



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa

iVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



Fabricación avanzada de productos manufactureros
tradicionales mediante tecnologías de additive
manufacturing

E1.1. Informe del estado del arte sobre tecnología FDM, materiales y diseño para AM.

Fecha entregable: 31/Octubre/2015

TABLA DE CONTENIDOS

1. Información del proyecto	3
2. Detalles del entregable	4
3. Introducción	5
4. Estado del arte	6
4.1. Tecnología FDM.	6
4.2. Nuevos avances en materiales para FDM.	12
4.3. Diseño para Additive manufacturing	14
5. Conclusiones	14
6. Referencias	15

1. Información del proyecto.

Título del proyecto: Fabricación avanzada de productos manufactureros tradicionales mediante tecnologías de Additive Manufacturing

Acrónimo: AMFAB

Programa de trabajo: IVACE. Ayudas dirigidas a centros tecnológicos de la Comunidad Valenciana para 2015 (2015/664).


Fecha de comienzo: 1 de Enero de 2015

Duración: 24 meses

Lista de participantes:

Participante No.	Nombre organización participante.	Nombre abreviado	Lugar
1 (Coord.)	Asociación de Investigación de la Industria del Juguete, Conexas y Afines	AIJU	Ibi
2	Instituto Español del Calzado y Conexas	INESCOP	Elda
3	Instituto Tecnológico textil	AITEX	Alcoy

2. Detalles del entregable.

Entregable número:	E1.1.
Título del entregable:	Informe del estado del arte sobre tecnología FDM, materiales y diseño para Additive Manufacturing (AM)
Periodo:	1/2015 – 4/2015
Paquete trabajo:	PT1. Estado del arte y requerimientos
Tarea:	Tarea 1.1. Estado del arte
Autor:	<p>Asociación de investigación de la Industria del Juguete, Conexas y Afines</p> 
Abstract:	A continuación se describe el estado actual de la fabricación aditiva y de la tecnología FDM o impresión 3D. Además, se realizará un estudio sobre los nuevos materiales para su empleo en FDM, así como nuevas formas de diseño para AM.

3. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de fabricación aditiva (AM, Additive Manufacturing) son tecnologías a partir de las cuales se fabrican modelos en 3D usando el proceso de fabricación capa a capa (LA, layered manufacturing) en el cual se produce el apilamiento y la unión de capas delgadas de material en una dirección. Si comparamos la técnica de AM con técnicas tradicionales, como es el control numérico (NC), las ventajas que ofrece la técnica de AM es la rapidez con la que se pueden fabricar modelos con niveles elevados de complejidad geométrica sin tener por ello restricciones o impedimentos bajos unas condiciones de trabajo óptimas. Por ello, la tecnología de AM se está utilizando ampliamente en diferentes campos que abarcan desde su uso industrial hasta productos para aplicaciones médicas. Las tecnologías representativas de AM son la estereolitografía (SLA, stereolithography), sinterizado selectivo por láser (LS, laser sintering), modelado por deposición de material fundido (FDM, fused deposition modeling) y fabricación de objetos laminados (LOM, laminated object manufacturing).

De las técnicas descritas, la tecnología FDM consiste en la extrusión de filamentos de materiales termoplásticos a través de una boquilla que deposita capa a capa el modelo a construir. En la figura 1 se muestra, el proceso de tecnología FDM.

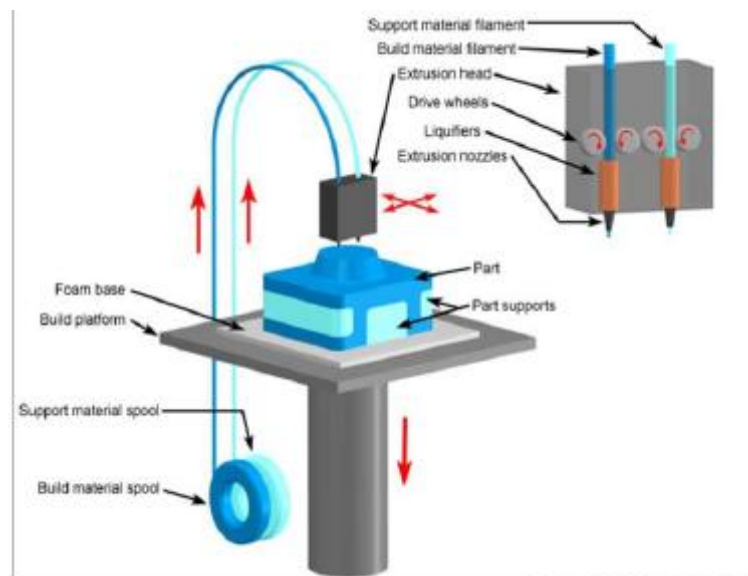


Figura 1. Esquema de fabricación mediante FDM

A modo de ejemplo, en la figura 2 se muestran diferentes formas que se pueden fabricar mediante FDM (o impresión 3D como se le conoce de forma amplia a nivel no industrial).



Figura 2. Imágenes de modelos para impresión 3D.

El presente proyecto se centra en el empleo de la tecnología de FDM para mejorar la competitividad de las empresas del sector juguetero, textil y calzado, las cuales están demandando de forma creciente el desarrollo de productos totalmente personalizados, de series cortas o piezas con funcionalidades y/o propiedades innovadoras como aspecto similar a la madera, absorción de impactos, antimicrobianas e incluso la incorporación de materiales biodegradables y/o medioambientalmente sostenibles. Esta tecnología se está extendiendo muy ampliamente entre las empresas (e incluso hasta usuarios a nivel particular), con lo que existe una demanda de nuevos materiales y filamentos.

A modo de ejemplo en la figura 3 se muestran diferentes modelos de impresión 3D para los sectores descritos.

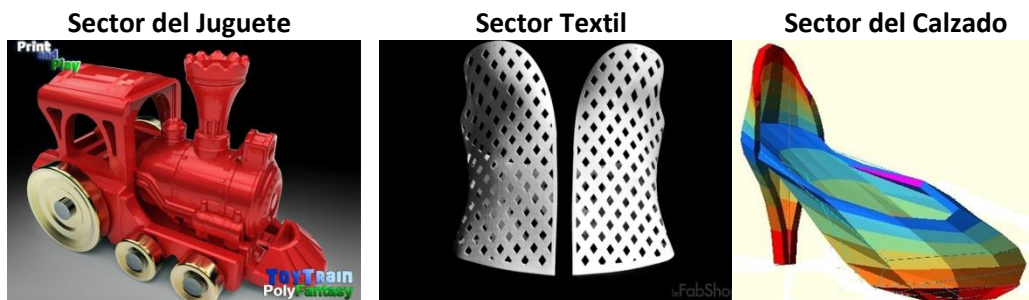


Figura 3. Modelos para impresión FDM para los sectores del juguete, textil y calzado.

A continuación se muestra en estado de la tecnología FDM desde el punto de vista de la tecnología FDM, los materiales y diseño.

4. Estado del arte

4.1 Tecnología FDM.

La tecnología de fabricación aditiva tiene su origen en 1988 cuando el fundador de Stratasys, Scott Trump, inventa la tecnología FDM a partir de la mezcla de cera con plásticos convencionales en su cocina y en 1994, Stratasys presenta el primer termoplástico para la impresión 3D. Desde entonces, la tecnología FDM ha supuesto

una revoluci3n en el sector de transformaci3n de pl1sticos, permitiendo crear modelos de concepto, prototipos funcionales y piezas finales en materiales termopl1sticos est1ndar, de nivel de ingenier1a y de alto rendimiento.

La figura 4 muestra el proceso completo para la fabricaci3n de un objeto mediante tecnolog1a FDM [2], desde el archivo CAD generado hasta la pieza final creada.

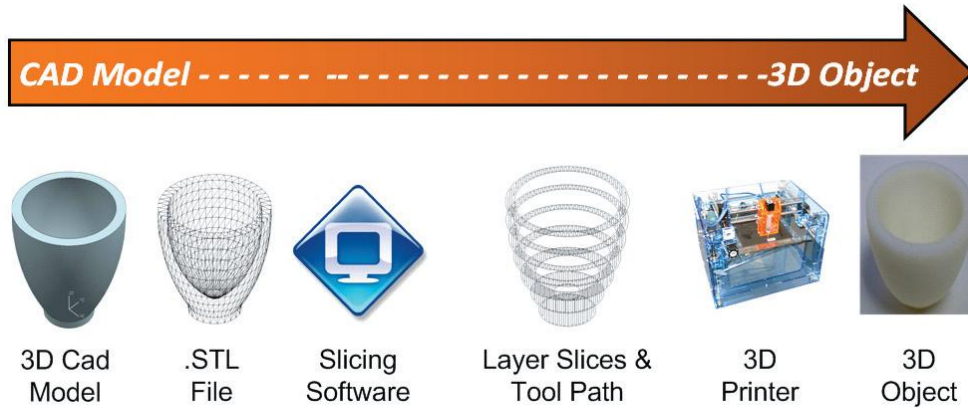
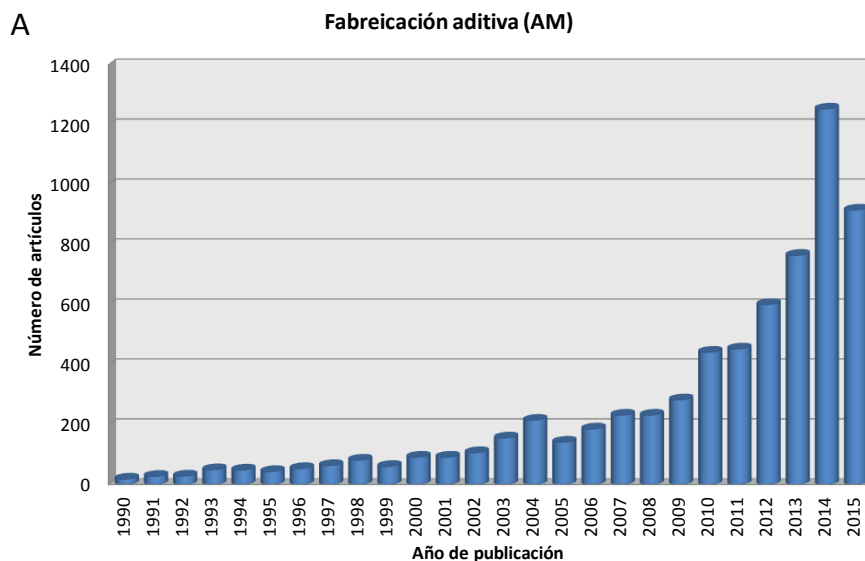


Figura 4. Proceso completo de producci3n de una pieza.

Desde un punto de vista cient1fico tecnol3gico [3], las investigaciones llevadas a cabo han aumentado considerablemente en los 1ltimos a1os. As1, la figura 5 muestra la evoluci3n desde 1990 hasta la actualidad sobre el n1mero de publicaciones referidas a "Additive Manufacturing" y espec1ficamente sobre la tecnolog1a de FDM ("fused deposition modeling"). En concreto, en los 1ltimos 20 a1os se han publicado 6621 art1culos referidos a AM y en concreto sobre la tecnolog1a FDM se han publicado 1055 art1culos (16%). En ambos casos, se observa que se ha producido un mayor aumento de estudios cient1ficos durante los 1ltimos 5 a1os.



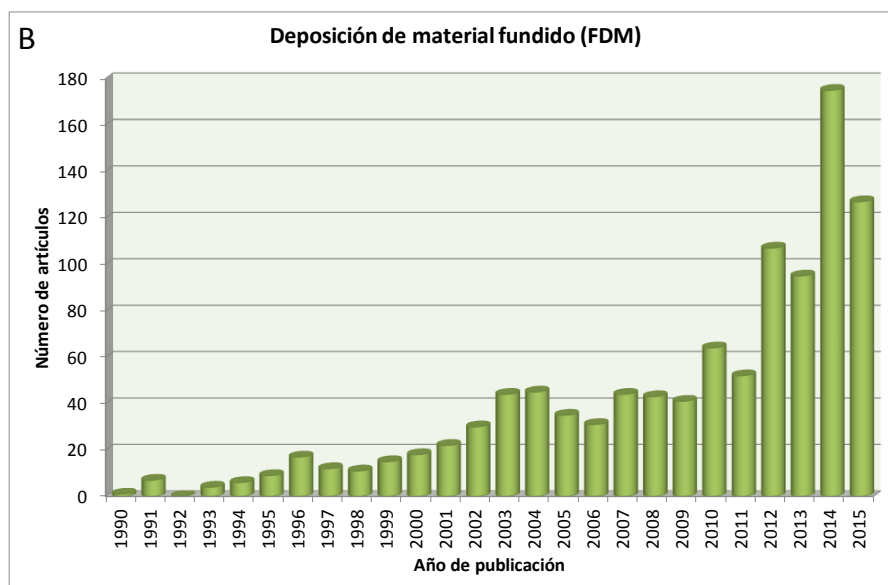


Figura 5. Número de publicaciones sobre (a) Fabricación aditiva (AM) y (b) deposición de material fundido (FDM) desde 1990 a la actualidad [3].

En el caso de la solicitud de patentes, en un estudio realizado por I. Lee e Y. KIM [4], destacar que en el periodo 1993-2010 se han publicado más de 5.000 patentes referidas a la tecnología de AM. En la tabla 1 se muestra la evolución del número de patentes en este periodo y teniendo en cuenta la región de publicación.

Tabla 1. Tendencia en la solicitud de patentes.

Año	USA	PCT	EP	JP	CN	KR	Total
1993	14	2	12	10	2	1	41
2000	45	44	77	41	8	23	238
2001	106	38	43	22	11	15	235
2002	108	43	45	40	7	11	254
2003	115	57	84	60	38	18	372
2004	155	50	58	38	41	18	360
2005	147	80	66	51	45	31	420
2006	119	76	83	65	52	28	423
2007	183	87	70	34	68	61	503
2008	139	85	91	42	69	81	507
2009	151	89	64	34	83	77	498
2010	165	80	75	28	82	66	496
2011	138	115	36	27	40	39	395
2012	95	90	12	6	37	6	246
Total	1864	1032	987	619	601	507	5610
Fracción	33%	18%	18%	11%	11%	9%	100%

Se puede observar como la mayoría de las patentes publicadas están en Estados Unidos (33%), seguido de Europa y patentes internacionales (18%), Japón y China (11%) y Corea (9%). En el caso del enfoque de la patente, las patentes publicadas

recientemente se encuentran referidas a nuevos materiales (composición) y a la mejora de los equipos. En el caso de la técnica de FDM [3], se han solicitado un total de 92 patentes siendo los principales inventores Stratasy, 3D Systems, Materialise, General Electric, Michelin, Renishaw, 3M y diferentes universidades. En el anexo 1, se agrupa una relación de patentes.

Inicialmente, la fabricación aditiva se encontraba limitada al empleo industrial, mientras que actualmente, el empleo de la tecnología ha llegado hasta el consumidor. El principal motivo [5] es la expiración de las patentes y, por tanto, la apertura del mercado a nuevas empresas y la fabricación de equipos más versátiles y económicos. Así, West y Kuk [5] ha publicado en estudio un resumen de la “Wholers Associates” (2014) donde se muestra la disminución del precio de una unidad de impresión de FDM (de \$73.800 en 1987 a \$1.200 en 2008), que ha promovido el auge en las ventas de esta tecnología y por tanto, el incremento del uso de la tecnología.

Dentro de las áreas de trabajo donde se emplea la fabricación aditiva [3], las áreas de mayor publicación de artículos de carácter científico son la Ingeniería (44%), Ciencia de Materiales (19%) más dedicadas a la fabricación de nuevos componentes. Además destacar la presencia de materiales en medicina. Ajenos al campo de la fabricación, existen estudios científicos basados en ciencias de la computación debido a que se trata de un campo de elevada importancia para la creación del objeto. Finalmente, destacar la presencia de estudios relacionados con “negocios, administración y contabilidad” para el estudio económico y la viabilidad de la tecnología de FDM.

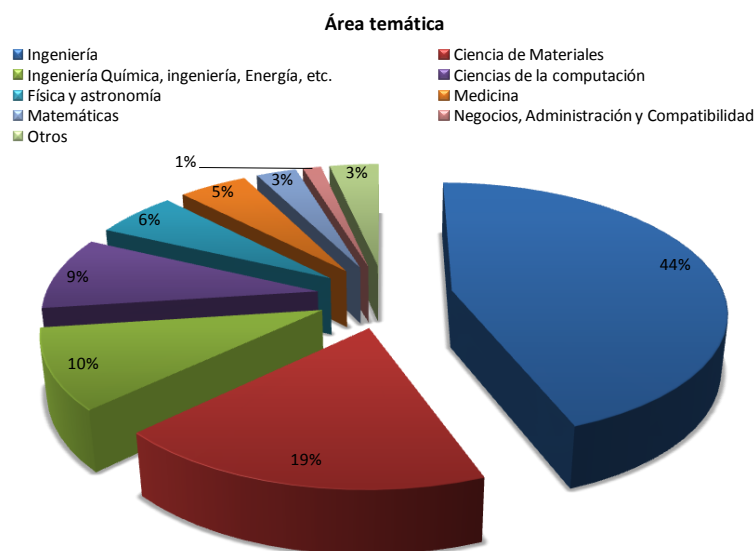


Figura 6. Áreas temáticas de la tecnología FDM.

Según la agenda investigación estratégica sobre Fabricación aditiva en 2014 publicado por la AM Platform [6], la industria de la AM presentó unas ventas de \$1.7 billones en 2011 y se estima un crecimiento continuado, estimando un volumen de ventas en

2015 de \$3.7 billones. Los sectores a los que va destinada la tecnología son los siguientes:

- Productos de consumo/electrónicos
- Vehículos
- Medicina/Dental
- Aeroespacial
- Industrial
- Instituciones Académicas
- Otros: gobierno/militar, arquitectura, etc.

Con el objetivo de puntualizar la importancia que tiene la fabricación aditiva actualmente, destacar la ponencia realizada por Clara Torre, directora responsable de la Investigación y Desarrollo de la Comisión Europea en la Conferencia Europea sobre Fabricación Aditiva [7], donde destacó la inversión en el Programa Marco 2007-2016 de 160 millones de euros destinada a financiar más de 60 proyectos basados en la tecnología de impresión 3D. Además, durante la primera anualidad del Programa Horizonte 2020, se seleccionaron 9 proyectos relacionados con la fabricación aditiva con una financiación de más de 17 millones de euros, destacando que se considera a esta tecnología como una tecnología clave que puede dar solución a los retos sociales.

Cuando se menciona la impresión 3D, no solo se debe considerar como una nueva tecnología, si no, como un nuevo medio para la fabricación de piezas. A continuación, se muestran ejemplos de cómo se encuentra la tecnología en diversos sectores:

- Educación [8]: la incorporación de la impresión 3D en el aula permitirá al alumnado conocer las nuevas tecnologías, así como, impulsar su creatividad a partir del diseño de una pieza propia y su posterior impresión, obteniendo la pieza real creada. Así, en SIMO Educación 2015 (Enseñar, aprender en un mundo digital), ha premiado a la empresa “Empres3D” como “Mejor sistema de impresión para el aula” a su impresora UP MINI por su versatilidad y la incorporación de un software fácil de utilizar y velocidades de impresión altas.
- Deporte [9,10]: la inmersión de la impresión 3D en el mundo del deporte ha llevado a la fabricación de calzado deportivo por parte de grandes marcas como Adidas o Nike.

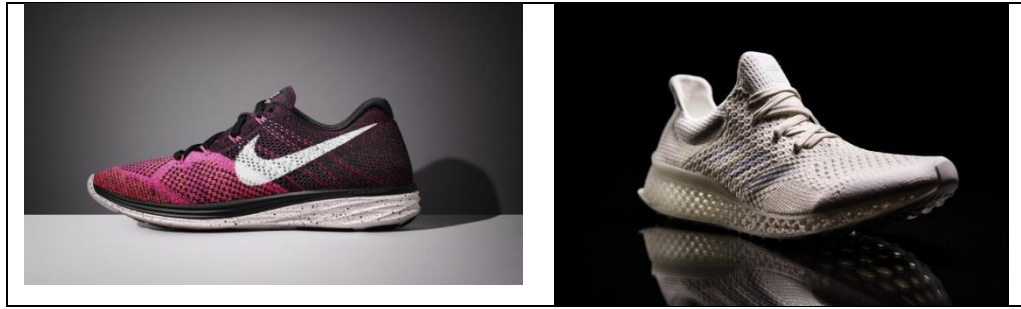


Figura 7. Imagen del calzado deportivo creado por Nike y Adidas.

- Modelo de negocio [11]. La impresión 3D también ha irrumpido en los modelos de negocio de grandes empresas. Así, la compañía McDonalds invierte alrededor de \$70 millones en los juguetes incluidos en el Menu “Happy Meal”, distribuyendo anualmente un volumen de juguetes mayor que la cadena Toy-R-Us. Así, su director de IT en Inglaterra, ha declarado que la empresa está considerando invertir para la introducción de impresoras 3D en sus restaurantes para la impresión del juguete incluido en el menú si se desea por parte del cliente, en este caso, familias con niños. El proyecto europeo iBus [12] donde participa AIJU tiene como objetivo desarrollar y demostrar un modelo de negocio innovador basado en internet para tener un suministro sostenible de juguetes personalizados que se encuentre impulsado por la demanda basada, entre otras en tecnologías de fabricación aditiva, cumpliendo la normativa de seguridad aplicable dentro de la Unión Europea.
- Juguetes [13,14,15]. La empresa Imaginarium a través de su página web ofrece la posibilidad de fabricar un coche de juguete de forma personalizada a partir de unos modelos tipo con materiales convencionales, que posteriormente, Imaginarium lo imprime y te envía. Por otro lado, Autodesk ha creado “TINKERPLAY”, una aplicación específica para niños que permite la creación de muñecos a partir plantillas prediseñadas o crear su propio muñeco de forma virtual que posteriormente pueden fabricar con una impresora 3D. Finalmente, la empresa “los hacedores” fabrica piezas por impresión 3D y dispone de talleres para la fabricación de juguetes, minecraft y monstruos dedicados exclusivamente a niños para que puedan diseñar y crear sus propias piezas.
- Medicina [16,17]. Stratasy ha creado una nueva impresora 3D específica para el sector dental que permitirá a los laboratorios odontológicos producir modelos ortodóncicos y guías quirúrgicas con una mayor productividad y más acordes a las necesidades del cliente final. Otro campo de interés de la aplicación de la impresión 3D es la creación de “andamios” biocompatibles para la regeneración de huesos.
- Moda [18,19]: A partir de un filamento flexible denominado Filaflex de la empresa española Recreus, Danit Peleg una diseñadora de moda ha creado

una colección de ropa mediante impresión 3D. Adicionalmente, Recreus ha sido la primera compañía en crear zapatillas por impresión 3D desde casa.

- Cocina [20]. Una de las mayores innovaciones actuales es la introducción de la impresión 3D en el ámbito culinario. Así, 3D systems ha abierto un Laboratorio Culinario en L.A. (EEUU) para la impresión principalmente de dulces basados en caramelo.
- Joyería [21]. Wonderluki, firma Londinense de accesorios junto con un diseñador, ha creado una colección de joyas a partir de impresión 3D que pueden personalizar de modo que cada persona tenga su propia joya única.
- Aeroespacial [22]. Arcam, empresa sueca del sector biomédico, se va a centrar en la fabricación por impresión 3D para producir piezas para el sector aeroespacial. Así, se podrá reducir el peso de los componentes como las paletas de las turbinas.
- Automóvil [23]. La compañía Local Motors ha sido pionera en la fabricación de un coche por impresión 3D. Para la construcción de la carcasa del coche en ABS con refuerzo de carbono se requieren 44 horas.

Una vez mostrados los últimos avances en el empleo de la tecnología FDM, a continuación se mostrarán los últimos avances en la fabricación de hilos.

4.2 Nuevos avances en materiales para FDM.

La tecnología FDM es un campo que se actualiza constantemente y aparecen nuevos materiales. A continuación se muestra una serie de novedades en materiales para FDM desde un punto de vista comercial.

- Impresión 3D con vidrio fundido [24]. El Centro de Investigación (MIT) en EEUU ha fabricado mediante impresión 3D con FDM materiales de vidrio a partir de vidrio fundido.
- Filamento de corcho para FDM [25]. La empresa holandesa ColorFabb ha lanzado un nuevo filamento basado en PLA/PHA con fibras de corcho que le da un aspecto diferente. Este material permitirá a diseñadores que habitualmente usan corcho en sus diseños (lámparas, libretas, maceteros, decoración, etc.) introducir una nueva tecnología para el diseño de piezas.
- Filamento de PLA con fibra de vidrio [26]. La empresa americana 3DOM ha creado un nuevo filamento de PLA con fibra de vidrio que mejora sus propiedades mecánicas a la vez que le confiere una mayor flexibilidad.
- Filamento con cargas provenientes de residuos [27, 28]. La misma empresa mencionada anteriormente ha empleado residuos de la fabricación de la cerveza y del café para la fabricación de hilos para FDM. En el primer caso, los

residuos le otorgan un aspecto dorado, mientras que los residuos del grano de café le proporcionan un aspecto un marrón especial además de un tacto rugoso.

- Filamento conductor [29]. La marca americana GrapheneLab ha creado un nuevo filamento de FDM conductor basado en el polímero de PLA y grafeno.
- Filamento de residuo de patata [30]. A partir de la piel de las patatas, se han sintetizado polímeros para la fabricación de filamentos para FDM con la ventaja de que le otorga un color característico a las piezas finales.
- Filamento a partir de salpicadero de coches [31]. Refil, compañía holandesa, ha empleado salpicaderos de coches como material reciclado para la producción de hilos de FDM. Reduciendo los residuos generados por un automóvil al final de su vida útil.
- Impresión de hilos [32]. Investigadores de la Universidad de Pitsburg ha programado un novedoso método de fabricación de hilos a partir de PLA con impresoras 3D. Este sistema permite obtener hilos que pueden ser empleados para como cabello artificial o para cepillos (escobas, limpieza dental, etc.) en función de las condiciones de procesado.
- Filamentos flexibles. La empresa Recreus [18,19] es una marca española que produce filamentos más flexibles basados en poliuretano con una elongación a la rotura del 700% (velocidad 200mm/min). En la misma línea, la multinacional americana Fenner Drives [33] ha fabricado filamentos flexibles basados en materiales termoplásticos que se comercializan bajo la marca Ninjaflex.

Desde la perspectiva científica, se muestran los últimos avances en la tecnología FDM. Daver y col. [34] ha realizado un estudio para la preparación de filamentos conductores basados en una matriz de polietileno de baja densidad y caucho funcionalizado proveniente del reciclado de ruedas de vehículos empleando nanotubos de carbono como carga, preparando diferentes composiciones y estudiando su idoneidad para la fabricación de filamentos para FDM. Basset y col. [35] han realizado un estudio para tener en cuenta las consideraciones necesarias para la fabricación de turbinas eólicas de pequeño tamaño empleando la tecnología FDM, teniendo en cuenta las propiedades requeridas por el material, refuerzos, la integración de piezas no impresas por FDM así como el diseño de componentes y la optimización de la impresión de las piezas de la turbina eólica.

Dentro del sector aeroespacial Shemelya y col [36] han preparados filamentos para FDM basados en un composite de policarbonato con wolframio, diseñado especialmente para aplicaciones de blindaje contra la radiación X como la que puede soportar un satélite. Dentro del área médica, además el empleo de la impresión 3D para la fabricación de andamios para reparación ósea [17, 37], la tecnología FDM se ha empleado para el estudio de Imágenes de Resonancia Magnética y Tomografía [38], mediante la transformación de las imágenes 2D obtenidas del cerebro y/o cráneo del paciente, se han modelizado e impreso en 3D mediante FDM, permitiendo al personal médico valorar mejor al paciente y una posible intervención. Además, se ha realizado

un análisis de costes, destacando el bajo coste de la impresión con respecto a las ventajas que supone desde el punto de vista médico.

Por tanto, como se puede observar la innovación tecnología sobre materiales para FDM está continuamente actualizándose para los diferentes campos de aplicación. A continuación, se muestra una revisión de otro apartado de elevada importancia dentro de la técnica de la fabricación aditiva como es el diseño.

4.3 Diseño para additive manufacturing.

En primer lugar, para demostrar la importancia de los diseños y como ha ido aumentando y evolucionando el número de diseños, el portal de impresión 3D Thingiverse creado por Maker Bot ha registrado 200 millones de descargas desde su creación en 2008, destacando que se ha llegado a un crecimiento exponencial variando de 40 descargas semanales en sus inicios, a 1.7 millones de descargas que registran mensualmente actualmente [39].

A pesar de las enormes ventajas que proporciona la impresión de piezas por FDM, un aspecto que se necesita mejorar es el acabado superficial que actualmente se suaviza modificando los parámetros del proceso como son el espesor de capa y el ángulo de depósito del material, siendo el aspecto de mayor relevancia para la comunidad científica. A modo de ejemplo, para solventar este inconveniente, Boschetto y Bottini [40] han diseñado una metodología de procesamiento virtual que se aplica a la superficie del diseño, que mejora el aspecto físico de la pieza final a crear. En una línea similar Rahmati y Vahabli [41] ha realizado estudios analíticos para mejorar la rugosidad superficial y su valoración con respecto a la pieza fabricada. Finalmente, otro aspecto importante dentro de las superficies es el texturizado de la superficie de la pieza creada, donde A. Armillotta [42] ha presentado un estudio sobre el análisis de la apariencia superficial de piezas.

5. CONCLUSIONES

El presente informe muestra el estado actual de la impresión 3D desde el punto de vista de la tecnología de fabricación aditiva y del proceso por deposición de material fundido, así como, del estado actual en la fabricación de filamentos y de diseño, enfocado todo el estado del arte desde la perspectiva del mercado actual y desde el punto de vista tecnológico.

Desde el proyecto AMFAB, se busca el desarrollo de nuevos filamentos con propiedades innovadores y empleando materias primas reutilizables.

Así, en sector del juguete la principal innovación se centra en la fabricación de filamentos basados en materias primas convencionales (ABS, EVA, PP) y

biodegradables (PHA, PCL, Pla) dotándole de un aspecto madera usando fuentes reciclables y residuos autóctonos como son la cáscara de almendra o residuos de tomatera, no usados actualmente. Adicionalmente, se pretende introducir propiedades innovadoras, no disponibles hasta la fecha, como es efectividad antimicrobiana, permitiendo obtener demostradores con propiedades específicas.

En el sector del textil, se pretende innovar en la adición de sustratos termoplásticos sobre los que imprimir formulaciones de materiales rígidos y flexibles que contengan aditivos luminiscentes y conductores.

En el caso del sector del calzado, la innovación se centra en obtener formulaciones alternativas a las existentes en el mercado para la fabricación de piezas para el sector del calzado.

Finalmente, en el apartado de diseño, se busca la mejora de los texturizados de las piezas a partir de la obtención de programas de diseño de mejora de texturizados e intercambio de superficies 2D-3D.

6. REFERENCIAS

- [1] D. Ahn, J. H. Kweon, S. Kwon, J. Song, S. Lee, Journal of Materials Processing Technology 209 (2009) 5593-5600.
- [2] R.C. Patel, S. Patel, J. Patel, International Journal of Engineering development and research 2 (2014) 1620-1623.
- [3] <http://www.scopus.com/>
- [4] I. Lee, Y. Kim, Indian Journal of Science and Technology 8 (2015) 70-73.
- [5] J. West, G. Kuk, Technology Forecasting & Social Change (2015). In press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.025>
- [6] <http://www.rm-platform.com/index.php/am-information/strategic-research-agenda>
- [7] <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2015/07/06/005033/ue-ha-destinado-177-millones-eurosa-financiar-impresi-n-3d>
- [8] http://www.ifema.es/fitur_01/Prensa/NotasdePrensa/INS_064849
- [9] <http://disruptivemagazine.com/nike-further-discussions-for-3d-printing/>
- [10] <http://disruptivemagazine.com/adidas-futurecraft-3d-printing-with-materialise/>
- [11] <http://www.3dprinterworld.com/article/mcdonalds-considering-plans-3d-print-happy-meal-toys>
- [12] <http://www.h2020ibus.eu/>
- [13] <http://www.imaginarium.es/imaginieer.htm>
- [14] <http://impresoras3d.com/disena-juguetes-3d-con-autodesk-tinkerplay-de-forma-gratuita/>
- [15] <http://www.loshacedores.com/formacion/formacion-y-juego-para-ninos/>

- [16] <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/143940-Stratasys-lanza-al-mercado-la-impresora-3D-Objet30-Dental-Prime.html>
- [17] S.J.Kalita, S. Bose, H.L. Hosick, A. Bandyopadhyay, Materials Science and Engineering C 23 (2003) 611-620.
- [18] <http://recreus.com/blog/la-primera-coleccion-de-moda-impresa-en-3d-desde-casa/>
- [19] <http://recreus.com/blog/imprime-en-casa-tus-zapatillas-con-el-filamento-mas-flexible-del-mundo/>
- [20] <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2015/11/02/005428/3d-systems-abre-su-laboratorio-culinario-impresi-n-3d-comida>
- [21] <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2015/10/21/005363/joyas-impresas-3d-dise-adas-francis-bitonti>
- [22] <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2015/10/17/005351/arcam-se-centrar-impresi-n-3d-aeroespacial-su-mayor-rentabilidad>
- [23](a) <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2015/10/27/005397/local-motors-presenta-su-nuevo-coche-imprimible-3d>
- (b) <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2014/09/08/003090/seis-d-fabricar-coche-completo-impresi-n-3d>
- <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2015/08/22/005163/mit-consigue-imprimir-3d-vidrio-fundido-m-s-1000-grados>
- [24] <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2015/08/22/005163/mit-consigue-imprimir-3d-vidrio-fundido-m-s-1000-grados>
- [25] <http://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2015/10/13/lanzan-filamento-de-corcho-para-impresion-3d/>
- [26] <http://www.3domusa.com/glass-filled-pla/>
- [27] <http://www.3domusa.com/shop/buzzed-beer-filament/>
- [28] <http://www.3domusa.com/shop/wound-coffee-filled-filament/>
- [29] <http://www.graphene3dlab.com/s/home.asp>
- [30] <http://3dprinting.com/materials/polymers/sculptor-uses-potato-skin-create-filament/>
- [31] <http://3dprinting.com/filament/refil-makes-3d-printing-filament-from-recycled-car-dashboards/>
- [32] <http://3dprintingindustry.com/2015/11/03/carnegie-mellon-researcher-develops-finely-3d-printed-hair-from-pla/>
- [33] (a) http://www.fennerdrives.com/%20ninjaflex3dprinting/_/3d// y (b) <http://www.ninjaflex3d.com/>
- [34] F. Daver, E.Baez, R.A. Shanks, M. Brandt, Composites: Part A 80 (2016) 13-20.
- [35] K. Basset, R. Carriveau, D.S.K. Ting, Sustainable energy Technologies and Assesments 11 (2015) 186-193.
- [36] C.M. Shemelya, A. Rivera, A.T. Perez, C., Rocha, M.Liang, X. Yu, C Kief, D. Alexander, J. Stegeman, H. Xin, R.B. Wicker, E. MacDonald, D.A. Roberson, Journal of Electronic Materials 44 (2015) 2598-2607.
- [37] I. Zein, D.W. Hutmacher, K.C. Tan, S.H. Teo, Biomaterials 23 (2002) 1169-1185
- [38] J.S. Naftulin, E.Y. Kimchi, S.S. Cash, PLoS ONE 10 (2015) e0136198.

- [39] <http://www.imprimaria3d.com/noticias/2015/11/02/005427/200-millones-descargas-thingiverse-portal-impresi-n-3d>
- [40] A. Boschetto, L. Bottini, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 37 (2016) 103-114.
- [41] S. Rahmati, E. Vahabli, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 79 (2015) 823-829.
- [42] A. Armillotta Rapid Prototyping Journal 12 (2006) 35-41.