

Treball final de Màster

Estudi: Màster Universitari en Enginyeria Industrial

Títol: Disseny paramètric i assaig d'estructures multimaterial bioinspirades enfocades a la fabricació additiva.

Document: Resum

Alumne: Jordi Muñoz Galmés

Tutor: Ines Ferrer Real i Maria Luisa Garcia-Romeu De Luna
Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial
Àrea: Enginyeria dels processos de fabricació

Convocatòria (mes/any): Setembre 2024

1. Introducció:

L'objectiu del present treball consisteix a dissenyar estructures bioinspirades *brick and mortar* (BM) i *honeycomb* (HC) mitjançant modelatge paramètric, per posteriorment, fabricar-les fent servir la tècnica de fabricació additiva FDM. Un cop impreses, aquestes estructures seran assajades per poder estudiar les seves propietats mecàniques.

Un altre propòsit és l'estudi del llenguatge G-Code que conté les instruccions necessàries per fer funcionar les impressores, per tal de comprovar si és possible la seva modificació amb la intenció de millorar la qualitat de la impressió.

2. Metodologia:

El modelatge paramètric de les estructures ha estat realitzat amb el programari OpenSCAD, de codi lliure i gratuït.

Les provetes han estat fabricades amb una impressora Ultimaker 3, i els materials emprats han estat PLA i TPU 95A ambdós de la marca Ultimaker.

Els assajos realitzats en el present treball són assajos de indentació quasi-estàtica (QSI), que serveixen que determinar la resistència al dany de plaques laminades compostes de matriu polimèrica multidireccional, però que es pot utilitzar en altres tipus de materials compostos. Aquests s'han dut a terme fent servir una màquina MTS *Insight Electromechanical*, equipada amb una cel·la de càrrega de 5 kN i un punxó semiesfèric de 13 mm de diàmetre.

3. Resultats:

3.1. Modelització paramètrica:

S'han creat dos fitxers d'OpenSCAD on es defineixen les estructures *brick and mortar* (Figura 1) i *honeycomb* (Figura 2) a partir d'uns paràmetres de disseny, que al modificar-los, l'estructura canvia per tal d'adaptar-se als canvis.

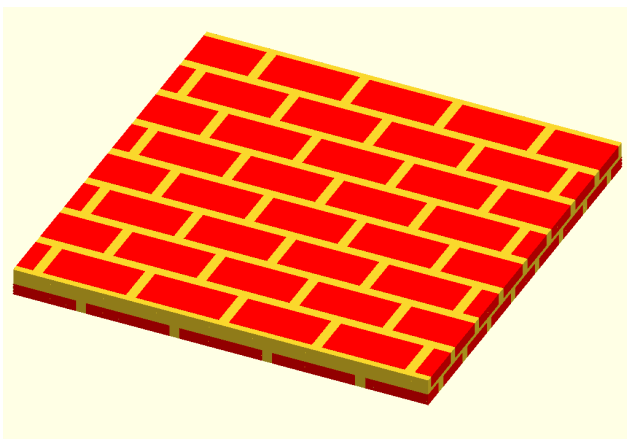


Figura 1: Model de l'estructura brick and mortar.

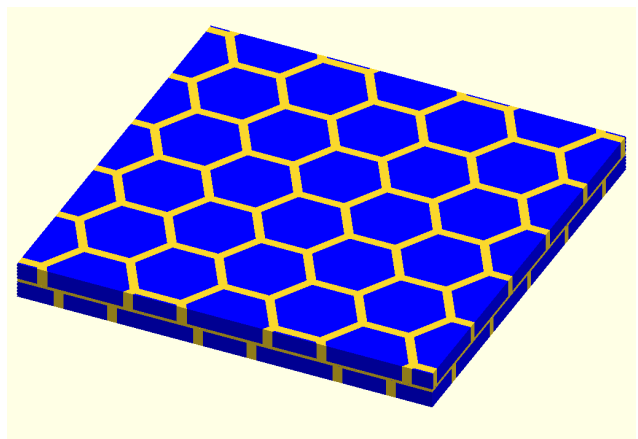


Figura 2: Model de l'estructura honeycomb.

Els paràmetres de disseny utilitzats per definir els espècimens han estat:

- **sample_width:** Longitud de la proveta en direcció X.
- **sample_depth:** Longitud de la proveta en direcció Y.
- **brick_width:** Longitud dels brics o plaquetes rectangulars en direcció X, només per *brick and mortar*.
- **brick_depth:** Longitud dels brics o plaquetes rectangulars en direcció Y, només per *brick and mortar*.
- **brick_height:** Alçada dels brics o plaquetes.
- **brick_diameter:** Diàmetre circumscrit dels hexàgons, només per *honeycomb*.
- **brick_gap (intralaminar):** Distància de separació de les plaquetes d'un mateix nivell.
- **interlevel_height (interlaminar):** Distància de separació entre nivells.
- **offset:** Desfasament en direcció Y de les plaquetes de nivells alterns. A causa que en OpenSCAD ja existeix una funció amb el mateix nom, aquest paràmetre és nomenat *off_set*, només per *brick and mortar*.
- **levels:** Nombre de nivells.

3.2. Resultats de les impressions:

S'han imprès un total de 16 provetes o espècimens (vegeu les figures 3 i 3), 8 de geometria *brick and mortar* i 4 de *honeycomb*.

Les provetes *brick and mortar* s'han fabricat amb valors de *brick_depth* de 5 mm, 8 mm i 10 mm, combinats amb valors de *brick_gap* de 0,4 mm i 1,2 mm. Per altra banda, les *honeycomb* han estat creades amb un *brick_diameter* de 16 mm i valors de *brick_gap* de 0,4 mm i 1,2 mm.

Finalment, s'han imprès dos espècimens per a cada combinació de valors diferent. Aquestes combinacions han estat nomenades d'acord amb la seva geometria i els valors de *brick_depth* o *brick_diameter* i de *brick_gap*.

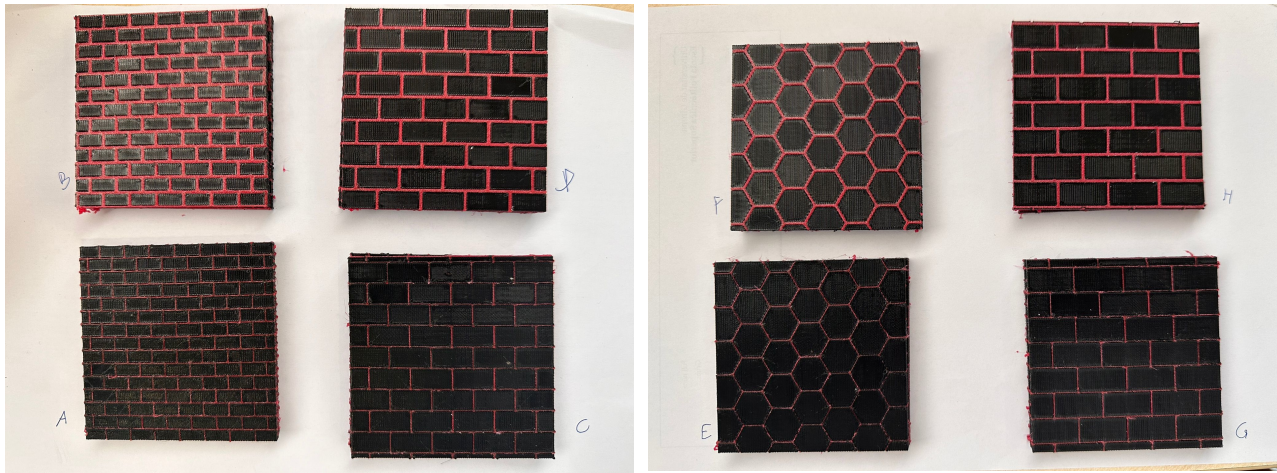


Figura 3: Fotografies de les provetes brick and mortar i honeycomb fabricades en el treball.

3.3. Resultats de l'assaig:

Les dades obtingudes dels assajos QSI han estat recollides i representades gràficament, per tal de poder comparar els comportaments de les diferents provetes, les dades s'han agrupat per valors de *brick_depth* en BM i *brick_diameter* en HC i per *brick_gap* en BM (Figura 4). A més, s'han comparat els espècimens amb *brick_depth* de 10 mm amb els HC (Figura 5) i comprovar si la forma dels brics pot afectar a l'estructura.

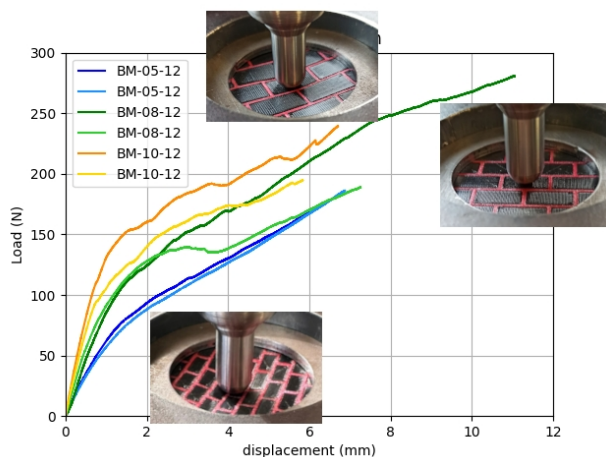


Figura 4: Gràfic comparatiu de provetes BM amb un mateix brick gap.

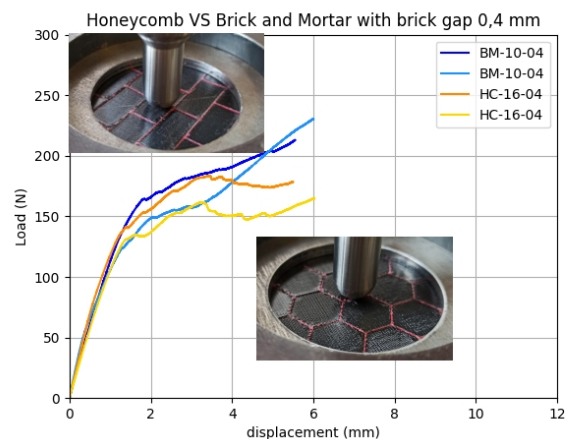


Figura 5: Gràfic comparatiu de provetes HC i BM.

A part de tot això, també s'han dibuixat gràfics comparatius per un mateix tipus de proveta, en els quals s'han marcat els punts considerats d'interès, ja sigui perquè, indiquin una possible ruptura o marquin un canvi de tendència.

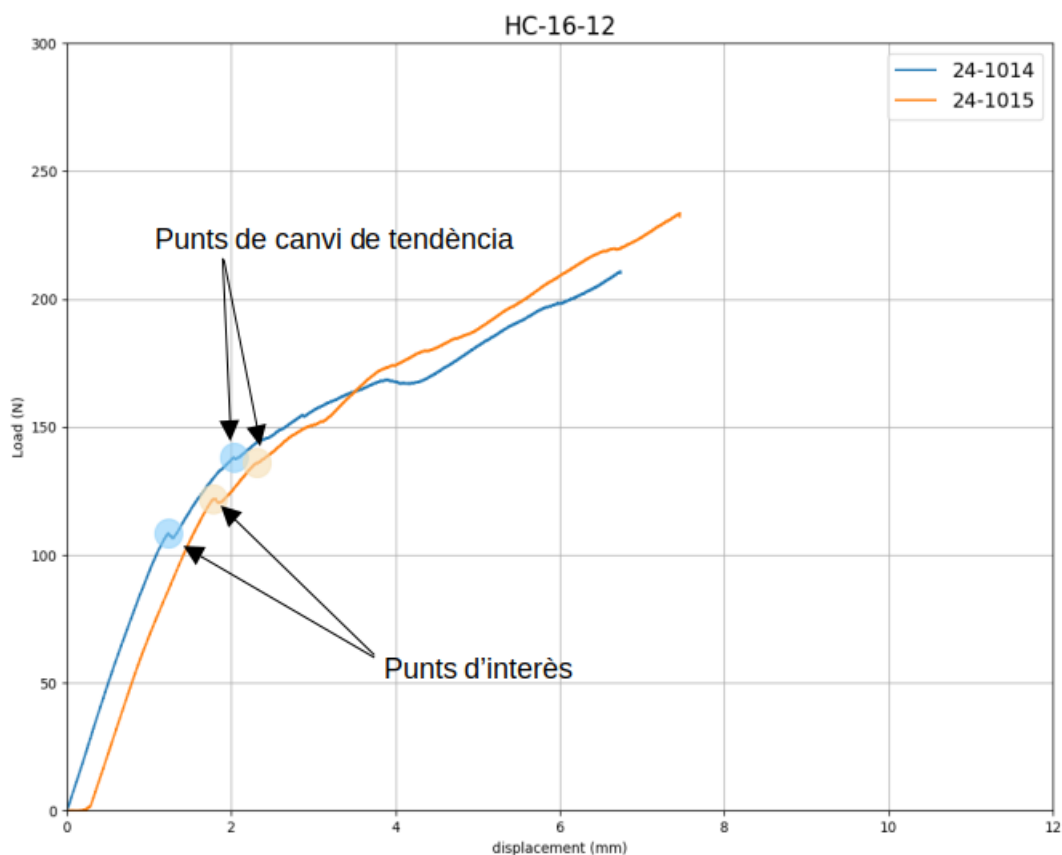


Figura 6: Gràfic d'exemple amb els punts d'interès marcats.

Finalment, també s'ha calculat l'energia de deformació en els punts considerats de canvi de tendència mitjançant el mètode matricial de càlcul per integració numèrica.

De l'anàlisi de les dades obtingudes, s'ha observat que en un principi, les proporcions en volum de TPU, el gruix del morter i la forma dels brics no tenen efectes gaire notables en el comportament de les provetes assajades. En canvi, sí que sembla que la mida dels brics sí que té un efecte rellevant en el comportament d'aquestes.

4. Estudi del G-Code i modificació:

Pel que fa a l'estudi del G-Code, s'han pogut identificar les diferents comandes que hi apareixen en el codi, les quals s'han recollit i explicat en un annex.

A part, s'ha creat un *script* amb el llenguatge de programació Python, el qual a partir del G-Code que defineix una cel·la rectangular formada per un únic bric, envoltat de morter. Llegeix el codi, extreu les comandes que defineixen la impressió de la primera capa i el reescriu, canviant l'origen de coordenades respecte al qual s'imprimeix.

5. Conclusions:

Dels objectius proposats en el treball, s'ha assolit amb èxit el disseny paramètric de les estructures *brick and mortar* i *honeycomb*. Havent-hi creat dos fitxers OpenSCAD que permeten modificar l'estructura a partir d'uns paràmetres de disseny.

Aquestes estructures han estat impreses amb diferents paràmetres de disseny i han estat testejades mitjançant l'assaig QSI. D'aquests assajos, es conclou que en un principi, semblaria que les proporcions en volum dels materials constituents de les provetes, el gruix del morter i la forma dels brics no tenen efectes notables en l'estructura, en canvi, la mida dels brics sí que sembla que afectar al comportament de les provetes durant la deformació.

Per a possibles treballs futurs, es podrien ampliar els assajos QSI realitzats, amb provetes dels materials verges, o sigui, monomaterials de PLA i TPU, i a més, fer un tercer assaig per a cada model de provetes i així ampliar la mostra estadística per tal que sigui més representativa. Una altra possibilitat podria ser el d'utilitzar provetes amb proporció menor de TPU en volum per comprovar si es comporten diferent que les d'aquest projecte.

Finalment, es podria continuar estudiant amb més profunditat la possibilitat de modificar el G-Code mitjançant el llenguatge Python.