

TFG

Estudi: Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Títol: Desenvolupament d'un prototip d'ancoratge polimèric per el reforç d'elements de formigó amb materials compostos

Document: Doc 4- Resum

Alumne: Guillermo Pérez Barnés

Tutor: Ines Ferrer Real i Cristina Barris

Departament: EMCI

Àrea: Enginyeria dels processos de fabricació i Enginyeria de la Construcció

Convocatòria (mes/any): /2021

Resum

Actualment, per la construcció de grans estructures com podrien ser edificis, ponts o naus es fa servir el formigó armat com a material principal. Les estructures de formigó armat suporten tant la seva pròpia estructura, com agents externs tals com càrregues permanents, de manteniment, neu, o vent i poden provocar una necessitat de reforç estructural. El reforç més comú és el material compost amb fibra de contínua (FRP), per tal d'ajudar a l'estructura amb les seves elevades prestacions mecàniques. La tècnica de reforç més utilitzada amb FRP és l'EBR, que consisteix en enganxar la làmina de FRP a la cara traccionada de l'element amb un adhesiu. Aquest adhesiu, habitualment, és l'anomenat resina epoxi. Aquesta adherència pateix de falles prematures per desenganxament del laminat del substrat de formigó. Per tal d'intentar solucionar aquesta problemàtica es proposa l'ús d'ancoratges entre l'FRP i el formigó. Els ancoratges s'encarregaran de fer la funció de subjecció per tal d'evitar que el FRP es desenganxi prematurament del formigó. En l'actualitat hi ha una varietat de codis, normes i procediments de disseny racionals, estandarditzats i confiables que en garanteixen el disseny òptim per tal d'aguantar més càrrega. Fins al moment, els ancoratges metàl·lics són els que s'han començat a implementar, no obstant, aquests presenten certs problemes com pot ser la corrosió o la conductivitat elèctrica. És per això que cal investigar l'ús de materials més lleugers i resistents a agents externs. En aquest sentit, una solució òptima seria l'ús de plàstics a partir de la fabricació additiva, la qual pot aportar gran flexibilitat en la realització de dissenys, diferents mètodes de fabricació i gran varietat de materials que permetrien la possibilitat de substituir els materials actuals.

L'objecte principal d'aquest estudi és analitzar la viabilitat d'obtenir ancoratges de material polimèric i/o compostos creats a partir de fabricació additiva i validar-los mitjançant la creació d'un muntatge experimental que simuli un assaig real amb simplificacions, i així poder valorar l'adherència d'aquest material polimèric amb l'epoxi.

La metodologia del projecte es dividirà en dues parts. La primera part consistirà en la definició d'un sistema experimental que permeti l'assaig d'ancoratges i la comprovació de l'adherència, mentre que en la segona part es proposaran nous dissenys d'ancoratge amb fabricació additiva i amb un disseny apropiat per tal d'integrar-los en els assajos finals de la primera part. Els assajos que es realitzaran en la part 1 seran:

1. Experiment al buit: sense ancoratge
 - a) Experiment amb laminat d'acer al buit: Es realitzarà l'assaig amb una base de laminat d'acer i unit amb epoxi una làmina de FRP.
 - b) Experiment amb laminat de plàstic al buit: Es realitzarà l'assaig amb una base de material de plàstic unit amb epoxi a una làmina de FRP. En aquest cas l'assaig es realitzarà dos cops amb dues bases amb diferent material de plàstic.
2. Experiment amb ancoratge
 - c) Experiment amb laminat d'acer i ancoratge: Es realitzara el mateix assaig que l'ap a) amb la integració d'un ancoratge per tal de comprovar si amb el nou disseny i el material de plàstic es pot endarreir el desenganxament del FRP. En aquest cas es dissenyaran també dos ancoratges amb dos materials de plàstic diferents.

Per tal de realitzar tots aquests assaigs, com s'ha comentat, s'ha de realitzar un nou sistema experimental simplificant l'actual mètode d'experimentació. Les simplificacions més destacades serien el canvi del bloc de formigó per un laminat d'acer com a base, ja que això permet fer una assimilació com a base encara que l'acer sigui més resistent que el formigó, i la reducció de dimensions, ja que els assajos es realitzaran en una màquina MTS INSIGHT i les dimensions s'han

d'adaptar a la màquina i a la realització de l'assaig amb unes mides menors que les actuals per tal que sigui més fàcil el seu muntatge i preparació. Per últim, cal destacar la incorporació de sobregruixos tal que el gruix total de tot el muntatge sigui uniforme i així poder assajar tot el muntatge a tracció. A la Figura 1 es pot veure clarament la diferència entre el muntatge actual(A) i el nou muntatge experimental (B).



A. Muntatge actual



B. Nou muntatge experimental

Figura 1. Muntatge actual i nou muntatge experimental

Paral·lelament, es va dissenyant el nou ancoratge. Primerament, amb els conceptes de teoria adquirits en l'apartat 2 del projecte, es van dissenyar diferents tipologies d'ancoratge com: disseny integral, disseny de platina independent o disseny tubular. Tot seguit, també es va fer un estudi dels materials de plàstic que es podrien utilitzar per a la impressió del nou disseny d'ancoratge. Finalment, es va procedir a realitzar els primers prototips. Per tal de provar diferents materials, es van requerir diferents paràmetres d'impressió i diferents geometries fins a trobar el disseny d'ancoratge final que permetés complir amb una bona funció de subjecció del FRP. Es va fer servir un material que pogués aguantar les forces aplicades i els paràmetres d'impressió. Es va optar per imprimir dues versions d'ancoratges: una amb material ABS i una altra amb material PLA, ja que eren els dos materials més òptims segons tots els paràmetres que s'havien estudiat. Com es veu a la Figura 2 el disseny final de l'ancoratge en PLA i ABS.



Ancoratge PLA



Ancoratge ABS

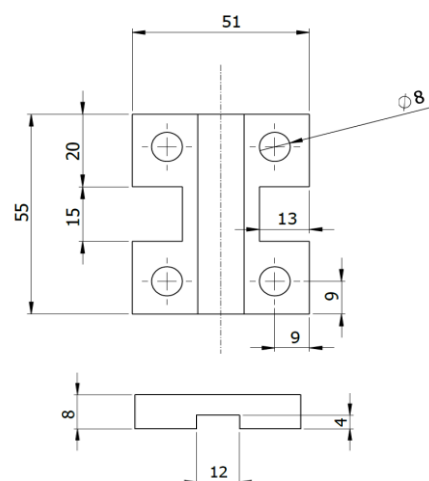


Figura 2. Disseny d'ancoratge i ancoratge final de PLA i ABS

Resum

Un cop realitzat el nou muntatge i el disseny del nou ancoratge, es va procedir a realitzar els experiments comentats en la metodologia del projecte. En primer lloc, es va realitzar l'experiment amb laminat d'acer al buit, on es van fer tres muntatges amb mides i preparacions diferents per tal de comprovar l'adherència entre l'FRP, l'epoxi i l'acer. D'aquest primer experiment es va extreure la conclusió que la preparació de la base d'acer abans de procedir a la fixació de l'epoxi i l'FRP és molt important, ja que si la zona d'adherència no està ben llimada i neta pot provocar que aguantí molt menys que els valors esperats. D'altra banda, destacar que la dimensió de l'àrea d'adherència marca el temps i l'allargament de l'experiment; a major àrea d'adherència, major temps i major allargament, però la força màxima mitjana ve donada per una petita àrea de trencament que es troba en les mostres. Aquesta àrea té una interfase de fallida entre l'epoxi i l'acer. En canvi, la zona d'adherència restant té una interfase de fallida entre l'epoxi i l'FRP.

Amb el segon experiment amb laminat de plàstic al buit, les observacions més destacables són: l'increment en gairebé deu cops del temps d'assaig i l'allargament per part de la base de plàstic. Com que és un material menys rígid que l'acer, a l'hora d'aplicar força, la distribueix per tota la làmina i permet la seva deformació però, en canvi, en la força màxima mitjana, el laminat d'acer aguanta el doble que el laminat de plàstic. Per últim, cal destacar la bona adherència del material de plàstic PLA ja que la seva interfase de fallida és entre l'epoxi i l'FRP, igual que amb la base de laminat d'acer. El material ABS però, no té una bona adherència ja que la seva interfase de fallida és entre l'epoxi i la làmina de plàstic i això implica una força màxima mitjana molt baixa.

Per últim, l'experiment amb laminat d'acer i ancoratge, que és l'objectiu principal de l'estudi. En la comprovació del nou ancoratge dissenyat amb materials de plàstic i tant per l'ancoratge imprès amb ABS com per l'ancoratge imprès amb PLA, s'han obtingut uns resultats molt bons respecte els assajos en buit. Cal destacar, sobretot, l'ancoratge amb PLA, que ha aconseguit un augment del doble de la força màxima mitjana respecte el muntatge en buit i un augment de deu cops del temps i l'allargament. A més a més, l'ancoratge ha aguantat els esforços i no ha patit cap mena de desperfecte.

En la Taula 1 es pot observar les dades extretes dels experiments comentades anteriorment. I així destacar el bon funcionament de la integració de l'ancoratge respecte dels muntatges d'acer al buit. O la diferència entre el muntatge amb base d'acer i amb base de plàstic. On la força màxima mitjana és $F_{max \text{ mitj}}$, el temps mitjà es $T \text{ mitj}$ i on l'allargament mitjà es $All \text{ mitj}$.

I en la Figura 3 es pot observar un exemple dels gràfics extrets a partir de les dades obtingudes i es pot apreciar la comparació entre l'acer 125 i l'ancoratge de PLA.

Acer 125 (Versió 1)	$F_{max \text{ mitj}}$: 1167,40 N	$T \text{ mitj}$: 1,80 s	$All \text{ mitj}$: 0,056 mm
Acer 125 (Versió 2)	$F_{max \text{ mitj}}$: 5103,76 N	$T \text{ mitj}$: 7,97 s	$All \text{ mitj}$: 0,261 mm
Acer 80	$F_{max \text{ mitj}}$: 4779,96 N	$T \text{ mitj}$: 6,43 s	$All \text{ mitj}$: 0,219 mm
PLA 125	$F_{max \text{ mitj}}$: 2948,41 N	$T \text{ mitj}$: 74,22 s	$All \text{ mitj}$: 2,47 mm
PLA 80	$F_{max \text{ mitj}}$: 2456,16 N	$T \text{ mitj}$: 61,85 s	$All \text{ mitj}$: 2,09 mm
ABS 125	$F_{max \text{ mitj}}$: 912,51 N	$T \text{ mitj}$: 23,28 s	$All \text{ mitj}$: 0,772 mm

Desenvolupament d'un prototip d'ancoratge polimèric per el reforç d'elements de formigó amb materials compostos

Ancoratge ABS	Fmax mitj: 8438,33 N	T mitj: 73,78 s	All mitj: 2,46 mm
Ancoratge PLA	Fmax mitj: 9576,52 N	T mitj: 83,05 s	All mitj: 2,77 mm

Taula 1. Resum dels resultats obtinguts en els assajos

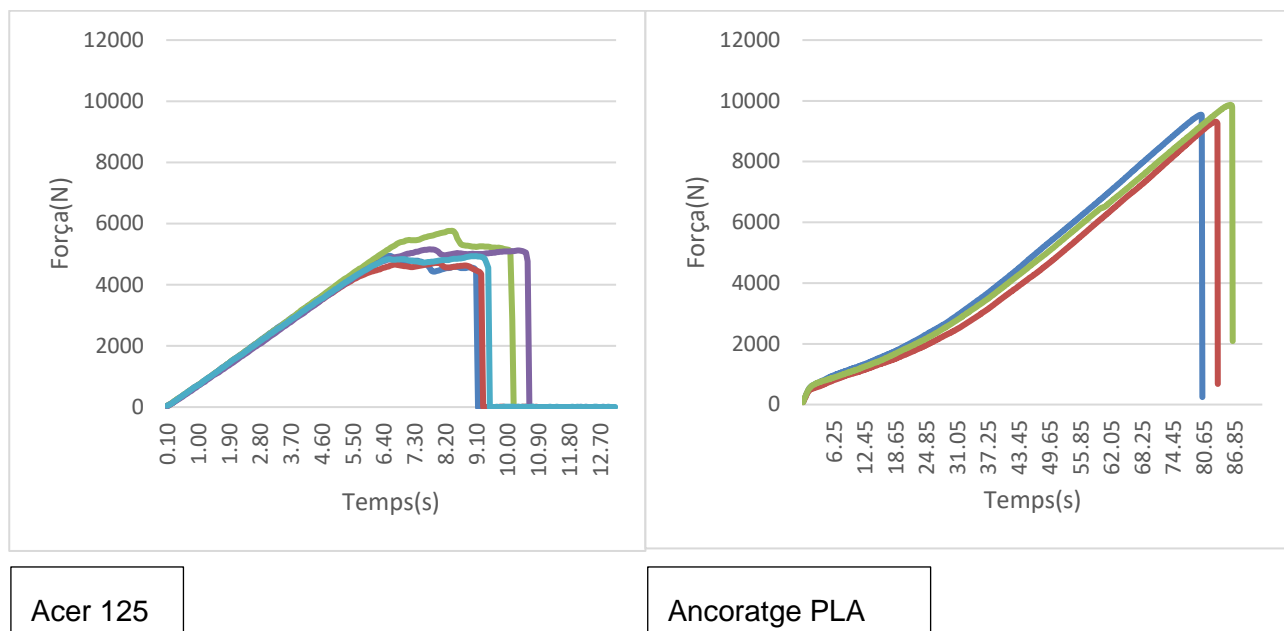


Figura 3. Gràfics d'acer al buit i d'ancoratge de PLA

Els objectius marcats, per tant, s'han pogut assolir amb èxit. Cal destacar també la dificultat de l'estudi a l'hora d'integrar dos camps tan diferents com l'enginyeria de fabricació i l'enginyeria de la construcció. A més a més, aquest projecte pot ser un inici per seguir estudiant la integració a la construcció d'ancoratges dissenyats amb materials de plàstic.