

Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, ventajas para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el proceso de diseño de productos

Additive Digital Manufacturing Technologies, advantages for the construction of models, prototypes and short series in the process of product design

Artículo recibido 01/04/2016 aprobado 17/05/2016
ICONOFACTO VOL. 12 N° 18 / PÁGINAS 118 - 143
DOI: <http://dx.doi.org/10.18566/iconofac.v12n18.a07>

Autor:

David Torreblanca Díaz

Diseñador de productos de la Universidad de Valparaíso (Chile), Magíster en Tecnologías del Diseño de la Universidad Nacional Andrés Bello (Chile).

Experto en modelos, prototipos y producción de series cortas para diseño de productos, áreas de investigación: biomimética, morfología experimental, Tecnologías de Fabricación Digital (TFD) y diseño paramétrico. Actualmente se desempeña como profesor asociado, coordinador del Área Técnica y de Representación e investigador del Grupo de Investigación de Estudios en Diseño (GED) en el programa de Diseño Industrial en la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

orcid iD: 0000-0002-2858-0524. Email: david.torreblanca@upb.edu.co

Resumen Las Tecnologías de Fabricación Digital (TFD) son un conjunto de tecnologías emergentes que permiten materializar un modelo, prototipo o series cortas directamente de un archivo digital CAD 3D y con una amplia gama de técnicas, materiales y acabados.

El objetivo de este artículo es dar a conocer las características, ventajas y oportunidades que nos entregan las TFD para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el contexto del Diseño y Desarrollo de Productos.

En este estudio se hace un análisis del estado del arte de las Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, las más avanzadas y recientes dentro de su categoría, las cuales han impulsado un gran progreso en las técnicas de prototipado, con posibilidades nunca antes vistas, con ventajas tales como: fabricar en forma directa e inmediata, generar formas con geometrías complejas e irrealizables con tecnologías tradicionales, alto grado de precisión, fabricar ensambles armados e integrar diferentes materiales en un solo proceso (multimaterialidad), entre otros.

Finalmente, se hace un análisis acerca de cómo estas tecnologías están cambiando radicalmente los paradigmas en el proceso de diseñar-prototipar-validar, en comparación con las técnicas tradicionales de prototipado y fabricación.

Palabras clave Diseño y Desarrollo de Productos (DDP), Tecnologías de Fabricación Digital (TFD), Tecnologías de Fabricación Sustractiva (TFS), Tecnologías de Fabricación Aditiva (TFA), softwares CAD/CAE/CAM.

Abstract Digital Manufacturing Technologies (DMT) are a set of emerging technologies that allow to realize a model, a prototype or a small series directly from a CAD 3D digital file and a wide range of techniques, materials and finishes.

The aim of this paper is to present the characteristics, advantages and opportunities of DMT for the construction of models, prototypes and small series in the context of design and product development.

The study analyzes the state of the art of Additive Digital Manufacturing Technologies, the most advanced and recent technologies in their category, which have driven a lot of progress in the prototyping techniques, with never-before-seen possibilities, with advantages such as direct and immediate manufacture, generating forms with complex geometries impossible to be made with traditional technologies, high degree of accuracy, manufacture of armed assemblies and integration of different materials in a single process (multimaterial), among others.

Finally, an analysis about how these technologies are radically changing the paradigms in the designing-prototyping-validating process is made, in comparison with traditional prototyping and manufacturing techniques.

Keywords Design and product development (DPD), Digital Manufacturing Technologies (DMT), Subtractive Manufacturing Technologies (SMT), Additive Manufacturing Technologies (AMT), CAD/CAE/CAM softwares.

Introducción

En el proceso de Diseño y Desarrollo de Productos (DDP), se realizan diferentes representaciones tridimensionales denominadas maquetas, modelos, prototipos y series cortas, las cuales permiten representar diversos aspectos de la idea de un producto, según la etapa y sus propósitos (exploración y conceptualización, diseño de alternativas, diseño detallado y producción); estas representaciones tridimensionales son un acercamiento o aproximación previa al producto final. «Definimos prototipo como una aproximación de una o más dimensiones de interés» (Ulrich y Eppinger, 2009, p. 277). Los modelos y prototipos permiten a equipos multidisciplinarios validar dentro de la empresa y con el usuario final diferentes características o dimensiones, tales como: apariencia, aspectos ergonómicos y de uso, desempeño funcional, resistencia físico-mecánica, sistemas de armado, eficiencia productiva y de manufactura, entre otros.

La construcción de modelos y prototipos es parte un proceso iterativo de validación, que permite al equipo de diseño e ingeniería obtener información y comprender diversos aspectos relevantes del proyecto, en un ciclo de aprendizaje continuo. Ver Imagen 1.

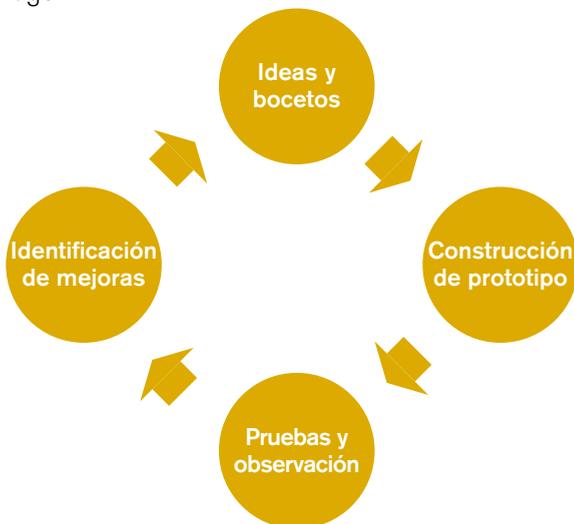


Imagen 1. Ciclo de pruebas iterativas que incluye al usuario final. Fuente: Libro Diseño de Producto, maquetas y prototipos, autor: Bjarki Hallgrimsson, 2013.

Estas representaciones tridimensionales son un factor clave para el éxito de un proyecto de diseño de productos, ya que permiten detectar errores y problemas en forma temprana, antes de la producción seriada, además, abren nuevas posibilidades de innovación a través de la experimentación e interacción con diferentes usuarios, como dice Hallgrímsson (2013), el prototipo es la clave para solucionar problemas de diseño y solucionar las dudas durante el proceso de diseño.

Para la construcción de maquetas, modelos y prototipos se han utilizado, a través del tiempo, diversos materiales, técnicas y tecnologías, los cuales han tenido una evolución progresiva, como se explica brevemente a continuación:

Antes, se utilizaban mayoritariamente técnicas manuales, con instrumentos y procedimientos tradicionales y el apoyo de herramientas eléctricas. A partir de la década de 1990, se fueron integrando paulatinamente al diseño de productos la utilización de los softwares de Diseño Asistido por computador *CAD (Computer Aided Design)*, Ingeniería Asistida por Computador *CAE (Computer Aided Engineer)*, orientados a la simulación y análisis de comportamiento mecánico y los softwares de Manufactura Asistida por Computador *CAM (Computer Aided Manufacturing)*, los cuales permiten fabricar partes y piezas directamente de un archivo digital (denominado modelo *CAD 3D*), y en esa época a través máquinas de Control Numérico Computacional o *Computer Numerical Control (CNC)* con diversas ventajas y también limitaciones, tanto de los computadores como de los softwares -los computadores eran lentos y los softwares permitían modelar geometrías básicas con operaciones muy limitadas-, como también de las máquinas mencionadas, que funcionan con un método sustractivo de fabricación con diferentes restricciones.

En 1983 es creada la técnica de estereolitografía por el norteamericano Charles Hull, lo cual constituye un hecho altamente relevante, porque esta fue la primera Tecnología de Fabricación Digital Aditiva (TFDA) o *Additive Manufacturing Technologies (AM)*, fundando las bases de este nuevo tipo de método de fabricación, el cual permite generar objetos físicos directamente de un archivo digital y a través de la adición de sucesivas capas de material y no en forma sustractiva como lo hacían las tecnologías anteriormente mencionadas. Esto permite construir geometrías complejas, fabricar piezas poliméricas sin la necesidad de moldes, entre otras ventajas: «El modelado en *CAD 3D* y las tecnologías de fabricación de forma libre han reducido el costo y tiempo relativos requeridos para crear y analizar prototipos» (Ulrich y Eppinger, 2009, p. 289).

En las últimas décadas han estado emergiendo nuevas Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva (TFDA), tales como: Polyjet, Deposición de hilo Fundido, Inyección de aglutinante, Sinterizado Selectivo por Láser, entre otros. Estas tecnologías han sido popularmente conocidas con el nombre genérico de impresión 3D o *3D Printing*, pero como se podrá ver en este artículo, cada una tiene particularidades que las diferencia del resto y que es importante destacar. Las nuevas TFDA ofrecen

nuevas posibilidades para construir modelos, prototipos y series cortas con diferentes materiales, colores, texturas acabados, entre otros.

Las Tecnologías de Fabricación Digital, hoy en día, constituyen un sistema tecnológico integrado que permite diseñar, analizar y fabricar partes, piezas y sistemas funcionales con diversas ventajas sin precedentes, cambiando radicalmente el modo de diseñar-prototipar-validar, dando paso a una revolución que se está visualizando en diversos ámbitos, tales como: el emprendimiento, educación, medicina, diseño industrial, ingeniería, arquitectura, ciencias, arte, entre otros.

La aplicación de estas tecnologías es una tendencia que se está expandiendo por todo el mundo, por ello el presidente de los Estados Unidos, Barack Obama, lo menciona en uno de sus discursos:

Hay cosas que podemos hacer, ahora mismo, para acelerar esta tendencia. El año pasado hemos creado nuestro primer Instituto de Innovación en Fabricación en Youngstown, Ohio. Un almacén en otro tiempo cerrado es ahora un laboratorio de última generación, donde nuevos trabajadores están dominando la impresión 3D, algo que tiene el potencial de revolucionar la manera en que hacemos casi todo (Barack, 2013).

Metodología

Las Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva son un tema nuevo, emergente, del cual hay escasa información, análisis o bibliografía para acceder, no obstante, esta limitación presenta también una gran oportunidad de investigación en un área poco explorada.

Este artículo busca ayudar a entender qué son las TFD, sus características, tipologías y especialmente cuáles son las ventajas, facilidades para ser aplicadas en la construcción de diversas representaciones tridimensionales denominadas modelos, prototipos y series cortas, en el contexto del proceso de Diseño y Desarrollo de Productos.

Para esta revisión se hizo una búsqueda de información y análisis de literatura especializada relacionada con la construcción de modelos, prototipos, series cortas y nuevas Tecnologías de Fabricación Digital; se realizó también una búsqueda de información y análisis de sitios Web especializados y catálogos técnicos de empresas del área de las TFD; se accedió a estos debido a que es la fuente de información más actualizada y vigente.

En este estado del arte se integraron opiniones y visiones personales, desde la experiencia profesional y docencia en el área de los modelos, prototipos y series cortas con TFD, esto con el objeto de enriquecer los análisis y conclusiones planteadas.

Resultados

¿Qué son las Tecnologías de Fabricación Digital?

Las Tecnologías de Fabricación (TFD) son un conjunto de tecnologías que permiten materializar una pieza, sistema, modelo, prototipo o series cortas, directamente de un archivo digital CAD 3D, en la mayoría de las veces con poca intervención de la mano del hombre, a través de una amplia variedad de técnicas, materiales y acabados. Algunos ejemplos de estas tecnologías son los siguientes: estereolitografía, deposición de hilo fundido, polyjet, sinterizado láser, corte láser, mecanizado con Tecnologías CNC, entre otros. Es relevante señalar que las TFD, también denominadas Tecnologías de Fabricación Directa (*Digital Direct Manufacturing*, en inglés) son la evolución del concepto de tecnologías CAM.



Imagen 2. Secuencia del proceso de modelación digital y fabricación aditiva por capas con la tecnología FDM (Fused Deposition Modeling) de la empresa Stratasys. Fuente: Stratasys, 2015.

Las TFD se pueden clasificar de diferentes maneras y la clasificación más usada es según el método en la cual fabrican las piezas. A partir de este criterio se clasifican en: Tecnologías de Fabricación Digital Sustractiva (TFDS) y Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva (TFDA), complementándose con otras tecnologías de apoyo, tales como los softwares CAD/CAE/CAM, metrología digital y escáneres 3D. Ver Imagen 2.

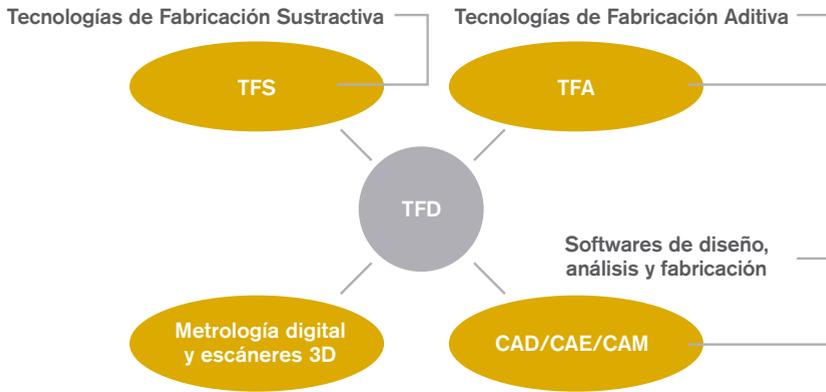


Imagen 3: Diagrama de Clasificación de Tecnologías de Fabricación Digital.
Fuente: el autor

Tecnologías de Fabricación Digital Sustractiva

Las Tecnologías de Fabricación Digital Sustractiva fueron las primeras TFD y se denominaron también como máquinas de Control Numérico Computacional o *CNC*, y se caracterizan por el desbaste de material o corte a partir de un archivo *CAD*, que en los inicios eran 2D (dos dimensiones) y posteriormente se fueron integrando los archivos *CAD* 3D. Algunos ejemplos de estas tecnologías son: fresadoras (router *CNC*); tornos *CNC*; centros de mecanizado *CNC*; corte láser, al agua y por plasma; entre otros. Ver Imagen 4.

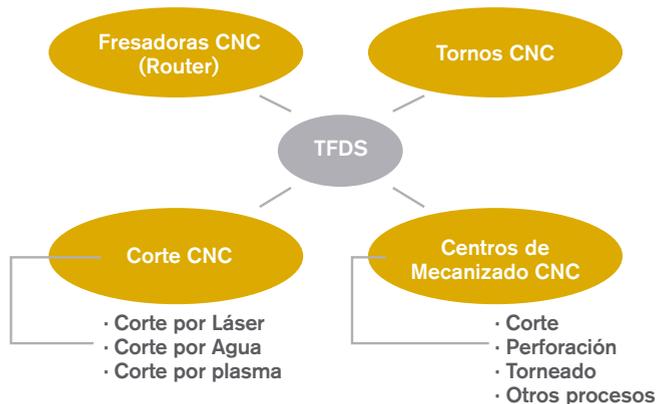


Imagen 4: Diagrama de Clasificación de Tecnologías de Fabricación Digital Sustractiva. Fuente: el autor.

Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva

Esta es la definición de la *ASTM (American Society for Testing and Materials)* respecto las Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva (TFDA), Fabricación Aditiva (AM) o *Additive Manufacturing (AM)* en inglés:

Process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies. Synonyms: additive fabrication, additive processes, additive techniques, additive layer manufacturing, layer manufacturing and freeform fabrication. (ASTM International, 2012).

Las TFDA se basan en un proceso de adición de capas de material, las cuales se van adhiriendo secuencialmente, una tras otra, hasta obtener el objeto físico correspondiente al archivo *CAD 3D*, enviado previamente desde una computadora. En el libro *Additive Manufacturing Technologies* (Gibson, 2015), se destaca las ventajas de estas tecnologías para crear en forma rápida diferentes tipologías de productos, Gibson hace la siguiente definición de las *AM*:

Additive manufacturing is the formalized term for what used to be called rapid prototyping and what is popularly called 3D Printing. The term rapid prototyping (RP) is used in a variety of industries to describe a process for rapidly creating a system or part representation before final release or commercialization (Gibson, 2015, p. 1).

Estas nuevas tecnologías están revolucionando el campo del prototipado y la fabricación debido a las diferentes ventajas que tienen en comparación con las tecnologías tradicionales de prototipado, incluso comparadas con las Tecnologías de Fabricación Digital Sustractiva, por ello es el foco de esta revisión y se hará un análisis más extenso de las mismas.

Estas tecnologías se pueden clasificar de diferentes maneras, según los materiales utilizados, tipo de procesos, entre otros. La clasificación más utilizada es con base en las características del proceso de fabricación aditiva utilizado, según este criterio se organizan en las siguientes familias o tipologías: fotopolimerización, extrusión, granulado -o *Powder Bed Fusion*-, inyección de aglutinante y fabricación de objetos laminados o *Laminated Object Manufacturing (LOM)*. Ver Imagen 5.

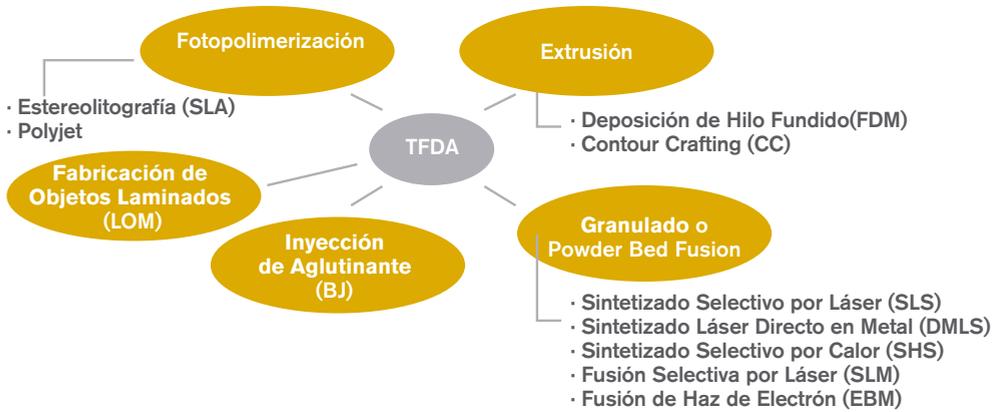


Imagen 5. Diagrama de Clasificación de las Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva. Fuente: el autor.

A continuación, se hace una descripción y análisis de las principales Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva.

El criterio de selección se basó en elegir las que se usan mayormente en el mercado para realizar modelos, prototipos y series cortas de productos, así como las tecnologías representativas de cada familia. Se ha excluido la tecnología de fabricación de objetos laminados, debido a que es una tecnología cada vez menos utilizada y que no presenta ventajas sobre las tecnologías que serán analizadas en esta investigación.

1- Estereolitografía o *Stereolithography* (SLA, SL)

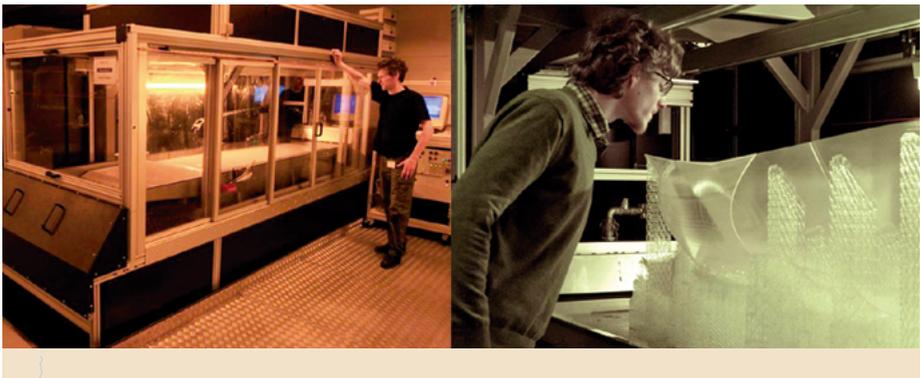


Imagen 6. Máquina de estereolitografía, modelo Mammoth de la empresa Materialise. Fuente: Materialise, 2015.

La estereolitografía (SLA o SL) es la tecnología de fabricación aditiva más antigua, actualmente la más avanzada y que definió las bases de este nuevo tipo de tecnología, basada en la adición de capas de material para construir un objeto directamente desde un archivo digital. La estereolitografía fue creada en 1983 por el norteamericano Charles Hull, quien posteriormente fue cofundador de la importante empresa en el rubro de la fabricación aditiva 3D Systems.

Proceso de fabricación con estereolitografía

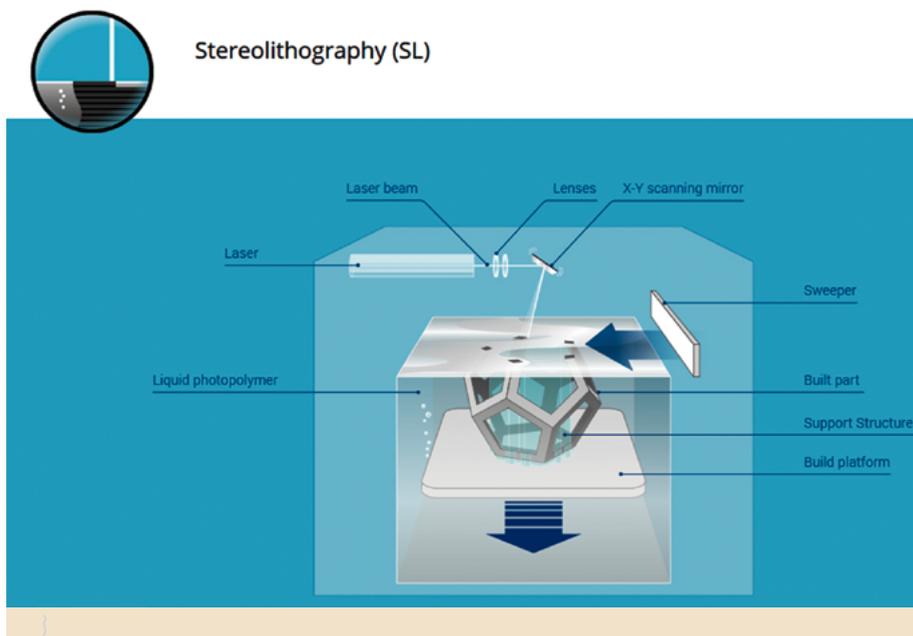


Imagen 7. Esquema del proceso de estereolitografía. Fuente: Additively, 2015.

Se envía el archivo digital desde un software CAD 3D al software de la máquina, la cual va generando capas sólidas horizontales a través de la foto polimerización de una resina foto-sensible o foto-reactiva, que se encuentra en estado líquido y se va solidificando al ser tocada por un rayo láser ultravioleta; estas capas se van adhiriendo sucesivamente, una tras otra, hasta materializar tridimensionalmente el objeto requerido.

Prototipos fabricados con estereolitografía



Imagen 8. Prototipos fabricados con estereolitografía, con diferentes diseñadores, como parte del proyecto conjunto de la empresa Materialise. Estos prototipos se destacan por sus formas complejas irrealizables con tecnologías de fabricación tradicional y alto grado de precisión. Fuente: Materialise, 2015.

128

Información relevante y análisis	
Tecnología	Estereolitografía
Materiales	Resinas fotosensibles
Tamaño mínimo de detalles	*0.1 mm
Tolerancia	*+/-0.15 mm
Ventajas	Alto grado de precisión y acabados, posibilidad de generar formas complejas, paredes delgadas, transparencia o translucidez, es posible hacer piezas y prototipos funcionales, pero no siempre es aconsejable.
Desventajas	Alto costo, no utiliza material estándar, se requiere material de soporte para la construcción de las piezas. Las características de resistencia mecánica no perduran en el tiempo, debido al tipo de resinas utilizadas en este proceso (resinas foto-reactivas).
Tipo de representaciones sugeridas	Modelos de apariencia y prototipos funcionales para estos últimos no siempre es aconsejable.

*Información técnica extraída de Additively, spin-off of ETH Zürich (2015)

Tabla 1. Análisis de Tecnología Estereolitografía. Fuente: autor.

2- Tecnología Polyjet o Photopolymer Jetting (PJ)



Imagen 9. Máquina que funciona con la tecnología Polyjet, modelo Connex 500 de la empresa Stratasys. Fuente: Stratasys, 2015.

La tecnología Polyjet modeling, multijet modeling o Photopolymer Jetting es una tecnología de manufactura aditiva, que permite crear objetos tridimensionales poliméricos con alta definición, precisión y pudiendo integrar diferentes materiales en una sola parte o pieza o sistema (multimaterialidad).

129

Proceso de fabricación con la Tecnología Polyjet



Photopolymer Jetting (PJ)

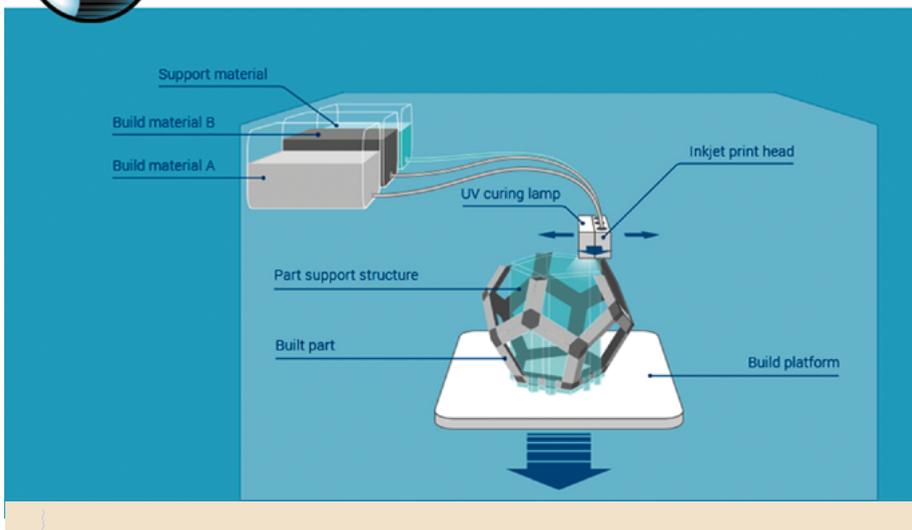


Imagen 10. Esquema del proceso de fabricación con la tecnología Polyjet. Fuente: Additively, 2015.

Se envía el archivo digital desde un software CAD 3D al software de la máquina, posteriormente un cabezal va depositando capas sucesivas y horizontales de un polímero foto-sensible, las cuales van siendo curadas con lámparas UV y depositadas sobre una plataforma, cada capa se va adhiriendo con la capa posterior hasta formar el objeto físico.

Prototipos fabricados con la Tecnología Polyjet



Imagen 11. Prototipos de alta definición fabricados con la tecnología Polyjet, en estos se puede apreciar una alta precisión para realizar encajes, alta definición de detalles, texturas e integración de diferentes materiales en una sola impresión (multi-materialidad). Fuente: Stratasys, 2015.

Información relevante y análisis	
Tecnología	Polyjet
Materiales	Resinas fotosensibles
Tamaño mínimo de detalles	*0.15 mm
Tolerancia	*+/-0.025 mm
Ventajas	Alto grado de precisión y acabados, posibilidad de generar formas complejas, paredes delgadas, transparencia o translucidez, también es posible integrar diferentes materiales en una misma impresión (multimaterialidad); al igual que en la estereolitografía las características de resistencia mecánica no perduran en el tiempo, debido al tipo de resinas utilizadas (foto-reactivas).
Desventajas	Alto costo, no se utiliza material estándar, requiere material de soporte.
Tipo de representaciones sugeridas	Modelos de apariencia y funcionales para estos últimos no siempre es aconsejable.

*Información técnica extraída de Additively, spin-off of ETH Zürich (2015).

Tabla 2. Análisis de Tecnología Polyjet. Fuente: autor.

3- Tecnología de Deposición de Hilo Fundido o Fused Deposition Modeling (FDM)

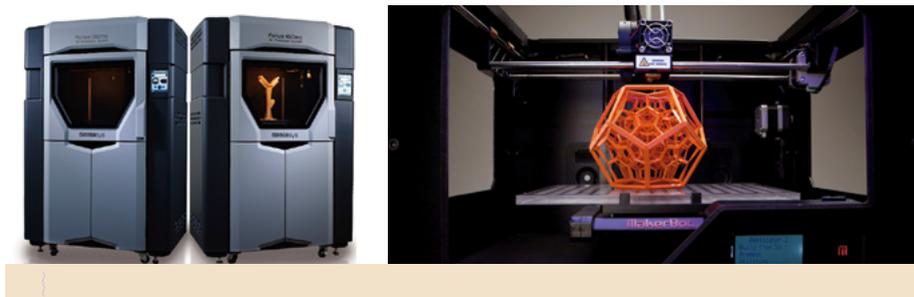


Imagen 12 y 13. De izquierda a derecha máquinas de la línea Fortus de Stratasys y la máquina Replicator 2 de la empresa MakerBot. Fuente: Stratasys, 2011 y MakerBot, 2015.

La tecnología de deposición de hilo fundido o *Fused Deposition Modeling* (FDM) es una tecnología de manufactura aditiva que permite fabricar prototipos funcionales de diferentes termoplásticos directamente desde un archivo digital.

Proceso de fabricación con la Tecnología FDM

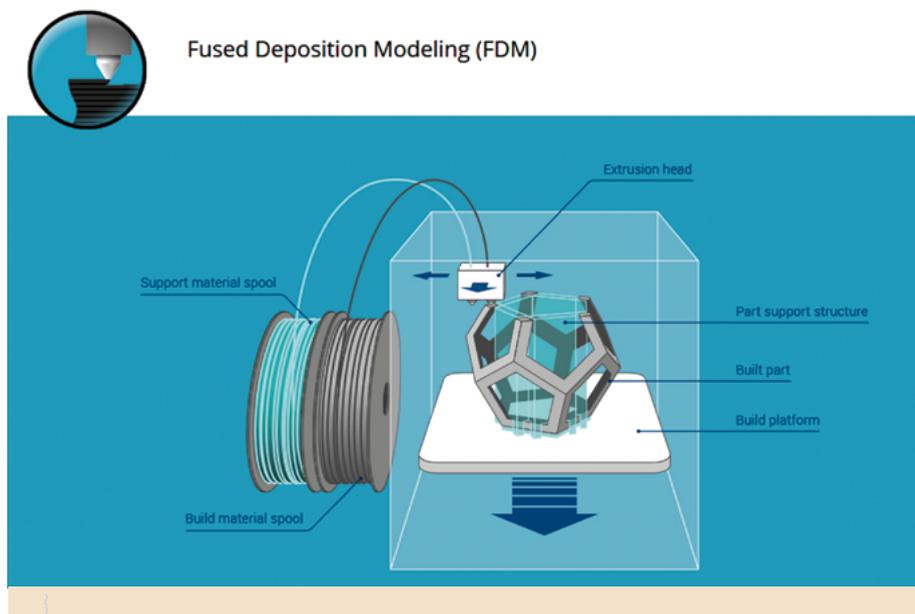
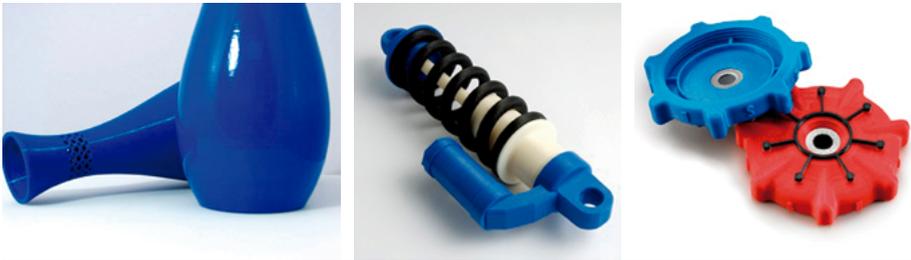


Imagen 14. Esquema del proceso de fabricación con la tecnología FDM. Fuente: Additively, 2015.

Se envía el archivo digital desde un software CAD al software de la máquina, posteriormente un filamento de un polímero termoplástico que está en un rollo pasa por una boquilla metálica que está a una temperatura superior a la temperatura de fusión del polímero, este se va derritiendo y generando capas sucesivas y horizontales de material que se va adhiriendo una tras otras hasta formar tridimensionalmente el objeto físico que fue enviado a través de un archivo digital.

Prototipos fabricados con la tecnología o *Fused Deposition Modeling (FDM)*



132

Imagen 15. Prototipos fabricados con la tecnología FDM, esta tecnología permite materializar prototipos funcionales de diferentes polímeros termoplásticos. Fuente: Stratasys, 2015.

Información relevante y análisis	
Tecnología	Deposición de hilo fundido
Materiales	Polímeros, tales como: ABS, PLA, PCL, policarbonato
Tamaño mínimo de detalles	*0.178 mm
Tolerancia	*+/-0.178 mm
Ventajas	Utiliza polímeros standard y hay diferentes marcas accesibles a bajo costo, permite hacer prototipos funcionales con buena resistencia mecánica que permanecen en el tiempo.

Información relevante y análisis	
Desventajas	No tiene un acabado superficial fino (puede ser mejorado con post-procesos) y las piezas son anisotrópicas en el eje vertical (Z), por tanto la resistencia a esfuerzos mecánicos no es homogénea. En modelos con cámara abierta es común tener problemas con la regulación de la temperatura, lo cual genera piezas incorrectas.
Tipo de representaciones sugeridas	Prototipos funcionales, producción de series cortas de productos.

*Información técnica extraída de Additively, spin-off of ETH Zürich (2015).

Tabla 3. Análisis de Tecnología de Deposición de Hilo Fundido. Fuente: el autor.

4- Tecnología de Inyección de Aglutinante o Binder Jetting



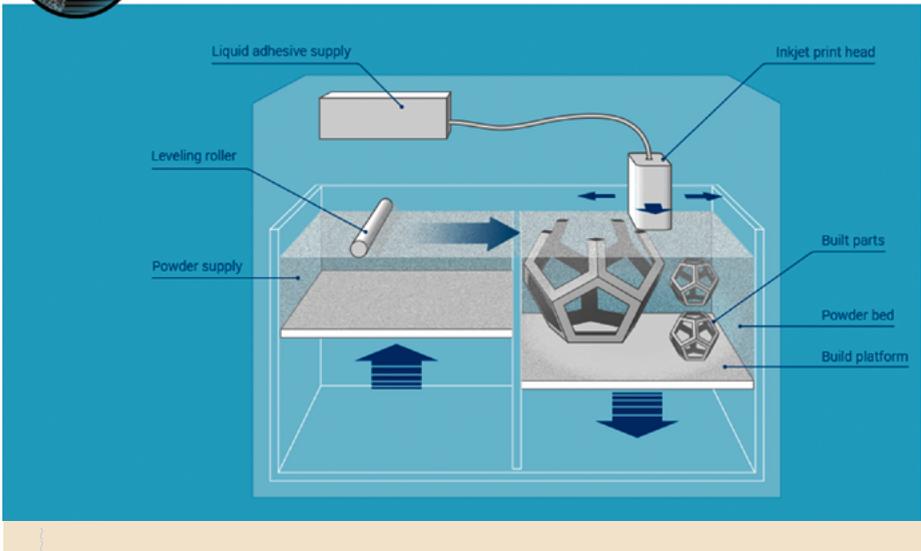
Imagen 16. Impresora modelo Zprinter de la empresa 3D Systems. Fuente: 3D Systems, Empresa de fabricación, 2015.

La tecnología Binder Jetting es una tecnología de manufactura aditiva que permite crear objetos tridimensionales de material compuesto cerámico-polimérico con acabado de alta definición y precisión, permitiendo además imprimir con diferentes colores e imágenes en la pieza tridimensional.

Proceso de fabricación con la Tecnología de Inyección de Aglutinante



Binder Jetting (BJ)



134

Imagen 17. Esquema del proceso de fabricación con la Tecnología de Inyección de Aglutinante. Fuente: Additively, 2015.

Se envía el archivo digital desde un software CAD al software de la máquina, posteriormente un cabezal va depositando capas sucesivas y horizontales de un líquido polimérico (Binder), las cuales se van mezclando con un polvo cerámico (Powder) ubicado en una cubierta originando un material compuesto, el cual se va compactando con un rodillo y se polimeriza a 40°C. Cada capa se va adhiriendo sucesivamente con la capa posterior para hasta formar el objeto físico.

Modelos de apariencia fabricados con la Tecnología de Inyección de Aglutinante



Imagen 18. Modelos de apariencia impresos con la máquina ZPrinter de 3D Systems, estos modelos se destacan por su alta definición de detalles, precisión, aplicación de diferentes colores, imágenes y degradaciones. Fuente: 3D Systems, 2015.

Información relevante y análisis	
Tecnología	Inyección de aglutinante
Materiales	Material compuesto cerámico-polimérico (Impresora modelo Zprinter)
Tamaño mínimo de detalles	*0.1 mm
Tolerancia	*+/-0.13 mm
Ventajas	Impresión más rápida que otras tecnologías, buena definición de formas y superficies, geometrías complejas, impresión con diferentes colores imágenes y texturas en la misma pieza. Es posible aplicar masillas (de poliéster u otra) para mejorar su acabado superficial si es necesario, también se puede mejorar sus propiedades mecánicas infiltrando resina y reforzando con fibra de vidrio u otras similares si la pieza lo requiere. Esta tecnología no requiere soportes, ya que el polvo de la plataforma de construcción soporta la pieza.
Desventajas	Las piezas son frágiles, son útiles para ser manipuladas o para modelos de apariencia, pero no tienen alta resistencia mecánica. Los materiales no son standard y en el caso del modelo Zprinter se requieren diversos insumos (polvo, líquido, cartridge) lo cual hace más complejo el mantenimiento de la máquina. Esta tecnología requiere varios post-procesos, tales como: remover el polvo, infiltrar piezas (con cianocrilato o resina), lijado y pulido según los requerimientos.
Tipo de representaciones sugeridas	Modelos de apariencia

*Información técnica extraída de Additively, spin-off of ETH Zürich (2015).

Tabla 4. Análisis de Tecnología de Inyección de Aglutinante. Fuente: autor.

5- Sinterizado Selectivo con Láser o Laser Sintering (LS)



Imagen 19. Máquina de sinterizado selectivo por láser de la empresa 3d Systems.
Fuente: 3D Systems, 2015.

136

La tecnología de sinterizado selectivo por láser es una tecnología de manufactura aditiva que permite crear objetos tridimensionales poliméricos, cerámicos o de vidrio y se destaca por la resistencia a esfuerzos mecánicos de las piezas que permite generar, por lo cual son ideales para hacer prototipos funcionales o series cortas de productos.

Proceso de fabricación con la Tecnología de Sinterizado Selectivo con Láser

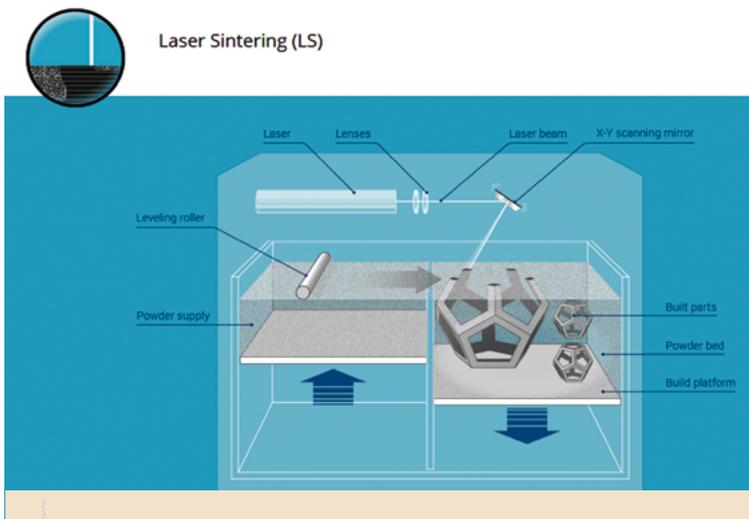


Imagen 20. Esquema del proceso de fabricación con la Tecnología de Sinterizado Selectivo con Láser. Fuente: Additively, 2015.

Se envía el archivo digital desde un software CAD 3D al software de la máquina, posteriormente un láser de CO₂ de alta potencia va fusionando y solidificando en forma selectiva el polvo (polimérico, cerámico o de vidrio), el cual está depositado en una plataforma a una temperatura levemente inferior a su punto de fusión, generando capas horizontales sucesivas las cuales se adhieren una tras otra hasta construir tridimensionalmente el objeto enviado en forma digital.

Prototipos fabricados con la tecnología de Sinterizado Láser



Imágenes 21, 22 y 23. De izquierda a derecha, imagen 21 y 22 prótesis de un material polimérico fabricada con una máquina de la empresa 3D Systems; imagen 23, lámpara de poliamida impresa por una máquina marca Materialise, parte del proyecto GMX. Fuentes: Renishaw, 2015; 3D Systems, 2015 y Proyecto MGX by Materialise, 2015.

Información relevante y análisis	
Tecnología	Sinterizado selectivo con láser
Materiales	Polímeros (nylon, poliestireno) cerámicos y vidrio.
Tamaño mínimo de detalles	*0.15 mm
Tolerancia	*+/-0.25 mm
Ventajas	Esta tecnología no requiere soportes, ya que el polvo de la plataforma de construcción soporta la pieza, uso de materiales standard ampliamente disponibles y resistencia mecánica similar a piezas generadas por procesos tradicionales.
Desventajas	El proceso es lento y el acabado superficial no es totalmente liso, comparado con procesos de fabricación tradicional (inyección de termoplásticos, fundición de precisión, etc).
Tipo de representaciones sugeridas	Prototipos funcionales, producción de series cortas de productos.

*Información técnica extraída de Additively, spin-off of ETH Zürich (2015).
Tabla 5. Análisis de Sinterizado Láser. Fuente: autor.

6- Sinterizado Láser Directo en Metal (DMLS) o Fusión por Láser (LM)

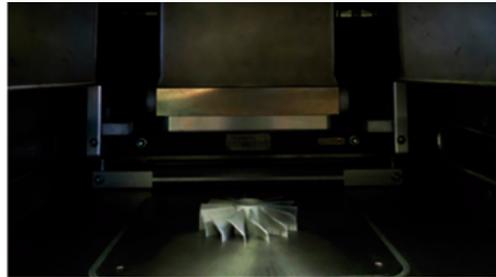


Imagen 24. Máquina de Sinterizado Láser Directo en Metal de la empresa Renishaw Modelo AM250. Fuente: Renishaw, 2015.

138

La tecnología de Sinterizado Láser Directo en Metal (DMLS) o Fusión por Láser *Laser Melting* (LM) es una tecnología de manufactura aditiva, similar a la Tecnología de Sinterizado Selectivo por Láser, pero la diferencia radica en que esta tecnología permite crear objetos tridimensionales de metal, también se destaca por la generación de piezas con alta resistencia a esfuerzos mecánicos, ideales para hacer prototipos funcionales o series cortas de productos.

Proceso de fabricación con la Tecnología de Sinterizado Láser Directo en Metal

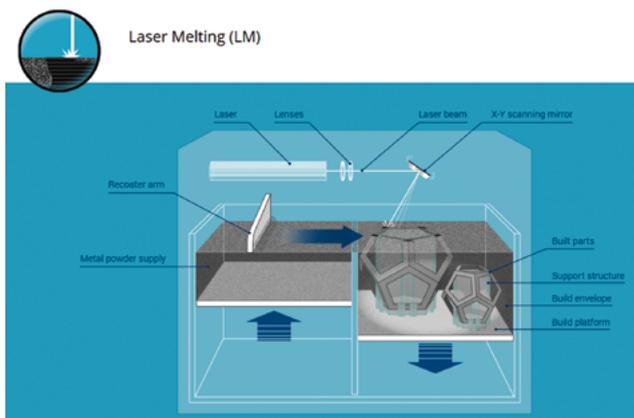


Imagen 25. Esquema del proceso de fabricación con la Tecnología de Sinterizado Láser Directo en Metal. Fuente: Additively, 2015.

Se envía el archivo digital desde un software CAD 3D al software de la máquina, posteriormente un láser va fusionando y solidificando en forma selectiva el polvo metálico (aluminio, acero, titanio o aleaciones), el cual está depositado en una plataforma a una temperatura levemente inferior a su punto de fusión generando capas horizontales sucesivas las cuales se adhieren una tras otra hasta construir tridimensionalmente el objeto enviado en forma digital.

Prototipos fabricados con la tecnología de Sinterizado Láser Directo en Metal



Imagen 26, 27 y 28. De izquierda a derecha prototipo funcional de un marco de bicicleta de la empresa Empire Cycles fabricada en titanio con una máquina marca Renishaw, en la imagen 27(en el centro) se pueden ver todas las piezas del marco fabricado de una sola vez, la imagen 28 es otra pieza hecha con una máquina de la empresa Renishaw, se destaca su complejidad geométrica y definición. Fuente: Renishaw, 2015.

Información relevante y análisis	
Tecnología	Sinterizado láser directo en metal
Materiales	Metales: acero, aluminio, titanio y aleaciones.
Tamaño mínimo de detalles	*0.04-0.2 mm
Tolerancia	*+/- 0.05-0.2 mm (+/- 0.1-0.2%)
Ventajas	Al igual que el Sinterizado Selectivo por Láser e Inyección de Aglutinante esta tecnología no requiere soportes, ya que el polvo de la plataforma de construcción soporta la pieza, uso de materiales standard ampliamente disponible, puede fabricar piezas de alta densidad y resistencia mecánica similar a piezas generadas por procesos tradicionales.
Desventajas	El proceso es lento, caro y el acabado superficial no es totalmente liso, comparado con procesos de fabricación tradicional (inyección de termoplásticos, fundición de precisión, etc).
Tipo de representaciones sugeridas	Prototipos funcionales, producción de series cortas de productos.

*Información técnica extraída de Additively, spin-off of ETH Zürich (2015).
 Tabla 6. Análisis Tecnología de Sinterizado Directo en Metal. Fuente: autor.

Discusión de resultados

A continuación, se analizarán diferentes hallazgos obtenidos de esta revisión:

1. Retomando un planteamiento hecho en la introducción, es relevante señalar que las TFDA han sido nombradas comúnmente con el término genérico *impresión 3D*, pero estas tienen diversas características y cualidades que las diferencian, aspectos tales como: definición de detalles, acabado superficial, transparencia y opacidad, aspectos tales como: definición de detalles, acabado superficial, transparencia y opacidad, resistencia a esfuerzos mecánicos, durabilidad, entre otros.

Tecnologías de Fabricación Aditiva	Característica de las piezas fabricadas				
	Definición de detalles	Acabado superficial	Transparencia y opacidad	Resistencia mecánica	Durabilidad
1-Estereolitografía	Alto	Alto	Si	Medio	Bajo
2-Polyjet	Alto	Alto	Si	Medio	Bajo
3-Deposición de Hilo Fundido	Medio / Bajo	Medio / Bajo	No	Alto	Alto
4-Inyección de aglutinante	Alto	Alto	No (en base al caso de el modelo Z Printer de 3D Systems con material compuesto)	Medio / Bajo	Medio
5-Sinterizado Selectivo con Láser	Medio / Bajo	Medio / Bajo	No	Alto	Alto
6-Sinterizado Láser Directo en Metal	Medio / Bajo	Medio / Bajo	No	Alto	Alto

Tabla 7. Análisis de características de las TFDA. Fuente: autor.

Nota: esta tabla fue realizada comparando la información de empresas, tecnologías y casos expuestos en esta investigación.

En la Tabla 7 se pueden observar una comparación de diferentes características, elegidas en base a su relevancia para la construcción de modelos, prototipos y series cortas.

Se puede concluir lo siguiente de la Tabla 7:

Las tecnologías basadas en procesos de fotopolimerización (estereolitografía y Polyjet) y de inyección aglutinante son las que permiten obtener un mejor acabado superficial, definición de detalles y transparencia y/o opacidad, pero con baja o media resistencia mecánica y durabilidad.

Las tecnologías basadas en técnicas de granulado (Sinterizado Selectivo por Láser y Sinterizado Directo en Metal) y la tecnología *FDM* tienen como fortaleza un buen comportamiento a esfuerzos mecánico y durabilidad.

2. Otro aspecto a analizar es la pertinencia de una TFDA según el propósito de la representación tridimensional (modelos, prototipos y series cortas). En este sentido, es muy relevante hacer una selección adecuada de la tecnología según el objetivo que se persigue, ya que esto influirá en la calidad de los resultados, tiempos y efectividad.

En la Tabla 8 se pueden observar diferentes casos representativos que muestran el propósito del modelo o prototipo y la tecnología utilizada, evidenciando una selección adecuada y asertiva.

<p>Propósito Representación de apariencia de alta definición, con integración de diferentes colores, degradaciones y texturas.</p>	<p>Propósito Representación de apariencia para mostrar el interior de un objeto, mecanismo o sistema, pudiendo diferenciar piezas con diferentes colores.</p>	<p>Propósito Representación funcional para validar la manipulación y resistencia a esfuerzos mecánicos de un producto.</p>	<p>Propósito Representación funcional, con ensambles armados y multimaterialidad, para verificar encaje de piezas y manipulación.</p>	<p>Propósito Representación funcional, con ensambles armados para validar el funcionamiento del mecanismo o sistema</p>	<p>Propósito Representación funcional, para verificar ensambles, resistencia mecánica, usabilidad, entre otros.</p>
<p>Tecnología Inyección de Aglutinante</p>	<p>Tecnología Inyección de Aglutinante</p>	<p>Tecnología Polyjet</p>	<p>Tecnología Polyjet</p>	<p>Tecnología Deposición de Hilo Fundido.</p>	<p>Tecnología Sinterizado Láser Directo en Metal</p>
					
<p>Imagen 29</p>	<p>Imagen 30</p>	<p>Imagen 31</p>	<p>Imagen 32</p>	<p>Imagen 33</p>	<p>Imagen 34</p>

Tabla 8. Análisis de casos de modelos y prototipos realizados con Fabricación Digital Aditiva según su propósito. Fuente: diseño, texto y contenidos del autor. Imágenes 29 y 30 de 3D Systems, 2015. Imágenes 31, 32 y 33 de Stratasy, 2015. Imagen 34 de Renishaw, 2015.

3. Basándose en los análisis realizados, se puede establecer que hay TFDA adecuadas o pertinentes para cada tipo de representación tridimensional, acorde con sus propósitos y según la etapa de proceso de Diseño y Desarrollo de Productos. Ver Tabla 9.

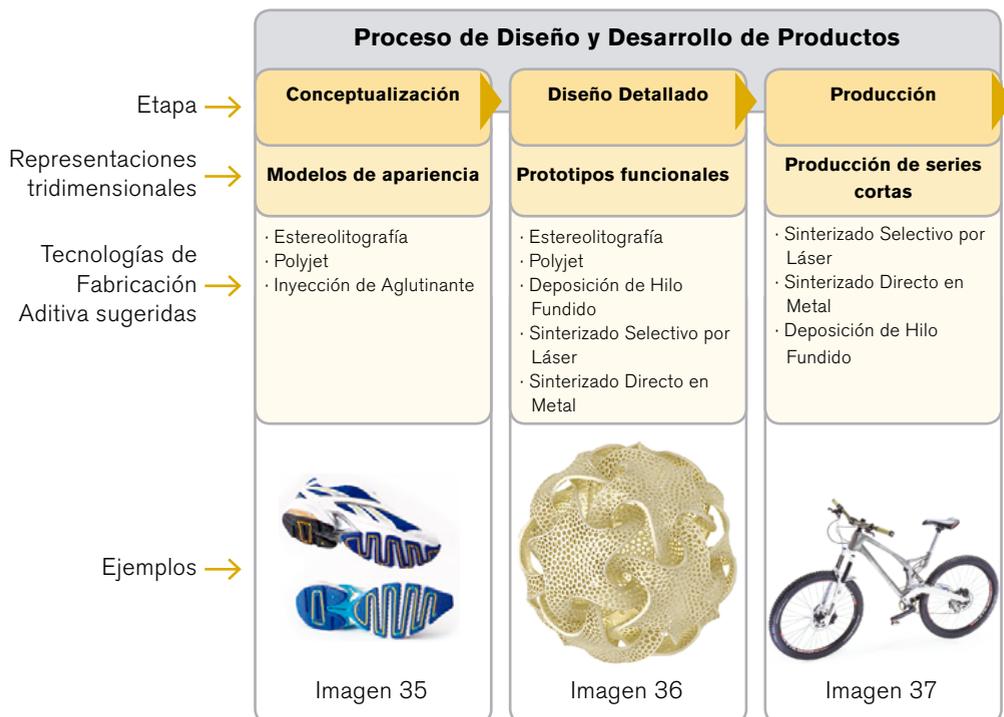


Tabla 9. Modelos y Prototipos con Fabricación Digital Aditiva en el contexto del Proceso de Diseño y Desarrollo de Productos. Fuente: diseño, texto y contenidos del autor. Imagen 35 del sitio web 3D Systems, 2015. Imagen 36 de Materialise, 2015. Imagen 37 de Renishaw, 2015.

4. Las TFDA tienen cualidades relevantes e innovadoras, sin embargo, estas no reemplazan las técnicas y métodos tradicionales de prototipado y fabricación, más bien ambos se complementan, abriendo nuevas posibilidades y oportunidades.

Conclusiones

A la luz de la información, análisis y reflexiones realizadas en este estudio, se pueden considerar las siguientes conclusiones:

Las Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva constituyen un cambio radical en las técnicas para hacer modelos, prototipos y producción de series cortas en comparación con los métodos tradicionales, gracias a las diversas ventajas constructivas que poseen, se mencionan algunas relevantes: inmediatez (obtener una pieza física directamente desde un archivo digital), alto nivel de precisión, generación de geometrías complejas irrealizables con técnicas tradicionales, fabricar ensamblajes armados e integrar diferentes materiales en un solo proceso (multimaterialidad), entre otros.

Es muy importante hacer una selección pertinente y asertiva de la TFDA, según el tipo de representación tridimensional (modelos y prototipos y series cortas) y propósito propuesto para la etapa de proceso de Diseño y Desarrollo de Productos. Existen tecnologías que se adecúan mejor para cierto tipo de representaciones, según sus características; no existe una tecnología que abarque todas las tipologías de modelos y prototipos.

Estas nuevas tecnologías están cambiando el mundo, redefiniendo los paradigmas para diseñar-prototipar-validar, permitiendo acelerar y optimizar procesos en diversos ámbitos (diseño industrial, arquitectura, ingeniería, medicina, entre otros); las TFDA están impulsando cambios significativos y trascendentales, abriendo oportunidades en un nuevo territorio para explorar, investigar e innovar.

Referencias

- Additively (17 de noviembre de 2015). Obtenido de Additively, spin-off of ETH Zürich: www.additively.com
- ASTM F2792-12a, Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies
ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- Barack, O. (12 de febrero de 2013). *Discurso sobre el estado de la Unión*. Estados Unidos.
- Hallgrímsson, B. (2013). *Diseño de producto, maquetas y prototipos*. Barcelona: Promopress.
- Ian Gibson, D. R. (2015). *Additive Manufacturing Technologies*. New York: Springer.
- Makerbot (17 de noviembre de 2015). Obtenido de MakerBot, empresa de fabricación digital: www.makerbot.com
- Materialise (17 de noviembre de 2015). Obtenido de Materialise, empresa de fabricación digital: www.materialise.com
- Materialise (17 de noviembre de 2015). Obtenido de Proyecto MGX by Materialise: www.mgxbymaterialise.com
- Renishaw (17 de noviembre de 2015). Obtenido de Renishaw, empresa de fabricación digital: www.renishaw.com
- Stratasys. (S. f.). Empresa de fabricación digital: www.stratasys.com
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2009). *Diseño y desarrollo de productos*. México: Mc Graw Hill.
- 3D Systems (17 de noviembre de 2015). Empresa de fabricación: www.3dsystems.com