliscament ha estat modificada per les dues degradacions, així que ha de de comptar amb les 3 branques: ascendent, constant i descendent. Amb el temps les dues primeres parts han de patir una disminució dels seus valors. Pel que fa a la degradació del tallant màxim, de forma similar a la branca ascendent, pren el pitjor valor a la posició de l'extrem carregat i va augmentant l'àrea per sota la corba, l'energia de fractura, fins arribar a la posició on la unió està suportant el 30% de la càrrega màxima, que llavors la llei deixa de patir canvis i es manté constant. Tot aquest comportament es pot observar a la Figura 53.

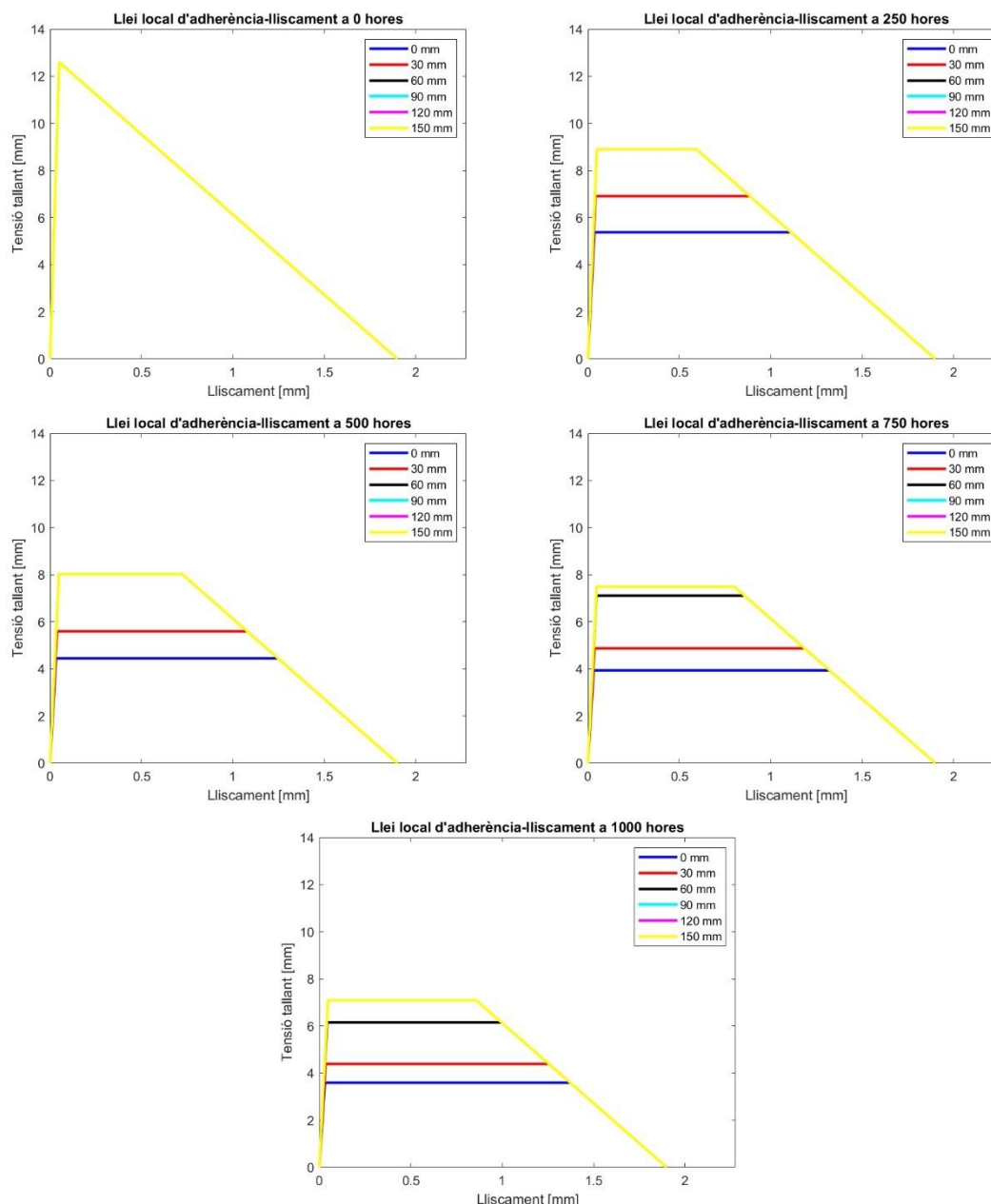


Figura 53: Variació de la llei local d'adherència-lliscament en funció de la posició pel 3r model no-lineal

5.4.2.4 Evolució del lliscament a l'extrem carregat amb el temps

Un cop s'ha definit la nova llei local ja es pot passar a estudiar les variables de resposta com són el lliscament i el tallant a l'extrem carregat. Pel que fa al lliscament es pot veure a la Figura 54, on es compara la resposta d'aquest juntament amb els models no-lineal previs i amb el lineal, que els seus valors es troben aproximadament entre 0,2mm i 0,4 mm i, per tant, en cap moment es trobaran a la branca descendent de la llei (Figura 53).

També s'observa un augment notori del lliscament al llarg del temps respecte els altres models, això és degut a la disminució de l'energia de fractura, també respecte aquests, implicant una

necessitat d'haver de tenir un major lliscament a l'extrem carregat per tal d'obtenir l'àrea necessària sota la corba de la llei local.

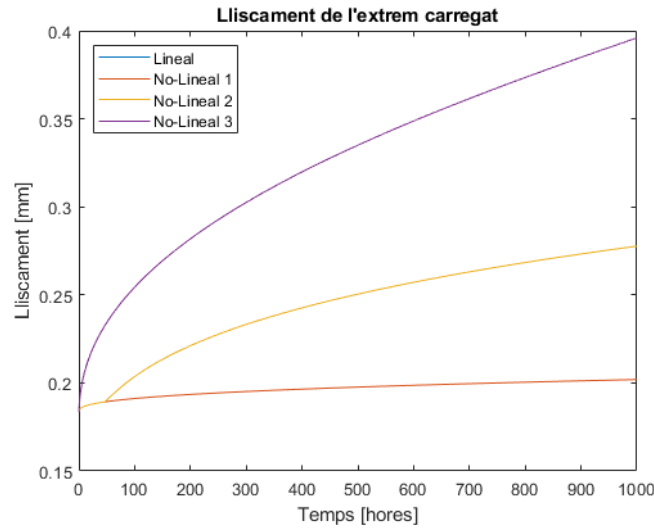


Figura 54: Variació del lliscament a l'extrem carregat en el model lineal, i en el 1r, 2n i 3r model no-lineal

5.4.2.5 Evolució del tallant a l'extrem carregat amb el temps

De manera inversa al comportament del lliscament, la tensió tallant a l'extrem carregat va disminuint en funció del temps tal i com es pot veure a la Figura 55. Una característica important a observar és el valor que pren el tallant per un temps de mil hores, que és aproximadament de 3,5 MPa. Si això es compara amb el valor que pren a la Figura 35 per una càrrega del 40%, que és una mica menys de 5 MPa es pot deduir que aquest 3r model té un cert sentit físic, ja que per càrregues més elevades per una mateixa longitud el tallant ha de ser inferior en el mateix instant de temps.

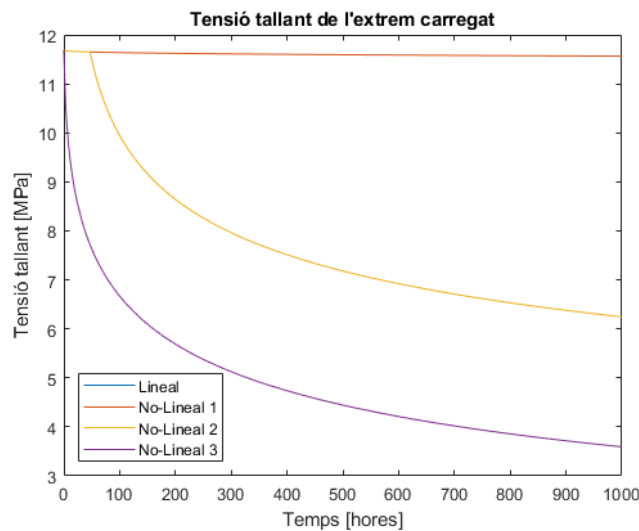


Figura 55: Variació de la tensió tallant a l'extrem carregat en el model lineal, i en el 1r, 2n i 3r model no-lineal

5.4.2.6 Temps de trencament

Finalment, igual que s’ha fet per la 2a proposta del model no-lineal es fa un estudi comparatiu del temps de trencament per percentatges de càrrega que vagin del 40% al 100%, per així acabar de comprendre les característiques de la resposta. Aquesta comparativa queda figurada a la Taula 9. En aquesta el temps de trencament pel model no-lineal hauria d’augmentar respecte el lineal, degut a un creixement de l’energia de fractura al llarg de la longitud adherida.

Taula 9: Relació del percentatge de càrrega amb el temps que tarda la unió a trencar-se pel model lineal i pel 3r model no-lineal proposat

| Percentatge de càrrega | Temps model lineal | Temps 3r model no-lineal |
|------------------------|--------------------|--------------------------|
| 40% | 1425 hores | 5628 hores |
| 50% | 249 hores | 1479 hores |
| 60% | 60 hores | 406 hores |
| 70% | 17 hores | 117 hores |
| 80% | 4,8 hores | 34 hores |
| 90% | 1,1 hores | 9 hores |
| 100% | 0 hores | 0 hores |

Els valors obtinguts tenen un sentit físic molt més clar que no pas pel 2n model proposat (Taula 8). Per tant, és possible que aquest model a falta de ser contrastat amb dades experimentals s’ajusti prou bé a la realitat.

6 RESUM DEL PRESSUPOST

L'execució del pressupost ascendeix a NOU MIL NOU-CENT QUINZE EUROS AMB NORANTA-CINC CÈNTIMS.

7 CONCLUSIONS

Partint de la base dels resultats obtinguts a l'estudi paramètric sobre el comportament adherent a llarg termini de la unió del formigó amb l'FRP, es determinen les següents conclusions:

Primerament, existeix una relació directa dels dos paràmetres estudiats: longitud adherida i percentatge de càrrega, amb la resposta global del sistema a llarg termini. Pel que fa a la longitud adherida, s'ha determinat que una longitud major disminueix el lliscament al llarg d'aquesta. També s'ha determinat que per longituds adherides elevades la unió té una capacitat major per resistir la càrrega al llarg del temps comportant un augment en el temps de trencament. Aquests dos fets tenen una relació directa amb l'augment de l'àrea per sota de la corba de la llei local d'adherència-lliscament que correspon a l'energia de fractura i que l'augment està causat per una menor degradació del tallant màxim.

Envers el percentatge de càrrega, s'ha comprovat que un percentatge major augmenta el lliscament al llarg de la longitud adherida. També s'ha comprovat que per percentatges de càrrega elevats, el temps de trencament de la unió és menor comportant el trencament abans de la fi de la vida útil de l'FRP. Aquests dos fets són causats per la disminució de l'energia de fractura degut a una major degradació del tallant màxim. També s'ha observat pel cas estudiat, un mínim en el lliscament a l'extrem carregat per un percentatge d'entre el 25% i el 28% en el temps de trencament corresponent. L'explicació d'aquest fet no ha sigut trobada i queda a expenses d'un estudi futur.

Segonament, existeix una relació linealment dependent entre la càrrega aplicada i la longitud adherida en el temps de trencament de la unió de l'FRP amb el formigó a la vida útil de 50 anys. Aquesta, no s'ha trobat constància en cap altre treball o article i s'ha definit per l'Equació (26). Tot i això, queda pendent de ser avaluada i contrastada en treballs futurs, ja que en cas de ser certa seria un avanç molt important en el disseny i predicció de l'ús de l'FRP en estructures de formigó. Aquesta equació esmentada permet predir fixant la longitud adherida o la càrrega aplicada quin ha de ser el mínim valor de l'altre paràmetre no fixat per tal d'aconseguir que la unió arribi a la vida útil de 50 anys. Es creu que aquesta equació només és vàlida per les condicions inicials determinades en el treball i que per unes altres podria canviar.

Finalment, s'ha estudiat un nou model de la llei local d'adherència-lliscament a llarg termini pels percentatges de càrrega superiors al 30% on el comportament d'aquesta llei passa de la linealitat a la no-linealitat. S'ha comprovat que per obtenir la no-linealitat és necessari utilitzar les dues degradacions existents de la llei local, ja que sinó s'obtenen resultats irrealment del lliscament a l'extrem carregat i del temps de trencament, disminuint el primer i augmentant al segon fins a valors molt allunyats d'una intuïció lògica envers aquests. L'últim model no-lineal desenvolupat dels tres proposats ha sigut el que ha donat uns resultats físicament possibles, això és degut al fet que és l'únic que utilitza les dues degradacions. Ara bé, queda per estudis futurs la comprovació i l'aprofundiment d'aquest model mitjançant estudis experimentals i analítics.

Per concloure, al llarg del treball s'ha demostrat una gran relació de l'energia de fractura amb la resposta global del comportament adherent a llarg termini. Com a conseqüència, neix una necessitat de continuar estudiant i desenvolupant models de la llei local d'adherència-lliscament amb la major exactitud possible respecte la realitat, per tal d'obtenir una precisió elevada en la predicció del temps de trencament.

8 REFERÈNCIES

- [1] Raja, G. L. V. (1993). *Mechanical and fracture characteristics of steel fibre reinforced high strength concrete* (Doctoral dissertation, PhD thesis. Madras, India: Indian Institute of Technology).
- [2] Panés, A. (2011). Simulación numérica de la interconexión de corte de vigas mixtas de acero de alta resistencia y hormigón UHPC. *Obras y proyectos*, (10), 16-25.
- [3] Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., & Kerckhoff, B. (2002). *Design and control of concrete mixtures* (Vol. 5420, pp. 60077-1083). Skokie, IL: Portland Cement Association.
- [4] Ugochukwu, S. C., Nwobu, E. A., Udechukwu-Ukohah, E. I., Odenigbo, O. G., & Ekweozor, E. C. (2020). Regression Models for Predicting Quantities and Estimates of Steel Reinforcements in Concrete Beams of Frame Buildings. *Journal of Scientific Research & Reports*, 26, 60-74.
- [5] Abbood, I. S., aldeen Odaa, S., Hasan, K. F., & Jasim, M. A. (2021). Properties evaluation of fiber reinforced polymers and their constituent materials used in structures—A review. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1003-1008.
- [6] Torres Llinàs, L., & Barris Peña, C. (2010). L'ús de materials compostos en el reforç intern d'estructures de formigó. © *Nivell: revista del Centre d'Estudis de la Construcció i Anàlisi de Materials*, 2010, núm. 11, p. 21-25.
- [7] Chandran H., Subha K. (2018) A review on strenghtening techniques using nsm and eb frp composites, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 05, Issue 04
- [8] GangaRao, H. V., & Prachasaree, W. (2021). *FRP Composite Structures: Theory, Fundamentals, and Design*. CRC Press.
- [9] Medina, R. M. (2018). Refuerzo a flexión por el sistema NSM (Near Surface Mounted). *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, (264), 64-69.

- [10] Yuan, H., Teng, J. G., Seracino, R., Wu, Z. S., & Yao, J. (2004). Full-range behavior of FRP-to-concrete bonded joints. *Engineering structures*, 26(5), 553-565.
- [11] Emara, M., Barris, C., Baena, M., Torres, L., & Barros, J. (2018). Bond behavior of NSM CFRP laminates in concrete under sustained loading. *Construction and Building Materials*, 177, 237-246.
- [12] Gómez Colom, J., Torres Llinàs, L., & Barris Peña, C. (2020). Characterization and Simulation of the Bond Response of NSM FRP Reinforcement in Concrete. *Materials*, 2020, vol. 13, núm. 7, p. 1770.
- [13] Gómez, J., Barris, C., Jahani, Y., Baena, M., & Torres, L. (2021). Experimental study and numerical prediction of the bond response of NSM CFRP laminates in RC elements under sustained loading. *Construction and Building Materials*, 288, 123082.
- [14] Novidis, D., Pantazopoulou, S. J., & Tentolouris, E. (2007). Experimental study of bond of NSM-FRP reinforcement. *Construction and Building Materials*, 21(8), 1760-1770
- [15] Yuan, H., Lu, X., Hui, D., & Feo, L. (2012). Studies on FRP-concrete interface with hardening and softening bond-slip law. *Composite Structures*, 94(12), 3781-3792.
- [16] Ali, M. M., Oehlers, D. J., Griffith, M. C., & Seracino, R. (2008). Interfacial stress transfer of near surface-mounted FRP-to-concrete joints. *Engineering structures*, 30(7), 1861-1868.
- [17] de Sena Cruz, J. M., & Oliveira de Barros, J. A. (2004). Bond between near-surface mounted carbon-fiber-reinforced polymer laminate strips and concrete. *Journal of composites for construction*, 8(6), 519-527.
- [18] Borchert, K., & Zilch, K. (2008). Bond behaviour of NSM FRP strips in service. *Structural Concrete*, 9(3), 127-142.
- [19] Zhang, S. S., Teng, J. G., & Yu, T. (2013). Bond-slip model for interfaces between near-surface mounted CFRP strips and concrete.

- [20] Seracino, R., Raizal Saifulnaz, M. R., & Oehlers, D. J. (2007). Generic debonding resistance of EB and NSM plate-to-concrete joints. *Journal of Composites for Construction*, 11(1), 62-70.
- [21] Zhang, S. S., Teng, J. G., & Yu, T. (2013). Bond-slip model for CFRP strips near-surface mounted to concrete. *Engineering structures*, 56, 945-953.
- [22] Wu, Z., & Yin, J. (2003). Fracturing behaviors of FRP-strengthened concrete structures. *Engineering Fracture Mechanics*, 70(10), 1339-1355.
- [23] Nakaba, K., Kanakubo, T., Furuta, T., & Yoshizawa, H. (2001). Bond behavior between fiber-reinforced polymer laminates and concrete. *Structural Journal*, 98(3), 359-367.
- [24] Mazzotti, C., & Savoia, M. (2005). Long term properties of bond between concrete and FRP. *Proc int sympo on bond behavior of FRP in structures*, 539-45.
- [25] Ferrier, E., Michel, L., Jurkiewicz, B., & Hamelin, P. (2011). Creep behavior of adhesives used for external FRP strengthening of RC structures. *Construction and Building Materials*, 25(2), 461-467.
- [26] Jeong, Y., Lee, J., & Kim, W. (2015). Modeling and measurement of sustained loading and temperature-dependent deformation of carbon fiber-reinforced polymer bonded to concrete. *Materials*, 8(2), 435-450.
- [27] Dash, S., Jeong, Y., Lopez, M. M., & Bakis, C. E. (2013, June). Experimental characterization of moisture, temperature, and sustained loading on concrete-FRP bond performance. In *Proceedings of 11th International Symposium on Fiber Reinforced Polymers For Reinforced Concrete Structures*.

ANNEX A – PRESSUPOST

A.1 Introducció

En aquest annex es documenta el pressupost de l'elaboració d'aquest treball, incloent-hi tant el cost de l'elaboració com el cost posterior d'anàlisi de resultats i redacció del document.

A.2 Quadre de preus

Taula 10: Preus unitaris dels diversos elements que conformen el treball

| N. | Concepte | Preu unitari | Unitats |
|----|-----------------------------|--------------|---------|
| 1 | Hardware | 100 | €/u |
| 2 | Software | 120 | €/u |
| 3 | Recopilació de bibliografia | 15 | €/h |
| 4 | Estudi previ | 15 | €/h |
| 5 | Comprovacions de la rutina | 30 | €/h |
| 6 | Modelització | 30 | €/h |
| 7 | Anàlisi de resultats | 20 | €/h |
| 8 | Redacció de l'estudi | 15 | €/h |

A.3 Pressupost parcial

A.3.1 Programari

Taula 11: Pressupost parcial del programari

| N. | Concepte | Amidament | Preu unitari | Preu Total |
|---------------------------|----------|-----------|--------------|--------------|
| 1 | Hardware | 1 | 100 €/u | 100 € |
| 2 | Software | 1 | 120 €/u | 120 € |
| TOTAL (sense IVA): | | | | 220 € |

A.3.2 Recerca d'informació

Taula 12: Pressupost parcial de la recerca d'informació

| N. | Concepte | Amidament | Preu unitari | Preu Total |
|---------------------------|-----------------------------|-----------|--------------|---------------|
| 3 | Recopilació de bibliografia | 25 | 15 €/h | 375 € |
| 4 | Estudi previ | 50 | 15 €/h | 750 € |
| TOTAL (sense IVA): | | | | 1125 € |

A.3.3 Generació de la rutina de càlcul

Taula 13: Pressupost parcial de la generació de la rutina de càlcul

| N. | Concepte | Amidament | Preu unitari | Preu Total |
|---------------------------|----------------------------|-----------|--------------|---------------|
| 5 | Comprovacions de la rutina | 30 | 30 €/h | 900 € |
| 6 | Modelització | 100 | 30 €/h | 3000 € |
| TOTAL (sense IVA): | | | | 3900 € |

A.3.4 Interpretació de resultats i redactat

Taula 14: Pressupost parcial de la interpretació de resultats i redactat

| N. | Concepte | Amidament | Preu unitari | Preu Total |
|---------------------------|----------------------|-----------|--------------|---------------|
| 7 | Anàlisi de resultats | 80 | 20 €/h | 1600 € |
| 8 | Redacció de l'estudi | 90 | 15 €/h | 1350 € |
| TOTAL (sense IVA): | | | | 2950 € |

A.4 Pressupost global

Taula 15: Pressupost global del treball

| Conjunt | Preu Total |
|---------------------------------------|------------------|
| Programari | 220 € |
| Recerca d'informació | 1125 € |
| Generació de la rutina del càlcul | 3900 € |
| Interpretació de resultats i redactat | 2950 € |
| TOTAL (sense IVA): | 8195 € |
| IVA (21%): | 1720,95 € |
| TOTAL (IVA inclòs): | 9915,95 € |

ANNEX B – CODI

B.1 Codi Lineal

```
clear all
close all
clc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DADES A ENTRAR %%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%triar quin tipus de reforç tenim, ENTRAR!
EBR = 0;
NSM_barra = 0;
NSM_strip = 1;

%%FRP
Ef = 170000; % Modul de Young FRP

%%FORMIGÓ
Ec = 46859;
fc = 36.86;
ft = 5.7;

%%ADHESIU
Ea = 10714.6;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DADES A ENTRAR %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tg = 7.5;      %%gruix de la regata (7.5 --> no fricció)
L = 150;      %% Llargada adherida, mm (150-300)
perc_carr = 0.30; %%percentatge màxim 0.995(0.10-0.40)
per_tau_f = 0.38; %% segons Borchert

% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     alpha = 0;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     alpha = 0;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.3
%     alpha = 0.039;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.3
%     alpha = 0.032;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     alpha = 0;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     alpha = 0;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.3
```

```

%     alpha = 0.007;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.3
%     alpha = 0.009;
% end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if EBR == 1

    bf = 100;          %%Amplada FRP, mm, ENTRAR!
    tf = 1.4;         %%Gruix FRP, mm, ENTRAR!
    Af = bf*tf;
    perimetre = bf;

elseif NSM_barra == 1

    diametre = 8;     %%diametre de la barra, mm, ENTRAR!
    Af = pi()*(diametre/2)^2;
    ta = (tg-diametre)/2;
    perimetre = pi()*(diametre+ta);

elseif NSM_strip == 1

    bf = 10;          %%Amplada FRP, mm, ENTRAR!
    tf = 3;           %%Gruix FRP, mm, ENTRAR!
    hg = 15;
    Af = bf*tf;
    ta = (tg-tf)/2;
    tah = (hg-bf)/2;
%     perimetre = 2*(bf+tah)+(tf+ta)+ta;
%     if tg == 7.5
%         perimetre = hg*2+tg;
%     elseif tg == 10
%         perimetre = 2*(bf+ta)+(tf+ta)+ta;
% %         perimetre_2 = (1/2)*(bf+3*hg+tf+tg); %% és la mateixa expressió
% %         que l'anterior, però en funció de les mides de regata i FRP
%     end
    perimetre = 2*(bf+tah)+(tf+ta);
end

bc = 200;            %%Amplada formigó, mm
tc = 200;            %%Gruix formigó, mm
Ac = bc*tc-Af;       %%Àrea formigó

d = 0.1;             %% Distància dels punts d'estudi en l'FRP, en mm
n = round(L/d)+1;    %% nombre de punts d'estudi
strains_adm = 0.05;  %% percentatge d' strains que es considerarà a la
Longitud activada
s = 0;               %%valor inicial per la primera iteracio

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% BOND-SLIP %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```



```

if tg == 7.5 %%%%%%%%% BOND SLIP 7.5 MM%%%%%%%%
    s_f = 1.9;
    s_f_ini = s_f;
    s_1 = 0.05;
    s_1_ini = s_1;
    tau_max = 12.6; %% per Lb = 225
    tau_max_ini = tau_max;
    s_4 = s_f;
    tau_f = 0;
    tau_f_ini = tau_f;

    Ke_e = tau_max/s_1; %%%pendent branca elastica
    Ke_s = (0-tau_max)/(s_f-s_1); %%%pendent branca softening

elseif tg == 10 %%%%%%%%% BOND SLIP 10 MM%%%%%%%%
    s_f = 1.9;
    s_f_ini = s_f;
    s_1 = 0.05;
    s_1_ini = s_1;
    tau_max = 10.6;
    tau_max_ini = tau_max;
    Gf = tau_max*s_1/2+(s_f-s_1)*tau_max/2;
    tau_f = per_tau_f*tau_max;
    tau_f_ini = tau_f;
    s_4 = per_tau_f*s_1+(1-per_tau_f)*s_f;

    Ke_e = tau_max/s_1; %%%pendent branca elastica
    Ke_s = (tau_f-tau_max)/(s_4-s_1); %%%pendent branca softening

end

%
%
% cd ..
% cd resultats_experimentals\resultats_LT
%
% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_1 = load('temps_bloc_1.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_1.temps_bloc_1;
%     slip_1 = load('slip_1_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_1.slip_1_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_2 = load('temps_bloc_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_2.temps_bloc_2;
%     slip_2 = load('slip_2_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_2.slip_2_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_3 = load('temps_bloc_3.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_3.temps_bloc_3;
%     slip_3 = load('slip_3_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_3.slip_3_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_4 = load('temps_bloc_4_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_4.temps_bloc_4_2;
%     slip_4 = load('slip_4_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_4.slip_4_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_5 = load('temps_bloc_5.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_5.temps_bloc_5;

```

```

%     slip_5 = load('slip_5_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_5.slip_5_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_6 = load('temps_bloc_6.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_6.temps_bloc_6;
%     slip_6 = load('slip_6_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_6.slip_6_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_7 = load('temps_bloc_7.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_7.temps_bloc_7;
%     slip_7 = load('slip_7_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_7.slip_7_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_8 = load('temps_bloc_8.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_8.temps_bloc_8;
%     slip_8 = load('slip_8_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_8.slip_8_LT_teo;
% end
%
%
% cd ../../
% cd resultats_teorics_bons

%%%%%  DESCOMENTAR SI ES VOL CALCULAR LA CÀRREGA SOSTINGUDA TEÒRICA %%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%ASSAIG SHORT-TERM, PER CONÈIXER LA P_max del sistema

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1;    %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR
P = NaN(1,n);
Sigma_f = NaN(1,n);
Eps_b = NaN(1,n);

Sigma_c = NaN(1,n);
Eps_c = NaN(1,n);
slip = NaN(1,n);
tau = NaN(1,n);
posicio = zeros(1,n);

tol_min = 0.1;    %%valor mínim per tal d'acceptar una solució
loop = 1;
ii = 1;
iteracions_tot = 1;
P_ini = 0;
slip_max = 2;

while loop == 1

```

```

continuar = 1;           %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;        %%comptem quantes iteracions fem
increment = 10;        %%increment de 10 N
increment_slip = 0.01; %%increment de l'slip en el següent instant de
                        temps

while continuar == 1

    slip(1,1) = s;      %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM CARREGAT

    for i = 1:n

        if i == 1
            P(1,i) = P_ini;
        else
            P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d; %%CÀRREGA SUPORTADA EN
QUALSEVOL PUNT DE L'FRP
        end

        Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
        Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
        Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
        Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

        if i > 1 %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega
            slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
        end

        %% BOND SLIP

        if tg == 7.5
            if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
                tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
            elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
                tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
            elseif slip(1,i) > s_f
                tau(1,i) = 0;
            else
                tau(1,i) = 0;
            end
        elseif tg == 10
            if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
                tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
            elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
                tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
            elseif slip(1,i) > s_4
                tau(1,i) = tau_f;
            else
                tau(1,i) = 0;
            end
        end

        posicio(1,i) = (i-1)*d; %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

```

```

end

    tolerancia = Eps_b(1,i)*100000;    %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

        if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0

            increment = increment/2;

        elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0

            increment = increment/2;

        end

    end

end

    if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA

        continuar = 0;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR

        P_ini = P_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR

        P_ini = P_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    end

    iteracions = iteracions+1;

end

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
s_ii(1,ii) = slip(1,1);
P_ii(1,ii) = P(1,1);

if ii > 1

```

```

diferencia = abs(P_ii(1,ii)/max(P_ii)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT AMB
EL DE L'INSTANT ANTERIOR

if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
més petita que l'anterior, parem el bucle
    loop = 0; %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
    s_tot = s_ii(1,1:(ii-1));
    P_tot = P_ii(1,1:(ii-1));
end
end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end

P_max_estatica = max(P_tot);
[~,columna_P_max] = find(max(P_tot)==P_tot,1);

% if L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 14140;
%     slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 17490;
%     slip_ini_teo = 0.107133641955701;
% else
%     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
% end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%ASSAIG LONGTERM

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     P_ap = 6390;
%     slip_ini_teo = 0.0347247031805355;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     P_ap = 6540;
%     slip_ini_teo = 0.0364008738567955;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 12860;
%     slip_ini_teo = 0.0746589161737491;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 14140;
%     slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     P_ap = 8190;

```

```

%     slip_ini_teo = 0.0445041993109533;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     P_ap = 8940;
%     slip_ini_teo = 0.0456531850884133;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 15240;
%     slip_ini_teo = 0.0952535405414332;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 17490;
%     slip_ini_teo = 0.107133641955701;
% % else
% %     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
% end

P_ap = perc_carr*P_max_estatica;           %%apliquem un percentatge de la
càrrega màxima
%P_ap = 17838.6;
dif_P_ap = abs(P_tot(1,1:columna_P_max)-P_ap);
[~,posicio_P_ap] = find(min(dif_P_ap) == dif_P_ap,1);
slip_ini_teo = s_tot(1,posicio_P_ap);
tau_average = P_ap/(perimetre*L);
tau_norm = tau_average/tau_max_ini;

%%DURADA ASSAIG
salt_temps = 1;
temps = 0:salt_temps:1000;                %% durada de l'assaig, hores
durada = length(temps);
posicio(1,1:n) = (0:(n-1))*d; %%posicio dels punts d'estudi, EN mm

Sigma_f_ii = zeros(durada,n);
Sigma_c_ii = zeros(durada,n);
Eps_b_ii = zeros(durada,n);
Eps_c_ii = zeros(durada,n);
tau_ii = zeros(durada,n);
slip_tot_ii = zeros(durada,n);
P_tot_ii = zeros (durada,n);
s_1_ii = zeros(1,durada);
s_1_ii_2 = zeros(1,durada);
s_1_2_ii = zeros(1,durada);
s_2_ii = zeros(1,durada);
s_3_ii = zeros(1,durada);
s_4_ii = zeros(1,durada);
s_5_ii = zeros(1,durada);
s_6_ii = zeros(1,durada);
s_f_ii = zeros(1,durada);
G_el_ii = zeros(1,durada);
Gf_ii = zeros(1,durada);
tau_max_ii = zeros(1,durada);
tau_f_ii = zeros(1,durada);
pos_Lactivada = zeros(1,durada);
Lact = zeros(1,durada);
Leff_2 = zeros(1,durada);
Ke_e_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_slip_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_f_ii = zeros(1,durada);
trencament = 0; %%variable que controla si hi ha hagut trencament

```

```
ii = 1;
s = 0;
while ii <= durada && trencament == 0

d_t = temps(1,ii) %% mostrem en quin instant de temps estem

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CREEP SLIP %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% if d_t <= 74.86
%   creep_coef_slip = 0.0618042356606177*(d_t^0.329445842650941); %%creep
exp Javi
%   %creep_coef_slip = 0.0499999999999911*(d_t^[2.98023223876900e-08]);
%   %%creep exp Borchert
% elseif d_t > 74.86
%   creep_coef_slip = 0.0353473880435711*(d_t^0.444738438542732); %%creep
exp Javi
%   %creep_coef_slip = 0.0252230958272631*(d_t^0.499152462296756);
%   %%creep exp Borchert
% end

% creep_coef_slip = creep_coef_slip;
creep_coef_slip = 0.046*(d_t^0.39);
creep_coef_slip_ii(1,ii) = creep_coef_slip;

s_1 = s_1_ini*(1+creep_coef_slip);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CREEP TAU MAX %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if (tau_average/tau_max_ini)>=0.18
    alpha = (tau_average/tau_max_ini-0.18)/2.21;
elseif (tau_average/tau_max_ini)<0.18
    alpha=0;
end

creep_coef_tau = alpha*(d_t^0.45);
creep_coef_tau_ii(1,ii) = creep_coef_tau;
tau_max = tau_max_ini/(1+creep_coef_tau);
tau_max_ii(1,ii) = tau_max;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CREEP TAU F %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%
% if d_t <= 10
%   creep_coef_tau_f = 0.127955046954377*(d_t^0.00963701844233686);
% elseif d_t > 10
%   creep_coef_tau_f = 0.199217611003044*(d_t^0.121633464334935);
%%multipliquem per 1.5 el creep
% end

creep_coef_tau_f = 0;
```

```

creep_coef_tau_f_ii(1,ii) = creep_coef_tau_f;
tau_f = tau_f_ini/(1+creep_coef_tau_f);
tau_f_ii(1,ii) = tau_f;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% càlcul dels nous punts de la bond-slip
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

Ke_e = tau_max_ini/s_1; %% calculem el nou pendent Ke, amb el nou slip 1 i
la tau max inicial
Ke_e_ii(1,ii) = Ke_e;

```

```

%% Degradació tallant màxim %%
s_2 = tau_max/Ke_e; %% calculem l'slip 2 que limita la nova tau max amb la
nova Ke
s_1_1 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
if s_1_1 < s_2
    s_2 = s_1_1;
    tau_max = Ke_e*s_2;
end

```

```

%% No degradació tallant màxim %%
% s_2 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
% tau_max = Ke_e*s_2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

s_2_ii(1,ii) = s_2;

```

```

s_3 = s_1_ini+(tau_max-tau_max_ini)/Ke_s;
s_3_ii(1,ii) = s_3;

```

```

s_4_ii(1,ii) = s_4;

```

```

s_5 = s_1+(tau_f_ini-tau_max_ini)/Ke_s;
s_5_ii(1,ii) = s_5;

```

```

s_6 = s_1+(tau_f-tau_max_ini)/Ke_s;
s_6_ii(1,ii) = s_6;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% càlcul energia de fractura
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
A1 = tau_max*s_2/2;
A2 = tau_max*(s_3-s_2);
A3 = (tau_max)*(s_f_ini-s_3)/2;
Gf = A1+A2+A3;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

tolerancia = 1; %%valor inicial per a que entri en el bucle

```

```

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR

```

```

Sigma_f = zeros(1,n);
Eps_b = zeros(1,n);
P = zeros(1,n);
Sigma_c = zeros(1,n);
Eps_c = zeros(1,n);

```



```

slip = zeros(1,n);
tau = zeros(1,n);

s_ini = s;
tol_min = 0.001;      %%valor mínim per tal d'acceptar una solució, si és
molt petit no podem fer llargades grans
continuar = 1;        %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;      %%comptem quantes iteracions fem
increment = 0.01;    %%increment de l'slip en el següent instant de temps

while continuar == 1

    slip(1,1) = s_ini;    %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM
CARREGAT

    for i = 1:n
        if i == 1    %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega, per tant la formula de la càrrega es simplifica
            P(1,i) = P_ap;
        else
            P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d;
        end

        Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
        Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
        Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
        Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

        if i > 1    %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega
            slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
        end

        if tg == 7.5
            if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
                tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_2);
            elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
                tau(1,i) = tau_max;
            elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_f_ini
                tau(1,i) = tau_max*(s_f_ini-slip(1,i))/(s_f_ini-s_3);
            elseif slip(1,i) > s_f_ini
                tau(1,i) = 0;
            else
                tau(1,i) = 0;
            end

        elseif tg == 10
            if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
                tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_2);
            elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
                tau(1,i) = tau_max;
            elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_4
                tau(1,i) = tau_max+((tau_f_ini-tau_max)/(s_4-s_3))*(slip(1,i)-
s_3);
            elseif slip(1,i) > s_4 && slip(1,i) <= s_5

```

```

        tau(1,i) = tau_f_ini;
    elseif slip(1,i) > s_5 && slip(1,i) <= s_6
        tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_f_ini)/(s_6-s_5))*(slip(1,i)-
s_5);
    elseif slip(1,i) > s_6
        tau(1,i) = tau_f;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
end

end

tolerancia = Eps_b(1,i)*100000;

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT
        if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0
            increment = increment/2;
        elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0
            increment = increment/2;
        end
    end

    %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA
    if abs(tolerancia) <= tol_min %%SI COMPLIM, SORTIM DEL BUCLE
        continuar = 0;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR
        s_ini = s_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR
        s_ini = s_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    end

    iteracions = iteracions+1;

end

loaded_end(ii,1:2) = [slip(1,1) tau(1,1)];

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
P_tot_ii(ii,:)=P(1,:);

    if trencament == 1 %% si trenca serà tot 0

```

```

        Sigma_f_ii(ii,:) = 0;
        Sigma_c_ii(ii,:) = 0;
        Eps_b_ii(ii,:) = 0;
        Eps_c_ii(ii,:) = 0;
        tau_ii(ii,:) = 0;
        slip_tot_ii(ii,:) = 0;
    end

    if trencament == 0
    %%CÀLCUL DE LA LLARGADA ACTIVADA
        if tau_ii(ii,n) < 0.05*max(tau_ii(ii,:))
            pos_Lactivada(1,ii) = find(0.05*max(tau_ii(ii,:)) > tau_ii(ii,:),1);
            Lact(1,ii) = posicio(1,pos_Lactivada(1,ii));
        else
            Lact(1,ii) = L;
        end

    %%CÀLCUL DE LA LLARGADA EFECTIVA: MÈTODE 2 -> FÓRMULA ALI
        lambda_1 = sqrt(tau_max*perimetre/(s_1*Ef*Af));
        lambda_2 = sqrt(tau_max*perimetre/((s_f-s_1)*Ef*Af));
        a = (1/lambda_2)*asin(0.97*sqrt((s_f-s_1)/s_f));
        Leff_2(1,ii) =
        a+(1/(2*lambda_1))*log((lambda_1+lambda_2*tan(lambda_2*a))/(lambda_1-
        lambda_2*tan(lambda_2*a)));

    end

    s = slip(1,1);           %%sera el nou valor inicial per l'iteració
    s_1_ii(1,ii) = s_1;
    s_f_ii(1,ii) = s_f;
    tau_max_ii(1,ii) = tau_max;
    Gf_ii(1,ii) = Gf;

    ii = ii+1;
    pause(0.0002);
    end %%Final del bucle de temps

    ii = ii-1;
    % slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_exp(1,1);
    slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_ini_teo;
    %slip_load_end = slip_tot_ii(:,1);

    %% CALCULEM ELS VECTORS DE TEMPS (PER SI HA TRENCAT DURANT L'ASSAIG)
    temps_ini = NaN(1,n);
    temps_mig = NaN(1,n);
    temps_final = NaN(1,n);

    for i = 1:n %%guardem els instants de temps que representem
        temps_ini(1,i) = temps(1,1)+1;
        temps_mig(1,i) = round(temps(1,ii)/2);
        temps_final(1,i) = temps(1,ii);
    end

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

%ASSAIG MONOTONIC POST LT

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1;    %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR
P = NaN(1,n);
Sigma_f = NaN(1,n);
Eps_b = NaN(1,n);

Sigma_c = NaN(1,n);
Eps_c = NaN(1,n);
slip = NaN(1,n);
tau = NaN(1,n);
posicio = zeros(1,n);

Sigma_f_ii_MT = zeros(durada,n);
Sigma_c_ii_MT = zeros(durada,n);
Eps_b_ii_MT = zeros(durada,n);
Eps_c_ii_MT = zeros(durada,n);
tau_ii_MT = zeros(durada,n);
slip_tot_ii_MT = zeros(durada,n);
s_ii_MT = zeros(1,n);
P_ii_MT = zeros(1,n);

tol_min = 0.1;    %%valor mínim per tal d'acceptar una solució
loop = 1;
ii = 1;
iteracions_tot = 1;
P_ini = 0;
slip_max = 2;
% s = 0;

while loop == 1

continuar = 1;    %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;    %%comptem quantes iteracions fem
increment = 10;    %%increment de 10 N
increment_slip = 0.01;    %%increment de l'slip en el següent instant de
temps

while continuar == 1

    slip(1,1) = s;    %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM CARREGAT

    for i = 1:n

        if i == 1
            P(1,i) = P_ini;
        else
            P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d; %%CÀRREGA SUPORTADA EN
QUALSEVOL PUNT DE L'FRP
        end

        Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
        Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;

```

```

Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

if i > 1  %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega
    slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
end

%% BOND SLIP
if tg == 7.5
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
        tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
    elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
        tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
    elseif slip(1,i) > s_f
        tau(1,i) = 0;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
elseif tg == 10
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
        tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
    elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
        tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
    elseif slip(1,i) > s_4
        tau(1,i) = tau_f;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
end

posicio(1,i) = (i-1)*d;  %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

end

tolerancia = Eps_b(1,i)*100000;  %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

    if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0

        increment = increment/2;

    elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0

        increment = increment/2;

    end

end

end

```

```

if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA
    continuar = 0;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR

        P_ini = P_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR

        P_ini = P_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

end

iteracions = iteracions+1;

end

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii_MT(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii_MT(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii_MT(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii_MT(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii_MT(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii_MT(ii,:) = slip(1,:);
s_ii_MT(1,ii) = slip(1,1);
P_ii_MT(1,ii) = P(1,1);

if ii > 1

    diferencia = abs(P_ii_MT(1,ii)/max(P_ii_MT)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT
AMB EL DE L'INSTANT ANTERIOR

    if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
més petita que l'anterior, parem el bucle
        loop = 0; %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
        s_tot_post_LT = s_ii_MT(1,1:(ii-1));
        P_tot_post_LT = P_ii_MT(1,1:(ii-1));
    end
end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end

%%%%%%%%%%%%%% CALCULEM EL VALOR DE TALLANT MITJÀ %%%%%%%%%%%%%%%

% for j = 1:ii

```

```

%     tau_average(1,j) = mean(tau_ii(j,:));
% end
% message = ['Average bond shear stress is: ' num2str(tau_average(1,end)) '
MPa'];

% cd grafiques

figure(1)
plot(s_tot,P_tot/1000,'b','Linewidth',2)
hold on
plot(s_tot_post_LT,P_tot_post_LT/1000,'r','Linewidth',2)
hold off
legend('Monotonic instantaneous characterization','Monotonic post LT')
xlabel('Slip [mm]')
ylabel('Load [kN]')
xlim([0 2])
ylim([0 70])

figure(11)
plot(temps,creep_coef_slip_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_f_ii)
hold off
xlabel('Time [hours]')
xlim([0 temps_final(1,1)-salt_temps])
title('Creep coefficients temps')
legend('Creep slip','Creep tau max','Creep tau friccio')

if tg == 7.5

    font = 15;
    figure(8)
    plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,1)
tau_max_ii(1,1) 0],'b','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(end*(1/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
0],'r','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(end*(2/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
0],'k','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
0],'c','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,end)
tau_max_ii(1,end) 0],'color',[232 173 63]/255,'Linewidth',2)
    hold on
    plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2),'r*','Linewidth',2)
    hold on

```

```

plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(end*(1/4)),2), 'r*', 'Line
width',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(end*(2/4)),2), 'r*', 'Line
width',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2), 'r*', 'Line
width',2)
    hold on
plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2), 'r*', 'Linewidth',2)
    hold off
    legend([num2str(temps(1,1)), '
hours'], [num2str(temps(1,round(end*(1/4))))+1), '
hours'], [num2str(temps(1,round(end*(2/4))))), '
hours'], [num2str(temps(1,round(end*(3/4))))), '
hours'], [num2str(temps(1,end)), ' hours'])
%     legend('-DynamicLegend');
%     legend('show');
set(gca, 'FontSize', font);
xlabel('Slip, s [mm]')
ylabel('Bond shear stress, \tau [MPa]')
ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
xlim([0 2])
nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_', num2st
r(tg*10), '_borchert'];
%     savefig(nom)
%     print(nom, '-dpng')

elseif tg == 10

    font = 15;
    figure(8)
    plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_4_ii(1,1) s_5_ii(1,1) s_6_ii(1,1) 5],[0
tau_max_ii(1,1) tau_max_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1)], 'DisplayName', [num2str(temps(1,1)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(ii*(1/4)))
s_4_ii(1,round(end*(1/4))) s_5_ii(1,round(end*(1/4)))
s_6_ii(1,round(end*(1/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))], 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(1/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(ii*(1/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(ii*(2/4)))
s_4_ii(1,round(end*(2/4))) s_5_ii(1,round(end*(2/4)))
s_6_ii(1,round(end*(2/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(2/4)))], 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(2/4)
)), ' hours'])

```



```

    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(ii*(2/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4)))
s_4_ii(1,round(end*(3/4))) s_5_ii(1,round(end*(3/4)))
s_6_ii(1,round(end*(3/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(3/4)))], 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(3/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_4_ii(1,end) s_5_ii(1,end)
s_6_ii(1,end) 5],[0 tau_max_ii(1,end) tau_max_ii(1,end) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,end)
tau_f_ii(1,end)], 'DisplayName', [num2str(temps(1,end)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2), 'r*')
    legend('-DynamicLegend');
    legend('show');
    title('Bond slip law during time')
    set(gca,'FontSize',font);
    xlabel('Slip [mm]')
    ylabel('Tau [MPa]')
    ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
    xlim([0 1.25*max(s_f_ii)])
    hold off
    nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_', num2st
r(tg*10), '_borchert'];
% savefig(nom)
% print(nom, '-dpng')

```

end

```

figure(5) %slip-time a l'extrem carregat per tot t
plot(temps/24,slip_load_end)
% hold on
% plot(temps_exp,slip_exp)
hold off
xlim([0 (temps_final(1,1)-salt_temps)/24])
legend('Teoric', 'Experimental')
xlabel('Time [days]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip - time')

```

```

figure(4)
plot(posicio,tau_ii(1,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(751,:))

```

```

hold on
plot(posicio,tau_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'],[num2str(temps(1,251)), '
hours'],[num2str(temps(1,501)), ' hours'],[num2str(temps(1,751)), '
hours'],[num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Position [mm]')
ylabel('Shear [MPa]')
title('Shear stress along the FRP, at the maximum load')
hold off

figure(6)
plot(posicio,slip_tot_ii(1,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(751,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'],[num2str(temps(1,251)), '
hours'],[num2str(temps(1,501)), ' hours'],[num2str(temps(1,751)), '
hours'],[num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Positionp [mm]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip along the FRP, at the maximum load')

%%

xlswrite('slip_tot_ii_L.xlsx',slip_tot_ii)
xlswrite('posicio_L.xlsx',posicio)
xlswrite('tau_ii_L.xlsx',tau_ii)
xlswrite('s_2_ii_L.xlsx', s_2_ii);
xlswrite('s_3_ii_L.xlsx',s_3_ii);
xlswrite('s_f_ini_L.xlsx', s_f_ini);
xlswrite('tau_max_ii_L.xlsx',tau_max_ii);

% xlswrite('slip_tot_ii_300.xlsx',slip_tot_ii);
% xlswrite('posicio_300.xlsx',posicio);
% xlswrite('tau_ii_300.xlsx',tau_ii);
% xlswrite('s_2_ii_300.xlsx', s_2_ii);
% xlswrite('s_3_ii_300.xlsx',s_3_ii);
% xlswrite('s_f_ini_300.xlsx', s_f_ini);
% xlswrite('tau_max_ii_300.xlsx',tau_max_ii);
% xlswrite('Eps_b_ii_300.xlsx', Eps_b_ii)
%xlswrite('temps.xlsx', temps);

% xlswrite('slip_tot_ii_40.xlsx',slip_tot_ii);
% xlswrite('posicio_40.xlsx',posicio);
% xlswrite('tau_ii_40.xlsx',tau_ii);
% xlswrite('s_2_ii_40.xlsx', s_2_ii);
% xlswrite('s_3_ii_40.xlsx',s_3_ii);
% xlswrite('s_f_ini_40.xlsx', s_f_ini);
% xlswrite('tau_max_ii_40.xlsx',tau_max_ii);
% xlswrite('Eps_b_ii_40.xlsx', Eps_b_ii);

% if tg == 7.5

```

```
%    tg_nom = tg*10;
% elseif tg == 10
%    tg_nom = tg;
% end
%
% cd resultats_numeric_LV\slip_time
% %%GUARDEM LES DADES DE DESPLAÇAMENT I CÀRREGA EN UN ARXIU TXT
% nom =
['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg_nom),'.txt'];
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');
% slip_temps = [temps; slip_load_end];
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',slip_temps);
% cd ..
% cd Lact_time
%
% nom =
['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg*10),'.txt'];
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');
% Lact_temps = [temps; Lact];
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',Lact_temps);
%
% cd ..\..

% save('creep_coef_tau_ii','creep_coef_tau_ii')
```



```

Ke_e = tau_max/s_1;    %%pendent branca elastica
Ke_s = (0-tau_max)/(s_f-s_1);    %%pendent branca softening

elseif tg == 10 %%%%%%%%% BOND SLIP 10 MM%%%%%%%%
s_f = 1.9;
s_f_ini = s_f;
s_1 = 0.05;
s_1_ini = s_1;
tau_max = 10.6;
tau_max_ini = tau_max;
Gf = tau_max*s_1/2+(s_f-s_1)*tau_max/2;
tau_f = per_tau_f*tau_max;
tau_f_ini = tau_f;
s_4 = per_tau_f*s_1+(1-per_tau_f)*s_f;

Ke_e = tau_max/s_1;    %%pendent branca elastica
Ke_s = (tau_f-tau_max)/(s_4-s_1);    %%pendent branca softening

end

%
%
% cd ..
% cd resultats_experimentals\resultats_LT
%
% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_1 = load('temps_bloc_1.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_1.temps_bloc_1;
%     slip_1 = load('slip_1_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_1.slip_1_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_2 = load('temps_bloc_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_2.temps_bloc_2;
%     slip_2 = load('slip_2_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_2.slip_2_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_3 = load('temps_bloc_3.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_3.temps_bloc_3;
%     slip_3 = load('slip_3_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_3.slip_3_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_4 = load('temps_bloc_4_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_4.temps_bloc_4_2;
%     slip_4 = load('slip_4_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_4.slip_4_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_5 = load('temps_bloc_5.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_5.temps_bloc_5;
%     slip_5 = load('slip_5_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_5.slip_5_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_6 = load('temps_bloc_6.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_6.temps_bloc_6;
%     slip_6 = load('slip_6_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_6.slip_6_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_7 = load('temps_bloc_7.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_7.temps_bloc_7;

```

```

%     slip_7 = load('slip_7_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_7.slip_7_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_8 = load('temps_bloc_8.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_8.temps_bloc_8;
%     slip_8 = load('slip_8_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_8.slip_8_LT_teo;
% end
%
%
% cd ..\..
% cd resultats_teorics_bons

%%%%%  DESCOMENTAR SI ES VOL CALCULAR LA CÀRREGA SOSTINGUDA TEÒRICA %%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

                %ASSAIG SHORT-TERM, PER CONÈIXER LA P_max del sistema

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1;      %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR
P = NaN(1,n);
Sigma_f = NaN(1,n);
Eps_b = NaN(1,n);

Sigma_c = NaN(1,n);
Eps_c = NaN(1,n);
slip = NaN(1,n);
tau = NaN(1,n);
posicio = zeros(1,n);

tol_min = 0.1;      %%valor mínim per tal d'acceptar una solució
loop = 1;
ii = 1;
iteracions_tot = 1;
P_ini = 0;
slip_max = 2;

while loop == 1

continuar = 1;      %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;    %%comptem quantes iteracions fem
increment = 10;    %%increment de 10 N
increment_slip = 0.01; %%increment de l'slip en el següent instant de
temps

while continuar == 1

        slip(1,1) = s;      %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM CARREGAT

```

```

for i = 1:n

    if i == 1
        P(1,i) = P_ini;
    else
        P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d; %%CÀRREGA SUPORTADA EN
        QUALSEVOL PUNT DE L'FRP
    end

    Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
    Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
    Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
    Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

    if i > 1 %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
    càrrega
        slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
    end

    %% BOND SLIP

    if tg == 7.5
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
            tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
        elseif slip(1,i) > s_f
            tau(1,i) = 0;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    elseif tg == 10
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
            tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
        elseif slip(1,i) > s_4
            tau(1,i) = tau_f;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    end

    posicio(1,i) = (i-1)*d; %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

end

    tolerancia = Eps_b(1,i)*100000; %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
    %%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
    NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

```



```
    if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0
        increment = increment/2;
    elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0
        increment = increment/2;
    end
end

if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA
    continuar = 0;
elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR
    P_ini = P_ini-increment;
    tolerancia_anterior = tolerancia;
elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR
    P_ini = P_ini+increment;
    tolerancia_anterior = tolerancia;
end

iteracions = iteracions+1;

end

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
s_ii(1,ii) = slip(1,1);
P_ii(1,ii) = P(1,1);

if ii > 1
    diferencia = abs(P_ii(1,ii)/max(P_ii)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT AMB
EL DE L'INSTANT ANTERIOR
    if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
més petita que l'anterior, parem el bucle
        loop = 0; %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
        s_tot = s_ii(1,1:(ii-1));
        P_tot = P_ii(1,1:(ii-1));
    end
end
```

```

end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end

P_max_estatica = max(P_tot);
[~,columna_P_max] = find(max(P_tot)==P_tot,1);

% if L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 14140;
%     slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 17490;
%     slip_ini_teo = 0.107133641955701;
% else
%     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
% end

```

%%%

%ASSAIG LONGTERM

%%%

```

% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     P_ap = 6390;
%     slip_ini_teo = 0.0347247031805355;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     P_ap = 6540;
%     slip_ini_teo = 0.0364008738567955;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 12860;
%     slip_ini_teo = 0.0746589161737491;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 14140;
%     slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     P_ap = 8190;
%     slip_ini_teo = 0.0445041993109533;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     P_ap = 8940;
%     slip_ini_teo = 0.0456531850884133;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 15240;
%     slip_ini_teo = 0.0952535405414332;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 17490;
%     slip_ini_teo = 0.107133641955701;

```

```

%% else
%%     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
%% end

P_ap = perc_carr*P_max_estatica;           %%apliquem un percentatge de la
càrrega màxima
P_ap = 17838.6;
dif_P_ap = abs(P_tot(1,1:columna_P_max)-P_ap);
[~,posicio_P_ap] = find(min(dif_P_ap) == dif_P_ap,1);
slip_ini_teo = s_tot(1,posicio_P_ap);
tau_average = P_ap/(perimetre*L);
tau_norm = tau_average/tau_max_ini;

%%DURADA ASSAIG
salt_temps = 1;
temps = 438105:salt_temps:438106;           %% durada de l'assaig, hores
durada = length(temps);
posicio(1,1:n) = (0:(n-1))*d; %%posicio dels punts d'estudi, EN mm

% Sigma_f_ii = zeros(durada,n);
% Sigma_c_ii = zeros(durada,n);
% Eps_b_ii = zeros(durada,n);
% Eps_c_ii = zeros(durada,n);
% tau_ii = zeros(durada,n);
% slip_tot_ii = zeros(durada,n);
% P_tot_ii = zeros (durada,n);
slip_tot_i = zeros(1,durada);
s_1_ii = zeros(1,durada);
s_1_ii_2 = zeros(1,durada);
s_1_2_ii = zeros(1,durada);
s_2_ii = zeros(1,durada);
s_3_ii = zeros(1,durada);
s_4_ii = zeros(1,durada);
s_5_ii = zeros(1,durada);
s_6_ii = zeros(1,durada);
s_f_ii = zeros(1,durada);
G_el_ii = zeros(1,durada);
Gf_ii = zeros(1,durada);
tau_max_ii = zeros(1,durada);
tau_f_ii = zeros(1,durada);
pos_Lactivada = zeros(1,durada);
Lact = zeros(1,durada);
Leff_2 = zeros(1,durada);
Ke_e_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_slip_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_f_ii = zeros(1,durada);
trencament = 0; %%variable que controla si hi ha hagut trencament

ii = 1;
s = 0;
while ii <= durada && trencament == 0

d_t = temps(1,ii) %% mostrem en quin instant de temps estem

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CREEP SLIP %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```



```

Ke_e = tau_max_ini/s_1; %% calculem el nou pendent Ke, amb el nou slip 1 i
la tau max inicial
Ke_e_ii(1,ii) = Ke_e;

%% Degradació tallant màxim %%
s_2 = tau_max/Ke_e; %% calculem l'slip 2 que limita la nova tau max amb la
nova Ke
s_1_1 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
if s_1_1 < s_2
    s_2 = s_1_1;
    tau_max = Ke_e*s_2;
end

%% No degradació tallant màxim %%
% s_2 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
% tau_max = Ke_e*s_2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

s_2_ii(1,ii) = s_2;

s_3 = s_1_ini+(tau_max-tau_max_ini)/Ke_s;
s_3_ii(1,ii) = s_3;

s_4_ii(1,ii) = s_4;

s_5 = s_1+(tau_f_ini-tau_max_ini)/Ke_s;
s_5_ii(1,ii) = s_5;

s_6 = s_1+(tau_f-tau_max_ini)/Ke_s;
s_6_ii(1,ii) = s_6;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% càlcul energia de fractura %%%%%%%%%
A1 = tau_max*s_2/2;
A2 = tau_max*(s_3-s_2);
A3 = (tau_max)*(s_f_ini-s_3)/2;
Gf = A1+A2+A3;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1; %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR

Sigma_f = zeros(1,n);
Eps_b = zeros(1,n);
P = zeros(1,n);
Sigma_c = zeros(1,n);
Eps_c = zeros(1,n);
slip = zeros(1,n);
tau = zeros(1,n);

s_ini = s;
tol_min = 0.001; %%valor mínim per tal d'acceptar una solució, si és
molt petit no podem fer llargades grans
continuar = 1; %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES

```

```

iteracions = 1;           %%comptem quantes iteracions fem
increment = 0.01;        %%increment de l'slip en el següent instant de temps

while continuar == 1

    slip(1,1) = s_ini;    %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM
CARREGAT

    for i = 1:n
        if i == 1        %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega, per tant la formula de la càrrega es simplifica
            P(1,i) = P_ap;
        else
            P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d;
        end

        Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
        Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
        Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
        Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

        if i > 1        %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega
            slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
        end

        if tg == 7.5
            if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
                tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_2);
            elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
                tau(1,i) = tau_max;
            elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_f_ini
                tau(1,i) = tau_max*(s_f_ini-slip(1,i))/(s_f_ini-s_3);
            elseif slip(1,i) > s_f_ini
                tau(1,i) = 0;
            else
                tau(1,i) = 0;
            end

        elseif tg == 10
            if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
                tau(1,i)= tau_max*(slip(1,i)/s_2);
            elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
                tau(1,i) = tau_max;
            elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_4
                tau(1,i) = tau_max+((tau_f_ini-tau_max)/(s_4-s_3))*(slip(1,i)-
s_3);
            elseif slip(1,i) > s_4 && slip(1,i) <= s_5
                tau(1,i) = tau_f_ini;
            elseif slip(1,i) > s_5 && slip(1,i) <= s_6
                tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_f_ini)/(s_6-s_5))*(slip(1,i)-
s_5);
            elseif slip(1,i) > s_6
                tau(1,i) = tau_f;
            else
                tau(1,i) = tau_f;
            end
        end
    end
end

```

```

        tau(1,i) = 0;
    end
end

end

tolerancia = Eps_b(1,i)*100000;

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT
        if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0
            increment = increment/2;
        elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0
            increment = increment/2;
        end
    end

    %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA
    if abs(tolerancia) <= tol_min %%SI COMPLIM, SORTIM DEL BUCLE
        continuar = 0;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR
        s_ini = s_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR
        s_ini = s_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    end

    iteracions = iteracions+1;

end

loaded_end(ii,1:2) = [slip(1,1) tau(1,1)];

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
% Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);
% Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
% Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
% Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
% tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
% slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
slip_tot_i(1,ii) = slip(1,1);
% P_tot_ii(ii,:)=P(1,:);
%
%     if trencament == 1 %% si trenca serà tot 0
%         Sigma_f_ii(ii,:) = 0;
%         Sigma_c_ii(ii,:) = 0;
%         Eps_b_ii(ii,:) = 0;
%         Eps_c_ii(ii,:) = 0;
%         tau_ii(ii,:) = 0;
%         slip_tot_ii(ii,:) = 0;

```

```

%     end
%
% if trencament == 0
% %%CÀLCUL DE LA LLARGADA ACTIVADA
%     if tau_ii(ii,n) < 0.05*max(tau_ii(ii,:))
%         pos_Lactivada(1,ii) = find(0.05*max(tau_ii(ii,:)) >
tau_ii(ii,:),1);
%         Lact(1,ii) = posicio(1,pos_Lactivada(1,ii));
%     else
%         Lact(1,ii) = L;
%     end
%
% %%CÀLCUL DE LA LLARGADA EFECTIVA: MÈTODE 2 -> FÓRMULA ALI
% lambda_1 = sqrt(tau_max*perimetre/(s_1*Ef*Af));
% lambda_2 = sqrt(tau_max*perimetre/((s_f-s_1)*Ef*Af));
% a = (1/lambda_2)*asin(0.97*sqrt((s_f-s_1)/s_f));
% Leff_2(1,ii) =
a+(1/(2*lambda_1))*log((lambda_1+lambda_2*tan(lambda_2*a))/(lambda_1-
lambda_2*tan(lambda_2*a)));
%
% end

% s = slip(1,1);      %%sera el nou valor inicial per l'iteració
% s_1_ii(1,ii) = s_1;
% s_f_ii(1,ii) = s_f;
% tau_max_ii(1,ii) = tau_max;
% Gf_ii(1,ii) = Gf;

ii = ii+1;
end    %%Final del bucle de temps

ii = ii-1;

%%
temps_T = transpose(temps);
slip_tot_i_T = transpose(slip_tot_i);
% xlswrite('temps_L300.xlsx', temps_T)
% xlswrite('slip_tot_i_L300.xlsx', slip_tot_i_T)
%%

% slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_exp(1,1);
slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_ini_teo;
%slip_load_end = slip_tot_ii(:,1);

%% CALCULEM ELS VECTORS DE TEMPS (PER SI HA TRENCAT DURANT L'ASSAIG)
temps_ini = NaN(1,n);
temps_mig = NaN(1,n);
temps_final = NaN(1,n);

for i = 1:n %%guardem els instants de temps que representem
    temps_ini(1,i) = temps(1,1)+1;
    temps_mig(1,i) = round(temps(1,ii)/2);
    temps_final(1,i) = temps(1,ii);
end

```



```

Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

    if i > 1  %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega
        slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
    end

%%      BOND SLIP
    if tg == 7.5
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
            tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
        elseif slip(1,i) > s_f
            tau(1,i) = 0;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    elseif tg == 10
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
            tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
        elseif slip(1,i) > s_4
            tau(1,i) = tau_f;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    end

    posicio(1,i) = (i-1)*d;  %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

    end

    tolerancia = Eps_b(1,i)*100000;  %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

        if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0

            increment = increment/2;

        elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0

            increment = increment/2;

```

```
end

end

if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA
    continuar = 0;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR

        P_ini = P_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR

        P_ini = P_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

end

iteracions = iteracions+1;

end

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii_MT(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii_MT(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii_MT(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii_MT(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii_MT(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii_MT(ii,:) = slip(1,:);
s_ii_MT(1,ii) = slip(1,1);
P_ii_MT(1,ii) = P(1,1);

if ii > 1

    diferencia = abs(P_ii_MT(1,ii)/max(P_ii_MT)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT
AMB EL DE L'INSTANT ANTERIOR

    if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
més petita que l'anterior, parem el bucle
        loop = 0; %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
        s_tot_post_LT = s_ii_MT(1,1:(ii-1));
        P_tot_post_LT = P_ii_MT(1,1:(ii-1));
    end
end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end
```

```

%%%%%%%%%% CALCULEM EL VALOR DE TALLANT MITJÀ %%%%%%%%%%

% for j = 1:ii
%     tau_average(1,j) = mean(tau_ii(j,:));
% end
% message = ['Average bond shear stress is: ' num2str(tau_average(1,end)) '
MPa'];

% cd grafiques

figure(1)
plot(s_tot,P_tot/1000,'b','Linewidth',2)
hold on
plot(s_tot_post_LT,P_tot_post_LT/1000,'r','Linewidth',2)
hold off
legend('Monotonic instantaneous characterization','Monotonic post LT')
xlabel('Slip [mm]')
ylabel('Load [kN]')
xlim([0 2])
ylim([0 70])

figure(11)
plot(temps,creep_coef_slip_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_f_ii)
hold off
xlabel('Time [hours]')
xlim([0 temps_final(1,1)-salt_temps])
title('Creep coefficients temps')
legend('Creep slip','Creep tau max','Creep tau friccio')

if tg == 7.5

    font = 15;
    figure(8)
    plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,1)
tau_max_ii(1,1) 0],'b','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(end*(1/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
0],'r','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(end*(2/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
0],'k','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
0],'c','Linewidth',2)
    hold on

```

```

    plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,end)
tau_max_ii(1,end) 0], 'color',[232 173 63]/255,'Linewidth',2)
    hold on
    plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2),'r*','Linewidth',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(end*(1/4)),2),'r*','Line
width',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(end*(2/4)),2),'r*','Line
width',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2),'r*','Line
width',2)
    hold on
    plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2),'r*','Linewidth',2)
    hold off
    legend([num2str(temps(1,1)), '
hours'],[num2str(temps(1,round(end*(1/4)))+1), '
hours'],[num2str(temps(1,round(end*(2/4)))), '
hours'],[num2str(temps(1,round(end*(3/4)))), '
hours'],[num2str(temps(1,end)), ' hours'])
%     legend('-DynamicLegend');
%     legend('show');
    set(gca,'FontSize',font);
    xlabel('Slip, s [mm]')
    ylabel('Bond shear stress, \tau [MPa]')
    ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
    xlim([0 2])
    nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_', num2st
r(tg*10), '_borchert'];
%     savefig(nom)
%     print(nom, '-dpng')

elseif tg == 10

    font = 15;
    figure(8)
    plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_4_ii(1,1) s_5_ii(1,1) s_6_ii(1,1) 5],[0
tau_max_ii(1,1) tau_max_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1)], 'DisplayName',[num2str(temps(1,1)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2),'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(ii*(1/4)))
s_4_ii(1,round(end*(1/4))) s_5_ii(1,round(end*(1/4)))
s_6_ii(1,round(end*(1/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))], 'DisplayName',[num2str(temps(1,round(end*(1/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(ii*(1/4)),2),'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(ii*(2/4)))
s_4_ii(1,round(end*(2/4))) s_5_ii(1,round(end*(2/4)))

```

```

s_6_ii(1,round(end*(2/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(2/4))), 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(2/4)
)), ' hours' ]
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(ii*(2/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4)))
s_4_ii(1,round(end*(3/4))) s_5_ii(1,round(end*(3/4)))
s_6_ii(1,round(end*(3/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(3/4))), 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(3/4)
)), ' hours' ]
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_4_ii(1,end) s_5_ii(1,end)
s_6_ii(1,end) 5],[0 tau_max_ii(1,end) tau_max_ii(1,end) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,end)
tau_f_ii(1,end)], 'DisplayName', [num2str(temps(1,end)), ' hours' ])
    hold on
    plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2), 'r*')
    legend('-DynamicLegend');
    legend('show');
    title('Bond slip law during time')
    set(gca, 'FontSize', font);
    xlabel('Slip [mm]')
    ylabel('Tau [MPa]')
    ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
    xlim([0 1.25*max(s_f_ii)])
    hold off
    nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_', num2st
r(tg*10), '_borchert'];
% savefig(nom)
% print(nom, '-dpng')

end

```

```

figure(5) %%slip-time a l'extrem carregat per tot t
plot(temps/24,slip_load_end)
% hold on
% plot(temps_exp,slip_exp)
hold off
xlim([0 (temps_final(1,1)-salt_temps)/24])
legend('Teoric', 'Experimental')
xlabel('Time [days]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip - time')

```

```

figure(4)
plot(posicio,tau_ii(1,:))
hold on

```

```
plot(posicio,tau_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(751,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'],[num2str(temps(1,251)), '
hours'],[num2str(temps(1,501)), ' hours'],[num2str(temps(1,751)), '
hours'],[num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Position [mm]')
ylabel('Shear [MPa]')
title('Shear stress along the FRP, at the maximum load')
hold off

figure(6)
plot(posicio,slip_tot_ii(1,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(751,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'],[num2str(temps(1,251)), '
hours'],[num2str(temps(1,501)), ' hours'],[num2str(temps(1,751)), '
hours'],[num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Positionp [mm]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip along the FRP, at the maximum load')

%%

% xlswrite('slip_tot_ii_L.xlsx',slip_tot_ii)
% xlswrite('posicio_L.xlsx',posicio)
% xlswrite('tau_ii_L.xlsx',tau_ii)
% xlswrite('s_2_ii_L.xlsx', s_2_ii);
% xlswrite('s_3_ii_L.xlsx',s_3_ii);
% xlswrite('s_f_ini_L.xlsx', s_f_ini);
% xlswrite('tau_max_ii_L.xlsx',tau_max_ii);

% xlswrite('slip_tot_ii_150.xlsx',slip_tot_ii);
% xlswrite('posicio_150.xlsx',posicio);
% xlswrite('tau_ii_150.xlsx',tau_ii);
% xlswrite('s_2_ii_150.xlsx', s_2_ii);
% xlswrite('s_3_ii_150.xlsx',s_3_ii);
% xlswrite('s_f_ini_150.xlsx', s_f_ini);
% xlswrite('tau_max_ii_150.xlsx',tau_max_ii);
% xlswrite('Eps_b_ii_150.xlsx', Eps_b_ii)
% %xlswrite('temps.xlsx', temps);

% if tg == 7.5
%     tg_nom = tg*10;
% elseif tg == 10
%     tg_nom = tg;
```

```

% end
%
% cd resultats_numerics_LV\slip_time
% %%GUARDEM LES DADES DE DESPLAÇAMENT I CÀRREGA EN UN ARXIU TXT
% nom =
['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg_nom),'.txt'];
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');
% slip_temps = [temps; slip_load_end];
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',slip_temps);
% cd ..
% cd Lact_time
%
% nom =
['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg*10),'.txt'];
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');
% Lact_temps = [temps; Lact];
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',Lact_temps);
%
% cd ..\..

% save('creep_coef_tau_ii','creep_coef_tau_ii')

```


B.3 Codi No Lineal Model 1

```
clear all
close all
clc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DADES A ENTRAR %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%triar quin tipus de reforç tenim, ENTRAR!
EBR = 0;
NSM_barra = 0;
NSM_strip = 1;

%%FRP
Ef = 170000; % Modul de Young FRP

%%FORMIGÓ
Ec = 46859;
fc = 36.86;
ft = 5.7;

%%ADHESIU
Ea = 10714.6;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DADES A ENTRAR %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tg = 7.5;      %gruix de la regata (7.5 --> no fricció)
L = 150;      % Llargada adherida, mm (150-300)
perc_carr = 0.50; %percentatge màxim 0.995(0.10-0.40)
per_tau_f = 0.38; % segons Borchert

% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%   alpha = 0;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%   alpha = 0;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.3
%   alpha = 0.039;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.3
%   alpha = 0.032;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%   alpha = 0;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%   alpha = 0;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.3
%   alpha = 0.007;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.3
%   alpha = 0.009;
% end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```



```

Ke_e = tau_max/s_1;    %%pendent branca elastica
Ke_s = (0-tau_max)/(s_f-s_1);    %%pendent branca softening

elseif tg == 10 %%%%%%%%% BOND SLIP 10 MM%%%%%%%%
s_f = 1.9;
s_f_ini = s_f;
s_1 = 0.05;
s_1_ini = s_1;
tau_max = 10.6;
tau_max_ini = tau_max;
Gf = tau_max*s_1/2+(s_f-s_1)*tau_max/2;
tau_f = per_tau_f*tau_max;
tau_f_ini = tau_f;
s_4 = per_tau_f*s_1+(1-per_tau_f)*s_f;

Ke_e = tau_max/s_1;    %%pendent branca elastica
Ke_s = (tau_f-tau_max)/(s_4-s_1);    %%pendent branca softening

end

%
%
% cd ..
% cd resultats_experimental\resultats_LT
%
% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_1 = load('temps_bloc_1.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_1.temps_bloc_1;
%     slip_1 = load('slip_1_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_1.slip_1_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_2 = load('temps_bloc_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_2.temps_bloc_2;
%     slip_2 = load('slip_2_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_2.slip_2_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_3 = load('temps_bloc_3.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_3.temps_bloc_3;
%     slip_3 = load('slip_3_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_3.slip_3_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_4 = load('temps_bloc_4_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_4.temps_bloc_4_2;
%     slip_4 = load('slip_4_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_4.slip_4_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_5 = load('temps_bloc_5.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_5.temps_bloc_5;
%     slip_5 = load('slip_5_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_5.slip_5_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_6 = load('temps_bloc_6.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_6.temps_bloc_6;
%     slip_6 = load('slip_6_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_6.slip_6_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_7 = load('temps_bloc_7.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_7.temps_bloc_7;

```

```

%     slip_7 = load('slip_7_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_7.slip_7_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_8 = load('temps_bloc_8.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_8.temps_bloc_8;
%     slip_8 = load('slip_8_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_8.slip_8_LT_teo;
% end
%
%
% cd ..\..
% cd resultats_teorics_bons

%%%%%  DESCOMENTAR SI ES VOL CALCULAR LA CÀRREGA SOSTINGUDA TEÒRICA %%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

                %ASSAIG SHORT-TERM, PER CONÈIXER LA P_max del sistema

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1;      %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR
P = NaN(1,n);
Sigma_f = NaN(1,n);
Eps_b = NaN(1,n);

Sigma_c = NaN(1,n);
Eps_c = NaN(1,n);
slip = NaN(1,n);
tau = NaN(1,n);
posicio = zeros(1,n);

tol_min = 0.1;      %%valor mínim per tal d'acceptar una solució
loop = 1;
ii = 1;
iteracions_tot = 1;
P_ini = 0;
slip_max = 2;

while loop == 1

continuar = 1;      %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;    %%comptem quantes iteracions fem
increment = 10;    %%increment de 10 N
increment_slip = 0.01; %%increment de l'slip en el següent instant de
temps

while continuar == 1

    slip(1,1) = s;    %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM CARREGAT

```

```

for i = 1:n

    if i == 1
        P(1,i) = P_ini;
    else
        P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d; %%CÀRREGA SUPORTADA EN
        QUALESEVOL PUNT DE L'FRP
    end

    Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
    Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
    Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
    Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

    if i > 1 %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
    càrrega
        slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
    end

    %% BOND SLIP

    if tg == 7.5
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
            tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
        elseif slip(1,i) > s_f
            tau(1,i) = 0;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    elseif tg == 10
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
            tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
        elseif slip(1,i) > s_4
            tau(1,i) = tau_f;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    end

    posicio(1,i) = (i-1)*d; %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

end

    tolerancia = Eps_b(1,i)*100000; %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

```

```

    if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0
        increment = increment/2;

    elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0
        increment = increment/2;

    end

end

if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA
    continuar = 0;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
    DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR

        P_ini = P_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
    DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR

        P_ini = P_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    end

    iteracions = iteracions+1;

end

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
s_ii(1,ii) = slip(1,1);
P_ii(1,ii) = P(1,1);

if ii > 1

    diferencia = abs(P_ii(1,ii)/max(P_ii)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT AMB
    EL DE L'INSTANT ANTERIOR

    if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
    més petita que l'anterior, parem el bucle
        loop = 0; %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
        s_tot = s_ii(1,1:(ii-1));
        P_tot = P_ii(1,1:(ii-1));
    end
end

```

```
end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end

P_max_estatica = max(P_tot);
[~,columna_P_max] = find(max(P_tot)==P_tot,1);

% if L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 14140;
%     slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 17490;
%     slip_ini_teo = 0.107133641955701;
% else
%     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
% end
```

%%%

%ASSAIG LONGTERM

%%%

```
if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 6390;
    slip_ini_teo = 0.0347247031805355;
elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 6540;
    slip_ini_teo = 0.0364008738567955;
elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 12860;
    slip_ini_teo = 0.0746589161737491;
elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 14140;
    slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 8190;
    slip_ini_teo = 0.0445041993109533;
elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 8940;
    slip_ini_teo = 0.0456531850884133;
elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 15240;
    slip_ini_teo = 0.0952535405414332;
elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 17490;
    slip_ini_teo = 0.107133641955701;
```

```

% else
%     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
end

P_ap = perc_carr*P_max_estatica;           %%apliquem un percentatge de la
càrrega màxima
dif_P_ap = abs(P_tot(1,1:columna_P_max)-P_ap);
[~,posicio_P_ap] = find(min(dif_P_ap) == dif_P_ap,1);
slip_ini_teo = s_tot(1,posicio_P_ap);
tau_average = P_ap/(perimetre*L);
tau_norm = tau_average/tau_max_ini;

%%DURADA ASSAIG
salt_temps = 1;
temps = 0:salt_temps:1000;               %% durada de l'assaig, hores
durada = length(temps);
posicio(1,1:n) = (0:(n-1))*d; %%posicio dels punts d'estudi, EN mm

Sigma_f_ii = zeros(durada,n);
Sigma_c_ii = zeros(durada,n);
Eps_b_ii = zeros(durada,n);
Eps_c_ii = zeros(durada,n);
tau_ii = zeros(durada,n);
tau_max_j=zeros(durada,n);
slip_tot_ii = zeros(durada,n);
P_tot_ii = zeros (durada,n);
creep_coef_slip_1_ii = zeros (durada,n);
s_1_j = zeros (durada,n);
s_2_j = zeros (durada,n);
s_3_j = zeros (durada,n);
s_1_ii = zeros(1,durada);
s_1_ii_2 = zeros(1,durada);
s_2_ii = zeros(1,durada);
s_3_ii = zeros(1,durada);
s_4_ii = zeros(1,durada);
s_5_ii = zeros(1,durada);
s_6_ii = zeros(1,durada);
s_f_ii = zeros(1,durada);
G_el_ii = zeros(1,durada);
Gf_ii = zeros(1,durada);
tau_max_ii = zeros(1,durada);
tau_f_ii = zeros(1,durada);
pos_Lactivada = zeros(1,durada);
Lact = zeros(1,durada);
Leff_2 = zeros(1,durada);
Ke_e_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_slip_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_f_ii = zeros(1,durada);
trencament = 0; %%variable que controla si hi ha hagut trencament

ii = 1;
s = 0;
while ii <= durada && trencament == 0

d_t = temps(1,ii) %% mostrem en quin instant de temps estem

```



```

tau_f = tau_f_ini/(1+creep_coef_tau_f);
tau_f_ii(1,ii) = tau_f;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% càlcul dels nous punts de la bond-slip
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Ke_e = tau_max_ini/s_1; %% calculem el nou pendent Ke, amb el nou slip 1 i
la tau max inicial
Ke_e_ii(1,ii) = Ke_e;

%% Degradació tallant màxim %%
% s_2 = tau_max/Ke_e; %% calculem l'slip 2 que limita la nova tau max amb la
nova Ke
% s_1_1 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
% if s_1_1 < s_2
%     s_2 = s_1_1;
%     tau_max = Ke_e*s_2;
% end

%% No degradació tallant màxim %%
s_2 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
tau_max = Ke_e*s_2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tau_max_ii(1,ii) = tau_max;

s_2_ii(1,ii) = s_2;

s_3 = s_1_ini+(tau_max-tau_max_ini)/Ke_s;
s_3_ii(1,ii) = s_3;

s_4_ii(1,ii) = s_4;

s_5 = s_1+(tau_f_ini-tau_max_ini)/Ke_s;
s_5_ii(1,ii) = s_5;

s_6 = s_1+(tau_f-tau_max_ini)/Ke_s;
s_6_ii(1,ii) = s_6;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% càlcul energia de fractura %%%%%%%%%%%%%%%
A1 = tau_max*s_2/2;
A2 = tau_max*(s_3-s_2);
A3 = (tau_max)*(s_f_ini-s_3)/2;
Gf = A1+A2+A3;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1; %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR

Sigma_f = zeros(1,n);
Eps_b = zeros(1,n);
P = zeros(1,n);
Sigma_c = zeros(1,n);

```

```

Eps_c = zeros(1,n);
slip = zeros(1,n);
tau = zeros(1,n);
s_1_i= zeros(1,n);
s_2_i= zeros(1,n);
s_3_i= zeros(1,n);
tau_max_i = zeros(1,n);

s_ini = s;
tol_min = 0.001;          %%valor mínim per tal d'acceptar una solució, si és
molt petit no podem fer llargades grans
continuar = 1;           %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;         %%comptem quantes iteracions fem
increment = 0.01;       %%increment de l'slip en el següent instant de temps

creep_coef_slip_1_i = zeros(1,n);

while continuar == 1

    slip(1,1) = s_ini;    %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM
CARREGAT

    for i = 1:n
        if i == 1        %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega, per tant la formula de la càrrega es simplifica
            P(1,i) = P_ap;
        else
            P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d;
        end

        Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
        Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
        Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
        Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

        %%%%%%%%%%%AFEGIT%%%%%%%%%%
        if P(1,i)/(P_max_estatica*0.3)>1
            creep_coef_slip_1 =
0.046*(P(1,i)/(P_max_estatica*0.3))*(d_t^0.39);
            %%creep_coef_slip_1 = (70*(P(1,i)/P_max_estatica)-
20)*0.046*(d_t^0.39);
        elseif P(1,i)/(P_max_estatica*0.3)<=1
            creep_coef_slip_1 = 0.046*(d_t^0.39);
        end
        creep_coef_slip_1_i(1,i)=creep_coef_slip_1;
        s_1 = s_1_ini*(1+creep_coef_slip_1);
        s_1_i(1,i)=s_1;
        Ke_e = tau_max_ini/s_1;

        %% Degradació tallant màxim %%
%       s_2 = tau_max/Ke_e; %% calculem l'slip 2 que limita la nova tau
max amb la nova Ke
%       s_1_1 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
%       if s_1_1 < s_2
%           s_2 = s_1_1;
%           tau_max = Ke_e*s_2;
%       end
    end
end

```

```

%%% No degradació tallant màxim %%%
s_2 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
tau_max = Ke_e*s_2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

s_2_i(1,i)=s_2;
tau_max_i(1,i)=tau_max;
s_3 = s_1_ini+(tau_max-tau_max_ini)/Ke_s;
s_3_i(1,i)=s_3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if i > 1 %el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega
    slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
end

if tg == 7.5
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
        tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_2);
    elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
        tau(1,i) = tau_max;
    elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_f_ini
        tau(1,i) = tau_max*(s_f_ini-slip(1,i))/(s_f_ini-s_3);
    elseif slip(1,i) > s_f_ini
        tau(1,i) = 0;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end

elseif tg == 10
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
        tau(1,i)= tau_max*(slip(1,i)/s_2);
    elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
        tau(1,i) = tau_max;
    elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_4
        tau(1,i) = tau_max+((tau_f_ini-tau_max)/(s_4-s_3))*(slip(1,i)-
s_3);
    elseif slip(1,i) > s_4 && slip(1,i) <= s_5
        tau(1,i) = tau_f_ini;
    elseif slip(1,i) > s_5 && slip(1,i) <= s_6
        tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_f_ini)/(s_6-s_5))*(slip(1,i)-
s_5);
    elseif slip(1,i) > s_6
        tau(1,i) = tau_f;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
end

end

tolerancia = Eps_b(1,i)*100000;

if iteracions > 1 %COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ

```

```
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT
    if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0
        increment = increment/2;
    elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0
        increment = increment/2;
    end
end

%%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA

    if abs(tolerancia) <= tol_min %%SI COMPLIM, SORTIM DEL BUCLE
        continuar = 0;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR
        s_ini = s_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR
        s_ini = s_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    end

    iteracions = iteracions+1;

end

loaded_end(ii,1:2) = [slip(1,1) tau(1,1)];

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
P_tot_ii(ii,:)=P(1,:);
creep_coef_slip_1_ii(ii,:) = creep_coef_slip_1_i(1,:);
s_1_j(ii,:) = s_1_i(1,:);
s_2_j(ii,:) = s_2_i(1,:);
s_3_j(ii,:) = s_3_i(1,:);
tau_max_j(ii,:) = tau_max_i(1,:);

    if trencament == 1 %% si trenca serà tot 0
        Sigma_f_ii(ii,:) = 0;
        Sigma_c_ii(ii,:) = 0;
        Eps_b_ii(ii,:) = 0;
        Eps_c_ii(ii,:) = 0;
        tau_ii(ii,:) = 0;
        slip_tot_ii(ii,:) = 0;
    end

if trencament == 0
%%CÀLCUL DE LA LLARGADA ACTIVADA
    if tau_ii(ii,n) < 0.05*max(tau_ii(ii,:))
        pos_Lactivada(1,ii) = find(0.05*max(tau_ii(ii,:)) > tau_ii(ii,:),1);
    end
end
```

```

    Lact(1,ii) = posicio(1,pos_Lactivada(1,ii));
else
    Lact(1,ii) = L;
end

%%CÀLCUL DE LA LLARGADA EFECTIVA: MÈTODE 2 -> FÓRMULA ALI
lambda_1 = sqrt(tau_max*perimetre/(s_1*Ef*Af));
lambda_2 = sqrt(tau_max*perimetre/((s_f-s_1)*Ef*Af));
a = (1/lambda_2)*asin(0.97*sqrt((s_f-s_1)/s_f));
Leff_2(1,ii) =
a+(1/(2*lambda_1))*log((lambda_1+lambda_2*tan(lambda_2*a))/(lambda_1-
lambda_2*tan(lambda_2*a)));

end

s = slip(1,1);      %%sera el nou valor inicial per l'iteració
s_1_ii(1,ii) = s_1;
s_f_ii(1,ii) = s_f;
%tau_max_ii(1,ii) = tau_max;
Gf_ii(1,ii) = Gf;

ii = ii+1;

end    %%Final del bucle de temps

ii = ii-1;
% slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_exp(1,1);
slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_ini_teo;
%slip_load_end = slip_tot_ii(:,1);

%% CALCULEM ELS VECTORS DE TEMPS (PER SI HA TRENCAT DURANT L'ASSAIG)
temps_ini = NaN(1,n);
temps_mig = NaN(1,n);
temps_final = NaN(1,n);

for i = 1:n %%guardem els instants de temps que representem
    temps_ini(1,i) = temps(1,1)+1;
    temps_mig(1,i) = round(temps(1,ii)/2);
    temps_final(1,i) = temps(1,ii);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%ASSAIG MONOTONIC POST LT
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1;    %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR
P = NaN(1,n);
Sigma_f = NaN(1,n);
Eps_b = NaN(1,n);

```

```

Sigma_c = NaN(1,n);
Eps_c = NaN(1,n);
slip = NaN(1,n);
tau = NaN(1,n);
posicio = zeros(1,n);

Sigma_f_ii_MT = zeros(durada,n);
Sigma_c_ii_MT = zeros(durada,n);
Eps_b_ii_MT = zeros(durada,n);
Eps_c_ii_MT = zeros(durada,n);
tau_ii_MT = zeros(durada,n);
slip_tot_ii_MT = zeros(durada,n);
s_ii_MT = zeros(1,n);
P_ii_MT = zeros(1,n);

tol_min = 0.1;           %%valor mínim per tal d'acceptar una solució
loop = 1;
ii = 1;
iteracions_tot = 1;
P_ini = 0;
slip_max = 2;
% s = 0;

while loop == 1

continuar = 1;           %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;         %%comptem quantes iteracions fem
increment = 10;         %%increment de 10 N
increment_slip = 0.01;  %%increment de l'slip en el següent instant de
temps

while continuar == 1

    slip(1,1) = s;      %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM CARREGAT

    for i = 1:n

        if i == 1
            P(1,i) = P_ini;
        else
            P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d; %%CÀRREGA SUPORTADA EN
QUALSEVOL PUNT DE L'FRP
        end

        Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
        Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
        Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
        Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

        if i > 1  %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega
            slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
        end
    end
end

```

```

%% BOND SLIP
if tg == 7.5
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
        tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
    elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
        tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
    elseif slip(1,i) > s_f
        tau(1,i) = 0;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
elseif tg == 10
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
        tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
    elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
        tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
    elseif slip(1,i) > s_4
        tau(1,i) = tau_f;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
end

    posicio(1,i) = (i-1)*d; %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

end

    tolerancia = Eps_b(1,i)*100000; %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

        if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0

            increment = increment/2;

        elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0

            increment = increment/2;

        end

    end

end

    if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA

        continuar = 0;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR

```



```

P_ini = P_ini-increment;
tolerancia_anterior = tolerancia;

elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR

P_ini = P_ini+increment;
tolerancia_anterior = tolerancia;

end

iteracions = iteracions+1;

end

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii_MT(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii_MT(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii_MT(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii_MT(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii_MT(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii_MT(ii,:) = slip(1,:);
s_ii_MT(1,ii) = slip(1,1);
P_ii_MT(1,ii) = P(1,1);

if ii > 1

diferencia = abs(P_ii_MT(1,ii)/max(P_ii_MT)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT
AMB EL DE L'INSTANT ANTERIOR

if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
més petita que l'anterior, parem el bucle
loop = 0; %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
s_tot_post_LT = s_ii_MT(1,1:(ii-1));
P_tot_post_LT = P_ii_MT(1,1:(ii-1));
end
end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CALCULEM EL VALOR DE TALLANT MITJÀ %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% for j = 1:ii
% tau_average(1,j) = mean(tau_ii(j,:));
% end
% message = ['Average bond shear stress is: ' num2str(tau_average(1,end)) '
MPa'];

% cd grafiques

figure(1)
plot(s_tot,P_tot/1000,'b','Linewidth',2)

```

```

hold on
plot(s_tot_post_LT,P_tot_post_LT/1000,'r','Linewidth',2)
hold off
legend('Monotonic instantaneous characterization','Monotonic post LT')
xlabel('Slip [mm]')
ylabel('Load [kN]')
xlim([0 2])
ylim([0 70])

figure(11)
plot(temps,creep_coef_slip_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_f_ii)
hold off
xlabel('Time [hours]')
xlim([0 temps_final(1,1)-salt_temps])
title('Creep coefficients temps')
legend('Creep slip','Creep tau max','Creep tau friccio')

if tg == 7.5

    font = 15;
    figure(8)
    plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,1)
tau_max_ii(1,1) 0],'b','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(end*(1/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
0],'r','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(end*(2/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
0],'k','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
0],'c','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,end)
tau_max_ii(1,end) 0],'color',[232 173 63]/255,'Linewidth',2)
    hold on
    plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2),'r*','Linewidth',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(end*(1/4)),2),'r*','Line
width',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(end*(2/4)),2),'r*','Line
width',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2),'r*','Line
width',2)

```

```

    hold on
    plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2), 'r*', 'Linewidth', 2)
    hold off
    legend([num2str(temps(1,1)), '
hours'], [num2str(temps(1,round(end*(1/4))))+1), '
hours'], [num2str(temps(1,round(end*(2/4))))), '
hours'], [num2str(temps(1,round(end*(3/4))))), '
hours'], [num2str(temps(1,end)), ' hours'])
%     legend('-DynamicLegend');
%     legend('show');
    set(gca, 'FontSize', font);
    xlabel('Slip, s [mm]')
    ylabel('Bond shear stress, \tau [MPa]')
    ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
    xlim([0 2])
    nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_', num2str
r(tg*10), '_borchert'];
%     savefig(nom)
%     print(nom, '-dpng')

elseif tg == 10

    font = 15;
    figure(8)
    plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_4_ii(1,1) s_5_ii(1,1) s_6_ii(1,1) 5], [0
tau_max_ii(1,1) tau_max_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1)], 'DisplayName', [num2str(temps(1,1)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(ii*(1/4)))
s_4_ii(1,round(end*(1/4))) s_5_ii(1,round(end*(1/4)))
s_6_ii(1,round(end*(1/4))) 5], [0 tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))], 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(1/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(ii*(1/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(ii*(2/4)))
s_4_ii(1,round(end*(2/4))) s_5_ii(1,round(end*(2/4)))
s_6_ii(1,round(end*(2/4))) 5], [0 tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(2/4)))], 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(2/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(ii*(2/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4)))
s_4_ii(1,round(end*(3/4))) s_5_ii(1,round(end*(3/4)))
s_6_ii(1,round(end*(3/4))) 5], [0 tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(3/4)))], 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(3/4)
)), ' hours'])
    hold on

```

```

    plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_4_ii(1,end) s_5_ii(1,end)
s_6_ii(1,end) 5],[0 tau_max_ii(1,end) tau_max_ii(1,end) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,end)], 'DisplayName', [num2str(temps(1,end)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2), 'r*')
    legend('-DynamicLegend');
    legend('show');
    title('Bond slip law during time')
    set(gca, 'FontSize', font);
    xlabel('Slip [mm]')
    ylabel('Tau [MPa]')
    ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
    xlim([0 1.25*max(s_f_ii)])
    hold off
    nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_', num2st
r(tg*10), '_borchert'];
% savefig(nom)
% print(nom, '-dpng')

end

```

```

figure(5) %%slip-time a l'extrem carregat per tot t
plot(temps/24,slip_load_end)
% hold on
% plot(temps_exp,slip_exp)
hold off
xlim([0 (temps_final(1,1)-salt_temps)/24])
legend('Teoric', 'Experimental')
xlabel('Time [days]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip - time')

```

```

figure(4)
plot(posicio,tau_ii(1,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(751,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'], [num2str(temps(1,251)), '
hours'], [num2str(temps(1,501)), ' hours'], [num2str(temps(1,751)), '
hours'], [num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Position [mm]')
ylabel('Shear [MPa]')
title('Shear stress along the FRP, at the maximum load')
hold off

```

```

%%
figure(31)

```

```
plot([0 s_2_j(1,1) s_3_j(1,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,1) tau_max_j(1,1)
0],'b','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,301) s_3_j(1,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,301)
tau_max_j(1,301) 0],'r','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,601) s_3_j(1,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,601)
tau_max_j(1,601) 0],'k','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,901) s_3_j(1,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,901)
tau_max_j(1,901) 0],'c','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,1201) s_3_j(1,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,1201)
tau_max_j(1,1201) 0],'m','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,1501) s_3_j(1,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,1501)
tau_max_j(1,1501) 0],'y','Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 0 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off
```

```
saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_1h.png')
```

```
figure(32)
plot([0 s_2_j(251,1) s_3_j(251,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,1)
tau_max_j(251,1) 0],'b','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,301) s_3_j(251,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,301)
tau_max_j(251,301) 0],'r','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,601) s_3_j(251,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,601)
tau_max_j(251,601) 0],'k','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,901) s_3_j(251,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,901)
tau_max_j(251,901) 0],'c','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,1201) s_3_j(251,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,1201)
tau_max_j(251,1201) 0],'m','Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,1501) s_3_j(251,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,1501)
tau_max_j(251,1501) 0],'y','Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 250 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off
```

```
saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_251h.png')
```

```
figure(33)
```

```

plot([0 s_2_j(501,1) s_3_j(501,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,1)
tau_max_j(501,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,301) s_3_j(501,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,301)
tau_max_j(501,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,601) s_3_j(501,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,601)
tau_max_j(501,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,901) s_3_j(501,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,901)
tau_max_j(501,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,1201) s_3_j(501,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,1201)
tau_max_j(501,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,1501) s_3_j(501,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,1501)
tau_max_j(501,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 500 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_501h.png')

figure(34)
plot([0 s_2_j(751,1) s_3_j(751,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,1)
tau_max_j(751,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,301) s_3_j(751,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,301)
tau_max_j(751,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,601) s_3_j(751,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,601)
tau_max_j(751,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,901) s_3_j(751,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,901)
tau_max_j(751,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,1201) s_3_j(751,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,1201)
tau_max_j(751,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,1501) s_3_j(751,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,1501)
tau_max_j(751,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 750 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_751h.png')

figure(35)

```

```

plot([0 s_2_j(1001,1) s_3_j(1001,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,1)
tau_max_j(1001,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,301) s_3_j(1001,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,301)
tau_max_j(1001,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,601) s_3_j(1001,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,601)
tau_max_j(1001,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,901) s_3_j(1001,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,901)
tau_max_j(1001,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,1201) s_3_j(1001,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,1201)
tau_max_j(1001,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,1501) s_3_j(1001,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,1501)
tau_max_j(1001,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 1000 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_1001h.png')
%%
figure(6)
plot(posicio,slip_tot_ii(1,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(751,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'],[num2str(temps(1,251)), '
hours'],[num2str(temps(1,501)), ' hours'],[num2str(temps(1,751)), '
hours'],[num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Positionp [mm]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip along the FRP, at the maximum load')
hold off

figure(20)
plot(P_tot_ii(2,:),creep_coef_slip_1_ii(2,:))
hold on
plot(P_tot_ii(251,:),creep_coef_slip_1_ii(251,:))
hold on
plot(P_tot_ii(501,:),creep_coef_slip_1_ii(501,:))
hold on
plot(P_tot_ii(751,:),creep_coef_slip_1_ii(751,:))
hold on
plot(P_tot_ii(1001,:),creep_coef_slip_1_ii(1001,:))
legend({[num2str(temps(1,2)), ' hores'],[num2str(temps(1,251)), '
hores'],[num2str(temps(1,501)), ' hores'],[num2str(temps(1,751)), '
hores'],[num2str(temps(1,1001)), ' hores']}, 'Location','northwest')

```

```

ylabel('Coeficient de fluència')
xlabel('Càrrega [N]')
title('Càrrega aplicada - Coeficient de fluència')
xlim([0 2.5*10^4])

hold off
%%

% xlswrite('slip_tot_ii_NL_1.xlsx',slip_tot_ii);
% xlswrite('posicio_NL_1.xlsx',posicio);
% xlswrite('tau_ii_NL_1.xlsx',tau_ii);
% xlswrite('temps.xlsx',temps);
% xlswrite('s_2_j_NL_1.xlsx',s_2_j);
% xlswrite('s_3_j_NL_1.xlsx',s_3_j);
% xlswrite('s_f_ini_NL_1.xlsx', s_f_ini);
% xlswrite('tau_max_j_NL_1.xlsx',tau_max_j);

% if tg == 7.5
%     tg_nom = tg*10;
% elseif tg == 10
%     tg_nom = tg;
% end
%
% cd resultats_numericos_LV\slip_time
% %%GUARDEM LES DADES DE DESPLAÇAMENT I CÀRREGA EN UN ARXIU TXT
% nom =
% ['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg_nom),'.txt'];
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');
% slip_temps = [temps; slip_load_end];
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',slip_temps);
% cd ..
% cd Lact_time
%
% nom =
% ['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg*10),'.txt'];
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');
% Lact_temps = [temps; Lact];
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',Lact_temps);
%
% cd ..\..

% save('creep_coef_tau_ii','creep_coef_tau_ii')

```


B.4 Codi No Lineal Model 2

```
clear all
close all
clc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DADES A ENTRAR %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%triar quin tipus de reforç tenim, ENTRAR!
EBR = 0;
NSM_barra = 0;
NSM_strip = 1;

%%FRP
Ef = 170000; % Modul de Young FRP

%%FORMIGÓ
Ec = 46859;
fc = 36.86;
ft = 5.7;

%%ADHESIU
Ea = 10714.6;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DADES A ENTRAR %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tg = 7.5;      %%gruix de la regata (7.5 --> no fricció)
L = 150;      %% Llargada adherida, mm (150-300)
perc_carr = 0.50; %%percentatge màxim 0.995(0.10-0.40)
per_tau_f = 0.38; %% segons Borchert

% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%   alpha = 0;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%   alpha = 0;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.3
%   alpha = 0.039;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.3
%   alpha = 0.032;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%   alpha = 0;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%   alpha = 0;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.3
%   alpha = 0.007;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.3
%   alpha = 0.009;
% end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```

if EBR == 1

    bf = 100;          %%Amplada FRP, mm, ENTRAR!
    tf = 1.4;          %%Gruix FRP, mm, ENTRAR!
    Af = bf*tf;
    perimetre = bf;

elseif NSM_barra == 1

    diametre = 8;     %%diametre de la barra, mm, ENTRAR!
    Af = pi()*(diametre/2)^2;
    ta = (tg-diametre)/2;
    perimetre = pi()*(diametre+ta);

elseif NSM_strip == 1

    bf = 10;           %%Amplada FRP, mm, ENTRAR!
    tf = 3;            %%Gruix FRP, mm, ENTRAR!
    hg = 15;
    Af = bf*tf;
    ta = (tg-tf)/2;
    tah = (hg-bf)/2;
%       perimetre = 2*(bf+tah)+(tf+ta)+ta;
%       if tg == 7.5
%           perimetre = hg*2+tg;
%       elseif tg == 10
%           perimetre = 2*(bf+ta)+(tf+ta)+ta;
% %       perimetre_2 = (1/2)*(bf+3*hg+tf+tg); %% és la mateixa expressió
% %       que l'anterior, però en funció de les mides de regata i FRP
%       end
    perimetre = 2*(bf+tah)+(tf+ta);
end

bc = 200;             %%Amplada formigó, mm
tc = 200;             %%Gruix formigó, mm
Ac = bc*tc-Af;        %%Àrea formigó

d = 0.1;              %% Distància dels punts d'estudi en l'FRP, en mm
n = round(L/d)+1;     %% nombre de punts d'estudi
strains_adm = 0.05;   %% percentatge d'estrains que es considerarà a la
Longitud activada
s = 0; %%valor inicial per la primera iteracio

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% BOND-SLIP %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% BOND SLIP 7.5 MM%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if tg == 7.5 %%%%%%%%% BOND SLIP 7.5 MM%%%%%%%%
    s_f = 1.9;
    s_f_ini = s_f;
    s_1 = 0.05;
    s_1_ini = s_1;
    tau_max = 12.6; %% per Lb = 225
    tau_max_ini = tau_max;
    s_4 = s_f;
    tau_f = 0;
    tau_f_ini = tau_f;

```

```

Ke_e = tau_max/s_1;    %%pendent branca elastica
Ke_s = (0-tau_max)/(s_f-s_1);    %%pendent branca softening

elseif tg == 10 %%%%%%%%% BOND SLIP 10 MM%%%%%%%%
s_f = 1.9;
s_f_ini = s_f;
s_1 = 0.05;
s_1_ini = s_1;
tau_max = 10.6;
tau_max_ini = tau_max;
Gf = tau_max*s_1/2+(s_f-s_1)*tau_max/2;
tau_f = per_tau_f*tau_max;
tau_f_ini = tau_f;
s_4 = per_tau_f*s_1+(1-per_tau_f)*s_f;

Ke_e = tau_max/s_1;    %%pendent branca elastica
Ke_s = (tau_f-tau_max)/(s_4-s_1);    %%pendent branca softening

end

%
%
% cd ..
% cd resultats_experimental\resultats_LT
%
% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_1 = load('temps_bloc_1.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_1.temps_bloc_1;
%     slip_1 = load('slip_1_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_1.slip_1_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_2 = load('temps_bloc_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_2.temps_bloc_2;
%     slip_2 = load('slip_2_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_2.slip_2_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_3 = load('temps_bloc_3.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_3.temps_bloc_3;
%     slip_3 = load('slip_3_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_3.slip_3_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_4 = load('temps_bloc_4_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_4.temps_bloc_4_2;
%     slip_4 = load('slip_4_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_4.slip_4_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_5 = load('temps_bloc_5.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_5.temps_bloc_5;
%     slip_5 = load('slip_5_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_5.slip_5_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_6 = load('temps_bloc_6.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_6.temps_bloc_6;
%     slip_6 = load('slip_6_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_6.slip_6_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_7 = load('temps_bloc_7.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_7.temps_bloc_7;

```

```

%     slip_7 = load('slip_7_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_7.slip_7_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_8 = load('temps_bloc_8.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_8.temps_bloc_8;
%     slip_8 = load('slip_8_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_8.slip_8_LT_teo;
% end
%
%
% cd ..\..
% cd resultats_teorics_bons

%%%%%  DESCOMENTAR SI ES VOL CALCULAR LA CÀRREGA SOSTINGUDA TEÒRICA %%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

                %ASSAIG SHORT-TERM, PER CONÈIXER LA P_max del sistema

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1;      %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR
P = NaN(1,n);
Sigma_f = NaN(1,n);
Eps_b = NaN(1,n);

Sigma_c = NaN(1,n);
Eps_c = NaN(1,n);
slip = NaN(1,n);
tau = NaN(1,n);
posicio = zeros(1,n);

tol_min = 0.1;      %%valor mínim per tal d'acceptar una solució
loop = 1;
ii = 1;
iteracions_tot = 1;
P_ini = 0;
slip_max = 2;

while loop == 1

continuar = 1;      %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;    %%comptem quantes iteracions fem
increment = 10;    %%increment de 10 N
increment_slip = 0.01; %%increment de l'slip en el següent instant de
temps

while continuar == 1

        slip(1,1) = s;    %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM CARREGAT

```

```

for i = 1:n

    if i == 1
        P(1,i) = P_ini;
    else
        P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d; %%CÀRREGA SUPORTADA EN
        QUALESEVOL PUNT DE L'FRP
    end

    Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
    Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
    Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
    Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

    if i > 1 %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
    càrrega
        slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
    end

    %% BOND SLIP

    if tg == 7.5
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
            tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
        elseif slip(1,i) > s_f
            tau(1,i) = 0;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    elseif tg == 10
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
            tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
        elseif slip(1,i) > s_4
            tau(1,i) = tau_f;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    end

    posicio(1,i) = (i-1)*d; %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

end

tolerancia = Eps_b(1,i)*100000; %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

```

```

    if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0
        increment = increment/2;

    elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0
        increment = increment/2;

    end

end

if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA
    continuar = 0;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
    DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR

        P_ini = P_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
    DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR

        P_ini = P_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    end

    iteracions = iteracions+1;

end

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
s_ii(1,ii) = slip(1,1);
P_ii(1,ii) = P(1,1);

if ii > 1

    diferencia = abs(P_ii(1,ii)/max(P_ii)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT AMB
    EL DE L'INSTANT ANTERIOR

    if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
    més petita que l'anterior, parem el bucle
        loop = 0; %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
        s_tot = s_ii(1,1:(ii-1));
        P_tot = P_ii(1,1:(ii-1));
    end

```

```
end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end

P_max_estatica = max(P_tot);
[~,columna_P_max] = find(max(P_tot)==P_tot,1);

% if L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 14140;
%     slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 17490;
%     slip_ini_teo = 0.107133641955701;
% else
%     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
% end
```

%%%

%ASSAIG LONGTERM

%%%

```
if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 6390;
    slip_ini_teo = 0.0347247031805355;
elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 6540;
    slip_ini_teo = 0.0364008738567955;
elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 12860;
    slip_ini_teo = 0.0746589161737491;
elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 14140;
    slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 8190;
    slip_ini_teo = 0.0445041993109533;
elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 8940;
    slip_ini_teo = 0.0456531850884133;
elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 15240;
    slip_ini_teo = 0.0952535405414332;
elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 17490;
    slip_ini_teo = 0.107133641955701;
```

```

% else
%     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
end

P_ap = perc_carr*P_max_estatica;           %%apliquem un percentatge de la
càrrega màxima
dif_P_ap = abs(P_tot(1,1:columna_P_max)-P_ap);
[~,posicio_P_ap] = find(min(dif_P_ap) == dif_P_ap,1);
slip_ini_teo = s_tot(1,posicio_P_ap);
tau_average = P_ap/(perimetre*L);
tau_norm = tau_average/tau_max_ini;

%%DURADA ASSAIG
salt_temps = 1;
temps = 0:salt_temps:1000;               %% durada de l'assaig, hores
durada = length(temps);
posicio(1,1:n) = (0:(n-1))*d; %%posicio dels punts d'estudi, EN mm

Sigma_f_ii = zeros(durada,n);
Sigma_c_ii = zeros(durada,n);
Eps_b_ii = zeros(durada,n);
Eps_c_ii = zeros(durada,n);
tau_ii = zeros(durada,n);
tau_max_j=zeros(durada,n);
slip_tot_ii = zeros(durada,n);
P_tot_ii = zeros (durada,n);
creep_coef_slip_1_ii = zeros (durada,n);
s_1_j = zeros (durada,n);
s_2_j = zeros (durada,n);
s_3_j = zeros (durada,n);
s_1_ii = zeros(1,durada);
s_1_ii_2 = zeros(1,durada);
s_2_ii = zeros(1,durada);
s_3_ii = zeros(1,durada);
s_4_ii = zeros(1,durada);
s_5_ii = zeros(1,durada);
s_6_ii = zeros(1,durada);
s_f_ii = zeros(1,durada);
G_el_ii = zeros(1,durada);
Gf_ii = zeros(1,durada);
tau_max_ii = zeros(1,durada);
tau_f_ii = zeros(1,durada);
pos_Lactivada = zeros(1,durada);
Lact = zeros(1,durada);
Leff_2 = zeros(1,durada);
Ke_e_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_slip_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_f_ii = zeros(1,durada);
trencament = 0; %%variable que controla si hi ha hagut trencament

ii = 1;
s = 0;
while ii <= durada && trencament == 0

d_t = temps(1,ii) %% mostrem en quin instant de temps estem

```



```

%%%%%%%%%%%%%% càlcul dels nous punts de la bond-slip
%%%%%%%%%%%%%%

Ke_e = tau_max_ini/s_1; %% calculem el nou pendent Ke, amb el nou slip 1 i
la tau max inicial
Ke_e_ii(1,ii) = Ke_e;

%%% Degradació tallant màxim %%%
% s_2 = tau_max/Ke_e; %% calculem l'slip 2 que limita la nova tau max amb la
nova Ke
% s_1_1 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
% if s_1_1 < s_2
%     s_2 = s_1_1;
%     tau_max = Ke_e*s_2;
% end

%%% No degradació tallant màxim %%%
s_2 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
tau_max = Ke_e*s_2;
%%%%%%%%%%%%%%

tau_max_ii(1,ii) = tau_max;

s_2_ii(1,ii) = s_2;

s_3 = s_1_ini+(tau_max-tau_max_ini)/Ke_s;
s_3_ii(1,ii) = s_3;

s_4_ii(1,ii) = s_4;

s_5 = s_1+(tau_f_ini-tau_max_ini)/Ke_s;
s_5_ii(1,ii) = s_5;

s_6 = s_1+(tau_f-tau_max_ini)/Ke_s;
s_6_ii(1,ii) = s_6;

%%%%%%%%%%%%%% càlcul energia de fractura %%%%%%%%%%%%%%%
A1 = tau_max*s_2/2;
A2 = tau_max*(s_3-s_2);
A3 = (tau_max)*(s_f_ini-s_3)/2;
Gf = A1+A2+A3;

%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1; %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR

Sigma_f = zeros(1,n);
Eps_b = zeros(1,n);
P = zeros(1,n);
Sigma_c = zeros(1,n);

```

```

Eps_c = zeros(1,n);
slip = zeros(1,n);
tau = zeros(1,n);
s_1_i= zeros(1,n);
s_2_i= zeros(1,n);
s_3_i= zeros(1,n);
tau_max_i = zeros(1,n);

s_ini = s;
tol_min = 0.001;          %%valor mínim per tal d'acceptar una solució, si és
molt petit no podem fer llargades grans
continuar = 1;           %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;         %%comptem quantes iteracions fem
increment = 0.01;       %%increment de l'slip en el següent instant de temps

creep_coef_slip_1_i = zeros(1,n);

while continuar == 1

    slip(1,1) = s_ini;    %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM
CARREGAT

    for i = 1:n
        if i == 1        %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega, per tant la formula de la càrrega es simplifica
            P(1,i) = P_ap;
        else
            P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d;
        end

        Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
        Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
        Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
        Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

        %%%%%%%%%%%AFEGIT%%%%%%%%%%
        if P(1,i)/(P_max_estatica*0.3)>1
            creep_coef_slip_1 = (70*(P(1,i)/P_max_estatica)-
20)*0.046*(d_t^0.39);
        elseif P(1,i)/(P_max_estatica*0.3)<=1
            creep_coef_slip_1 = 0.046*(d_t^0.39);
        end
        creep_coef_slip_1_i(1,i)=creep_coef_slip_1;
        s_1 = s_1_ini*(1+creep_coef_slip_1);
        s_1_i(1,i)=s_1;
        Ke_e = tau_max_ini/s_1;
        %% Degradació tallant màxim %%
        %       s_2 = tau_max/Ke_e; %% calculem l'slip 2 que limita la nova tau
max amb la nova Ke
        %       s_1_1 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
        %       if s_1_1 < s_2
        %           s_2 = s_1_1;
        %           tau_max = Ke_e*s_2;
        %       end

        %% No degradació tallant màxim %%
        s_2 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
    end
end

```

```

tau_max = Ke_e*s_2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

s_2_i(1,i)=s_2;
tau_max_i(1,i)=tau_max;

s_3 = s_1_ini+(tau_max-tau_max_ini)/Ke_s;
s_3_i(1,i)=s_3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if i > 1  %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega
    slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
end

if tg == 7.5
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
        tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_2);
    elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
        tau(1,i) = tau_max;
    elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_f_ini
        tau(1,i) = tau_max*(s_f_ini-slip(1,i))/(s_f_ini-s_3);
    elseif slip(1,i) > s_f_ini
        tau(1,i) = 0;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end

elseif tg == 10
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
        tau(1,i)= tau_max*(slip(1,i)/s_2);
    elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
        tau(1,i) = tau_max;
    elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_4
        tau(1,i) = tau_max+((tau_f_ini-tau_max)/(s_4-s_3))*(slip(1,i)-
s_3);
    elseif slip(1,i) > s_4 && slip(1,i) <= s_5
        tau(1,i) = tau_f_ini;
    elseif slip(1,i) > s_5 && slip(1,i) <= s_6
        tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_f_ini)/(s_6-s_5))*(slip(1,i)-
s_5);
    elseif slip(1,i) > s_6
        tau(1,i) = tau_f;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
end

end

tolerancia = Eps_b(1,i)*100000;

if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ

```

```
%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT
    if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0
        increment = increment/2;
    elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0
        increment = increment/2;
    end
end

%%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA

    if abs(tolerancia) <= tol_min %%SI COMPLIM, SORTIM DEL BUCLE
        continuar = 0;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR
        s_ini = s_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR
        s_ini = s_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    end

    iteracions = iteracions+1;

end

loaded_end(ii,1:2) = [slip(1,1) tau(1,1)];

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
P_tot_ii(ii,:)=P(1,:);
creep_coef_slip_1_ii(ii,:) = creep_coef_slip_1_i(1,:);
s_1_j(ii,:) = s_1_i(1,:);
s_2_j(ii,:) = s_2_i(1,:);
s_3_j(ii,:) = s_3_i(1,:);
tau_max_j(ii,:) = tau_max_i(1,:);

    if trencament == 1 %% si trenca serà tot 0
        Sigma_f_ii(ii,:) = 0;
        Sigma_c_ii(ii,:) = 0;
        Eps_b_ii(ii,:) = 0;
        Eps_c_ii(ii,:) = 0;
        tau_ii(ii,:) = 0;
        slip_tot_ii(ii,:) = 0;
    end

if trencament == 0
%%CÀLCUL DE LA LLARGADA ACTIVADA
    if tau_ii(ii,n) < 0.05*max(tau_ii(ii,:))
        pos_Lactivada(1,ii) = find(0.05*max(tau_ii(ii,:)) > tau_ii(ii,:),1);
    end
end
```

```

    Lact(1,ii) = posicio(1,pos_Lactivada(1,ii));
else
    Lact(1,ii) = L;
end

%%CÀLCUL DE LA LLARGADA EFECTIVA: MÈTODE 2 -> FÓRMULA ALI
lambda_1 = sqrt(tau_max*perimetre/(s_1*Ef*Af));
lambda_2 = sqrt(tau_max*perimetre/((s_f-s_1)*Ef*Af));
a = (1/lambda_2)*asin(0.97*sqrt((s_f-s_1)/s_f));
Leff_2(1,ii) =
a+(1/(2*lambda_1))*log((lambda_1+lambda_2*tan(lambda_2*a))/(lambda_1-
lambda_2*tan(lambda_2*a)));

end

s = slip(1,1);      %%sera el nou valor inicial per l'iteració
s_1_ii(1,ii) = s_1;
s_f_ii(1,ii) = s_f;
%tau_max_ii(1,ii) = tau_max;
Gf_ii(1,ii) = Gf;

ii = ii+1;

end    %%Final del bucle de temps

ii = ii-1;
% slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_exp(1,1);
slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_ini_teo;
%slip_load_end = slip_tot_ii(:,1);

%% CALCULEM ELS VECTORS DE TEMPS (PER SI HA TRENCAT DURANT L'ASSAIG)
temps_ini = NaN(1,n);
temps_mig = NaN(1,n);
temps_final = NaN(1,n);

for i = 1:n %%guardem els instants de temps que representem
    temps_ini(1,i) = temps(1,1)+1;
    temps_mig(1,i) = round(temps(1,ii)/2);
    temps_final(1,i) = temps(1,ii);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

                %ASSAIG MONOTONIC POST LT

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1;    %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR
P = NaN(1,n);
Sigma_f = NaN(1,n);
Eps_b = NaN(1,n);

```

```
Sigma_c = NaN(1,n);
Eps_c = NaN(1,n);
slip = NaN(1,n);
tau = NaN(1,n);
posicio = zeros(1,n);

Sigma_f_ii_MT = zeros(durada,n);
Sigma_c_ii_MT = zeros(durada,n);
Eps_b_ii_MT = zeros(durada,n);
Eps_c_ii_MT = zeros(durada,n);
tau_ii_MT = zeros(durada,n);
slip_tot_ii_MT = zeros(durada,n);
s_ii_MT = zeros(1,n);
P_ii_MT = zeros(1,n);

tol_min = 0.1;           %%valor mínim per tal d'acceptar una solució
loop = 1;
ii = 1;
iteracions_tot = 1;
P_ini = 0;
slip_max = 2;
% s = 0;

while loop == 1

    continuar = 1;           %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
    iteracions = 1;         %%comptem quantes iteracions fem
    increment = 10;        %%increment de 10 N
    increment_slip = 0.01; %%increment de l'slip en el següent instant de
    temps

    while continuar == 1

        slip(1,1) = s;      %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM CARREGAT

        for i = 1:n

            if i == 1
                P(1,i) = P_ini;
            else
                P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d; %%CÀRREGA SUPORTADA EN
                QUALESEVOL PUNT DE L'FRP
            end

            Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
            Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
            Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
            Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

            if i > 1 %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
            càrrega
                slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
            end

        end

    end

end
```

```

%% BOND SLIP
if tg == 7.5
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
        tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
    elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
        tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
    elseif slip(1,i) > s_f
        tau(1,i) = 0;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
elseif tg == 10
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
        tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
    elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
        tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
    elseif slip(1,i) > s_4
        tau(1,i) = tau_f;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
end

    posicio(1,i) = (i-1)*d; %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

end

    tolerancia = Eps_b(1,i)*100000; %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

        if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0

            increment = increment/2;

        elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0

            increment = increment/2;

        end

    end

end

    if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA

        continuar = 0;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR

```



```

P_ini = P_ini-increment;
tolerancia_anterior = tolerancia;

elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR

P_ini = P_ini+increment;
tolerancia_anterior = tolerancia;

end

iteracions = iteracions+1;

end

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii_MT(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii_MT(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii_MT(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii_MT(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii_MT(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii_MT(ii,:) = slip(1,:);
s_ii_MT(1,ii) = slip(1,1);
P_ii_MT(1,ii) = P(1,1);

if ii > 1

diferencia = abs(P_ii_MT(1,ii)/max(P_ii_MT)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT
AMB EL DE L'INSTANT ANTERIOR

if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
més petita que l'anterior, parem el bucle
loop = 0; %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
s_tot_post_LT = s_ii_MT(1,1:(ii-1));
P_tot_post_LT = P_ii_MT(1,1:(ii-1));
end
end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CALCULEM EL VALOR DE TALLANT MITJÀ %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% for j = 1:ii
% tau_average(1,j) = mean(tau_ii(j,:));
% end
% message = ['Average bond shear stress is: ' num2str(tau_average(1,end)) '
MPa'];

% cd grafiques

figure(1)
plot(s_tot,P_tot/1000,'b','Linewidth',2)

```

```

hold on
plot(s_tot_post_LT,P_tot_post_LT/1000,'r','Linewidth',2)
hold off
legend('Monotonic instantaneous characterization','Monotonic post LT')
xlabel('Slip [mm]')
ylabel('Load [kN]')
xlim([0 2])
ylim([0 70])

figure(11)
plot(temps,creep_coef_slip_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_f_ii)
hold off
xlabel('Time [hours]')
xlim([0 temps_final(1,1)-salt_temps])
title('Creep coefficients temps')
legend('Creep slip','Creep tau max','Creep tau friccio')

if tg == 7.5

    font = 15;
    figure(8)
    plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,1)
tau_max_ii(1,1) 0],'b','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(end*(1/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
0],'r','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(end*(2/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
0],'k','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
0],'c','Linewidth',2)
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,end)
tau_max_ii(1,end) 0],'color',[232 173 63]/255,'Linewidth',2)
    hold on
    plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2),'r*','Linewidth',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(end*(1/4)),2),'r*','Line
width',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(end*(2/4)),2),'r*','Line
width',2)
    hold on

plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2),'r*','Line
width',2)

```

```

    hold on
    plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2), 'r*', 'Linewidth',2)
    hold off
    legend([num2str(temps(1,1)), '
hours'],[num2str(temps(1,round(end*(1/4))))+1), '
hours'],[num2str(temps(1,round(end*(2/4))))), '
hours'],[num2str(temps(1,round(end*(3/4))))), '
hours'],[num2str(temps(1,end)), ' hours'])
%     legend('-DynamicLegend');
%     legend('show');
    set(gca, 'FontSize',font);
    xlabel('Slip, s [mm]')
    ylabel('Bond shear stress, \tau [MPa]')
    ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
    xlim([0 2])
    nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_', num2str
r(tg*10), '_borchert'];
%     savefig(nom)
%     print(nom, '-dpng')

elseif tg == 10

    font = 15;
    figure(8)
    plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_4_ii(1,1) s_5_ii(1,1) s_6_ii(1,1) 5],[0
tau_max_ii(1,1) tau_max_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1)], 'DisplayName',[num2str(temps(1,1)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(ii*(1/4)))
s_4_ii(1,round(end*(1/4))) s_5_ii(1,round(end*(1/4)))
s_6_ii(1,round(end*(1/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))], 'DisplayName',[num2str(temps(1,round(end*(1/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(ii*(1/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(ii*(2/4)))
s_4_ii(1,round(end*(2/4))) s_5_ii(1,round(end*(2/4)))
s_6_ii(1,round(end*(2/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(2/4)))], 'DisplayName',[num2str(temps(1,round(end*(2/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(ii*(2/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4)))
s_4_ii(1,round(end*(3/4))) s_5_ii(1,round(end*(3/4)))
s_6_ii(1,round(end*(3/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(3/4)))], 'DisplayName',[num2str(temps(1,round(end*(3/4)
)), ' hours'])
    hold on

```

```

        plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2), 'r*')
        hold on
        plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_4_ii(1,end) s_5_ii(1,end)
s_6_ii(1,end) 5],[0 tau_max_ii(1,end) tau_max_ii(1,end) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,end)
tau_f_ii(1,end)], 'DisplayName', [num2str(temps(1,end)), ' hours'])
        hold on
        plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2), 'r*')
        legend('-DynamicLegend');
        legend('show');
        title('Bond slip law during time')
        set(gca, 'FontSize', font);
        xlabel('Slip [mm]')
        ylabel('Tau [MPa]')
        ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
        xlim([0 1.25*max(s_f_ii)])
        hold off
        nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_', num2st
r(tg*10), '_borchert'];
        % savefig(nom)
        % print(nom, '-dpng')

end

```

```

figure(5) %%slip-time a l'extrem carregat per tot t
plot(temps/24,slip_load_end)
% hold on
% plot(temps_exp,slip_exp)
hold off
xlim([0 (temps_final(1,1)-salt_temps)/24])
legend('Teoric', 'Experimental')
xlabel('Time [days]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip - time')

```

```

figure(4)
plot(posicio,tau_ii(1,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(751,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'], [num2str(temps(1,251)), '
hours'], [num2str(temps(1,501)), ' hours'], [num2str(temps(1,751)), '
hours'], [num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Position [mm]')
ylabel('Shear [MPa]')
title('Shear stress along the FRP, at the maximum load')
hold off

```

```
%%
```

```
figure(31)
plot([0 s_2_j(1,1) s_3_j(1,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,1) tau_max_j(1,1)
0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,301) s_3_j(1,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,301)
tau_max_j(1,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,601) s_3_j(1,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,601)
tau_max_j(1,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,901) s_3_j(1,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,901)
tau_max_j(1,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,1201) s_3_j(1,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,1201)
tau_max_j(1,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,1501) s_3_j(1,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,1501)
tau_max_j(1,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 0 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_1h.png')

figure(39)
plot([0 s_2_j(41,1) s_3_j(41,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,1) tau_max_j(41,1)
0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,301) s_3_j(41,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,301)
tau_max_j(41,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,601) s_3_j(41,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,601)
tau_max_j(41,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,901) s_3_j(41,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,901)
tau_max_j(41,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,1201) s_3_j(41,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,1201)
tau_max_j(41,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,1501) s_3_j(41,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,1501)
tau_max_j(41,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 40 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_40h.png')
```

```

figure(32)
plot([0 s_2_j(251,1) s_3_j(251,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,1)
tau_max_j(251,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,301) s_3_j(251,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,301)
tau_max_j(251,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,601) s_3_j(251,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,601)
tau_max_j(251,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,901) s_3_j(251,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,901)
tau_max_j(251,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,1201) s_3_j(251,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,1201)
tau_max_j(251,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,1501) s_3_j(251,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,1501)
tau_max_j(251,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 250 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_251h.png')

figure(33)
plot([0 s_2_j(501,1) s_3_j(501,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,1)
tau_max_j(501,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,301) s_3_j(501,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,301)
tau_max_j(501,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,601) s_3_j(501,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,601)
tau_max_j(501,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,901) s_3_j(501,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,901)
tau_max_j(501,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,1201) s_3_j(501,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,1201)
tau_max_j(501,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,1501) s_3_j(501,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,1501)
tau_max_j(501,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 500 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_501h.png')

figure(34)

```

```
plot([0 s_2_j(751,1) s_3_j(751,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,1)
tau_max_j(751,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,301) s_3_j(751,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,301)
tau_max_j(751,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,601) s_3_j(751,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,601)
tau_max_j(751,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,901) s_3_j(751,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,901)
tau_max_j(751,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,1201) s_3_j(751,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,1201)
tau_max_j(751,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,1501) s_3_j(751,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,1501)
tau_max_j(751,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 750 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_751h.png')

figure(35)
plot([0 s_2_j(1001,1) s_3_j(1001,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,1)
tau_max_j(1001,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,301) s_3_j(1001,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,301)
tau_max_j(1001,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,601) s_3_j(1001,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,601)
tau_max_j(1001,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,901) s_3_j(1001,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,901)
tau_max_j(1001,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,1201) s_3_j(1001,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,1201)
tau_max_j(1001,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,1501) s_3_j(1001,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,1501)
tau_max_j(1001,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 1000 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_1001h.png')

%%
```

```

figure(6)
plot(posicio,slip_tot_ii(1,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(751,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'],[num2str(temps(1,251)), '
hours'],[num2str(temps(1,501)), ' hours'],[num2str(temps(1,751)), '
hours'],[num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Positionp [mm]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip along the FRP, at the maximum load')
hold off

figure(20)
plot(P_tot_ii(2,:),creep_coef_slip_1_ii(2,:))
hold on
plot(P_tot_ii(251,:),creep_coef_slip_1_ii(251,:))
hold on
plot(P_tot_ii(501,:),creep_coef_slip_1_ii(501,:))
hold on
plot(P_tot_ii(751,:),creep_coef_slip_1_ii(751,:))
hold on
plot(P_tot_ii(1001,:),creep_coef_slip_1_ii(1001,:))
legend({[num2str(temps(1,2)), ' hores'],[num2str(temps(1,251)), '
hores'],[num2str(temps(1,501)), ' hores'],[num2str(temps(1,751)), '
hores'],[num2str(temps(1,1001)), ' hores']}, 'Location','northwest')
ylabel('Coeficient de fluència')
xlabel('Càrrega [N]')
title('Càrrega aplicada - Coeficient de fluència')
xlim([0 2.5*10^4])

hold off
%%
xlswrite('slip_tot_ii_NL_2_PC30.xlsx',slip_tot_ii)
xlswrite('temps_NL_2_PC30.xlsx',temps)
% xlswrite('slip_tot_ii_NL_2.xlsx',slip_tot_ii);
% xlswrite('posicio_NL_2.xlsx',posicio);
% xlswrite('tau_ii_NL_2.xlsx',tau_ii);
% xlswrite('temps.xlsx',temps);
% xlswrite('s_2_j_NL_2.xlsx',s_2_j);
% xlswrite('s_3_j_NL_2.xlsx',s_3_j);
% xlswrite('s_f_ini_NL_2.xlsx', s_f_ini);
% xlswrite('tau_max_j_NL_2.xlsx',tau_max_j);

% if tg == 7.5
%     tg_nom = tg*10;
% elseif tg == 10
%     tg_nom = tg;
% end
%
% cd resultats_numeric_LV\slip_time
% %%GUARDEM LES DADES DE DESPLAÇAMENT I CÀRREGA EN UN ARXIU TXT

```



```
% nom =  
['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg_nom),'.txt'];  
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt  
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');  
% slip_temps = [temps; slip_load_end];  
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',slip_temps);  
% cd ..  
% cd Lact_time  
%  
% nom =  
['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg*10),'.txt'];  
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt  
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');  
% Lact_temps = [temps; Lact];  
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',Lact_temps);  
%  
% cd ..\..\br/>  
% save('creep_coef_tau_ii','creep_coef_tau_ii')
```



```

if EBR == 1

    bf = 100;          %%Amplada FRP, mm, ENTRAR!
    tf = 1.4;         %%Gruix FRP, mm, ENTRAR!
    Af = bf*tf;
    perimetre = bf;

elseif NSM_barra == 1

    diametre = 8;    %%diametre de la barra, mm, ENTRAR!
    Af = pi()*(diametre/2)^2;
    ta = (tg-diametre)/2;
    perimetre = pi()*(diametre+ta);

elseif NSM_strip == 1

    bf = 10;          %%Amplada FRP, mm, ENTRAR!
    tf = 3;           %%Gruix FRP, mm, ENTRAR!
    hg = 15;
    Af = bf*tf;
    ta = (tg-tf)/2;
    tah = (hg-bf)/2;
    %% perimetre = 2*(bf+tah)+(tf+ta)+ta;
    %% if tg == 7.5
    %% perimetre = hg*2+tg;
    %% elseif tg == 10
    %% perimetre = 2*(bf+ta)+(tf+ta)+ta;
    %% perimetre_2 = (1/2)*(bf+3*hg+tf+tg); %% és la mateixa expressió
    %% que l'anterior, però en funció de les mides de regata i FRP
    %% end
    perimetre = 2*(bf+tah)+(tf+ta);
end

bc = 200;            %%Amplada formigó, mm
tc = 200;            %%Gruix formigó, mm
Ac = bc*tc-Af;       %%Àrea formigó

d = 0.1;             %% Distància dels punts d'estudi en l'FRP, en mm
n = round(L/d)+1;    %% nombre de punts d'estudi
strains_adm = 0.05;  %% percentatge d'estrains que es considerarà a la
Longitud activada
s = 0;               %%valor inicial per la primera iteració

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% BOND-SLIP %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% BOND SLIP 7.5 MM%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if tg == 7.5 %%%%%%%%% BOND SLIP 7.5 MM%%%%%%%%
    s_f = 1.9;
    s_f_ini = s_f;
    s_1 = 0.05;
    s_1_ini = s_1;
    tau_max = 12.6; %% per Lb = 225
    tau_max_ini = tau_max;
    s_4 = s_f;
    tau_f = 0;
    tau_f_ini = tau_f;

```

```

Ke_e = tau_max/s_1;    %%pendent branca elastica
Ke_s = (0-tau_max)/(s_f-s_1);    %%pendent branca softening

elseif tg == 10 %%%%%%%%% BOND SLIP 10 MM%%%%%%%%
    s_f = 1.9;
    s_f_ini = s_f;
    s_1 = 0.05;
    s_1_ini = s_1;
    tau_max = 10.6;
    tau_max_ini = tau_max;
    Gf = tau_max*s_1/2+(s_f-s_1)*tau_max/2;
    tau_f = per_tau_f*tau_max;
    tau_f_ini = tau_f;
    s_4 = per_tau_f*s_1+(1-per_tau_f)*s_f;

    Ke_e = tau_max/s_1;    %%pendent branca elastica
    Ke_s = (tau_f-tau_max)/(s_4-s_1);    %%pendent branca softening

end

%
%
% cd ..
% cd resultats_experimentals\resultats_LT
%
% if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_1 = load('temps_bloc_1.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_1.temps_bloc_1;
%     slip_1 = load('slip_1_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_1.slip_1_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_2 = load('temps_bloc_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_2.temps_bloc_2;
%     slip_2 = load('slip_2_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_2.slip_2_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_3 = load('temps_bloc_3.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_3.temps_bloc_3;
%     slip_3 = load('slip_3_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_3.slip_3_LT_teo;
% elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_4 = load('temps_bloc_4_2.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_4.temps_bloc_4_2;
%     slip_4 = load('slip_4_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_4.slip_4_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_5 = load('temps_bloc_5.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_5.temps_bloc_5;
%     slip_5 = load('slip_5_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_5.slip_5_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
%     temps_bloc_6 = load('temps_bloc_6.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_6.temps_bloc_6;
%     slip_6 = load('slip_6_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_6.slip_6_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_7 = load('temps_bloc_7.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_7.temps_bloc_7;

```

```

%     slip_7 = load('slip_7_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_7.slip_7_LT_teo;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     temps_bloc_8 = load('temps_bloc_8.mat');
%     temps_exp = temps_bloc_8.temps_bloc_8;
%     slip_8 = load('slip_8_LT_teo.mat');
%     slip_exp = slip_8.slip_8_LT_teo;
% end
%
%
% cd ..\..
% cd resultats_teorics_bons

%%%%%  DESCOMENTAR SI ES VOL CALCULAR LA CÀRREGA SOSTINGUDA TEÒRICA %%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

                %ASSAIG SHORT-TERM, PER CONÈIXER LA P_max del sistema

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1;      %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR
P = NaN(1,n);
Sigma_f = NaN(1,n);
Eps_b = NaN(1,n);

Sigma_c = NaN(1,n);
Eps_c = NaN(1,n);
slip = NaN(1,n);
tau = NaN(1,n);
posicio = zeros(1,n);

tol_min = 0.1;      %%valor mínim per tal d'acceptar una solució
loop = 1;
ii = 1;
iteracions_tot = 1;
P_ini = 0;
slip_max = 2;

while loop == 1

continuar = 1;      %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;    %%comptem quantes iteracions fem
increment = 10;    %%increment de 10 N
increment_slip = 0.01; %%increment de l'slip en el següent instant de
temps

while continuar == 1

        slip(1,1) = s;      %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM CARREGAT

```

```

for i = 1:n

    if i == 1
        P(1,i) = P_ini;
    else
        P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d; %%CÀRREGA SUPORTADA EN
        QUALSEVOL PUNT DE L'FRP
    end

    Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
    Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
    Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
    Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

    if i > 1 %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
    càrrega
        slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
    end

    %% BOND SLIP

    if tg == 7.5
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
            tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
        elseif slip(1,i) > s_f
            tau(1,i) = 0;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    elseif tg == 10
        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
            tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
        elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
            tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
        elseif slip(1,i) > s_4
            tau(1,i) = tau_f;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    end

    posicio(1,i) = (i-1)*d; %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

end

    tolerancia = Eps_b(1,i)*100000; %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
    %%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
    NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

```

```
    if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0
        increment = increment/2;

    elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0
        increment = increment/2;

    end

end

if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA
    continuar = 0;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR

        P_ini = P_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR

        P_ini = P_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;

    end

    iteracions = iteracions+1;

end

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);
Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
s_ii(1,ii) = slip(1,1);
P_ii(1,ii) = P(1,1);

if ii > 1

    diferencia = abs(P_ii(1,ii)/max(P_ii)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT AMB
EL DE L'INSTANT ANTERIOR

    if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
més petita que l'anterior, parem el bucle
        loop = 0; %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
        s_tot = s_ii(1,1:(ii-1));
        P_tot = P_ii(1,1:(ii-1));
    end

end
```

```

end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end

P_max_estatica = max(P_tot);
[~,columna_P_max] = find(max(P_tot)==P_tot,1);

% if L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 14140;
%     slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
% elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
%     P_ap = 17490;
%     slip_ini_teo = 0.107133641955701;
% else
%     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
% end

```

%%%

%ASSAIG LONGTERM

%%%

```

if L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 6390;
    slip_ini_teo = 0.0347247031805355;
elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 6540;
    slip_ini_teo = 0.0364008738567955;
elseif L == 150 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 12860;
    slip_ini_teo = 0.0746589161737491;
elseif L == 150 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 14140;
    slip_ini_teo = 0.0780792305412467;
elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 8190;
    slip_ini_teo = 0.0445041993109533;
elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.15
    P_ap = 8940;
    slip_ini_teo = 0.0456531850884133;
elseif L == 225 && tg == 10 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 15240;
    slip_ini_teo = 0.0952535405414332;
elseif L == 225 && tg == 7.5 && perc_carr == 0.30
    P_ap = 17490;
    slip_ini_teo = 0.107133641955701;

```



```

% else
%     P_ap = perc_carr*P_max_estatica;
end

P_ap = perc_carr*P_max_estatica;           %%apliquem un percentatge de la
càrrega màxima
dif_P_ap = abs(P_tot(1,1:columna_P_max)-P_ap);
[~,posicio_P_ap] = find(min(dif_P_ap) == dif_P_ap,1);
slip_ini_teo = s_tot(1,posicio_P_ap);
tau_average = P_ap/(perimetre*L);
tau_norm = tau_average/tau_max_ini;

%%DURADA ASSAIG
salt_temps = 1;
temps = 0:salt_temps:1000;               %% durada de l'assaig, hores
durada = length(temps);
posicio(1,1:n) = (0:(n-1))*d; %%posicio dels punts d'estudi, EN mm

Sigma_f_ii = zeros(durada,n);
Sigma_c_ii = zeros(durada,n);
Eps_b_ii = zeros(durada,n);
Eps_c_ii = zeros(durada,n);
tau_ii = zeros(durada,n);
tau_max_j=zeros(durada,n);
slip_tot_ii = zeros(durada,n);
P_tot_ii = zeros (durada,n);
creep_coef_slip_1_ii = zeros (durada,n);
creep_coef_tau_1_ii = zeros (durada,n);
s_1_j = zeros (durada,n);
s_2_j = zeros (durada,n);
s_3_j = zeros (durada,n);
s_1_ii = zeros(1,durada);
s_1_ii_2 = zeros(1,durada);
s_2_ii = zeros(1,durada);
s_3_ii = zeros(1,durada);
s_4_ii = zeros(1,durada);
s_5_ii = zeros(1,durada);
s_6_ii = zeros(1,durada);
s_f_ii = zeros(1,durada);
G_el_ii = zeros(1,durada);
Gf_ii = zeros(1,durada);
tau_max_ii = zeros(1,durada);
tau_f_ii = zeros(1,durada);
pos_Lactivada = zeros(1,durada);
Lact = zeros(1,durada);
Leff_2 = zeros(1,durada);
Ke_e_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_slip_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_ii = zeros(1,durada);
creep_coef_tau_f_ii = zeros(1,durada);
trencament = 0; %%variable que controla si hi ha hagut trencament

ii = 1;
s = 0;
while ii <= durada && trencament == 0

d_t = temps(1,ii) %% mostrem en quin instant de temps estem

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CREEP SLIP %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% if d_t <= 74.86
%   creep_coef_slip = 0.0618042356606177*(d_t^0.329445842650941); %%creep
exp Javi
%   %creep_coef_slip = 0.0499999999999911*(d_t^[2.98023223876900e-08]);
%   %%creep exp Borchert
% elseif d_t > 74.86
%   creep_coef_slip = 0.0353473880435711*(d_t^0.444738438542732); %%creep
exp Javi
%   %creep_coef_slip = 0.0252230958272631*(d_t^0.499152462296756);
%   %%creep exp Borchert
% end

if P_ap/(P_max_estatica*0.3)<1
    % creep_coef_slip = creep_coef_slip;
    creep_coef_slip = 0.046*(P_ap/(P_max_estatica*0.3))*(d_t^0.39);
elseif P_ap/(P_max_estatica*0.3)>=1
    creep_coef_slip = 0.046*(d_t^0.39);
end

creep_coef_slip_ii(1,ii) = creep_coef_slip;

s_1 = s_1_ini*(1+creep_coef_slip);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CREEP TAU MAX %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if (tau_average/tau_max_ini)>=0.18
    alpha = (tau_average/tau_max_ini-0.18)/2.21;
elseif (tau_average/tau_max_ini)<0.18
    alpha=0;
end

creep_coef_tau = alpha*(d_t^0.45);
creep_coef_tau_ii(1,ii) = creep_coef_tau;
tau_max = tau_max_ini/(1+creep_coef_tau);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CREEP TAU F %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% if d_t <= 10
%   creep_coef_tau_f = 0.127955046954377*(d_t^0.00963701844233686);
% elseif d_t > 10
%   creep_coef_tau_f = 0.199217611003044*(d_t^0.121633464334935);
%%multipliquem per 1.5 el creep
% end

creep_coef_tau_f = 0;
creep_coef_tau_f_ii(1,ii) = creep_coef_tau_f;

```

```

tau_f = tau_f_ini/(1+creep_coef_tau_f);
tau_f_ii(1,ii) = tau_f;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% càlcul dels nous punts de la bond-slip
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Ke_e = tau_max_ini/s_1; %% calculem el nou pendent Ke, amb el nou slip 1 i
la tau max inicial
Ke_e_ii(1,ii) = Ke_e;

%% Degradació tallant màxim %%
s_2 = tau_max/Ke_e; %% calculem l'slip 2 que limita la nova tau max amb la
nova Ke
s_1_1 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
if s_1_1 < s_2
    s_2 = s_1_1;
    tau_max = Ke_e*s_2;
end

%% No degradació tallant màxim %%
% s_2 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
% tau_max = Ke_e*s_2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tau_max_ii(1,ii) = tau_max;

s_2_ii(1,ii) = s_2;

s_3 = s_1_ini+(tau_max-tau_max_ini)/Ke_s;
s_3_ii(1,ii) = s_3;

s_4_ii(1,ii) = s_4;

s_5 = s_1+(tau_f_ini-tau_max_ini)/Ke_s;
s_5_ii(1,ii) = s_5;

s_6 = s_1+(tau_f-tau_max_ini)/Ke_s;
s_6_ii(1,ii) = s_6;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% càlcul energia de fractura %%%%%%%%%%%%%%%
A1 = tau_max*s_2/2;
A2 = tau_max*(s_3-s_2);
A3 = (tau_max)*(s_f_ini-s_3)/2;
Gf = A1+A2+A3;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1; %%valor inicial per a que entri en el bucle

%%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR

Sigma_f = zeros(1,n);
Eps_b = zeros(1,n);
P = zeros(1,n);
Sigma_c = zeros(1,n);

```

```

Eps_c = zeros(1,n);
slip = zeros(1,n);
tau = zeros(1,n);
s_1_i= zeros(1,n);
s_2_i= zeros(1,n);
s_3_i= zeros(1,n);
tau_max_i = zeros(1,n);

s_ini = s;
tol_min = 0.001;          %%valor mínim per tal d'acceptar una solució, si és
molt petit no podem fer llargades grans
continuar = 1;           %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
iteracions = 1;         %%comptem quantes iteracions fem
increment = 0.01;       %%increment de l'slip en el següent instant de temps

creep_coef_slip_1_i = zeros(1,n);
creep_coef_tau_1_i = zeros(1,n);

while continuar == 1

    slip(1,1) = s_ini;    %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM
CARREGAT

    for i = 1:n
        if i == 1        %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega, per tant la formula de la càrrega es simplifica
            P(1,i) = P_ap;
        else
            P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d;
        end

        Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
        Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
        Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
        Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        if P(1,i)/(P_max_estatica*0.3)>1
            creep_coef_slip_1 =
0.046*(P(1,i)/(P_max_estatica*0.3))*(d_t^0.39);
        elseif P(1,i)/(P_max_estatica*0.3)<=1
            creep_coef_slip_1 = 0.046*(d_t^0.39);
        end
        creep_coef_slip_1_i(1,i)=creep_coef_slip_1;
        s_1 = s_1_ini*(1+creep_coef_slip_1);
        s_1_i(1,i)=s_1;
        Ke_e = tau_max_ini/s_1;

        if P(1,i)/(P_max_estatica*0.3)>1
            tau_average_1 = P(1,i)/(perimetre*L);
            if (tau_average_1/tau_max_ini)>=0.18
                alpha_1 = (tau_average_1/tau_max_ini-0.18)/2.21;
            elseif (tau_average_1/tau_max_ini)<0.18
                alpha_1=0;
            end

        end
    end
end

```

```

creep_coef_tau_1 = alpha_1*(d_t^0.45);
creep_coef_tau_1_i(1,i) = creep_coef_tau_1;
tau_max = tau_max_ini/(1+creep_coef_tau_1);

elseif P_ap/(P_max_estatica*0.3)>1 && P(1,i)/(P_max_estatica*0.3)<=1
creep_coef_tau_1 = creep_coef_tau_1_i(1,i-1);
creep_coef_tau_1_i(1,i) = creep_coef_tau_1;
tau_max = tau_max_ini/(1+creep_coef_tau_1);

elseif P_ap/(P_max_estatica*0.3)<=1 && P(1,i)/(P_max_estatica*0.3)<=1
creep_coef_tau_1 = creep_coef_tau;
creep_coef_tau_1_i(1,i) = creep_coef_tau_1;
tau_max = tau_max_ini/(1+creep_coef_tau_1);

end

%%% Degradació tallant màxim %%%
s_2 = tau_max/Ke_e; %%% calculem l'slip 2 que limita la nova tau max
amb la nova Ke
s_1_1 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
if s_1_1 < s_2
    s_2 = s_1_1;
    tau_max = Ke_e*s_2;
end

%%% No degradació tallant màxim %%%
%     s_2 = (-Ke_s*s_f)/(Ke_e-Ke_s);
%     tau_max = Ke_e*s_2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

s_2_i(1,i)=s_2;
tau_max_i(1,i)=tau_max;
s_3 = s_1_ini+(tau_max-tau_max_ini)/Ke_s;
s_3_i(1,i)=s_3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if i > 1 %%%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
càrrega
    slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
end

if tg == 7.5
    if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
        tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_2);
    elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
        tau(1,i) = tau_max;
    elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_f_ini
        tau(1,i) = tau_max*(s_f_ini-slip(1,i))/(s_f_ini-s_3);
    elseif slip(1,i) > s_f_ini
        tau(1,i) = 0;
    else
        tau(1,i) = 0;
    end
end

elseif tg == 10

```

```

        if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_2
            tau(1,i)= tau_max*(slip(1,i)/s_2);
        elseif slip(1,i) > s_2 && slip(1,i) <= s_3
            tau(1,i) = tau_max;
        elseif slip(1,i) > s_3 && slip(1,i) <= s_4
            tau(1,i) = tau_max+((tau_f_ini-tau_max)/(s_4-s_3))*(slip(1,i)-
s_3);
        elseif slip(1,i) > s_4 && slip(1,i) <= s_5
            tau(1,i) = tau_f_ini;
        elseif slip(1,i) > s_5 && slip(1,i) <= s_6
            tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_f_ini)/(s_6-s_5))*(slip(1,i)-
s_5);
        elseif slip(1,i) > s_6
            tau(1,i) = tau_f;
        else
            tau(1,i) = 0;
        end
    end
end

tolerancia = Eps_b(1,i)*100000;

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
%%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT
        if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0
            increment = increment/2;
        elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0
            increment = increment/2;
        end
    end

%%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA

    if abs(tolerancia) <= tol_min %%SI COMPLIM, SORTIM DEL BUCLE
        continuar = 0;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR
        s_ini = s_ini+increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR
        s_ini = s_ini-increment;
        tolerancia_anterior = tolerancia;
    end

    iteracions = iteracions+1;

end

loaded_end(ii,1:2) = [slip(1,1) tau(1,1)];

%%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
Sigma_f_ii(ii,:) = Sigma_f(1,:);

```

```

Sigma_c_ii(ii,:) = Sigma_c(1,:);
Eps_b_ii(ii,:) = Eps_b(1,:);
Eps_c_ii(ii,:) = Eps_c(1,:);
tau_ii(ii,:) = tau(1,:);
slip_tot_ii(ii,:) = slip(1,:);
P_tot_ii(ii,:)=P(1,:);
creep_coef_slip_1_ii(ii,:) = creep_coef_slip_1_i(1,:);
creep_coef_tau_1_ii(ii,:) = creep_coef_tau_1_i(1,:);
s_1_j(ii,:) = s_1_i(1,:);
s_2_j(ii,:) = s_2_i(1,:);
s_3_j(ii,:) = s_3_i(1,:);
tau_max_j(ii,:) = tau_max_i(1,:);

    if trencament == 1 %% si trenca serà tot 0
        Sigma_f_ii(ii,:) = 0;
        Sigma_c_ii(ii,:) = 0;
        Eps_b_ii(ii,:) = 0;
        Eps_c_ii(ii,:) = 0;
        tau_ii(ii,:) = 0;
        slip_tot_ii(ii,:) = 0;
    end

if trencament == 0
%%CÀLCUL DE LA LLARGADA ACTIVADA
    if tau_ii(ii,n) < 0.05*max(tau_ii(ii,:))
        pos_Lactivada(1,ii) = find(0.05*max(tau_ii(ii,:)) > tau_ii(ii,:),1);
        Lact(1,ii) = posicio(1,pos_Lactivada(1,ii));
    else
        Lact(1,ii) = L;
    end

%%CÀLCUL DE LA LLARGADA EFECTIVA: MÈTODE 2 -> FÓRMULA ALI
lambda_1 = sqrt(tau_max*perimetre/(s_1*Ef*Af));
lambda_2 = sqrt(tau_max*perimetre/((s_f-s_1)*Ef*Af));
a = (1/lambda_2)*asin(0.97*sqrt((s_f-s_1)/s_f));
Leff_2(1,ii) =
a+(1/(2*lambda_1))*log((lambda_1+lambda_2*tan(lambda_2*a))/(lambda_1-
lambda_2*tan(lambda_2*a)));

end

s = slip(1,1); %%sera el nou valor inicial per l'iteració
s_1_ii(1,ii) = s_1;
s_f_ii(1,ii) = s_f;
%tau_max_ii(1,ii) = tau_max;
Gf_ii(1,ii) = Gf;

ii = ii+1;

end %%Final del bucle de temps

ii = ii-1;
% slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_exp(1,1);
slip_load_end = slip_tot_ii(:,1)-slip_tot_ii(1,1)+slip_ini_teo;
%slip_load_end = slip_tot_ii(:,1);

```

```

% CALCULEM ELS VECTORS DE TEMPS (PER SI HA TRENCAT DURANT L'ASSAIG)
temps_ini = NaN(1,n);
temps_mig = NaN(1,n);
temps_final = NaN(1,n);

for i = 1:n %%guardem els instants de temps que representem
    temps_ini(1,i) = temps(1,1)+1;
    temps_mig(1,i) = round(temps(1,ii)/2);
    temps_final(1,i) = temps(1,ii);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

                %ASSAIG MONOTONIC POST LT

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tolerancia = 1;    %%valor inicial per a que entri en el bucle

%INICIALITZEM ELS VECTORS DE LES DADES QUE VOLEM TROBAR
P = NaN(1,n);
Sigma_f = NaN(1,n);
Eps_b = NaN(1,n);

Sigma_c = NaN(1,n);
Eps_c = NaN(1,n);
slip = NaN(1,n);
tau = NaN(1,n);
posicio = zeros(1,n);

Sigma_f_ii_MT = zeros(durada,n);
Sigma_c_ii_MT = zeros(durada,n);
Eps_b_ii_MT = zeros(durada,n);
Eps_c_ii_MT = zeros(durada,n);
tau_ii_MT = zeros(durada,n);
slip_tot_ii_MT = zeros(durada,n);
s_ii_MT = zeros(1,n);
P_ii_MT = zeros(1,n);

tol_min = 0.1;    %%valor mínim per tal d'acceptar una solució
loop = 1;
ii = 1;
iteracions_tot = 1;
P_ini = 0;
slip_max = 2;
% s = 0;

while loop == 1

    continuar = 1;    %%INICIALITZEM ELS DOS BUCLES
    iteracions = 1;    %%comptem quantes iteracions fem
    increment = 10;    %%increment de 10 N
    increment_slip = 0.01; %%increment de l'slip en el següent instant de
    temps

```



```

while continuar == 1

    slip(1,1) = s;    %%INICIALITZEM EL VALOR D'SLIP DE L'EXTREM CARREGAT

    for i = 1:n

        if i == 1
            P(1,i) = P_ini;
        else
            P(1,i) = P(1,i-1)-tau(1,i-1)*perimetre*d; %%CÀRREGA SUPORTADA EN
            QUALESEVOL PUNT DE L'FRP
        end

        Sigma_f(1,i) = P(1,i)/Af;
        Eps_b(1,i) = Sigma_f(1,i)/Ef;
        Sigma_c(1,i) = -Sigma_f(1,i)*Af/Ac;
        Eps_c(1,i) = Sigma_c(1,i)/Ec;

        if i > 1    %%el primer punt és el més proper a l'aplicació de la
            càrrega
                slip(1,i) = slip(1,i-1)-(Eps_b(1,i)-Eps_c(1,i))*d;
            end

        %%    BOND SLIP
        if tg == 7.5
            if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
                tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
            elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_f
                tau(1,i) = tau_max*(s_f-slip(1,i))/(s_f-s_1);
            elseif slip(1,i) > s_f
                tau(1,i) = 0;
            else
                tau(1,i) = 0;
            end
        elseif tg == 10
            if slip(1,i) >= 0 && slip(1,i) <= s_1
                tau(1,i) = tau_max*(slip(1,i)/s_1);
            elseif slip(1,i) > s_1 && slip(1,i) <= s_4
                tau(1,i) = tau_max+((tau_f-tau_max)/(s_4-s_1))*(slip(1,i)-
s_1);
            elseif slip(1,i) > s_4
                tau(1,i) = tau_f;
            else
                tau(1,i) = 0;
            end
        end

        posicio(1,i) = (i-1)*d;    %%GUARDEM LA POSICIÓ DEL PUNT D'ESTUDI, EN
mm

    end

    tolerancia = Eps_b(1,i)*100000;    %%MIREM EL VALOR DE LES DEFORMACIONS A
L'EXTREM LLIURE

```

```

    if iteracions > 1 %%COMPROVEM SI ESTEM APROP DE LA SOLUCIÓ
    %%SI LES DEFORMACIONS A L'INSTANT ANTERIOR EREN POSITIVES, I ARA SÓN
    NEGATIVES, LA SOLUCIÓ ESTÀ APROP, PER TANT, REDUIM L'INCREMENT

        if tolerancia_anterior > 0 && tolerancia < 0

            increment = increment/2;

        elseif tolerancia_anterior < 0 && tolerancia > 0

            increment = increment/2;

        end

    end

    if abs(tolerancia) <= tol_min %%COMPROVEM SI TENIM LA PRECISIÓ DESITJADA

        continuar = 0;

        elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia > 0) %%SI TENIM
        DEFORMACIONS POSITIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MENOR

            P_ini = P_ini-increment;
            tolerancia_anterior = tolerancia;

        elseif (abs(tolerancia) > tol_min) && (tolerancia < 0) %%SI TENIM
        DEFORMACIONS NEGATIVES, PROVAREM UN SLIP INICIAL MAJOR

            P_ini = P_ini+increment;
            tolerancia_anterior = tolerancia;

        end

        iteracions = iteracions+1;

    end

    %%GUARDEM LES DADES DE LES VARIABLES A CADA PUNT AL LLARG DEL TEMPS
    Sigma_f_ii_MT(ii,:) = Sigma_f(1,:);
    Sigma_c_ii_MT(ii,:) = Sigma_c(1,:);
    Eps_b_ii_MT(ii,:) = Eps_b(1,:);
    Eps_c_ii_MT(ii,:) = Eps_c(1,:);
    tau_ii_MT(ii,:) = tau(1,:);
    slip_tot_ii_MT(ii,:) = slip(1,:);
    s_ii_MT(1,ii) = slip(1,1);
    P_ii_MT(1,ii) = P(1,1);

    if ii > 1

        diferencia = abs(P_ii_MT(1,ii)/max(P_ii_MT)); %%COMPAREM EL VALOR TROBAT
        AMB EL DE L'INSTANT ANTERIOR

        if s > slip_max || diferencia < 0.01 %%quan la nova càrrega sigui molt
        més petita que l'anterior, parem el bucle

```

```

        loop = 0;                %% parem el bucle, voldrà dir que ha trencat
        s_tot_post_LT = s_ii_MT(1,1:(ii-1));
        P_tot_post_LT = P_ii_MT(1,1:(ii-1));
    end
end

ii = ii+1;
iteracions = 1;
s = s + increment_slip;

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CALCULEM EL VALOR DE TALLANT MITJÀ %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% for j = 1:ii
%     tau_average(1,j) = mean(tau_ii(j,:));
% end
% message = ['Average bond shear stress is: ' num2str(tau_average(1,end)) '
MPa'];

% cd grafiques

figure(1)
plot(s_tot,P_tot/1000,'b','Linewidth',2)
hold on
plot(s_tot_post_LT,P_tot_post_LT/1000,'r','Linewidth',2)
hold off
legend('Monotonic instantaneous characterization','Monotonic post LT')
xlabel('Slip [mm]')
ylabel('Load [kN]')
xlim([0 2])
ylim([0 70])

figure(11)
plot(temps,creep_coef_slip_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_ii)
hold on
plot(temps,creep_coef_tau_f_ii)
hold off
xlabel('Time [hours]')
xlim([0 temps_final(1,1)-salt_temps])
title('Creep coefficients temps')
legend('Creep slip','Creep tau max','Creep tau friccio')

if tg == 7.5

    font = 15;
    figure(8)
    plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,1)
tau_max_ii(1,1) 0],'b','Linewidth',2)
    hold on

```

```

        plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(end*(1/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
0], 'r', 'Linewidth',2)
        hold on
        plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(end*(2/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
0], 'k', 'Linewidth',2)
        hold on
        plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4))) s_f_ini],[0
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
0], 'c', 'Linewidth',2)
        hold on
        plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_f_ini],[0 tau_max_ii(1,end)
tau_max_ii(1,end) 0], 'color',[232 173 63]/255, 'Linewidth',2)
        hold on
        plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2), 'r*', 'Linewidth',2)
        hold on

plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(end*(1/4)),2), 'r*', 'Line
width',2)
        hold on

plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(end*(2/4)),2), 'r*', 'Line
width',2)
        hold on

plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2), 'r*', 'Line
width',2)
        hold on
        plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2), 'r*', 'Linewidth',2)
        hold off
        legend([num2str(temps(1,1)), '
hours'], [num2str(temps(1,round(end*(1/4))))+1), '
hours'], [num2str(temps(1,round(end*(2/4))))], '
hours'], [num2str(temps(1,round(end*(3/4))))], '
hours'], [num2str(temps(1,end)), ' hours'])
%     legend('-DynamicLegend');
%     legend('show');
        set(gca, 'FontSize', font);
        xlabel('Slip, s [mm]')
        ylabel('Bond shear stress, \tau [MPa]')
        ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
        xlim([0 2])
        nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_ ', num2st
r(tg*10), '_borchert'];
%     savefig(nom)
%     print(nom, '-dpng')

elseif tg == 10

        font = 15;
        figure(8)
        plot([0 s_2_ii(1,1) s_3_ii(1,1) s_4_ii(1,1) s_5_ii(1,1) s_6_ii(1,1) 5],[0
tau_max_ii(1,1) tau_max_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1)], 'DisplayName', [num2str(temps(1,1)), ' hours'])
        hold on
        plot(loaded_end(1,1),loaded_end(1,2), 'r*')
        hold on

```

```

    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(1/4))) s_3_ii(1,round(ii*(1/4)))
s_4_ii(1,round(end*(1/4))) s_5_ii(1,round(end*(1/4)))
s_6_ii(1,round(end*(1/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(1/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(1/4)))], 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(1/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(1/4)),1),loaded_end(round(ii*(1/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(2/4))) s_3_ii(1,round(ii*(2/4)))
s_4_ii(1,round(end*(2/4))) s_5_ii(1,round(end*(2/4)))
s_6_ii(1,round(end*(2/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(2/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(2/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(2/4)))], 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(2/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(2/4)),1),loaded_end(round(ii*(2/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,round(end*(3/4))) s_3_ii(1,round(end*(3/4)))
s_4_ii(1,round(end*(3/4))) s_5_ii(1,round(end*(3/4)))
s_6_ii(1,round(end*(3/4))) 5],[0 tau_max_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_max_ii(1,round(end*(3/4))) tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,round(end*(3/4)))
tau_f_ii(1,round(end*(3/4)))], 'DisplayName', [num2str(temps(1,round(end*(3/4)
)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(round(end*(3/4)),1),loaded_end(round(end*(3/4)),2), 'r*')
    hold on
    plot([0 s_2_ii(1,end) s_3_ii(1,end) s_4_ii(1,end) s_5_ii(1,end)
s_6_ii(1,end) 5],[0 tau_max_ii(1,end) tau_max_ii(1,end) tau_f_ii(1,1)
tau_f_ii(1,1) tau_f_ii(1,end)
tau_f_ii(1,end)], 'DisplayName', [num2str(temps(1,end)), ' hours'])
    hold on
    plot(loaded_end(end,1),loaded_end(end,2), 'r*')
    legend('-DynamicLegend');
    legend('show');
    title('Bond slip law during time')
    set(gca, 'FontSize', font);
    xlabel('Slip [mm]')
    ylabel('Tau [MPa]')
    ylim([0 1.25*max(tau_max_ii)])
    xlim([0 1.25*max(s_f_ii)])
    hold off
    nom =
['bond_slip_long_term_', 'L', num2str(L), '_S', num2str(perc_carr*100), '_', num2st
r(tg*10), '_borchert'];
% savefig(nom)
% print(nom, '-dpng')

end

figure(5) %slip-time a l'extrem carregat per tot t
plot(temps/24,slip_load_end)
% hold on

```

```

% plot(temps_exp,slip_exp)
hold off
xlim([0 (temps_final(1,1)-salt_temps)/24])
legend('Teoric','Experimental')
xlabel('Time [days]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip - time')

figure(4)
plot(posicio,tau_ii(1,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(2,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(751,:))
hold on
plot(posicio,tau_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'],[num2str(temps(1,2)), '
hours'],[num2str(temps(1,251)), ' hours'],[num2str(temps(1,501)), '
hours'],[num2str(temps(1,751)), ' hours'],[num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Position [mm]')
ylabel('Shear [MPa]')
title('Shear stress along the FRP, at the maximum load')
hold off

%%
figure(31)
plot([0 s_2_j(1,1) s_3_j(1,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,1) tau_max_j(1,1)
0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,301) s_3_j(1,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,301)
tau_max_j(1,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,601) s_3_j(1,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,601)
tau_max_j(1,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,901) s_3_j(1,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,901)
tau_max_j(1,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,1201) s_3_j(1,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,1201)
tau_max_j(1,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1,1501) s_3_j(1,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(1,1501)
tau_max_j(1,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
ylim([0 14])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 0 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_1h.png')

```

```

figure(39)
plot([0 s_2_j(41,1) s_3_j(41,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,1) tau_max_j(41,1)
0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,301) s_3_j(41,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,301)
tau_max_j(41,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,601) s_3_j(41,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,601)
tau_max_j(41,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,901) s_3_j(41,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,901)
tau_max_j(41,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,1201) s_3_j(41,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,1201)
tau_max_j(41,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(41,1501) s_3_j(41,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(41,1501)
tau_max_j(41,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 40 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

```

```

figure(32)
plot([0 s_2_j(251,1) s_3_j(251,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,1)
tau_max_j(251,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,301) s_3_j(251,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,301)
tau_max_j(251,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,601) s_3_j(251,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,601)
tau_max_j(251,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,901) s_3_j(251,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,901)
tau_max_j(251,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,1201) s_3_j(251,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,1201)
tau_max_j(251,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(251,1501) s_3_j(251,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(251,1501)
tau_max_j(251,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
ylim([0 14])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 250 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off
%%
saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_251h.png')

```

```

figure(33)

```

```

plot([0 s_2_j(501,1) s_3_j(501,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,1)
tau_max_j(501,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,301) s_3_j(501,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,301)
tau_max_j(501,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,601) s_3_j(501,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,601)
tau_max_j(501,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,901) s_3_j(501,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,901)
tau_max_j(501,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,1201) s_3_j(501,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,1201)
tau_max_j(501,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(501,1501) s_3_j(501,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(501,1501)
tau_max_j(501,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
ylim([0 14])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 500 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_501h.png')

figure(34)
plot([0 s_2_j(751,1) s_3_j(751,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,1)
tau_max_j(751,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,301) s_3_j(751,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,301)
tau_max_j(751,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,601) s_3_j(751,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,601)
tau_max_j(751,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,901) s_3_j(751,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,901)
tau_max_j(751,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,1201) s_3_j(751,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,1201)
tau_max_j(751,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(751,1501) s_3_j(751,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(751,1501)
tau_max_j(751,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
ylim([0 14])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 750 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_751h.png')

```



```

figure(35)
plot([0 s_2_j(1001,1) s_3_j(1001,1) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,1)
tau_max_j(1001,1) 0], 'b', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,301) s_3_j(1001,301) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,301)
tau_max_j(1001,301) 0], 'r', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,601) s_3_j(1001,601) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,601)
tau_max_j(1001,601) 0], 'k', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,901) s_3_j(1001,901) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,901)
tau_max_j(1001,901) 0], 'c', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,1201) s_3_j(1001,1201) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,1201)
tau_max_j(1001,1201) 0], 'm', 'Linewidth',2)
hold on
plot([0 s_2_j(1001,1501) s_3_j(1001,1501) s_f_ini],[0 tau_max_j(1001,1501)
tau_max_j(1001,1501) 0], 'y', 'Linewidth',2)
xlim([0 s_f*1.2])
ylim([0 14])
xlabel('Lliscament [mm]')
ylabel('Tensió tallant [mm]')
title("Llei local d'adherència-lliscament a 1000 hores")
legend([num2str(posicio(1,1)), ' mm'],[num2str(posicio(1,301)), '
mm'],[num2str(posicio(1,601)), ' mm'],[num2str(posicio(1,901)), '
mm'],[num2str(posicio(1,1201)), ' mm'],[num2str(posicio(1,1501)), ' mm'])
hold off

saveas(gcf, 'Figura_Llei_Local_1001h.png')
%%
figure(6)
plot(posicio,slip_tot_ii(1,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(251,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(501,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(751,:))
hold on
plot(posicio,slip_tot_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,1)), ' hours'],[num2str(temps(1,251)), '
hours'],[num2str(temps(1,501)), ' hours'],[num2str(temps(1,751)), '
hours'],[num2str(temps(1,1001)), ' hours'])
xlabel('Positionp [mm]')
ylabel('Slip [mm]')
title('Slip along the FRP, at the maximum load')
hold off

figure(20)
plot(creep_coef_slip_1_ii(2,:),P_tot_ii(2,:))
hold on
plot(creep_coef_slip_1_ii(251,:),P_tot_ii(251,:))
hold on
plot(creep_coef_slip_1_ii(501,:),P_tot_ii(501,:))
hold on
plot(creep_coef_slip_1_ii(751,:),P_tot_ii(751,:))
hold on
plot(creep_coef_slip_1_ii(1001,:),P_tot_ii(1001,:))

```

```

legend([num2str(temps(1,2)), ' hores'],[num2str(temps(1,251)), '
hores'],[num2str(temps(1,501)), ' hores'],[num2str(temps(1,751)), '
hores'],[num2str(temps(1,1001)), ' hores']], 'Location','southeast')
xlabel('Coeficient de fluència')
ylabel('Càrrega [N]')
title('Càrrega aplicada - Coeficient de fluència')
ylim([0 1.25*max(P_tot_ii(2,:))])
hold off

figure(21)
plot(P_tot_ii(2,:),creep_coef_tau_1_ii(2,:))
hold on
plot(P_tot_ii(251,:),creep_coef_tau_1_ii(251,:))
hold on
plot(P_tot_ii(501,:),creep_coef_tau_1_ii(501,:))
hold on
plot(P_tot_ii(751,:),creep_coef_tau_1_ii(751,:))
hold on
plot(P_tot_ii(1001,:),creep_coef_tau_1_ii(1001,:))
legend([num2str(temps(1,2)), ' hores'],[num2str(temps(1,251)), '
hores'],[num2str(temps(1,501)), ' hores'],[num2str(temps(1,751)), '
hores'],[num2str(temps(1,1001)), ' hores']], 'Location','southeast')
ylabel('Coeficient reducció tallant màxim')
xlabel('Càrrega [N]')
title('Càrrega aplicada - Coeficient reducció tallant màxim')
xlim([0 2.5*10^4])

%%

xlswrite('slip_tot_ii_NL_3.xlsx',slip_tot_ii);
xlswrite('posicio_NL_3.xlsx',posicio);
xlswrite('tau_ii_NL_3.xlsx',tau_ii);
xlswrite('temps.xlsx',temps);
xlswrite('s_2_j_NL_3.xlsx',s_2_j);
xlswrite('s_3_j_NL_3.xlsx',s_3_j);
xlswrite('s_f_ini_NL_3.xlsx', s_f_ini);
xlswrite('tau_max_j_NL_3.xlsx',tau_max_j);

% if tg == 7.5
%   tg_nom = tg*10;
% elseif tg == 10
%   tg_nom = tg;
% end
%
% cd resultats_numeric_LV\slip_time
% %%GUARDEM LES DADES DE DESPLAÇAMENT I CÀRREGA EN UN ARXIU TXT
% nom =
% ['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg_nom),'.txt'];
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');
% slip_temps = [temps; slip_load_end'];
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',slip_temps);
% cd ..
% cd Lact_time
%
% nom =
% ['L',num2str(L),'_S',num2str(perc_carr*100),'_',num2str(tg*10),'.txt'];
% fileID = fopen(nom,'w'); %%guardem les noves variables en un arxiu txt

```

```
% fprintf(fileID,'%6s %12s\r\n','time (hours)','slip (mm)');  
% Lact_temps = [temps; Lact];  
% fprintf(fileID,'%6.2f %12.8f\r\n',Lact_temps);  
%  
% cd ..\..\br/>  
% save('creep_coef_tau_ii','creep_coef_tau_ii')
```