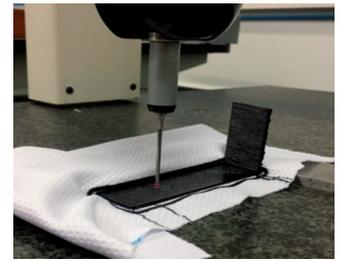


# Fabricación aditiva sobre textiles con equipos de extrusión de bajo coste: propiedades de adhesión y deformaciones



## Additive manufacturing on textiles with low-cost extrusion devices: adhesion and deformation properties



Javier Oyón-Calvo, Aitor Cazón-Martín, María-Isabel Rodríguez-Ferradas, Leire Francés-Morcillo, Luis Matey-Muñoz y Paz Morer-Camo  
Universidad de Navarra (TECNUN). Dpto. de Ingeniería Mecánica y Materiales. Paseo Manuel Lardizábal, 13 - 20018 San Sebastián (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8893> | Recibido: 03/07/2018 • Inicio Evaluación: 04/07/2018 • Aceptado: 05/11/2018

### ABSTRACT

• Additive Manufacturing devices or 3D printers allow the possibility of creating almost anything. One of the most promising fields of application are wearable devices, which can be directly printed on textiles. This paper aims to study adhesion forces and warping effects when depositing a polymer onto a textile with a low-cost extrusion 3D printer. To achieve this, two different polymers (PLA and Filaflex) and six of the most common textile materials were selected. L-shaped specimens were printed by combining the two polymers and the six textiles. Most of the common printing settings were fixed for both materials, while the layer quality was 0.1 mm and 0.2 mm. Once printed, they were inspected with a Coordinate Measuring Machine and the deformation of each specimen was quantified by calculating their maximum and minimum displacements. Afterwards, each specimen was axially tested to evaluate the adhesion forces between the polymer and the textile. In terms of warping, flexible filament showed the lowest values independent of printing quality (0.56 mm and 0.3 mm) relative to the rigid filament (0.73 mm and 0.8 mm). In terms of adhesion, the combination of a porous textile and a flexible filament got the highest values, regardless of the layer height selected. The conclusion of this study is that polymer textile deposition can be a real manufacturing strategy that should be considered when thinking about the design of a wearable device to be worn on the body.

• **Keywords:** Additive manufacturing; 3D printing; Textiles; Extrusion.

### RESUMEN

Los equipos de Fabricación Aditiva o impresoras 3D permiten la posibilidad de crear casi cualquier objeto. Uno de los campos más prometedores de aplicación son los dispositivos wearables que pueden ser directamente impresos sobre textiles. Este artículo quiere estudiar las fuerzas de adhesión y las deformaciones o alabeos cuando se deposita un material polimérico sobre un textil con una impresora 3D de extrusión de bajo coste. Para conseguir este objetivo, se han seleccionado dos polímeros (PLA y Filaflex) y seis materiales textiles. Se han impreso varias probetas con forma de L combinando los dos polímeros y los seis textiles. La mayor parte de los parámetros de impresión se han fijado para los dos materiales, mientras que la altura de capa fue de 0.1 mm y 0.2 mm. Una vez impresos, las probetas se analizaron con una Máquina de Medir por Coordenadas para cuantificar el desplazamiento

máximo y mínimo de cada probeta. Posteriormente, cada probeta se ensayó uniaxialmente para evaluar las fuerzas de adhesión entre el polímero y el textil. En términos de desplazamiento, el filamento flexible presentó los valores más bajos independientemente de la calidad de impresión (0.56 mm y 0.3 mm) en relación con el filamento rígido (0.72 mm y 0.8 mm). En términos de adhesión, la combinación entre una tela porosa y un filamento flexible consiguió los valores más elevados. La conclusión de este estudio es que la deposición de un polímero sobre un tejido puede ser una estrategia de fabricación real que debería ser considerada cuando se piense en diseñar un dispositivo wearable.

**Palabras clave:** Fabricación Aditiva; Impresión 3D, Têxtil, Extrusión.

### 1. INTRODUCCIÓN

La Fabricación Aditiva (FA) o la impresión 3D, a diferencia de las tecnologías de fabricación sustractivas, es un proceso de fabricación donde el objeto físico se crea uniendo materiales capa sobre capa tomando como referencia un modelo 3D [1]. Los actuales procesos de FA pueden ser clasificados en siete grupos diferentes que incluyen impresoras capaces de producir piezas hechas de materiales poliméricos, así como piezas de metal. Desde los años 80, los dispositivos de FA han sido utilizados no sólo para realizar pruebas de prototipos (*Rapid Prototyping*) sino también como un proceso de producción final de determinados componentes del producto (Fabricación Digital Directa). Esta última estrategia se introdujo en la industria de la moda por Van Herpen que utilizó capacidades de impresión 3D en 2010 para imprimir directamente ropa [2]. Desde entonces, otros profesionales la han seguido para crear no sólo ropa [3, 4], sino también accesorios como abalorios y joyas [5, 6] o también para crear lo que se denomina como un dispositivo wearable.

Un wearable es un dispositivo que puede ser usado por un consumidor y se compone de sensores que permiten la monitorización de su actividad física y del comportamiento [7]. En la literatura, las impresoras 3D han sido usadas para crear una variedad de ropa personalizada para los clientes, como, por ejemplo, plantillas [8] o pendientes [9]. Sin embargo, éstos wearables están diseñados como dispositivos independientes donde las tecnologías de impresión 3D son sólo usadas para encapsular la electrónica. Buscando la innovación, los investigadores están tratando de crear dispositivos más complejos donde se utilizan tecnologías de FA en la parte electrónica de la wearable. Ota et al. [10] han desa-

rollado un guante con un calefactor integrado, que combina una impresora 3D y la inyección de metal líquido para formar las pistas conductoras de los componentes del circuito. En esa investigación, el sustrato de la tinta metálica fue impreso en 3D pero no fue depositado directamente en la tela. En cambio, He et al. [11] utilizó un tablero nScript como sistema dispensador para depositar un conductor plateado directamente en una banda elástica con el objetivo de crear antenas RFID. Sin embargo, este enfoque es limitado por el tipo particular de impresora 3D utilizado.

Entre los dispositivos de FA, la extrusión de material es una de las técnicas más populares en el mercado de impresoras debido a la expiración de las patentes clave. El principio de funcionamiento de esta técnica consiste en depositar selectivamente un material termoplástico semisólido a través de una boquilla que tiene un pequeño orificio. El material termoplástico, que generalmente viene en filamentos de entre 1 a 3 mm de diámetro, primero se calienta y posteriormente se extruye en pistas individuales a través de la boquilla para formar cada capa de la pieza a imprimir. En los últimos años, los fabricantes han desarrollado materiales eléctricamente conductores basados en una matriz de PLA o TPU/TPE mezclada con polvos de cobre o grafeno, tales como los materiales comerciales Electrifi ó BlackMagic3d. Estos materiales presentan una baja resistividad (ohmios cm), un precio razonable por gramo y diferentes valores de rigidez mecánica. Varios investigadores ya los están utilizando para reemplazar los cables de cobre tradicionales cuando se conectan diferentes tarjetas electrónicas [12, 13]. El punto más importante a tener en cuenta sobre estos materiales comerciales es que todos ellos están destinados a ser utilizados con impresoras de extrusión de bajo coste sin ningún tipo de accesorio adicional. No obstante, el proceso de impresión 3D sobre telas de estos materiales deben ser investigado si se quiere depositar el material conductor para crear pistas conductoras.

Según Sanatgar [14], cuatro aspectos deben considerarse a la hora de depositar los polímeros en tejidos: tienen que proporcionar adherencia, deben permitir un movimiento libre del usuario que utiliza ese tejido, deben aguantar las fuerzas habituales de la vida diaria y deben ser lavables. Varios estudios en la literatura se han centrado en tecnologías de extrusión y han comenzado a explorar los retos y limitaciones que tiene la impresión 3D directa de polímeros en los textiles. Pei et al. [15] imprimieron diferentes geometrías de ABS, PLA y nylon sobre una gran variedad de textiles con una altura de capa de 0,1 mm para estudiar la calidad de las piezas impresas (deformación) y las fuerzas de adherencia. Encontraron que las piezas de PLA tuvieron los mejores resultados, mostrando pequeñas deformaciones y una alta calidad final. Sin embargo, este análisis fue subjetivo ya que se basó en inspecciones visuales. En un estudio similar, Korger et al. [16] imprimieron un PLA blando y un elastómero termoplástico (TPE) sobre diferentes tejidos, con una altura de capa fija de 0,3 mm. Como las telas fueron impresas con materiales de dureza similares (33D-43D), llegaron a la conclusión de que las fuerzas de adhesión son más dependientes del sustrato textil que del material de impresión: consiguieron una mejora adherencia sobre telas gruesas y rugosas. También estudiaron el efecto de hidrofobicidad en la fuerza de adherencia y encontraron que tras lavar los especímenes las fuerzas de adherencias mejoraban hasta 4 veces en comparación con las muestras sin lavar. Otro parámetro para considerar cuando se trabaja con dispositivos de extrusión es la distancia entre la extrusora y la plataforma o bandeja de impresión. Döpke et al. [17] imprimieron PLA en tres tejidos de diferentes grosores. Descubrieron que las fuerzas de adhesión pueden aumentarse si la boquilla comprime el tejido durante la impresión. En relación a

los parámetros de impresión, la temperatura de la plataforma no tiene un efecto significativo sobre la adherencia si la temperatura es inferior a la temperatura de transición del vítrea [14]. Sin embargo, este mismo estudio concluyó también que la temperatura de extrusión es de gran importancia: a mayor temperatura, mayor valor de adherencia. Con respecto a la velocidad de impresión, también descubrieron que las velocidades medias resultan en mayores resultados de adherencia.

El objetivo de esta investigación es analizar diferentes propiedades sobre cómo depositar materiales rígidos (PLA) y flexibles (Filaflex) sobre textiles naturales y sintéticos utilizando equipos de FA de extrusión de bajo coste. En particular, este artículo analiza 1) la adherencia del polímero a la tela ensayando varios ejemplares en una máquina de ensayo de tracción y 2) la deformación final del espécimen con una Máquina de Medición de Coordenadas (MMC) debido a las deformaciones sufridas por la tela durante la impresión. El presente artículo pretende completar los estudios anteriormente citados, primeramente, con la incorporación de la altura de la capa como una variable que puede influir en la adherencia y la deformación, en segundo lugar, considerando en el mismo estudio dos materiales de impresión con una notable diferencia en la dureza shore y, finalmente, objetivizando la deformación sufrida por la pieza impresa en 3D con el uso de una MMC.

## 2. MÉTODOS

Un textil es un material que está formado por filamentos y se clasifican en naturales o químicos. Las telas naturales son aquellas que se pueden encontrar directamente en la naturaleza, independientemente de si tienen o no un origen animal, mineral o vegetal, mientras que los textiles químicos son productos sintéticos o creados artificialmente por los seres humanos. Para este estudio, se han seleccionado seis tejidos diferentes: uno con un origen natural (pana) y cinco con un origen químico (viscosa, licra con orificios pequeños, licra con orificios pequeños grandes, algodón con elastano y neopreno). De estos tejidos, se obtuvieron las propiedades más importantes, a saber, el tipo de fabricación de la tela (punto o tejido), su densidad y su porosidad. Para determinar la densidad, se cortaron especímenes de 25 x 25 cm y se pesaron con una báscula de precisión, mientras que, para determinar la porosidad, se inspeccionó una región de 1 x 1 mm de cada tela con un microscopio óptico para detectar donde no había material.

Una vez caracterizados, un polímero rígido (PLA) y uno flexible (Filaflex) fueron utilizados para imprimir unos especímenes de prueba sobre las telas mencionadas mediante una impresora 3D de extrusión de Tumaker (Tumaker, Oiartzun, España), a saber, el modelo NX Voladora con una extrusora tipo Bowden. Los especímenes fueron impresos en calidad baja (0,2 mm de altura de capa) y en calidad alta (0,1 mm de altura de capa). Los especímenes tenían

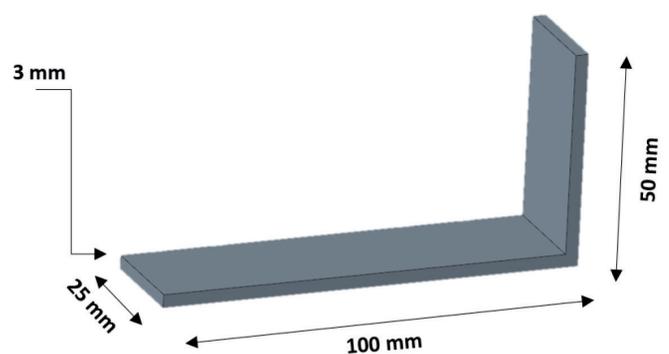


Fig. 1: Especímen de ensayo de acuerdo a las dimensiones de la norma DIN 53530

forma de L y fueron modelados de acuerdo a la norma DIN 53530 [18] (Figura 1). Considerando todo esto, veinticuatro ejemplares fueron impresos con los ajustes de impresión más adecuados para cada material (Tabla 1). Las telas se posicionaron en la cama de impresión, que es un espejo normal, utilizando cinta adhesiva de doble cara para la superficie de impresión y pinzas de ropa para fijar los bordes de la tela a la cama (Figura 1 y Figura 2 del Material complementario).

|                                   | PLA                     | FLEX                    |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Velocidad de impresión (mm/s)     | 50                      | 10                      |
| Diámetro de la boquilla (mm)      | 0,6                     | 0,6                     |
| Temperatura de impresión (°C)     | 210                     | 250                     |
| Temperatura de la plataforma (°C) | 50                      | 50                      |
| Relleno                           | 100%                    | 100%                    |
| Tipo de relleno                   | Rectangular (45 grados) | Rectangular (45 grados) |

Tabla 1: Parámetros de impresión en función del material

Una vez impresas, se inspeccionaron las deformaciones sufridas por cada espécimen mediante el uso de una MMC modelo DEA MISTRAL (Hexagon, Estocolmo, Suecia) (Figura 4). Tiene una estructura de puente que se puede desplazar a lo largo de los ejes X e Y. El puente monta un cabezal móvil con movimiento en el eje Z y sobre el cual hay un palpador que está montado en su extremo. El palpador tiene una esfera que toca el punto a medir y captura las coordenadas tridimensionales del punto de contacto. Para el procedimiento de medida, en primer lugar, se posicionó el centro de coordenadas para el modelo virtual en el vértice de la geometría en forma de L (Figura 2 a la izquierda). El eje X alineado con la dirección longitudinal de la muestra (borde de 100 mm en la Figura 1), el eje Y de la dirección transversal (borde de 25 mm en la Figura 1) y el eje Z hacia arriba en la dirección vertical. A continuación, se programó un código informático para controlar los movimientos del palpador con el fin de obtener la coordenada Z de 15 puntos diferentes. Estos puntos fueron definidos en determinadas coordenadas XY en la superficie superior de la geometría virtual. (Figura 2 a la izquierda). Con el código desarrollado, cada ejemplar fue posicionado encima de la cama de la MMC y se fijó el centro de coordenadas físico coincidente con el origen virtual. Se ejecutó el código y se obtuvieron las quince coordenadas Z (Figura 2 a la derecha). La MMC necesitó 90 segundos para medir cada espécimen. Para comparar los especímenes entre sí, en términos de deformación, se obtuvo la diferencia entre el máximo y el mínimo de las coordenadas del eje Z de esos quince puntos para cada espécimen.

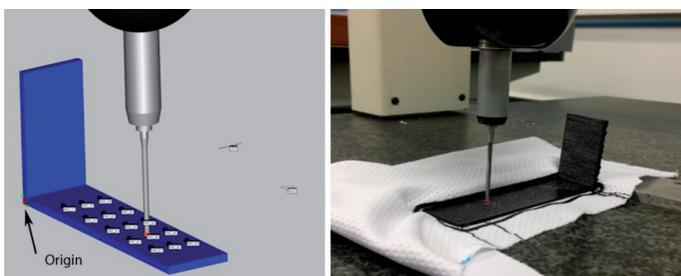


Fig. 2: Imagen del software de la MMC mostrando los quince puntos seleccionados para ser medidos (izquierda) y el espécimen físico sobre la MMC durante la medición (derecha)

Después de la fase de inspección, se realizaron ensayos de tracción de los especímenes con una máquina Instron modelo mini 44 (Instron Worldwide, Norwood, MA, EE.UU.) La máquina de ensayo de tracción tiene una célula de carga de 500 N. La mordaza inferior sujetaba el espécimen mientras que la mordaza superior retenía el tejido (Figura 3 del Material complementario). Cada muestra fue sometida a una velocidad de separación de 100 mm/min. El objetivo principal del ensayo de tracción fue generar los datos de fuerza de adherencia y desplazamiento. Con este fin, un equipo de apoyo ejecutando el software LabVIEW (National Instruments, Newbury, Reino Unido) estuvo conectado a la máquina de tracción para visualizar y grabar la curva fuerza-tiempo de cada uno de los especímenes.

### 3. RESULTADOS

Los resultados del análisis del microscopio se muestran en la Figura 4 del Material complementario, mientras que los datos obtenidos para la densidad y la porosidad se muestran en la Tabla 2.

| Tela                 | Tipo   | Densidad (g/dm <sup>2</sup> ) | Porosidad (%) |
|----------------------|--------|-------------------------------|---------------|
| Viscosa              | Punto  | 1,3                           | 15            |
| Pana                 | -      | 2,2                           | 0             |
| Licra (pequeño)      | Tejido | 1,4                           | 23            |
| Licra (grandes).     | Tejido | 1,3                           | 6             |
| Algodón con elastano | -      | 2,4                           | 0             |
| Neopreno             | Tejido | 2,4                           | 29            |

Tabla 2: Telas para experimentos

La Tabla 3 muestra la diferencia entre el punto de máximo desplazamiento vertical y el punto con el menor desplazamiento vertical junto con el promedio y la desviación estándar (STD) agrupadas por altura de capa y tipo de tela. En general, los especímenes de Filaflex presentan valores de media inferiores, lo que significa que la superficie superior tiende a ser más plana, es decir, hubo un menor efecto de deformación. Los valores de desviación estándar para el Filaflex fueron menores en comparación con los del PLA. Esto indica que el efecto de la deformación es menos variable independientemente del tipo de tejido.

Tras evaluar las deformaciones, los especímenes fueron después ensayados uniaxialmente para evaluar la adherencia entre el polímero y el tejido. Las curvas fuerza de adherencia frente al tiempo se muestran en las Figuras 3-4. Cada ensayo de paró cuando la separación entre el tejido y el textil se había completado o cuando la tela se rasgaba debido a las altas propiedades de adhesión. Las curvas que presentan esta rasgadura se caracterizan por una caída brusca del valor de la fuerza en determinados momen-

| Tela                 | PLA         |            | Filaflex    |            | Promedio (STD) |
|----------------------|-------------|------------|-------------|------------|----------------|
|                      | 0,1 mm      | 0,2 mm     | 0,1 mm      | 0,2 mm     |                |
| Viscosa              | 0,6         | 1,21       | 0,25        | 0,24       | 0,57 (0,45)    |
| Pana                 | 0,7         | 0,27       | 0,48        | 0,48       | 0,48 (0,17)    |
| Licra (pequeño)      | 0,29        | 0,35       | 0,84        | 0,23       | 0,42 (0,28)    |
| Licra (grandes)      | 0,46        | 0,64       | 0,84        | 0,23       | 0,54 (0,26)    |
| Algodón con elastano | 0,72        | 1,07       | 0,52        | 0,31       | 0,65 (0,32)    |
| Neopreno             | 1,63        | 1,22       | 0,46        | 0,32       | 0,90 (0,62)    |
| Promedio (STD)       | 0,73 (0,46) | 0,8 (0,43) | 0,56 (0,23) | 0,3 (0,09) |                |

Tabla 3: Desplazamientos relativos en mm obtenidos de la MMC

tos, pero sin llegar a un valor cero lo significa que el tejido se sigue soportando la carga. Esta caída fue repentina, en algunos casos (Neopreno Filaflex 0,2 mm) y presentaba una pendiente mucho menos notable en otros (Pana PLA 0,2 mm). Los valores numé-

ricos que muestran la carga máxima para cada configuración se muestran en la Tabla 4. Los resultados indican que los filamentos blandos muestran mayor resistencia de adherencia mientras que el neopreno es el material que más fuerte se adhiere al polímero. La desviación estándar muestra que tanto PLA como el Filaflex presentan valores que están alrededor del 50% de la media correspondiente. Analizando los valores estándar logrados para las diferentes telas, la licra con agujeros grandes tiene el menor valor relativo, lo que indica que los cuatro valores obtenidos estuvieron mas cerca entre sí que los obtenidos con los otros tejidos.

| Tela                 | PLA     |         | Filaflex |         | Promedio (STD) |
|----------------------|---------|---------|----------|---------|----------------|
|                      | 0,1 mm  | 0,2 mm  | 0,1 mm   | 0,2 mm  |                |
| Viscosa              | 9       | 22,5    | 57       | 40      | 32 (21)        |
| Pana                 | 90      | 55      | 120      | 60      | 81 (30)        |
| Licra (pequeño)      | 45      | 45      | 95       | 75      | 65 (24)        |
| Licra (grandes)      | 80      | 75      | 110      | 120     | 96 (22)        |
| Algodón con elastano | 50      | 22,5    | 20       | 70      | 40 (24)        |
| Neopreno             | 114     | 40      | 160      | 200     | 128 (69)       |
| Promedio (STD)       | 64 (37) | 43 (20) | 93 (49)  | 94 (58) |                |

Tabla IV: Fuerzas de adherencia máxima en N obtenidas con la máquina de ensayos de tracción

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Varios temas merecen ser tratados en este apartado, comenzando con el propio proceso de impresión sobre las telas, ya que se deben tener en cuenta nuevos elementos en comparación con los procesos de impresión más ortodoxos. El operario debe prestar especial atención a cómo sujetar los tejidos a la bandeja de impresión:

el más pequeño movimiento relativo entre el tejido y la bandeja conducirá a piezas con fallos. En nuestro caso, nos enfrentamos a esa cuestión especialmente con el neopreno porque tenía una superficie muy lisa. Un segundo tema para considerar es la distancia relativa entre la boquilla de extrusión y el tejido en la primera capa de impresión. Como otros autores han descubierto [17], esta distancia está directamente relacionada con las fuerzas de adherencia. Para todos los modelos, hemos considerado una distancia z entre la bandeja y la boquilla que era igual a cero. Por lo tanto, durante el proceso de impresión de las primeras capas, la tela estuvo comprimida, y esta compresión estuvo relacionada con el espesor de tejido. Con los tejidos seleccionados, no tuvimos ningún problema al imprimir, pero pensamos que otra tela podría dañarse o romperse si es más elástica o si tiene un espesor demasiado elevado que provoque unas fuerzas de compresión elevadas. Con respecto a los parámetros de impresión, fijamos los parámetros estudiados por otros autores (velocidad, distancia vertical z, temperaturas) y nos centramos en otros parámetros que podrían ser importantes, como la altura de capa. Además, hemos trabajado con dos materiales muy diferentes en cuanto a dureza (Filaflex y PLA), con el fin de facilitar el análisis de cualquier diferencia objetiva entre ellos, especialmente en el efecto de deformación.

Considerando los dos filamentos utilizados en este proyecto, podemos afirmar que definitivamente el flexible presenta las mejores propiedades cuando se combina con una tela de porosidad alta. En términos de deformación, los especímenes impresos en material flexible tienden a recuperar su geometría plana después de la impresión, por la propia naturaleza del material flexible. Por el contrario, los de PLA no presentan este comportamiento. Al ser un material más rígido, una vez que sale de la boquilla y el material se enfría, éste vuelve a un estado rígido. Este comportamiento supone un problema si se espera que la tela siga proporcionando libertad

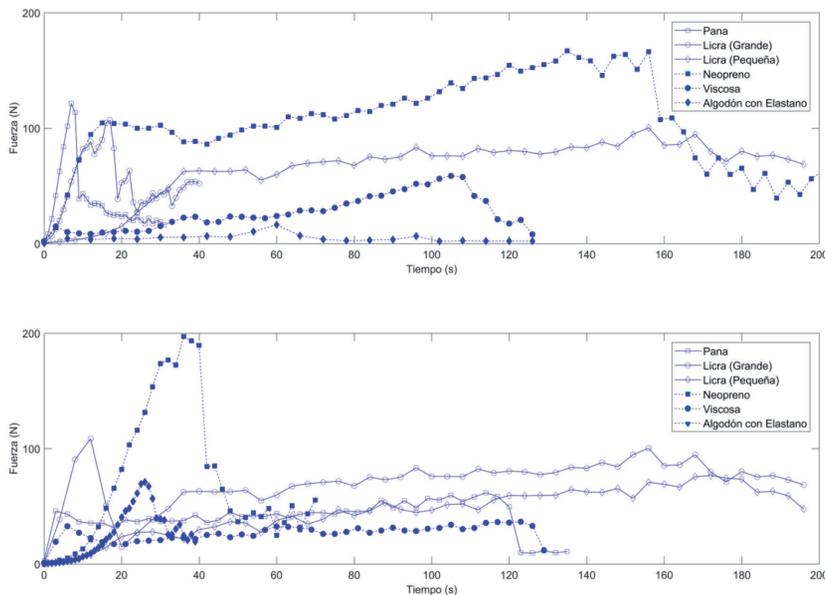


Fig. 4: Curvas fuerza frente a tiempo para los doce ejemplares de Filaflex impresos con una altura de capa de 0,1 mm (superior) y 0,2 mm (abajo)

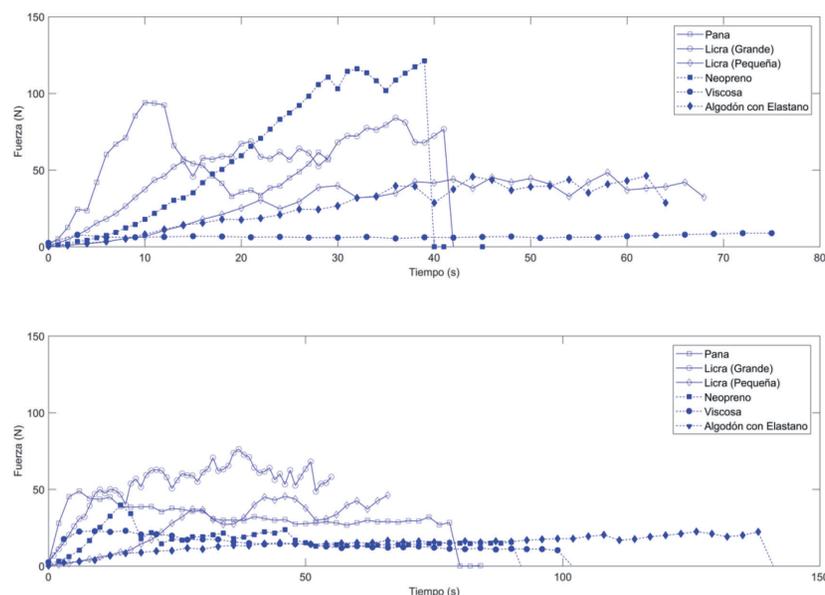


Fig. 5: Curvas fuerza frente a tiempo para los doce ejemplares de PLA impresos con una altura de capa de 0,1 mm (superior) y 0,2 mm (abajo)

de movimiento. Aunque no se probaron otros materiales rígidos disponibles comercialmente, esta conclusión puede ser extendida a materiales como ABS o nylon.

El último punto de discusión está relacionado con el costo de la aplicación de esta estrategia de fabricación. La principal ventaja de FA es que su naturaleza de fabricación capa a capa ofrece a los ingenieros de diseño y fabricación un método de fabricación con el que crear prácticamente cualquier tipo de geometría compleja. Sin embargo, un cierto conocimiento de modelado CAD es necesario para crear geometrías complejas sin penalizaciones de tiempo o coste: cuanto más compleja sea la geometría a modelar, mayor es el esfuerzo de modelado y, en consecuencia, el costo de esta estrategia. Para la aplicación en particular que se presenta en este artículo, también deben ser considerados no solamente el tiempo de mano de obra para el modelado, sino también el tiempo del operario en la pre-impresión y en el momento de la impresión. A pesar de que las impresoras 3D comerciales se pueden encontrar desde precios muy asequibles (500€), antes de la impresión, el operario debe dedicar tiempo a fijar el textil a la cama y a ajustar la configuración de impresión correcta. Una vez que la impresora empiece a funcionar, el operario debe supervisar el proceso de impresión, ya que la geometría no va a ser impresa sobre una cama de vidrio ordinaria, sino en una tela, y la deposición de las primeras capas a veces puede fallar. Además, también debe considerarse el costo de los materiales de impresión. Con filamentos de PLA o Filaflex ordinarios, el costo de esta estrategia es muy baja: un carrete de material de 1kg cuesta 30€. Sin embargo, si se prevé utilizar un material conductor -como BlackMagic3D- el coste será mayor ya que 100 gramos cuestan alrededor de 200€. Resumiendo todo, en nuestro caso, como la estrategia es muy manual y hemos utilizado termoplásticos convencionales el coste principal estuvo relacionado con las horas de operario en todas las etapas del proceso.

Este trabajo ha constatado que la deposición de polímeros sobre telas puede ser una estrategia de fabricación viable que debe considerarse a la hora de pensar en el diseño de dispositivos wearables. Este trabajo ha demostrado que, con respecto al tipo de termoplástico, un filamento blando aumenta las fuerzas de adherencia cuando se compara con la fuerza de adhesión obtenida con el filamento rígido, sin importar el tipo de tejido sobre el que fueron impresos. En términos de deformación, el filamento blando también se comporta mejor. Considerando el filamento más blando, el efecto de la altura de la capa no es crítico ni para las propiedades de adherencia entre la pieza impresa y la tela ni para la deformación de la pieza impresa. Para finalizar, los resultados obtenidos en este trabajo confirman que los termoplásticos comunes pueden depositarse en los tejidos con propiedades de adherencia y deformación razonables. Esto indica que un material más exótico (es decir, con un filamento conductor con una matriz de PLA o TPU) también puede ser un buen candidato para estrategia. Mediante la impresión directa sobre telas, los investigadores pueden obtener wearables donde los caminos conductores necesarios para conectar los distintos circuitos electrónicos se pueden imprimir directamente sobre el tejido. Además, si se opta por utilizar únicamente plásticos convencionales, la aplicación de esta estrategia puede ofrecer wearables con el sustrato rígido necesario para posicionar la electrónica sin restringir el libre movimiento de la tela

in fashion". 2015 [cited 2018; Available from: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/dutch-designer-who-pioneering-use-3d-printing-fashion-180957184/>].

- [3] Tess. "Amy Purdy opened the Rio 2016 Paralympics in a stunning 3D printed dress". 2016 [cited 2017; Available from: <http://www.3ders.org/articles/20160908-amy-purdy-opened-the-rio-2016-paralympics-in-a-stunning-3d-printed-dress.html>].
- [4] Peleg D. "Forget Shopping. Son you'll download your new clothes". 2015 [cited 2017; Available from: [https://www.ted.com/talks/danit\\_peleg\\_forget\\_shopping\\_soon\\_you\\_ll\\_download\\_your\\_new\\_clothes](https://www.ted.com/talks/danit_peleg_forget_shopping_soon_you_ll_download_your_new_clothes)].
- [5] Yap Y L and Yeong W Y, "Additive manufacture of fashion and jewellery products: a mini review". *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 9(3): p. 195-201.
- [6] Vanderploeg A, Lee S-E, and Mamp M, "The application of 3D printing technology in the fashion industry". *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, Vol. 10(2): p. 170-179.
- [7] Sazonov E and Neuman M R, "Wearable Sensor: Fundamentals, Implementation and Applications". 2014: Academic Press. 656. ISBN: 978-0124186620.
- [8] Majewski C, Perkins A, Faltz D et al. "Design of a 3D printed insole with embedded plantar pressure sensor arrays". in *Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*. 2017. Hawaii (USA).
- [9] Ota H, Chao M, Gao Y et al., "3D Printed "Earable" Smart Devices for Real-Time Detection of Core Body Temperature". *ACS Sensors*, Vol. 2(7): p. 990-997.
- [10] Ota H, Emaminejad S, Gao Y et al., "Application of 3D Printing for Smart Objects with Embedded Electronic Sensors and Systems". *Advanced Materials Technologies*, Vol. 1.
- [11] He H, Chen X, Ukkonen L et al., "Textile-integrated three-dimensional printed and embroidered structures for wearable wireless platforms". *Textile Research Journal*, Vol.
- [12] Kwok S W, Goh K H H, Tan Z D et al., "Electrically conductive filament for 3D-printed circuits and sensors". *Applied Materials Today*, Vol. 9: p. 167-175.
- [13] Flowers P F, Reyes C, Ye S et al., "3D printing electronic components and circuits with conductive thermo-plastic filament". *Additive Manufacturing* Vol. 18: p. 156-163.
- [14] Sanatgar R H, Campagne C, and Nierstrasz V, "Investigation of the adhesion properties of direct 3D printing of polymers and nanocomposites on textiles: Effect of FDM printing process parameters". *Applied Surface Science*, Vol. 403: p. 551-563.
- [15] Pei E, Shen J, and Watling J, "Direct 3D printing of polymers onto textiles: experimental studies and applications". *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 21(5): p. 556-571.
- [16] Korger M, Bergschneider J, Lutz M et al. "Possible Applications of 3D Printing Technology on Textile Substrates". in 48th Conference of the International Federation of Knitting Technologists (IFKT). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 141. 2016. Moenchengladbach, Germany.
- [17] Döpke C, Grimmelsmann N, and Ehrmann A. "3D printing on knitted fabrics". in 48th Conference of the International Federation of Knitting Technologists (IFKT). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 141. Moenchengladbach, Germany.
- [18] Deutsches Institut für Normung, "Testing of organic materials; separation test on fabric plies bonded together", 1981. p. 4.

## MATERIAL SUPLEMENTARIO

[https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/\\_adic/8893-1.pdf](https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/8893-1.pdf)



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Society for Testing and Materials International, "ASTM F2792 - 12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies", 2012.
- [2] Smithsonian. "The dutch designer who is pioneering the use of 3d printing