

## **Treball final de màster**

**Estudi: Màster en Enginyeria Industrial**

**Títol:** Optimització del procés de fabricació de materials bicomponents mitjançant la tecnologia FDM.

**Document:** Resum

**Alumne:** Marc Martínez i Vecino

**Tutor:** Dra. Helena Oliver-Ortega/ Dr. José Alberto Méndez Gonzalez

**Departament:** EQATA

**Àrea:** Enginyeria química - EPS

**Convocatòria (mes/any):** Setembre 2022

## RESUM

La competició en el mercat mundial en productes i serveis manufacturats s'ha intensificat estrepitosament en els últims anys. Actualment s'ha convertit en un tema important a l'hora de llençar nous productes al mercat el més ràpid possible i aconseguir avantatge envers els competidors. Per introduir productes al mercat ràpidament, molt dels processos involucrats en el disseny, test, fabricació, mercat i distribució del producte han estat comprimits en termes de temps i fonts de materials. Per tal de tenir un ús eficient d'aquests recursos es requereixen d'eines més eficients i d'enfocaments alternatius com facilita la fabricació additiva. Essent aquesta la més adequada per a dissenys complexos de baix volum respecte els mètodes de fabricació tradicionals. Cal remarcar que la fabricació additiva és el terme formal utilitzat per descriure "*rapid prototyping*" i el que és popularment coneguda com a impressió 3D. La tecnologia *Fused deposition modeling* (FDM) funciona amb impressores 3D especialitzades alimentades per termoplàstics, les quals tenen capacitat per construir parts robustes, amb alta durabilitat i dimensionalment estables amb la millor precisió i repetibilitat de qualsevol altra tecnologia d'impressió 3D disponible. No obstant això, els problemes crítics amb aquesta tecnologia han estat equilibrar la capacitat de produir productes estèticament atractius amb funcionalitat i propietats al cost més baix possible.

En aquest treball final de màster l'objectiu inicial es centra en implementar una metodologia per a la fabricació de materials bicomponents en una impressora 3D amb una tecnologia FDM i optimitzar aquest procés, on aquest pretenia un doble objectiu:

- Comprovar la viabilitat de imprimir en 3D mitjançant l'extrusió de pèl·lets envers l'extrusió de filament.
- Optimitzar els paràmetres de impressió per futurs projectes que es realitzin amb la màquina objecte.

Cal comentar que la impressora que escau aquest projecte té disseny diferenciador on un dels capçals és un extrusor de pèl·lets el qual actualment no es gaire madur en el mercat i no es disposa de gaire documentació prèvia.

Optimització del procés de fabricació de materials bicomponents mitjançant la tecnologia FDM.

---

En el projecte s'han fabricat espècimens de PLA segons la normativa ASTM D638 i ASTM D790 amb dos extrusors diferents, filament i pèl·let. Així doncs, s'ha procedit a la preparació de 8 formulacions diferents amb diferents orientacions d'impressió de capes 0,45, 90 i 0-90° per mètode d'impressió. Un cop condicionades les mostres, s'han avaluat la densitat dels materials, les propietats mecàniques, comportament tèrmic, i anàlisis de microscòpia. Els resultats obtinguts s'han comparat sempre amb els valors teòrics del polímer estat pur. Com a conseqüent d'estudiar dites propietats s'han realitzat assajos a tracció, flexió i impacte per avaluar les propietats mecàniques. D'altre banda per estudiar les propietats tèrmiques s'ha realitzat l'assaig de calorimetria diferencial de rastreig (DSC) per tal de determinar la degradació del material i altres aspectes com l'estabilitat tèrmica i el seu grau de cristal·lització. Finalment mitjançant el microscopi digital i microscopi electrònic de rastreig s'ha analitzat la morfologia de les diferents estructures i de les fractures provocades en els assajos.

Els materials produïts en aquest projecte mitjançant l'extrusora de pèl·lets han obtingut una millora de les propietats mecàniques en totes les orientacions, inclús per l'orientació de 0° valors similars als del polímer pur. Aquests resultats de resistència i mòdul de Young tan a tracció com a flexió confirmen a més que l'orientació de les capes de les mostres de prototips ràpids contribueix a les propietats anisotròpiques. Aquesta causada probablement pel processament direccional dels laminats 2D. En canvi, els resultats de deformabilitat asseguren que per les mostres impreses amb filament son mes deformables respecte les de pèl·let probablement perquè l'augment del volum lliure al voltant de les cadenes polimèriques per el grup de filament afaforeix la seva mobilitat fent que la seva deformabilitat sigui superior. Altrament s'ha observat que per les provetes fabricades amb l'extrusora de pèl·lets la temperatura de la cristal·lització disminueix pot ser com a conseqüència que durant el procés de fabricació entre capes ja s'hagués refredat la mostra fins la deposició de la capa superior i per tant ja s'havia cristal·litzat, necessitant una temperatura més baixa per a continuar creixent els cristalls ja formats, i estaria relacionat amb una millor adhesió de les capes. Altrament, en el microscopi s'ha pogut observar com els espècimens fabricats per pèl·lets la fractura es de tota l'estructura i en canvi per les de filament és veu com es per cada filament, és a dir, que cada filament té un comportament independent. Finalment, s'observa com la unió entre capes per la impressió amb filament és mes feble que per pèl·lets.

Optimització del procés de fabricació de materials bicomponents mitjançant la tecnologia FDM.

---

En definitiva, els resultats obtinguts mostren la capacitat del extrusor de pèl-lets de ser una sòlida alternativa als extrusors convencionals de filament en les impressores 3D. Essent molt beneficiós per a objectes i/ o peces amb volums moderats d'impressió, sobretot per a usuaris que necessitin o desitgin imprimir de manera professional a un cost inferior que amb filament, i inclús millorant les propietats mecàniques i l'adherència entre capes. A més a més, aquesta alternativa podria ser viable per a la reutilització plàstics amb la finalitat de donar-los una segona vida útil i reduir els residus que, d'una altra manera, es tractarien de formes menys sostenibles. Altrament, seria un recurs per fabricar peces o estructures de materials compostos per els futurs projectes del grup LEPAMAP.

Altrament, s'ha realitzat l'assaig a flexió per provetes ASTM D790 fabricada per materials bicomponents, és a dir la meitat de la proveta mitjançant l'extrusor de pèl-let i la resta per deposició de filament. Durant la fabricació s'ha comprovat la unió de les capes amb els diferents extrusors. A més a més, s'han assajat provetes on la part de filament està a compressió i la de pèl-lets a tracció i a la inversa amb la finalitat de trobar si aquest fet influïa. Finalment s'ha realitzat una modelització i simulació de les provetes de materials bicomponents per contrastar els resultats obtinguts al assaig experimental. Els resultats obtinguts mostren el desplaçament de la línia neutre, que inicialment es suposava que estava centrada, com a conseqüent l'espècimen el qual el filament treballa a compressió i el pèl-let a tracció i compressió aporta les tensions de Von Mises màximes per ambdues configuracions, tal i com s'esperava per els assajos mecànics experimentals que s'han realitzat duran el treball

**Paraules claus:** Fabricació additiva, FDM, filament, pèl-let, orientacions, capes ,anisotropia.