

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Mecànica

**Títol:** Disseny i fabricació d'un util·latge 4ENF per a l'assaig de materials compòsits

**Document:** Resum

**Alumne:** Pere Novell i Bosch

**Tutor:** Jordi Renart Canalias / Magdalena Pérez Galmés

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

**Àrea:** Mecànica de medis continus i teoria de les estructures

**Convocatòria (mes/any)** Juny 2016

# ÍNDEX

ÍNDEX	2
1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. Objectiu	3
1.2. Motivació del treball	3
2. DISSENY I FABRICACIÓ DE L'UTILLATGE	5
3. VALIDACIÓ	6

# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. Objectiu

L'objectiu del present projecte es el disseny, fabricació i validació d'un utilatge per a l'assaig de fractura interlaminar en mode II per a materials compòsits 4ENF (*four point end-notched flexure*).

## 1.2. Motivació del treball

Un material compòsit està format per dos o més materials distingibles físicament que, combinats, presenten unes propietats diferents a les individuals de cada component per si sol.

Entre els materials compostos, els formats per matrius polimèriques i reforçats amb fibres llargues són molt interessants degut a les seves bones propietats mecàniques. Un dels materials que presenta les propietats elàstiques i de resistència més elevades és el de matriu d'epòxid i reforç de fibra de carboni (CFRP). Es tracta d'un material ortotròpic, on l'orientació de les fibres és un aspecte determinant en les propietats del material.

Un dels modes de falla més comú en materials compòsits és la delaminació entre capes de fibra. La delaminació és la separació entre interfícies de les capes de laminat, o quan es genera i/o propaga una esquerda. Per tal de valorar aquests defectes és important determinar com creix l'esquerda sota diferents tipus de càrrega. El creixement de l'esquerda es pot descriure amb la combinació de tres modes de fractura, Mode I, Mode II i Mode III, Figura 1. El Mode I es correspon amb l'obertura de les cares de l'esquerda, el Mode II es correspon amb el lliscament de les cares degut al tallant en el pla i el Mode III és degut a un tallant fora del pla de l'esquerda.

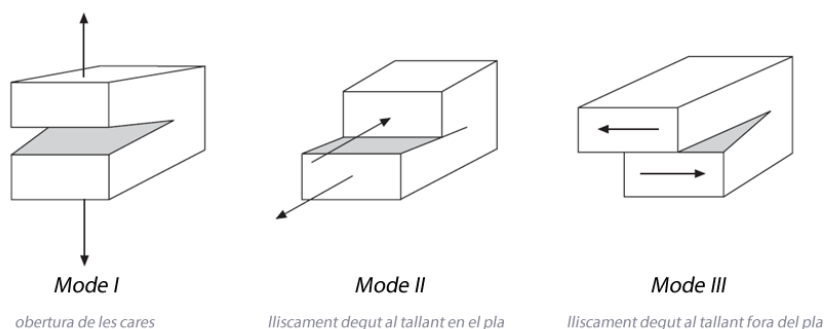


Figura 1: Representació esquemàtica dels modes de fractura.

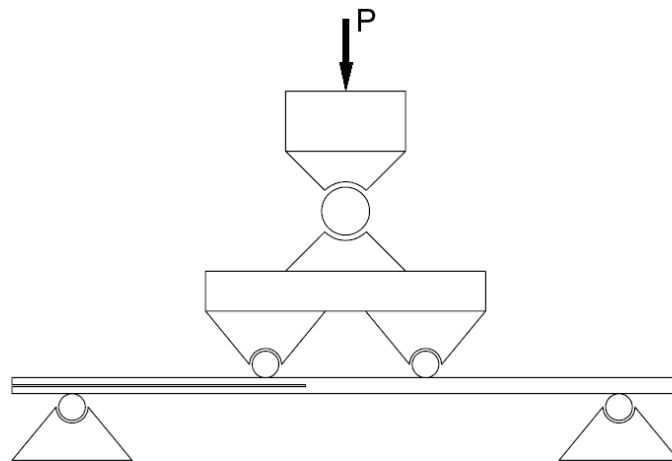
Cal destacar la importància del mode II degut a que els materials compòsits es fabriquen amb panells reforçats que treballen a flexió, i per tant la delaminació es sol produir per esquinçament entre el panell i el reforç. L'assaig 4ENF és un assaig de mode II.

Quan es produeix una delaminació, les propietats mecàniques del material es veuen reduïdes dràsticament degut a que es separa el reforç del panell o disminueix significativament la secció. Per aquest motiu és important el seu estudi.

La capacitat resistent d'un material compòsit enfront a la generació d'esquerdes interlaminars es mesura amb la tenacitat a la fractura. La tenacitat a la fractura es defineix com l'energia necessària per propagar l'esquerda una superfície determinada. Quan es caracteritza un material de fibres reforçades amb polímers (FRP) és important conèixer la tenacitat a la fractura en els diferents modes (I, II i III).

Per determinar el valor de manera experimental existeixen diversos assajos. Amb aquests assajos es poden obtenir valors de la tenacitat a la fractura en els diferents modes I, II i III, així com la combinació d'aquests.

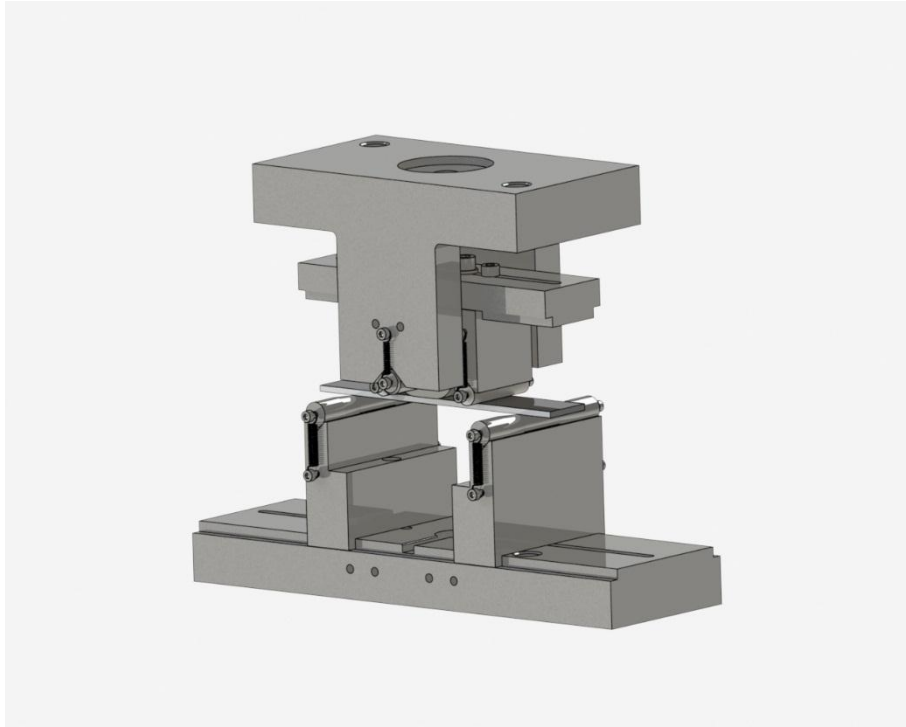
En l'assaig 4ENF es col·loca la proveta sobre dos cilindres i es pressiona la proveta a través d'un carro que pivota sobre un eix central i que disposa de dos cilindres que entren en contacte amb la proveta, Figura 2. Tot i que no és un dels menys estudiats per la comunitat científica, aquest assaig té l'avantatge que la propagació de l'esquerda és estable, el seu muntatge és simple i els desplaçaments són petits.



*Figura 2: Representació esquemàtica de l'assaig 4ENF.*

## 2. DISSENY I FABRICACIÓ DE L'UTILLATGE

A partir d'un anàlisi de la informació sobre assajos i utillatges 4ENF disponible, s'ha dissenyat i fabricat un utillatge 4ENF. A la Figura 3 es pot veure una imatge de l'utillatge 4ENF dissenyat.



*Figura 3: Vista general de l'utillatge 4ENF per a assajos en mode II.*

L'utillatge s'ha dissenyat de manera que aquest sigui compatible amb la part inferior d'un utillatge ENF disponible al laboratori del grup de recerca AMADE. Per altra banda també s'ha buscat un disseny amb una alta rigidesa per tal que la compliància de l'utillatge no alteri els resultats dels assajos.

### 3. VALIDACIÓ

Amb l'utilatge construït s'ha realitzat una campanya d'assajos 4ENF en mode II. En aquest tipus d'assaig s'ha comprovat que, contràriament al que passava amb l'assaig ENF, la propagació de l'esquerda és estable.

Després dels assajos s'han comparat els gràfics de força-desplaçament obtinguts experimentalment amb els gràfics teòrics i s'ha pogut constatar que la propagació de l'esquerda és estable però que els valors de la força augmenten durant la propagació. Per altra banda, a l'inici de la descàrrega el gràfic no és lineal. A la Figura 4 es pot veure un exemple del gràfic força-desplaçament.

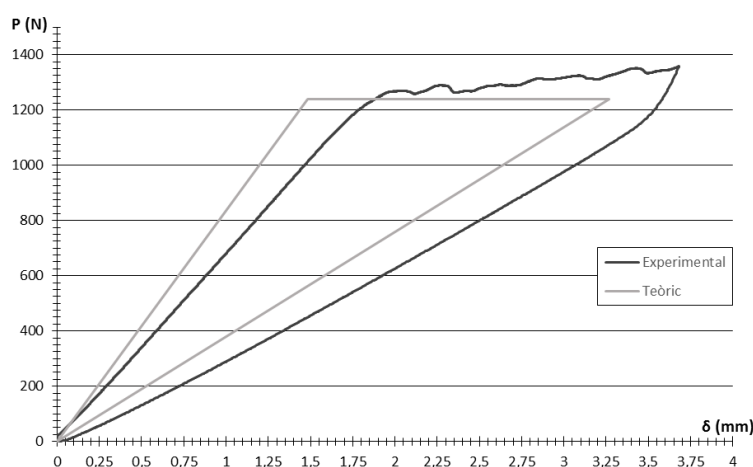


Figura 4: Gràfic Força-Desplaçament teòric i experimental d'un assaig 4ENF.

Aquestes diferències es creu que en gran part poden ser degudes a la fricció entre les dues cares de l'esquerda. Es fa necessari però un estudi més acurat per conèixer les causes exactes.

S'utilitzen dos mètodes de reducció de dades, el mètode del calibratge de la compliància, CC, i el mètode de la teoria simple de bigues, SBT. Després de provar els dos mètodes es decideix utilitzar el mètode del calibratge de la compliància ja que es creu convenient la utilització d'un mètode totalment experimental.

Un cop s'han obtingut els valors de la tenacitat a la fractura,  $G$ , dels assajos 4ENF es comparen els resultats amb els obtinguts d'un anterior treball on es realitzaven assajos ELS en mode II. Es comprova que els valors obtinguts amb els assajos 4ENF són aproximadament un 20% superiors als obtinguts als assajos ELS, tal com es mostra a la Figura 5.

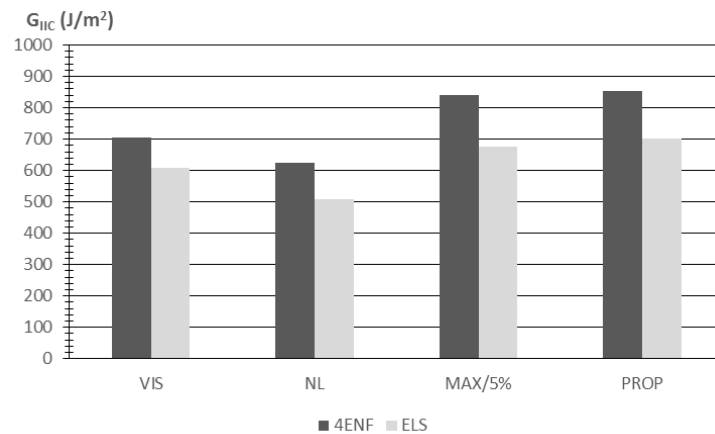


Figura 5: Comparació dels valors obtinguts de  $G_{IIC}$  mitjançant assajos 4ENF i ELS.

Un cop analitzats tots els resultats, es decideix que l'utilatge 4ENF dissenyat compleix els requisits necessaris per a la seva utilització en assajos en mode II. Per altra banda però es creu necessària una campanya experimental més ampla per tal de millorar el coneixement sobre l'assaig 4ENF i les seves característiques.

Girona, 14 de juny de 2016.

Pere Novell i Bosch