



Universidad de  
Oviedo



# **ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.**

## **GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN**

**TRABAJO FIN DE GRADO N° 18010309**

**DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UNIONES BI-MATERIAL EN  
PIEZAS OBTENIDAS POR FABRICACIÓN ADITIVA**

**Dña. Desirée Ávila Rodríguez**

**TUTOR: D. Pedro Fernández Álvarez**

**COTUTOR: D. David Blanco Fernández**

**FECHA: (Julio 2018)**

## Índice

1.-	Introducción .....	11
2.-	Objetivos .....	12
3.-	La Fabricación Aditiva .....	13
3.1	Etapas de la Fabricación Aditiva.....	13
3.2	Tecnologías para la Fabricación Aditiva.....	14
3.2.1	Modelado por deposición fundida (FDM/FFF) .....	14
3.2.2	Sinterizado de laser selectivo (SLS) .....	15
3.2.3	Estereolitografía (SLA).....	16
3.2.4	PolyJet.....	17
3.2.5	Laminado de capas (LOM) .....	18
4.-	Medios materiales .....	20
4.1	La impresora Sigma BCN 3D .....	20
4.2	Software CURA .....	21
4.3	Filamentos empleados .....	24
4.3.1	PLA.....	24
4.3.2	TPU .....	25
4.4	Máquina de ensayos .....	26
4.5	Software máquina de tracción .....	27
5.-	Estado del arte y normativa aplicable .....	29
5.1	Artículos de investigación.....	29
5.2	Normativa aplicable .....	35
5.2.1	Designación de los principales modelos de rotura (ISO 10365:1992) .....	36
5.2.2	Determinación de la resistencia a la tracción de uniones a tope (ISO 6922:1987 modificada, UNE-EN 15870:2009).....	36

---

5.2.3	Determinación de la resistencia a la cizalla por tracción de montajes pegados solapados (UNE-EN 1465:2009).....	37
5.2.4	Ensayo de pelado en T para uniones encoladas flexible sobre flexible (UNE-EN ISO 11339:2010).....	38
5.2.5	Determinación de la resistencia al pelado de uniones adhesivas: Método del rodillo móvil. (UNE-EN 1464:2010).....	39
5.2.6	Ensayo de pelado para una unión encolada de adherente flexible sobre rígido: Pelado a 180° (UNE-EN ISO 8510-2:2011) .....	41
5.2.7	Ensayo de pelado para una unión encolada de adherente flexible sobre rígido: Pelado a 90° (UNE-EN 28510-1:2014).....	41
5.2.8	Determinación de la resistencia a la cizalla de uniones adhesivas entre sustratos rígidos mediante el método de cizalla en bloque (UNE-EN ISO 13445:2007).....	42
6.-	Metodología.....	44
6.1	Introducción .....	44
6.2	Diseño de las probetas.....	44
6.2.1	Probeta para ensayo de tracción.....	44
6.2.2	Probeta para ensayo a cortadura .....	46
6.3	Parámetros a ensayar .....	47
6.4	Fabricación de las probetas .....	48
6.4.1	Parámetros para impresión con doble cabezal en Cura .....	48
6.4.2	Pruebas previas .....	53
6.5	Probetas para ensayo a tracción .....	54
6.6	Probetas para ensayo a cortadura .....	56
6.7	Realización de los ensayos.....	58
6.7.1	Ensayos de tracción.....	58
6.7.2	Ensayos de cizalladura.....	58
7.-	Resultados.....	59

---

7.1	Ensayos de materiales puros .....	59
7.2	Ensayos de tracción.....	61
7.2.1	Sin solape.....	61
7.2.2	Solape de 1 mm.....	65
7.2.3	Solape de 2 mm.....	67
7.2.4	Resumen de los ensayos de tracción.....	69
7.3	Ensayos de cortadura.....	70
7.3.1	Sin solape.....	70
7.3.2	Solape de 1 mm.....	75
7.3.3	Solape de 2 mm.....	77
7.3.4	Resumen ensayos a cortadura.....	79
8.-	Ejemplo de aplicación.....	81
9.-	Conclusiones y trabajos futuros .....	85
9.1	Conclusiones .....	85
9.2	Trabajos futuros .....	86
10.-	Planificación .....	87
11.-	Presupuesto .....	89
11.1	Recursos humanos .....	89
11.2	Recursos materiales .....	89
11.3	Presupuesto total.....	92
12.-	Bibliografía .....	93

# 1.- Introducción

Hoy en día las tecnologías de fabricación aditiva están cambiando la manera de diseñar y fabricar todo tipo de productos de consumo. Por un lado, estas tecnologías han permitido reducir el tiempo necesario para la elaboración de prototipos al poder pasar del Diseño Asistido por Ordenador (CAD) de una pieza a tener un modelo real y funcional de la misma, y en muchos casos, también han permitido, gracias a la calidad y resistencia de las piezas fabricadas, obtener piezas finales directamente destinadas al consumo. También están permitiendo diseñar conjuntos de piezas ya ensambladas, y que se van a fabricar de forma simultánea, ahorrando etapas de montaje de las mismas.

Estas tecnologías de fabricación aditiva se están desarrollando y evolucionando continuamente, siendo una de las que más auge ha tenido en los últimos años la tecnología de Modelado por Deposición Fundida (FDM). La patente de esta tecnología ha caducado, con lo cual muchos fabricantes e iniciativas libres han comenzado a desarrollar máquinas de bajo coste que emplean esta tecnología. Hay máquinas que sólo disponen de un cabezal extrusor, por lo que sólo se puede emplear un material para fabricar la pieza, pero ahora están apareciendo máquinas con dos cabezales, lo que permite emplear dos materiales de forma simultánea.

La calidad de fabricación de estas máquinas de bajo coste no es demasiado buena, en comparación con las máquinas de grandes fabricantes. Para mejorar la calidad de las piezas, el usuario dispone de un software de control de la máquina y generación de trayectorias que es mucho más abierto y permite configurar muchos más parámetros de control que en las máquinas más comerciales.

También los proveedores de materiales plásticos para este tipo de máquinas, están desarrollando y mejorando los materiales disponibles, desde el tradicional Ácido Poliláctico (PLA), el Nylon o el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), hasta nuevos materiales flexibles como el Poliuretano Termoplástico (TPU).

## 2.- Objetivos

En este trabajo se va a emplear una máquina de bajo coste con dos cabezales de extrusión, lo que permite trabajar con dos materiales distintos en la misma pieza. En este caso se tratará de un plástico rígido (PLA), y un plástico flexible (TPU). El objetivo es analizar cómo va a ser la unión entre los dos materiales de la pieza, caracterizando la resistencia de esta unión física. En primer lugar, se analizarán los métodos de ensayo que se podrían emplear para caracterizar esta unión y que se encuentren normalizados, fundamentalmente serán ensayos en uniones adhesivas.

A continuación, se diseñarán probetas adaptadas a este tipo de ensayos y a las máquinas de ensayo disponibles. También se analizarán los parámetros que tienen influencia en la fabricación de la interfaz común entre los dos materiales, fabricando distintas probetas con estos parámetros para después ser ensayadas.

A partir de los ensayos se obtendrán los parámetros que más influyen en la resistencia de la unión, y una serie de recomendaciones a la hora de obtener este tipo de piezas bicomponentes.

## 9.- Conclusiones y trabajos futuros

### 9.1 Conclusiones

En este trabajo fin de grado se han realizado ensayos a cortadura y a tracción de piezas obtenidas por fabricación aditiva empleando dos tipos de materiales diferentes. Como se ha comentado en el apartado de Normativa, todavía queda un posible ensayo a realizar que sería el de pelado, y que completaría los resultados aquí expuestos.

En las probetas ensayadas se puede ver que las mejores opciones son las de 0° y rejilla ya que son las que mayor carga aguantan, tanto para los ensayos a tracción como a cortadura. Al añadir solapamiento conseguimos aumentar la carga de rotura y además que después de romper se mantenga una carga uniforme durante una mayor deformación de la probeta, que será mayor cuanto mayor sea el solapamiento. Esto ayudaría en caso de piezas que formen parte de un conjunto mayor ya que incluso después de romper son capaces de seguir aguantando una carga no muy inferior a la carga máxima para que puedan ser reemplazadas antes de producir un fallo mayor en el resto del conjunto.

Otras de las conclusiones obtenidas es que el material flexible para la impresión 3D aún necesita muchas mejoras. Se trata de un material difícil de trabajar y que da muchos problemas a la hora de imprimir, por ejemplo, es necesario realizar purgas cada poco para que no queden zonas de la pieza sin material, a este problema de impresión se le denomina subextrusión. Por ejemplo, durante la fabricación de las piezas a tracción, como el cabezal que extruía el material TPU no permanecía demasiado tiempo en reposo mientras se imprimía la parte de PLA, no aparecía este defecto, pero en la impresión de la pieza de ejemplo de aplicación había más tiempo de reposo y aparecía subextrusión. Debido a este problema hay que estar presente durante la impresión para supervisar el proceso. Esto provoca que una de las ventajas de la impresión 3D ya no sea una ventaja ya que no se puede dejar la máquina funcionando sola.

Con el ejemplo de aplicación se puede ver como utilizando los dos materiales se pueden crear de una sola vez piezas que si no tendrían que estar formadas por más partes y tendrían que ser montadas. Aunque este es un ejemplo muy básico se podrían utilizar los resultados obtenidos para crear otras piezas más complejas de una sola impresión ayudándonos del material flexible para las zonas donde se necesiten dobleces o pliegues y creando de esta manera nuevos diseños y posibilidades.

## 9.2 Trabajos futuros

A partir de los ensayos realizados en este trabajo fin de grado, se puede tratar de establecer un modelo de comportamiento de las uniones. De esta forma, se pueden caracterizar a tracción y cortadura el comportamiento de la unión, siendo los esfuerzos principales. Este modelo debería ser validado mediante análisis por elementos finitos, en los cuales se correlacionasen los modelos con los resultados en los ensayos. Empleando este modelo se podrían mejorar los diseños de las uniones de piezas para asegurar que no van a fallar por estas zonas. La dificultad para la generación del modelo, es que las uniones no son continuas y sólidas, sino que se establecen a través de los filamentos depositados.

En los ensayos realizados han sido de tipo “estático”, una fuerza aplicada una única vez hasta la rotura del material, pero también se podrían realizar ensayos a fatiga. Las estructuras impresas en 3D, debido al propio proceso de fabricación incluyen pequeñas grietas internas, zonas en las que no se ha conseguido un relleno del 100%, o fallas durante la deposición de los hilos que conforman las capas. Estas grietas pueden hacer que las piezas así fabricadas, fallen con cargas mucho menores a las críticas, cuando estén sometidas a cargas cíclicas.

Otra línea de investigación posible sería la de incorporar nuevos diseños de uniones. En este trabajo se han analizado las uniones a tope, y las uniones con solape, ya que son las únicas que de momento permiten los softwares disponibles. Estas últimas aumentan notablemente la resistencia de la unión, pero también se podrían diseñar uniones con algún tipo de entrelazamiento que asegurasen una unión más resistente, como por ejemplo estructuras machihembradas como las aplicadas en carpintería, u otro tipo de entrelazamientos entre los diversos materiales que van a componer la pieza final.

## 12.- Bibliografía

- [1] J. Calì, D. A. Calian, C. Amati, R. Kleinberger, A. Steed, J. Kautz, T. Weyrich, “*3D-printing of non-assembly, articulated models*”, ACM Transactions on Graphics (TOG) Vol. 31, Issue 6, 2012
- [2] B. Bickel, M. Bächer, M.A. Otaduy, H.R. Lee, H. Pfister, M. Gross, W. Matusik, “*Design and fabrication of materials with desired deformation behaviour*” ACM Transactions on Graphics, Vol. 29, Issue 4, 2010
- [3] D. Raviv, W. Zhao, C. McKnelly, A. Papadopoulou, et al, “*Active Printed Materials for Complex Self-Evolving Deformations*”, Nature Scientific Reports, 2014
- [4] F. Roger, P. Krawczak, “3D-printing of thermoplastic structures by FDM using heterogeneous infill and multi-materials: An integrated design-advanced manufacturing approach for factories of the future” 22ème Congrès Français de Mécanique, 2015
- [5] M. A. Hasan Khondoker, D. Sameoto, “*Design and Characterization of a Bi-Material Co-Extruder for Fused Deposition Modeling*”, Proceedings of the ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE 2016
- [6] A. R. Amin, Yi-Tang Kao, B. L. Tai, J. Wang, “*Dynamic Response of 3D-Printed Bi-Material Structure Using Drop Weight Impact Test*”, Proceedings of the ASME 2017 12th International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC 2017
- [7] Yi-Tang Kao, Ying Zhang, J. Wang, B. L. Tai, “*Loading-unloading cycles of 3D-printing built bi-material structures with ceramic and elastomer*”, Proceedings of the ASME 2016 International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC2016
- [8] K. Hee Chang, P. Eunju, K. Suhyun, P. Bumsoo, K. Namhun, L.Seungchul, “*Experimental Study on Mechanical Properties of Single- and Dual-material 3D Printed Products*” 45th SME North American Manufacturing Research Conference, Procedia Manufacturing Vol. 10, 2017

- [9] K. Hee Chang, “Mechanical Properties Assessment and Reliability Verification for FDM 3D Printed Products”, Trabajo Fin de Master en la Universidad de ULSAN (Korea), 2017
- [10] Hod Lipson, Melba Kurman, “La revolución de la impresión 3D” de Ediciones Anaya Multimedia (Grupo Anaya), 2015
- [11] Antonio Madrid Vicente, “Technologic de la impresión 3D: La fábrica del futuro”, AMV Ediciones, 2016
- [12] (Febrero 2018). Tr3sdland. Software Cura para impresión 3D:  
<https://www.tr3sdland.com/2012/12/software-cura-para-impresion-3d-sprinter-vs-marlin/>
- [13] (Febrero 2018). Impresoras3D. Tutorial Software Cura:  
<https://www.impresoras3d.com/tutorial-software-cura-parte-1/>
- [14] (Mayo 2018). BCN3D: <https://www.bcn3dtechnologies.com/es/>
- [15] (Mayo 2018). Recreus:  
<https://recreus.com/es/diametro-285/20-12-filaflexblanco285mm11lb-500gr-8435424800127.html>
- [16] (Junio 2018). Ensayos tracción:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo\\_de\\_tracci%C3%B3n#M%C3%A1quinas\\_de\\_tracci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_de_tracci%C3%B3n#M%C3%A1quinas_de_tracci%C3%B3n)
- [17] (Junio 2018). Resistencia de adhesión a la tracción a cizalla de materiales rígidos solapados entre sí:  
<http://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-material/adhesives/shear/iso-4587>
- [18] (Junio 2018). Impresión 3D:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n\\_3D](https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D)
- [19] (Junio 2018). Impresora BCN3D Sigma:  
[https://es.rs-online.com/web/p/products/1448346/?grossPrice=Y&cm\\_mmc=ES-PLA-DS3A--google--PLA\\_ES\\_ES\\_Inform%C3%A1tica\\_Y\\_Perif%C3%A9ricos--Impresi%C3%B3n\\_Y\\_Escaneo\\_3D%7CImpresoras\\_3D--PRODUCT+GROUP&matchtype=&gclid=EAIaIQobChMI5NiDn4qD3AIVrbvtCh1x yAL1EAYYASABEgIFHfD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://es.rs-online.com/web/p/products/1448346/?grossPrice=Y&cm_mmc=ES-PLA-DS3A--google--PLA_ES_ES_Inform%C3%A1tica_Y_Perif%C3%A9ricos--Impresi%C3%B3n_Y_Escaneo_3D%7CImpresoras_3D--PRODUCT+GROUP&matchtype=&gclid=EAIaIQobChMI5NiDn4qD3AIVrbvtCh1x yAL1EAYYASABEgIFHfD_BwE&gclsrc=aw.ds)
- [20] (Julio 2018). Impresora BCN3D Sigma precio:  
<https://www.amazon.es/BCN3D-Technologies-Sigma/dp/B01BVTLUYI>
- [21] (Julio 2018). Material consumible precio:  
<https://www.bcn3dtechnologies.com/es/3d-printer-filaments/>

[22] (Julio 2018). Software SolidWorks Premium 2017 precio:

<https://www.cimworks.es/precios-solidworks/>