

Primera etapa de viabilidad estructural de una pieza real fabricada mediante impresión 3D FDM (fused deposition modeling). Caso: asidero de una puerta de automóvil

First stage of structural viability of a real component manufactured by FDM (fused deposition modeling) 3D printing. Case: door handle from a car

■■■■
Josep-Maria Puigoriol-Forcada, Guillem Icart-Martori, Joaquín-Menacho Solà-Morales y Ferran López Navarro
Universidad Ramon Llull. Departamento de Ingeniería Industrial. Grup d'Enginyeria de Productes Industrials (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8809>

La fabricación aditiva o *Additive Manufacturing* (AM) es el nombre con el que se conocen las distintas tecnologías que permiten construir objetos tridimensionales a partir de adición de material, usualmente capa a capa, independientemente del material utilizado para la fabricación. De esta forma se diferencia de los métodos tradicionales de fabricación, como la fabricación subtractiva, donde se suele partir de una pieza en bruto, realizándose eliminaciones de material hasta obtener las dimensiones deseadas, u otros métodos como el conformado por deformación plástica o por colada. Entre sus principales ventajas se encuentran la reducción del ciclo de producción, posibilidad de fabricación de piezas de alta complejidad y su posible personalización [1]. Estas tecnologías han evolucionado de forma significativa en los últimos años, partiendo de la producción de prototipos nuevos (*Rapid Prototyping*, RP) hasta llegar a las recientes producciones de piezas funcionales (*Rapid Manufacturing*, RM).

El término *Layer Manufacturing* (LM) representa una categoría de tecnologías de fabricación aditiva que se basa en la deposición incremental y selectiva de material de una fuente a una superficie o sustrato para la creación de piezas físicas. Los sistemas LM parten de un modelo CAD (*Computer Aided Design*) de la

pieza objeto de fabricación. Este modelo CAD es seccionado en distintas finas capas horizontales. La operación se realiza mediante un software especializado (Ultimaker Cura, Repetier, Insight 3D Printing u otro), generando un código específico para la impresora. El envío de este archivo en formato 3D permite la fabricación mediante deposición de material de forma física y sucesivamente hasta alcanzar la pieza tridimensional. Hasta día de hoy, los sistemas LM han representado herramientas interesantes de diseño y desarrollo de producto en distintas áreas, que van desde la automovilística, aeronáutica, aeroespacial, hasta la biomédica. Las tres tecnologías de fabricación LM más importantes son la Estereolitografía (SLA), el *Selective Laser Sintering* (SLS) y el *Fused Deposition Modeling* (FDM), diferenciándose principalmente por los métodos de deposición y los materiales usados. De esta forma, se puede diferenciar entre los sistemas de SLA, los cuales utilizan una luz, comúnmente un láser ultravioleta, para curar los polímeros líquidos y transformarlos en resinas sólidas, los SLS que usan también láser, pero en este caso para sintetizar polvo termo-fusible, y finalmente la tecnología FDM, que extruye el material y lo deposita en capas, material que suele ser un termoplástico.

La tecnología FDM fue introducida en el año 1991 y es uno de los procesos de fabricación aditiva más ampliamente utilizados para la creación de componentes tridimensionales de cierta complejidad [2], [3]. Se trata de una tecnología que no es especialmente cara y que usa materiales resistentes tales como el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), el Ácido Poliláctico (PLA), el Policarbonato (PC) y la resina Ultem, familia de termoplástico amorfo

polieterimida (PEI). Aunque la tecnología FDM ha mostrado flexibilidad para el uso de distintos materiales tales como termoplásticos, vidrio, metal y materiales cerámicos [4], [5] (AM, los polímeros termoplásticos son sin duda, a día de hoy, los más utilizados).

La habilidad que tiene la tecnología FDM de crear piezas geoméricamente complejas que no pueden ser fabricadas mediante métodos de fabricación tradicionales, junto con su elevado grado de automatización, un coste relativamente asequible, la capacidad de fabricar volúmenes reducidos y de hacerlo en diferentes materiales, son los hechos diferenciales que dotan a este proceso de un gran potencial en el futuro de la fabricación. Sin embargo, la fabricación mediante FDM presenta todavía algunas desventajas notables como una velocidad de proceso relativamente baja, una falta de precisión en determinados casos y, sobre todo, unas propiedades mecánicas de las piezas fabricadas relativamente pobres. La mayoría de estudios existentes sobre las propiedades mecánicas de las piezas fabricadas por FDM han sido enfocados hacia ensayos de tensión-deformación sobre probeta impresa, y se basan en los métodos físicos tradicionales para caracterizar las propiedades de tracción, compresión y torsión de estas piezas. Sin embargo, en muchas aplicaciones de las piezas fabricadas por FDM, éstas frecuentemente se ven sometidas a estados de cargas de mayor complejidad, provocando mecanismos de fallo que no pueden deducirse fácilmente. Debido al crecimiento significativo de las aplicaciones de estas tecnologías, resulta imprescindible la investigación en los campos de la fractura y la adhesión entre capas; actualmente esta investigación aún se encuentra en fase prematura.

Las investigaciones consultadas demuestran que las propiedades mecánicas de las piezas fabricadas están claramente influenciadas por los parámetros de fabricación [6], [7]. Los más influyentes se listan a continuación:

- *Bead width*: la anchura del filamento depositado.
- *Raster to raster air gap*: distancia entre dos hilos contiguos de material. Habitualmente este parámetro suele fijarse a un valor nulo (hilos en contacto). Un valor positivo significa

distancia entre ellos, y esto resulta en una estructura ligera y de baja densidad, con un tiempo más corto en su impresión. En el caso de adoptar valores negativos, la pieza resulta especialmente densa, con mayor robustez, pero con mayor tiempo de fabricación.

- *Model build temperature*: este parámetro se refiere a la temperatura a la que se somete el material. Parámetro que controla la viscosidad del material fundido en su extrusión.
- *Raster orientation*: se refiere a la dirección con la que los filamentos son depositados.
- *Envelope temperature*: referente a la temperatura ambiente del aire que rodea la pieza durante la impresión.
- *Slice height*: altura de cada una de las capas.
- *Nozzle diameter*: el diámetro de la boquilla a través del cual se extruye el material.

Por lo que se refiere a la caracterización de materiales obtenidos mediante esta tecnología, a lo largo de los últimos años se han llevado a cabo distintas investigaciones sobre algunos materiales, de los que se pueden destacar el ABS [10], [11], [12], el PLA [13], el Ultem [14], [15], y el PC [16], [17], [18] siendo el *grup d'Enginyeria de Productes Industrials (GEPI)* de la IQS School of Engineering el único que actualmente está publicando datos sobre el material PC. Los autores de los distintos estudios han concluido que las piezas fabricadas por FDM presentan unas propiedades mecánicas diferentes en función de la orientación con la que las capas han sido apiladas respecto la dirección de la carga.

Esta investigación está dirigida a estudiar una pieza existente, que se está fabricando por un método tradicional, y analizar la posibilidad de realizar su fabricación mediante FDM, con el fin de evaluar las ventajas e inconvenientes que pueda conllevar. Especialmente se pretende estudiar el comportamiento mecánico de la pieza, planteando un caso de carga adecuado al uso habitual de la pieza, que permita obtener conclusiones.

1. OBJETIVOS. CONTEXTUALIZACIÓN

Este estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad de sustituir una pieza funcional, que actualmente se fabrica mediante inyección, por una fabricada mediante impresión FDM. Como se trata

de una pieza funcional y no de un modelo o un prototipo, debería garantizarse que la nueva pieza cumpla los mismos requerimientos de medidas, tolerancias, acabados superficial, rigidez, resistencia mecánica y otros que la pieza original. Sin embargo, en el presente estudio se decide, en una primera etapa de viabilidad, realizar una comparativa contemplando únicamente la rigidez de la pieza de estudio.

2. DOMINIO DE ESTUDIO

La pieza objeto es el componente Tapa Asidero de una puerta de automóvil (Figura 1a), que forma parte del panel puerta mostrado (figura 1b). Actualmente se obtiene por proceso de inyección de un material ABS y presenta un peso próximo a 90 gramos. Su función principal, conjuntamente con la pieza estructural de este ensamblaje (pieza Carcasa Estructural), es la de permitir el agarre para la manipulación de la puerta (tiraje y empuje de mano). Dicho conjunto debe ser lo suficientemente rígido y resistente para un correcto funcionamiento de la puerta. La figura 1b muestra uno de los ensayos de validación del conjunto frente a este requerimiento estructural. La Tapa Asidero, dominio de estudio, presenta una sección transversal abierta en forma de C, de 2.5 mm de espesor, por lo que adquiere una cierta rigidez debida a las aletas laterales, aunque la función estructural se asocia plenamente a la pieza Carcasa Estructural con la que está directamente ensamblada.

Se elige la Tapa Asidero por su flexibilidad, siendo posible definir un ensayo de flexión que guarde relación con la sollicitación que recibe el conjunto cuando se encuentra acoplado a la puerta. En comparación con la Carcasa Estructural, la Tapa Asidero permite tener valores más elevados de tensión axial (tracción-compresión) debidos a la flexión. Otro motivo para la elección de la pieza Tapa Asidero es que ésta presenta zonas para una buena definición de los puntos de fijación en la realización de ensayos experimentales. La pieza Tapa Asidero inyectada en ABS fue objeto de estudio en una investigación

previa [19], por lo que se dispone de datos sobre su comportamiento mecánico (pieza inyectada) para una comparación sólida entre las propiedades de la pieza fabricada por inyección y la fabricada por FDM.

3. FABRICACIÓN DE LA TAPA ASIDERO MEDIANTE FDM. MATERIAL Y ORIENTACIÓN

Debe definirse el material con el que se fabricarán las piezas mediante FDM y las orientaciones de fabricación.

3.1. MATERIAL

Tal como se ha indicado anteriormente, la caída de propiedades mecánicas que sufre el material debidas al proceso de impresión no son las mismas que la debida a la fabricación tradicional mediante inyección. Se conocen las propiedades del material ABS con el que se fabrica la pieza Tapa Asidero. Estos datos hacen referencia a los valores obtenidos mediante probeta ideal (ensayos de tracción con probeta normalizada inyectada, UNE-EN ISO 527) y a los observados de probeta recortada de pieza inyectada, fabricación realizada por Faurecia Interior Systems (plataforma Abrera) [20]. La figura 2a muestra ambos resultados.

Si se compara la curva roja de la figura 2a (ABS, probeta ideal) con las obtenidas para el PC fabricado con FDM, según orientación definida en el estudio de Domingo-Espin et al. [16], mediante probetas fabricadas en 3 direcciones representativas (media de las tres curvas roja, verde y azul de la figura 2b), se deduce que este material PC presenta un comportamiento equiparable al del ABS, hasta una deformación longitudinal unitaria del 0,03, por lo que se selecciona para la fabricación de la Tapa asidero.

3.2. ORIENTACIÓN

Resulta importante determinar en qué orientación debe ser fabricada la tapa. Como ha sido comentado anteriormente, las propiedades mecánicas de la pieza dependen directamente de este parámetro. Para este caso de estudio, teniendo en

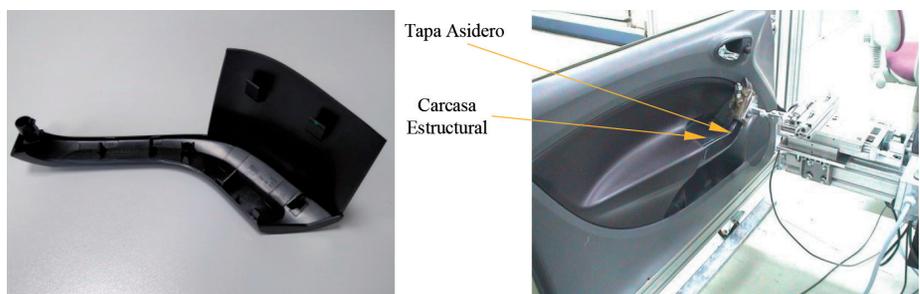


Fig. 1: Dominio de estudio: componente Tapa asidero (a). Ensamblaje panel puerta (b)

cuenta la geometría de la Tapa Asidero, considerando un prisma rectangular ficticio de contorno dentro del cual quepa la pieza, ésta podría ser fabricada apoyando este prisma por cualquiera de sus seis caras. Es por ello que inicialmente pueden contemplarse 6 orientaciones de fabricación disponibles debido a que el comportamiento mecánico de las piezas fabricadas utilizando la misma base es el mismo [16]. Se considera que fabricar apoyándose en caras opuestas es equivalente, ya que sólo invierte verticalmente la pieza. Ésta seguirá teniendo las mismas capas y el proceso de fabricación y deposición será el mismo. De este modo, las tres posibles orientaciones para la fabricación de esta pieza en el espacio tridimensionales son las mostradas en la figura 3 (a, b y c). Se ha establecido una nomenclatura de orientación en función del plano donde se apoya la superficie más plana de la pieza.

A partir de las investigaciones consultadas en bibliografía se deduce que la orientación YZ (figura 3c), es la menos óptima de las tres. Esta orientación implica un aumento del número de capas de la pieza y, por tanto, el tiempo de fabricación (coste de fabricación). Al tratarse de la

orientación en que la pieza queda menos apoyada sobre la base XY, y a su vez más partes de la geometría quedan en voladizo, esta orientación es también la que requiere de más material de apoyo, lo que también encarece su fabricación. Además, según bibliografía, cuando las capas han sido depositadas en dirección perpendicular a la de aplicación carga, el fallo mecánico aparece con mayor facilidad. De este modo se desestima del estudio. Esta orientación es la más cara de fabricar, y la que con seguridad presenta propiedades mecánicas inferiores. Se procede a realizar el estudio sólo con las orientaciones XY y XZ. Para la realización de los ensayos experimentales del presente estudio se han obtenido tres muestras para cada una de las dos orientaciones, para tener representatividad en los resultados.

En la tabla 1 se muestran los detalles de cada una de las sesiones de fabricación de piezas, con precios finales. Ya que, independientemente de la orientación con la que se fabrica, la pieza presenta una geometría compleja, poco regular y con distintas curvaturas, se requiere de una cantidad sustancial de material de apoyo para fabricar aquellas partes de la estruc-

tura en voladizo. En la tabla también se ha registrado la cantidad de material de apoyo utilizado. Debido a que la orientación XY presenta una inferior área horizontal, ha sido posible fabricar las tres muestras en una misma sesión de máquina. Esto no ha sido posible para las piezas con orientación XZ, donde se ha requerido de dos sesiones. Añadir la dificultad de eliminación del material de soporte debido a la complejidad geométrica de la pieza. Al tratarse de material soluble, las piezas han sido sumergidas en una disolución de NaOH y H₂O con un pH 13 a 70°C durante unas tres horas hasta la completa eliminación del material de soporte.

Se comprueba que la orientación XY es mucho más económica. Esto se debe a que se necesita menor cantidad de material de apoyo, a que permite procesar las tres piezas en una misma sesión, y a que presenta un menor número de capas y, consecuentemente, se fabrica con menor tiempo de sesión, ahorrando costes de amortización de maquinaria.

Los costes asociados de la Tabla 1 muestran valores significativamente altos para producciones de pequeño formato. Será viable este tipo de fabricación si se logra hacer tiradas suficientemente largas, en procesos muy optimizados, y con costes asociados a los materiales que deberán ser inferiores a los actuales.

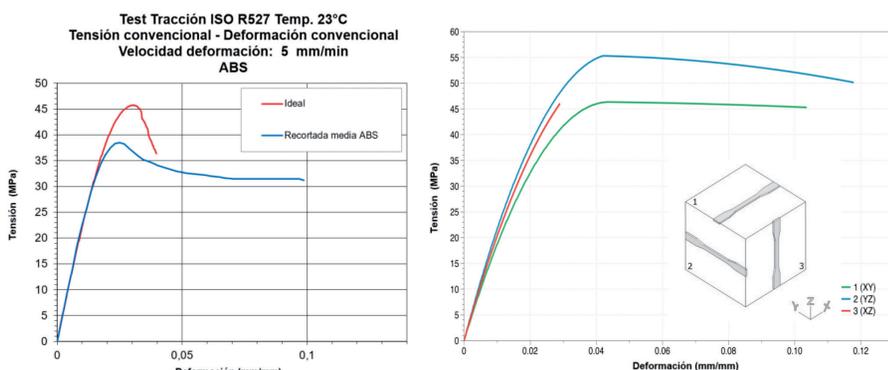


Fig. 2: Curvas ABS probeta ideal y recortada, inyección (a). Curvas PC procesado por FDM según orientación (b)

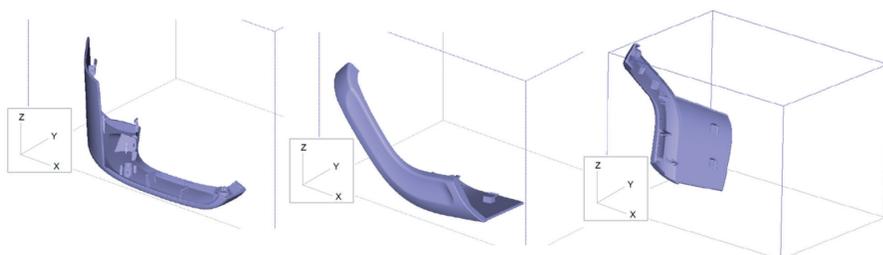


Fig. 3: Orientación XY (a), XZ (b) y YZ (c), proceso de fabricación

4. ENSAYOS EXPERIMENTALES

El objetivo de estos ensayos es obtener la curva fuerza-deformación para cada una de las dos orientaciones de fabricación contempladas.

4.1. SOLICITACIÓN Y CONDICIONES DE ENLACE

Se impone un desplazamiento de 15 mm en el eje y, sentido descendente, en la zona central de la pieza Tapa Asidero (a 110 mm del extremo de sujeción 1 – Figura 4–). Esta área es coherente con la zona de sujeción del conjunto Asidero cuando la pieza se encuentra ensamblada. El ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente y a baja velocidad (5mm/min). La pieza queda fijada en sus extremos por dos puntos de sujeción mediante dos tornillos (figura 4).

Los ensayos se realizan mediante una máquina universal MTS Insight 100KM, con la célula de carga de 100 KN. Se ha utilizado una mordaza con pisador cilíndrico de 4 mm de diámetro para obtener un buen asentamiento. De esta forma se evita tener una interacción puntual, consiguiendo una mejor repartición del es-

	Tiempo (hh:mm)	Material (cc)	Mat. Soporte (cc)	Coste (€)	Coste un. (€/pieza)
XZ (1 un.)	16:34	97,83	84,33	413,55	413,55
XZ (2 un.)	22:35	195,66	168,66	550,71	275,36
XY (3 un.)	19:20	264,5	120,6	505,19	168,40

Tabla 1: Detalles de cada sesión de máquina

fuerzo y acercando el ensayo a la sollicitación real a la que se ve sometida la pieza montada en vehículo. Además, la mordaza presenta grados de libertad rotacionales para poderse adaptar mejor a la zona de contacto, asegurando un buen posicionamiento.

4.2. CRITERIO DE VALORACIÓN

En este estudio se realizan comparaciones a nivel cuantitativo de la carga utilizada para lograr un descenso. Se define, pues, el parámetro de validación como el valor de fuerza que es necesario aplicar para conseguir un valor determinado de deformación en el eje y.

5. RESULTADOS

La Figura 5 recoge la media de los tres ensayos con piezas XY y con las muestras XZ, a partir de curvas ajustadas mediante polinomio de segundo grado.

Ninguna de las muestras fabricadas según la orientación XZ ha resistido satisfactoriamente el ensayo sin lograr la deformación impuesta sin presentar grietas. Las tres muestras han fracturado antes de alcanzar los 10 mm; las piezas 1 y 3 han colapsado, mientras que la 2 ha presentado una propagación de grieta sin alcanzar la ruptura total.

Las siguientes figuras muestran la comparativa entre el comportamiento frente a ensayo de las muestras impresas según orientación versus las inyectadas (estas últimas a partir de la investigación consultada [19]).

6. CONCLUSIONES

Se parte de un material (PC) que presenta, en caracterización a tracción en máquina universal, curvas elastoplásticas equivalentes al material ABS inyectado. Sin embargo, el comportamiento experimental de la Tapa Asidero de PC es sig-

nificativamente menos rígido que el de la pieza inyectada de ABS. La caída en rigidez se estima, aproximadamente, del 25%. Esta disminución resulta coherente con la hallada en el estudio de Ahn et al., en referencia a muestras de ensayo[10].

Se concluye que aún queda camino para obtener una sustitución relativamente directa de una pieza fabricada de forma clásica mediante inyección por su equivalente vía FDM. Este estudio representa un primer paso de complejidad hacia la viabilidad real de piezas obtenidas mediante FDM. Habría que continuar el estudio con componentes de más complejidad geométrica, que tengan asociados más responsabilidad funcional y, por tanto, contem-

plando casos de carga más exigentes que la rigidez estática impuesta en la presente investigación.

REFERENCIAS

[1] M. Attaran, "The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing," *Bus. Horiz.*, vol. 60, no. 5, pp. 677-688, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
 [2] S. H. Masood, "Intelligent rapid prototyping with fused deposition modelling," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 24-33, 1996. <https://doi.org/10.1108/13552549610109054>
 [3] X. Yan and P. Gu, "A review of rapid prototyping technologies and systems," *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 28, no. 4, pp. 307-318, 1996.
 [4] X. Fang et al., "An investigation on effects of

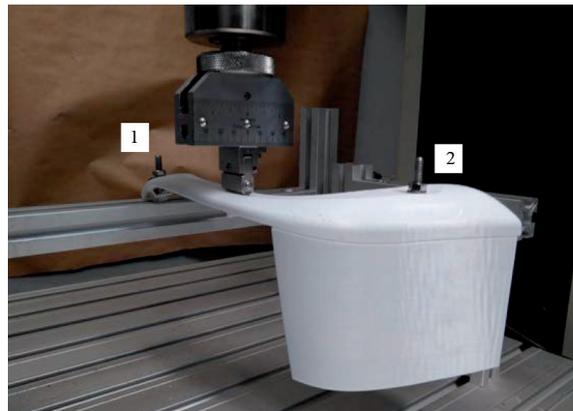


Fig. 4: Ensayo experimental Tapa Asidero

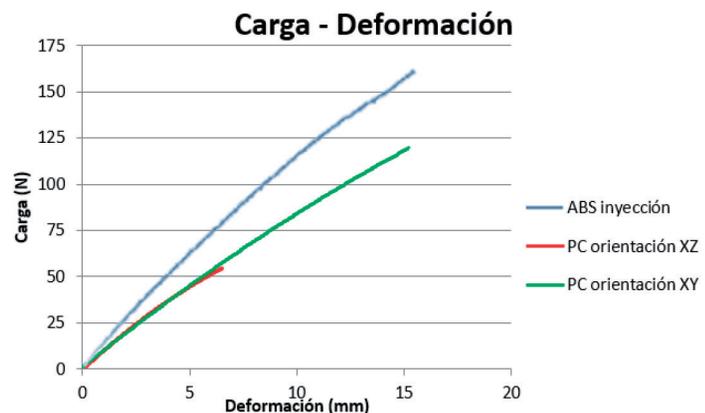


Fig. 6: Comparación resultados inyección-ABS vs FDM-PC

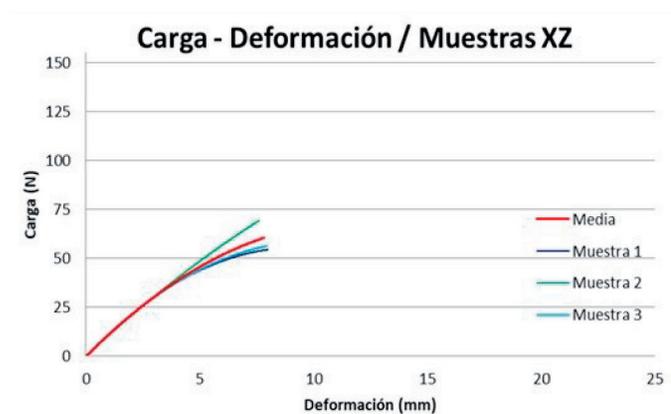
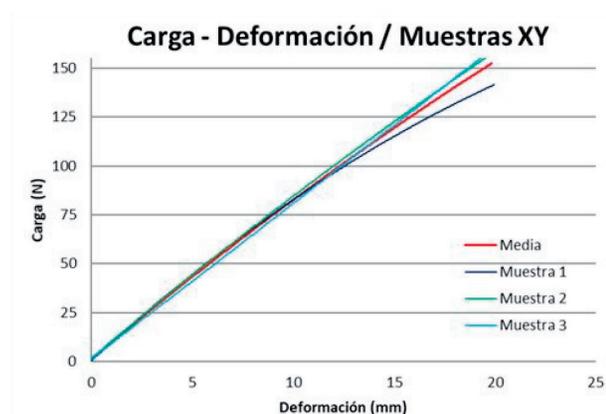


Fig. 5. Curvas media comportamiento muestras XY (a) y muestras XZ (b)

- process parameters in fused-coating based metal additive manufacturing," *J. Manuf. Process.*, vol. 28, pp. 383–389, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.01.008>
- [5] T. Moritz and S. Maleksaeedi, "4. Additive manufacturing of ceramic components," in *Additive Manufacturing: Materials, Processes, Quantifications and Applications*, Elsevier Inc., 2018, pp. 105–161. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-812155-9/00004-9>
- [6] M. Faes, E. Ferraris, and D. Moens, "Influence of Inter-layer Cooling time on the Quasi-static Properties of ABS Components Produced via Fused Deposition Modelling," *Procedia CIRP*, vol. 42, no. Isem XVIII, pp. 748–753, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.313>
- [7] A. K. Sood, R. K. Ohdar, and S. S. Mahapatra, "Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement," *J. Adv. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 81–90, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2011.05.001>
- [8] R. Anitha, S. Arunachalam, and P. Radhakrishnan, "Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 118, no. 1–3, pp. 385–388, 2001. DOI: 10.1016/S0924-0136(01)00980-3
- [9] O. S. Es-Said, J. Foyos, R. Noorani, M. Mendelson, R. Marloth, and B. A. Pregger, "Effect of layer orientation on mechanical properties of rapid prototyped samples," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 15, no. 1, pp. 107–122, 2000. <http://dx.doi.org/10.1080/10426910008912976>
- [10] S. Ahn, M. Montero, D. Odell, S. Roundy, and P. K. Wright, "Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 8, no. 4, pp. 248–257, 2002. <http://dx.doi.org/10.1108/13552540210441166>
- [11] M. Dawoud, I. Taha, and S. J. Ebeid, "Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques," *J. Manuf. Process.*, vol. 21, pp. 39–45, Jan. 2016. <http://doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.11.002>
- [12] M. Montero, S. Roundy, and D. Odell, "Material characterization of fused deposition modeling (FDM) ABS by designed experiments," *Proc. Rapid Prototyp. Manuf. Conf.*, pp. 1–21, 2001. http://ode11.com/publications/sme_rp_2001.pdf
- [13] G. Gomez-Gras, R. Jerez-Mesa, J. A. Travieso-Rodríguez, and J. Lluma-Fuentes, "Fatigue performance of fused filament fabrication PLA specimens," *Mater. Des.*, vol. 140, pp. 278–285, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.11.072>
- [14] K. C. Chuang, J. E. Grady, R. D. Draper, C. Patterson, and T. D. Santelle, "Additive Manufacturing and Characterization of Ultem Polymers and Composites," *Compos. Adv. Mater. Expo.*, p. 15, 2015.
- [15] R. J. Zaldivar, D. B. Witkin, T. McLouth, D. N. Patel, K. Schmitt, and J. P. Nokes, "Influence of processing and orientation print effects on the mechanical and thermal behavior of 3D-Printed ULTEM®9085 Material," *Addit. Manuf.*, vol. 13, pp. 71–80, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2016.11.007>
- [16] M. Domingo-Espin, J. M. Puigoriol-Forcada, A.-A. Garcia-Granada, J. Lluma, S. Borros, and G. Reyes, "Mechanical property characterization and simulation of fused deposition modeling Polycarbonate parts," *Mater. Des.*, vol. 83, pp. 670–677, Oct. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.074>
- [17] A. G. Salazar-martín, M. A. Pérez, G. Reyes, and J. M. Puigoriol-Forcada, "A Study of Creep in Polycarbonate Fused Deposition Modelling Parts," *Mater. Des.*, vol. 141, pp. 414–425, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.01.008>
- [18] J. M. Puigoriol-Forcada, A. Alsina, A. G. Salazar-Martin, G. Gomez-Gras, and M. A. Pérez, "Flexural Fatigue Properties of Polycarbonate Fused-deposition Modelling Specimens," *Mater. Des.*, vol. In Press, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.06.018>
- [19] J. M. Puigoriol-Forcada, F. López Navarro, and G. Reyes Pozo, "Validación de una metodología de caracterización elastoplástica cuasi-estática simplificada de materiales termoplásticos inyectados en proceso industrial para simulación estructural," in *Proceedings from 18th International Congress on Project Engineering (Alacañiz 2014)*, 2014, pp. 1–13.
- [20] J. M. Puigoriol, "Una Metodología para Caracterización Elastoplástica Cuasi-Estática Simplificada de Materiales Termoplásticos Inyectados en Proceso Industrial para Simulación Estructural," Tesis Doctoral, IQS School of Engineering, Ramon Llull, Barcelona, 2013.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la empresa SEAT y a *Faurecia Interior Systems SALC España* por la información a disposición para poder llevar a cabo la implementación de este caso de estudio.

DYNA

Ingeniería e Industria

Suscríbete a Revista Dyna

Revista técnico científica de ingeniería multidisciplinar desde 1926

Los mejores artículos en español para investigadores y profesionales de la ingeniería.
Mantente actualizado y conoce el estado del arte en ingeniería.

PROMOCIÓN PARA ESTUDIANTES:

La suscripción a DYNA impresa incluye la suscripción digital a DYNA y a otras 3 revistas especializadas:

- DYNA Energía y Sostenibilidad (DYNAES)
- DYNA Management (DYNAMN)
- DYNA Nuevas Tecnologías (DYNANT)

Suscripción Impresa + 4 revistas digitales 39,00 €/año

Para acogerse a esta promoción escribanos a dyna@revistadyna.com

