



Trabajo de Fin de Grado

DESARROLLO DE UN MATERIAL DIDÁCTICO ORIENTADO A LAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA

AUTOR: Alejandro Gutiérrez Barcenilla

TUTOR: Pedro Manuel Hernández Castellano

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

ESCUELA: Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos



Desarrollo de un material didáctico orientado a las tecnologías de fabricación aditiva.

Índice

Capítulo 1 Introducción	7
1.1 Introducción	9
1.2 Objeto del proyecto	9
1.3 Peticionario	10
1.4 Justificación y alcance	10
1.5 Contenido del proyecto	11
1.6 Resumen	12
1.7 Abstract	17
Capítulo 2 Antecedentes	23
2.1 Material didáctico	25
2.2 Introducción a la Fabricación Aditiva	26
2.3 Procesos de fabricación	26
2.4 Historia y adopción de la Fabricación Aditiva	28
Referencias	32
Capítulo 3 Estudio de la Fabricación Aditiva	33
3.1 Evolución del término	35
3.2 Estandarización de la FA	36
3.2.1 Introducción	36
3.2.2 Esquema de estandarización	37
3.2.3 Beneficios de la estandarización para la FA	38
3.3 El proceso de Fabricación Aditiva	39
3.3.1 CAD	40
3.3.2 Conversión a .STL	41
3.3.3 Slicer	42
3.3.4 Fabricación	43
3.3.5 Post-Procesado	44
3.3.6 Aplicación	44
3.4 Clasificación de procesos	45
3.5 Ventajas y Desventajas de FA	47
3.5.1 Ventajas	47
3.5.2 Desventajas	50
Referencias	53
Capítulo 4 Análisis en profundidad de las 7 categorías de FA	55
4.1 Fotopolimerización en tanque (VAT Photopolymerisation)	57
4.2 Chorro de material (Material Jetting)	64
4.3 Extrusión de material (Material Extrusion)	70
4.4 Fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion)	75
4.5 Chorro de aglutinante (Binder Jetting)	80
4.6 Laminación de hojas (Sheet Lamination)	85
4.7 Deposición de energía dirigida (Directed Energy Deposition)	90
Referencias	95

Capítulo 5 Impacto, Estado y Futuro de la FA	99
5.1 Industria	99
5.2 Consumidor	105
5.3 Profesionales	105
Referencias	109
Capítulo 6 Selección de tecnología en el desarrollo de un producto	111
6.1 Consideraciones para utilizar FA.....	113
6.1.1 Consideraciones de diseño	113
6.1.2 Consideraciones del material.....	115
6.1.3 Consideraciones de sostenibilidad	116
6.1.4 Consideraciones de negocio	117
6.2 Diagrama de flujo para utilizar FA	118
Referencias	123
Capítulo 7 Elaboración del material didáctico	125
7.1 Elementos del documento.....	128
7.2 Soporte de Presentación.....	130
7.3 Contenido	138
Referencias	146
Capítulo 8 Conclusión.....	147
8.1 Conclusión.....	149
Anexos	151



CAPÍTULO 1

Introducción

Capítulo 1 Introducción

1.1 Introducción

El origen de este trabajo se encuentra enmarcado en el desarrollo de un proyecto de innovación educativa y renovación metodológica para el diseño y fabricación de recursos didácticos del Grupo de Innovación Educativa en Ingeniería de Fabricación (GIEIF). El objetivo principal es que estos materiales pudieran ser usados principalmente en las diferentes asignaturas del área de conocimiento de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, o en algunas otras complementarias para conseguir mejorar la coordinación horizontal y transversal en los nuevos títulos de grado.

Bajo esta línea de trabajo, se plantea la elaboración un material didáctico orientado a las tecnologías de fabricación aditiva.

La fabricación aditiva, comúnmente conocida como “impresión 3D” ha sido estudiada y desarrollada durante más de 30 años. Al contrario que la fabricación sustractiva tradicional este proceso se encarga de generar geometrías mediante la adición de material capa a capa.

Debido a los adelantos conseguidos en los últimos años, estas tecnologías están en auge tanto en el sector empresarial como a nivel de consumidor. Sin embargo existen una gran variedad de procesos y aplicaciones para los mismos, así como diversas limitaciones respecto a las tecnologías tradicionales. Es por esto, que se considera de vital importancia introducir dichas tecnologías en el proceso de formación de los estudiantes de la escuela de Ingenierías Industriales y Civiles de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

1.2 Objeto del proyecto

Bajo la premisa de introducir la fabricación aditiva en el proceso formativo de los estudiantes de ingeniería de la ULPGC, la finalidad de este Trabajo de Fin de Grado es:

- Estudiar los orígenes y el estado de estas tecnologías.
- Analizar el proceso de utilización de estas tecnologías
- Estudiar en profundidad y analizar las diferentes tecnologías de fabricación aditiva
- Analizar el impacto y futuro de estas tecnologías.

- Analizar y estructurar un proceso de selección de la tecnología más adecuada en función de los requerimientos de la pieza en cada fase de diseño.

Para así, desarrollar y producir un material didáctico interactivo, que sirva para la docencia, tanto para impartir las clases como para el posterior estudio autónomo por parte de los estudiantes.

1.3 Peticionario

Este trabajo de fin de título, TFT, es solicitado por la EIIC de la ULPGC como requisito imprescindible para finalizar la titulación de Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de productos.

Tal y como se refleja en el capítulo II del <<Reglamento para la Realización y Evaluación de Trabajos de Fin de Título>> de la EIIC de la ULPGC, se considera como Trabajo Fin de Título, a los efectos del presente Reglamento y de conformidad con los Estatutos de la ULPGC, la asignatura que consiste en el desarrollo de un trabajo relativo a las competencias propias de la titulación, realizado de forma autónoma e individualizada por un estudiante universitario, bajo la orientación de un tutor académico que actuará como dinamizador y facilitador del proceso de aprendizaje.

El objetivo es elaborar un trabajo en el que el estudiante universitario desarrolle las competencias y los conocimientos adquiridos, teóricos y prácticos como culminación de sus estudios y como preparación para el desempeño futuro de actividades profesionales en el ámbito correspondiente a la titulación obtenida.

1.4 Justificación y alcance

Desde el Grupo de Investigación de Procesos de Fabricación, se ha detectado una carencia en el espacio de las tecnologías de fabricación aditiva que cada vez son más importantes a nivel industrial. Debido a esto y en colaboración con el GIEIF se ha decidido que sería de gran interés la realización de un material didáctico dedicado a estas tecnologías en particular. Estos materiales didácticos surgen como una medida de implantación para las nuevas estrategias y soluciones docentes orientadas a la adaptación de materias al EEES (Espacio Europeo de Educación Superior).

El alcance de este TFG comienza con la búsqueda de información sobre la Fabricación Aditiva. Posteriormente será organizada y analizada, justificando así el diseño y la información dispuesta en el material didáctico. Toda esta información será debidamente sintetizada y recogida en la presente memoria del proyecto.

1.5 Contenido del proyecto

Como se viene describiendo a lo largo del documento el proyecto consta principalmente de dos partes. La elaboración de ambas es simultánea ya que en la memoria se recogerá toda la información analizada y justificada para confeccionar la otra parte del TFG, el Material Didáctico. A su vez en la memoria también se recogerá la estructura del material, así como las mecánicas de interacción con el mismo.

Por tanto, el TFG constará de una memoria en la que se describe el proyecto, un resumen -tanto en español como en inglés-, un cartel explicativo y el propio material didáctico. La memoria contendrá los siguientes apartados:

- **Índice**
- **Introducción**
- **Antecedentes**
 - Base introductoria a los materiales didácticos.
 - Base introductoria a la fabricación y el desarrollo de la Fabricación Aditiva.
- **Objeto del trabajo**
 - Estudio de la Fabricación Aditiva.
 - Análisis en profundidad de las tecnologías de Fabricación Aditiva.
- **Solución adoptada**
 - Análisis Impacto y Futuro de la Fabricación Aditiva.
 - Proceso de selección de tecnología adecuada en función de la pieza y su uso.
 - Elaboración del Material didáctico.
- **Conclusiones**
- **Bibliografía**
- **Anexos**
 - Material Didáctico.

1.6 Resumen

Este trabajo de fin de título, TFT, es solicitado por la EIIC de la ULPGC como requisito imprescindible para finalizar la titulación de Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de productos.

El origen de este trabajo se encuentra enmarcado en el desarrollo de un proyecto de innovación educativa y renovación metodológica para el diseño y fabricación de recursos didácticos del Grupo de Innovación Educativa en Ingeniería de Fabricación (GIEIF). El objetivo principal es que estos materiales pudieran ser usados principalmente en las diferentes asignaturas del área de conocimiento de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, o en algunas otras complementarias para conseguir mejorar la coordinación horizontal y transversal en los nuevos títulos de grado.

Desde el Grupo de Investigación de Procesos de Fabricación, se ha detectado una carencia en el espacio de las tecnologías de Fabricación Aditiva que cada vez son más importantes a nivel industrial. Debido a esto se ha decidido que sería de gran interés la realización de uno de estos materiales didácticos dedicado a estas tecnologías en particular.

Bajo la premisa de introducir la fabricación aditiva en el proceso formativo de los estudiantes de ingeniería de la ULPGC, la finalidad de este Trabajo de Fin de Grado es:

- Estudiar los orígenes y el estado de estas tecnologías.
- Analizar el proceso de utilización de estas tecnologías
- Estudiar en profundidad y analizar las diferentes tecnologías de fabricación aditiva
- Analizar el impacto y futuro de estas tecnologías.
- Analizar y estructurar un proceso de selección de la tecnología más adecuada en función de los requerimientos de la pieza en cada fase de diseño.

Para así, desarrollar y producir un material didáctico interactivo, que sirva para la docencia, tanto para impartir las clases como para el posterior estudio autónomo por parte de los estudiantes.

El trabajo consta principalmente de dos partes. La elaboración de ambas es simultánea ya que en la memoria se recoge toda la información analizada y justificada para confeccionar la otra parte del TFG, el Material Didáctico. A su vez en la memoria

también se recoge la estructura del material, así como las mecánicas de interacción con el mismo.

El cuerpo principal de la memoria comienza con una introducción, donde se presenta el objeto y alcance de este Trabajo de Fin de Grado. Así como la requisitos que debe cumplir y la estructura del mismo.

Para empezar a conocer la fabricación aditiva, se debe contextualizar dentro de los principales métodos de fabricación existentes. Así como desglosar la evolución de la FA desde la invención de la SLA en 1983 hasta la época actual. En este desglose se enumeran los principales avances e hitos en la FA durante las más de cuatro décadas de su existencia.

Establecidos los antecedentes, se analiza la evolución del término utilizado para designar estas tecnologías, hasta introducir la definición normalizada según la *Norma ISO/ASTM 52900:2015*: **“El proceso de producción de objetos mediante la adición de material capa a capa realizado a partir de la información de un modelo tridimensional.”**

Tras introducir esta definición normalizada, se analiza el estado de la normativa actual. Actualmente se encuentra todavía en desarrollo por el proyecto SASAM - conformado por las principales instituciones internacionales en este ámbito- lo que frena la total irrupción de estas tecnologías. La redacción y aprobación de esta normativa conseguirá terminar de impulsar la implementación industrial de estas tecnologías, con el consiguiente impacto económico que esto supondrá a nivel global.

Posteriormente se introduce el esquema genérico de utilización de una máquina de FA, desde la creación del modelo tridimensional hasta la obtención de la pieza funcional. Estos pasos son detallados uno por uno.

Después de conocer este esquema de funcionamiento, se pasa a introducir las categorías de procesos genéricas en función del método y formato de aporte del material. Para posteriormente pasar, a la categorización que se propone en la ISO/ASTM 52900:2015. Esta se compone de 7 categorías:

- **Fotopolimerización en tanque (VAT Photopolymerisation)**
- **Chorro de material (Material Jetting)**
- **Extrusión de material (Material Extrusion)**
- **Fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion)**
- **Chorro de aglutinante (Binder Jetting)**

- **Laminación de hojas (Sheet Lamination)**
- **Deposición de energía dirigida (Direct Energy Deposition)**

Estas categorías se analizan en profundidad; exponiendo sus orígenes; esquema de funcionamiento; ventajas e inconvenientes; consideraciones y características propias; procesos comerciales asociados a cada categoría y sus diferencias; maquinaria y materiales; usos y aplicaciones.

Para finalizar esta sección se analiza las ventajas y desventajas generales que propone la FA frente a los métodos tradicionales.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> -Piezas muy complejas sin sobrecoste -Libertad de diseño -Piezas personalizadas -Optimización del material -Capacidad de innovación -Reducción del "time to market" -Rentabilidad de fabricación en series cortas -Acelerador para la Industria 4.0 -Democratización de la fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja capacidad productiva - Bajos ratios de producción - Requerimiento de postprocesado - Limitaciones de tamaño de fabricación - Limitación de materiales y formatos - Inmadurez y falta de desarrollo - Falta de Sistema de Normalización

Tras haber estudiado el marco teórico que compondrá los fundamentos del material didáctico, se ha realizado un análisis del impacto de estas tecnologías a nivel global. El objetivo de este análisis es mostrar el potencial de estas tecnologías a los estudiantes y así motivarles de cara a su futuro laboral. Por ello, no sólo se realiza desde una vista orientada al impacto a nivel industrial, donde cada vez se demandan más profesionales especializados en FA. A su vez, se enfoca al impacto que estas tecnologías pueden tener tanto en los consumidores como en los ingenieros, abriendo un gran abanico de nuevas posibilidades de modelo de negocio y facilitando la capacidad de emprendimiento con éxito.

Otra de las herramientas que se ha desarrollado, ha sido un diagrama de flujo para ayudar a los ingenieros a determinar la potencialidad y viabilidad de utilizar métodos de FA para desarrollar y producir un producto. Así como a comparar rápidamente y elegir la tecnología de FA adecuada en cada fase del proceso de diseño y desarrollo de un producto. Para apoyar esta proceso de selección, también se ha recopilado una serie de consideraciones –agrupadas en: de diseño, del material, de sostenibilidad y de negocio- que son fundamentales para la elección del proceso y su posterior explotación eficiente.

Por último, tras finalizar todas estas etapas, se ha podido terminar de estructurar y confeccionar los contenidos del material didáctico. Sin embargo, la planificación y elaboración del mismo ha sido un proceso realizado en conjunción con la memoria durante todo el periodo de elaboración de este TFG.

Para la elaboración del material didáctico se siguieron las líneas planteadas por el GIEIF, manteniendo así la homogeneidad tanto en la estructura como en las líneas de diseño gráfico, reforzando la imagen corporativa de la ULPGC. Para establecer estas bases se ha realizado previamente un análisis bibliográfico de qué es un material didáctico y que características debe presentar.

Un material didáctico es un elemento que reúne recursos para facilitar el aprendizaje del alumno. Esto se consigue debido a que dichos recursos estimulan la capacidad analítica y motivan la reflexión sobre la temática tratada.

Con el fin de potenciar la navegación y el aprendizaje intuitivo, se ha decidido utilizar como soporte el *Ibooks Author*. Este documento electrónico, adapta sus dimensiones de manera automática en función del dispositivo en el que se esté usando, ya sea un dispositivo móvil, tableta u ordenador.

El hecho de tratarse de un soporte digital permite un nivel de interactividad que directamente el papel no permite. El papel sólo da opción a recopilar por tomos la información, sin embargo con el soporte digital se puede generar un documento con varias capas o niveles de profundidad. Además los elementos gráficos no se limitan a meras imágenes estáticas. Este formato en particular, permite utilizar una serie de elementos interactivos que hace que esta característica se multiplique de manera exponencial. La experiencia se puede enriquecer con vídeos, modelo 3d interactivos o cuestionarios que permiten comprobar los conocimientos adquiridos.

A pesar de que esto a priori pueda parecer muy complejo, su interfaz es muy liviana y utiliza unas mecánicas muy similares a las de cualquier aplicación móvil, por lo que el usuario será capaz de navegar en él de manera innata. En otras palabras, consigue invitar al usuario a tocar e indagar permitiendo así, que este pueda realizar una lectura eligiendo de manera intuitiva el nivel de profundización en la información.

En definitiva, se considera que los objetivos del TFG han sido cumplidos, ya que se ha elaborado un material didáctico interactivo, orientado a las tecnologías de Fabricación Aditiva. La información del mismo ha sido cuidadosamente analizada y sintetizada, del mismo modo que su disposición en el documento, para permitir un aprendizaje atractivo y paulatino. Convirtiéndolo por tanto, en un documento idóneo para la docencia, tanto para impartir las clases como para el posterior estudio autónomo por parte de los estudiantes.

1.7 Abstract

This final degree project has been requested by the ULPGC's Engineering School, as an essential requirement for ending the BSc in Industrial Design and Product Development Engineering.

This assignment is part of a currently developing project driven by the Manufacturing Engineering Education and Innovation Group, in Spanish, Grupo de Innovación Educativa en Ingeniería de Fabricación (GIEIF). The aim of this project is to innovate in the educational methodologies in order to design and produce renovated teaching materials. These materials could then be utilized across all the Manufacturing Processes related subjects of the engineering degrees. Consequently, improving the horizontal and transversal coordination among the new Bologna education system.

The GIEIF has detected a lack of coverage around the Additive Manufacturing processes, which are increasingly becoming more important in the industrial sector. Due to this, it was decided that producing a new teaching material on this topic was a priority.

With the premise of introducing Additive Manufacturing (AM) in the ULPGC engineering student's curriculum, this final degree project has the next major goals:

- Study the origins and current state of these technologies.
- Review of the needed workflow for using AM.
- In depth study of the main different AM technologies available.
- Comprehensive review of the impact and future of AM.
- Review and design a process selection workflow for selecting the most suitable technology according to the product requirements during the development period.

This would be the mainstays to develop and produce an interactive teaching material, that could be use for teaching during lectures or for autonomous use.

The project has two main parts. Both have been developed simultaneously. All the analysed and justified information is collected in the project's report, and with it the teaching material is produced. At the same time, the teaching material's structure and other relevant information to it, is also embodied in the report.

Moreover, the report's body starts with an introduction, where its goals, requirements, scope and structure are stated.

Going back to Additive manufacturing, a contextualization is required. Therefore, it is first presented among the other main manufacturing methods. Later, its evolution is broken down, from what it is considered the AM birth in 1983 with the SLA invention, passing through all the milestones achieved until today.

Once the background is set, an overview of the AM term evolution is made. People name this processes under many terms, such as “Rapid Prototyping” or “3D printing”, however, the only definition accepted by the Standards is Additive Manufacturing. The official definition under the *ISO/ASTM 52900:2015* is: **process of joining materials to make parts or objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing and formative manufacturing methodologies.**

Following with the AM Standardization, it is currently underdevelopment by the SASAM project. The main standardization agencies, such as ASTM, ISO and CEN/TC, are part of this project. Not having completely defined standards is braking away the unleash of AM's full potential. Therefore, once this standardization is fulfilled, AM implementation would be easier for the industries, with the given economical impact this will have globally.

Furthermore, there is an in depth coverage of the generic using AM workflow. Each step is explained starting with the 3d modelling until the final object is obtained and ready to use.

Besides having a common denominator, which is building object layer by layer, there are many Additive Manufacturing technologies. These could be categorized in many ways, for example depending on the feedstock or how the material is deposited on to the building platform. However, the *ISO/ASTM 52900:2015* states a 7 group categorization:

- **VAT Photopolymerisation**
- **Material Jetting**
- **Powder Bed Fusion**
- **Binder Jetting**
- **Sheet Lamination**
- **Direct Energy Deposition**

These groups have also been analysed to be able to evidence them on the project. Graphics to show how they work are also generated and followed up with extended explanations; pros and cons; usage considerations; associated trade brands;

machinery and compatible materials; usages and applications.

To finish up with this section of the project report, a comprehensive comparison between AM and Traditional Manufacturing has been made. Therefore, advantages and disadvantages could be pointed out and summarized as the following:

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> -Complex geometry without additional costs -Design Freedom. -Customizable objects. -Material Optimization -Innovation capability - "Time to market" reduction -Short series production made profitable - 4.0 Industry trigger. -Democratization of fabrication 	<ul style="list-style-type: none"> - Low productivity capacity - Low manufacturing ratios - Postprocesses requirement - Low fabrication volume - Material limitations and formats limitations - Still immature and underdevelopment technologies - Lack of solid worldwide accepted Standarization system

Right after studying the knowledge that will compound the theoretical principals disposed on the teaching material, the global impact of AM has been analysed. The purpose of this analysis is to demonstrate the potential of AM to the students, so that it motivates them towards their professional future. Due to this, it is not just focused towards the industrial sector, where the amount of AM skilful professionals is on increasing demand. The scope is wider and also faced to the impact these technologies are having on the consumers and the engineers as individuals. Opening a wide new variety of business opportunities and increasing the chances of being a successful entrepreneur.

Another tool developed and produced during this project has been the design of a workflow diagram that would help students determine if their projects could potentially be produced by AM in a profitable way. In addition, they would have the ability of quickly compare and choose the most suitable process in each phase of the product

development. In order to back up the selection process, some other considerations are also provided to the students. These are design, material, sustainability and business considerations, and they are essential to efficiently select and exploit the needed AM process.

Lastly, after finishing with the report, it is time to show how the teaching material has been produced. As stated before, the planning and production has been made at the same time as the report, along the whole project.

The graphic design guidelines were previously presented by the IMEEG, therefore the homogeneity across all the teaching materials of the group is maintained. This leads into a better corporative image of both the group and ULPGC.

Previous to establishing the document structure, as in any other design process, there has been a study of what is a teaching material and what are the requirements it should have. A teaching material is an element that reunites resources to make the learning process easier. This is possible because these resources stimulate the analytic capacity and make the students think over the studied topics.

With the aim of making navigation around the document easier and the learning process much more intuitive, the selected platform for creating the teaching material has been "Ibooks Author". The program presents many important features. The electronic document adapts its resolution and size automatically depending on the device it is being displayed on.

The fact of it being a digital file gives interactive capabilities that regular paper directly could not. Paper is only capable of compiling information in different volumes. On the other hand, digital files give the chance of setting different levels or layers of information. Into the bargain, the graphic elements are not just simple and static photographs. This particular software, has the ability of adding widgets –videos, 3d models, quick tests, etc.- that increase the interactivity.

In spite of of seeming really complex, the user interface is light and simple. It uses smartphone apps alike mechanics, making the user capable of navigating around in an innate way. In other words, it invites the user to touch and dive into the document. So students can navigate seamlessly through the document selecting how deeply into the subjects they go.

In conclusion, it is considered that the project goals have been accomplished. Information has been carefully analysed and synthesized, so as the way it is displayed on the document. As a result, a suitable tool for education has been produced, a teaching material that can be used both during lectures and for the autonomous study of the students.



CAPÍTULO 2

Antecedentes

Capítulo 2 Antecedentes

2.1 Material didáctico

Para la elaboración del material didáctico se seguirán las líneas planteadas por el GIEIF, manteniendo así la homogeneidad tanto en la estructura como en las líneas de diseño gráfico. Para establecer estas bases se ha realizado previamente un análisis bibliográfico de qué es un material didáctico y que características debe presentar.

Un material didáctico es un elemento que reúne recursos para facilitar el aprendizaje del alumno. Esto se consigue debido a que dichos recursos estimulan la capacidad analítica y motivan la reflexión sobre la temática tratada.

Pablo Alberto Morales Muñoz define material didáctico en su libro *Elaboración de material didáctico (2012)*, en los siguientes términos:

“El conjunto de medios materiales que intervienen y facilitan el proceso de enseñanza- aprendizaje. Estos materiales pueden ser tanto físicos como virtuales, asumen como condición, despertar el interés de los estudiantes, adecuarse a las características físicas y psíquicas de los mismos, además que facilitan la actividad docente al servir de guía; así mismo, tienen la gran virtud de adecuarse a cualquier tipo de contenido. La importancia del material didáctico radica en la influencia que los estímulos a los órganos sensoriales ejercen en quien aprende, es decir, lo pone en contacto con el objeto de aprendizaje, ya sea de manera directa o dándole la sensación de indirecta. En otras palabras, se puede decir que son los medios o recursos que sirven para aplicar una técnica concreta en el ámbito de un método de aprendizaje determinado, entendiéndose por método de aprendizaje el modo, camino o conjuntos de reglas que se utiliza para obtener un cambio en el comportamiento de quien aprende, y de esta forma que potencie o mejore su nivel de competencia a fin de desempeñar una función productiva”.

A esta definición, la podemos complementar con la de *Isabel Ogalde Careaga*, *NUEVAS TECNOLOGÍAS Y EDUCACIÓN (2008)*, en la que se refiere a los materiales didácticos de la siguiente forma:

“...son todos aquellos medios y recursos que facilitan el proceso de enseñanza aprendizaje, dentro de un contexto educativo global y sistemático, y estimula la función de los sentidos para acceder más fácilmente a la información, adquisición de

habilidades y destrezas, y a la formación de actitudes y valores”.



Figura 1. Características de un material didáctico [1]

Atendiendo a esta definición y estructura se pasará a realizar el análisis de la información para así adecuarla correctamente al soporte digital, sin defraudar ninguno de los objetivos propios de un material didáctico.

2.2 Introducción a la Fabricación Aditiva

La Fabricación Aditiva, de ahora en adelante denominada por las siglas FA, es una tecnología de fabricación que permite la obtención de geometrías complejas mediante un proceso de adición de capas de material.

2.3 Procesos de fabricación

Con el objetivo de contextualizar el concepto de fabricación aditiva, los procesos de fabricación pueden compararse y clasificarse según el modo en el que procesan el material para obtener la geometría deseada [3]. Tal y como se muestra en el siguiente gráfico:



Figura 2. Esquema Procesos de fabricación [3]

Procesos de Fabricación Sustractivos (FS): la geometría final se obtiene a partir de un bloque de material de dimensiones mayores, del que se va eliminando material mediante operaciones de arranque de material. Dentro de estos procesos podemos encontrar:

- Mecanizado
- Corte por agua
- Corte por láser
- Etc.

Procesos de Fabricación por Deformación (FD): se introduce el material en una matriz con una cavidad con la forma que se quiere obtener. Dentro de estos procesos podemos encontrar:

- Moldeo
- Forja
- Termoconformado
- Etc.

Tanto la FS como la FD, son considerados métodos de fabricación tradicionales, debido a que a pesar de haberse modernizado con controles por ordenador en los últimos tiempos, son tecnologías con orígenes en la Revolución Industrial.

Fabricación Aditiva: la geometría se obtiene mediante la adición capa a capa del material. Las principales ventajas frente a las otras técnicas de fabricación es la capacidad de producir geometrías complejas sin necesidad de utillaje (FD) y sin

desechar material (FS). Todos los procesos de FA serán desarrollados posteriormente en el documento.

2.4 Historia y adopción de la Fabricación Aditiva

El comienzo del desarrollo de la Fabricación Aditiva se remonta a los años ochenta, sin embargo desde el **1860 con la invención del primer método de captura fotométrica de objetos tridimensionales por parte de François Willème**, se empezó a dar los primeros pasos hacia el desarrollo de estas tecnologías. Posteriormente en **1892 Blanther** propuso un **método de producción topográfica por capas**. En **1972 Mastubara de Mitshubisi motors** propuso que los **fotopolímeros** (materiales plásticos que se endurecen con la incidencia de la luz) **se utilizaran para producir objetos por capas**.

A lo largo de este apartado se repasarán los principales eventos de importancia en la historia del desarrollo de la FA [4,5]:

Década de los ochenta

- En **1981 Hideo Kodama** publica la primera muestra de un sistema de prototipado rápido trabajando con fotopolímero.
- En **1983 Charles Hull** presenta la primera tecnología para crear objetos sólidos a partir de un modelo CAD. Esta tecnología se denominó **Estereolitografía**.
- En **1986 Carl Deckar** y **Joe Meaman** desarrollan la tecnología **SLS (Selective Laser Sintering)** en la *Universidad de Texas*. En 1990 se comercializa la primera máquina de la que solo se produjeron cuatro por su elevado coste.
- Ese mismo año, **Charles Hull** funda *3D systems* (una de las más importantes compañías en el sector) para patentar su tecnología en **1987** y comercializar la primera máquina en el **1988**.
- En **1988 Scott Crump** inventa la tecnología **FDM (Fused Deposition Modeling)** que es hoy en día la tecnología más extendida a nivel de consumidor. En 1989 funda *Stratasys*.

Década de los noventa

- En **1990** *Helisys* desarrolla la tecnología **LOM (Laminated Object Manufacturing)**.
- En **1992** *Stratasys* lanza al mercado la **primera máquina FDM**. Ese mismo año se lanzan al mercado una **segunda generación de máquinas SLS** que si son exitosas.
- En **1993** el *Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)* desarrolla la tecnología **3DP (Three Dimensional Printing)**. Licencian su tecnología a diversas compañías incluidas *Z Corporation*.
- En **1994** *SolidScape* desarrolla un sistema denominado **chorro de cera** que tenía un funcionamiento muy similar a las impresoras de chorro tinta.
- En **1997** *Aeromet* inventa la tecnología **LAM (Laser Additive Manufacturing)**.
- En **1999** surge un gran avance en el campo de la bio-medicina. En la escuela de medicina de la *Universidad de Wake Forest*, los médicos consiguieron hacer **crecer una vejiga a partir de las células madre de un paciente, utilizando como soporte una estructura impresa en 3D**. Obteniendo un órgano sin riesgo de rechazo.

Primera década del siglo XXI

- En el año **2000** la primera **máquina 3D multicolor** fue producida por *Z Corporation*.
- En **2001** la primera **impresora 3D de escritorio** fue producida por *Solidimension*.
- En **2002** el **primer riñón** en miniatura fue fabricado por tecnologías de fabricación aditiva.
- En **2005** se funda el **proyecto RepRap**. Es un proyecto libre con el objetivo de crear una máquina FDM que pudiera fabricar la mayoría de sus componentes y así poder autoreplicarse.
- En **2008** se lanza la primera impresora **RepRap, la Darwin** que podía replicar un 50% de sus componente. El mismo año fabrica la primera prótesis de pierna. Y también *Stratasys* produce el **primer material biocompatible para FDM**.
- También en **2008**, se lanzan los primeros **mercados online de modelos 3D**. EL primero fue **Shapeways**. Posteriormente *Makerbot* lanza **Thingiverse**, un repositorio online para que la comunidad de diseñadores compartiera sus diseños de manera libre. En la actualidad cuenta con más de 400.000 modelos subidos.

- En **2009** la propia *Makerbot* produce un **kit RepRap** para introducirlo a un mayor público. Este mismo año se produce el primer baso sanguíneo por fabricación aditiva por la empresa *ORganovo*.

Segunda década del siglo XXI

- A finales de **2010** se presenta el primer **coche** hecho por fabricación aditiva. El *Urbee* es un prototipo hecho enteramente combinando diferentes tecnologías de FA.
- En **2011** se produjo y voló el primer **avión** fabricado por FA. El *SULSA* debe su nombre a que fue creado en la *Universidad de Southampton* y producida mediante SLS. Las piezas se ensamblaban a presión sin necesidad de herramientas.
- En **2013** se veto el diseño de un **arma** que podía ser fabricada por cualquier persona con una máquina FDM.

Estos son algunos de los hechos importantes acontecidos durante el desarrollo de estas tecnologías. Tal y como ilustra la figura 3, podemos dividir este desarrollo en dos etapas.

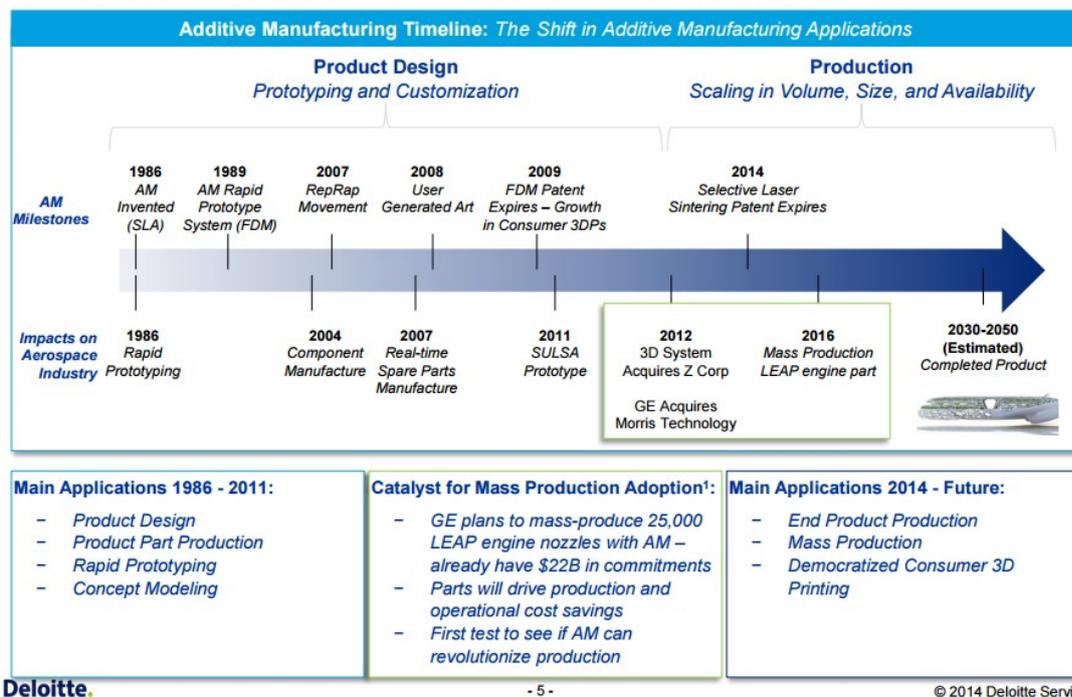


Figura 3. Línea del tiempo de la maduración de FA [6]

Una primera, desde los ochenta hasta la primera década del siglo XXI, de desarrollo y creación de las diferentes tecnologías de FA. Se comenzaron a fundar las diferentes empresas que generaron las patentes de las tecnologías. Estas tecnologías eran muy costosas y estaban muy limitadas en cuanto a los resultados obtenidos, la velocidad de producción y los materiales compatibles. Por este motivo sus usos estaban más orientados al prototipado y el diseño de piezas personalizadas.

El esfuerzo de las empresas durante estos años se centró en conseguir mejorar el rendimiento de estas tecnologías para obtener una mayor compatibilidad de materiales, así como mejorar la capacidad productiva en cuanto a tiempos y calidad de acabados. A principios del presente siglo muchas de las patentes sobre las tecnologías empezaron a vencer, lo que impulsó todavía más el crecimiento y desarrollo de la FA.

Esto ha llevado a una segunda etapa, en la que nos encontramos en la actualidad, en la que la FA es cada vez más accesible para el consumidor y las capacidades industriales son cada vez mayores. Además la tendencia es que vaya a más. Por ello, tal y como se desarrolla más adelante en el punto 3.2 del presente documento, es importante la estandarización y creación de normas que regule el uso de estas tecnologías, para así garantizar la calidad de los productos fabricados por las mismas.

Es importante remarcar, que a pesar de la creciente popularidad de estas tecnologías, estas no vienen a imponerse por delante de los procesos tradicionales, sino que son una herramienta más para los ingenieros. Una herramienta que complementa y ayuda a la innovación, desarrollo y producción de nuevos productos.

Referencias

- [1]** Pablo Alberto Morales Muñoz define material didáctico en su libro *Elaboración de material didáctico* (2012).
- [2]** Isabel Ogalde Careaga, *NUEVAS TECNOLOGÍAS Y EDUCACIÓN* (2008).
- [3]** González, H., & Vicente, J. (2012). Desarrollo de un procedimiento de diseño óptimo para fabricación de componentes mediante tecnologías aditivas. Recuperado a partir de <https://riunet.upv.es/handle/10251/17874>
- [4]** The History of 3D Printing Timeline. (s. f.). Recuperado 20 de abril de 2016, a partir de <http://www.dipity.com/cmclellan/The-History-of-3D-Printing/>
- [5]** 3D Printing History. (2013, junio 17). Recuperado 20 de abril de 2016, a partir de <http://www.avplastics.co.uk/3d-printing-history>
- [6]** SIMT Keynote Compares Additive Manufacturing Forecasts. Recuperado 20 de abril de 2016, a partir de <http://www.cellular3d.com/index.php/market-research/24-simt-keynote-compares-additive-manufacturing-forecasts>



CAPÍTULO 3

Estudio de la Fabricación Aditiva

Capítulo 3 Estudio de la Fabricación Aditiva

3.1 Evolución del término

Como se muestra en el punto 2.3 de este documento la evolución de la Fabricación Aditiva ha hecho que haya adquirido diversos nombres a lo largo de su desarrollo. Cuando surgieron, su objetivo era la elaboración rápida de prototipos, por lo que se denominaron **“Rapid Prototyping”**.



Figura 4. Evolución del término hasta FA (<<Desarrollo de formulaciones de termoplásticos con cáscara de almendra para procesos de sinterizado láser, Asunción Martínez, 30 de octubre de 2014>>)

A medida que se fueron desarrollando, las tecnologías ofrecían más variedad de materiales, mejores acabados y tolerancias, por lo que aumentaron las prestaciones. Esto dio lugar a la fabricación de piezas y productos totalmente funcionales. Por lo que se acuñaron términos como **“Rapid Manufacturing”** (fabricación rápida) o **“Rapid Tooling”** cuando se utilizaban para fabricar utillaje y moldes.

En la Figura 4 podemos apreciar otros nombres con los que se designa este tipo de tecnologías, como E-Manufacturing al utilizarse ficheros digitales para la fabricación o Impresión 3D de manera coloquial.

Sin embargo, en 2009 se forma el comité científico de la ASTM F42 para normalizar la designación de estos procesos de fabricación. De este modo las anteriores designaciones quedan invalidadas, pasando a ser incorrectas, a pesar de seguir siendo utilizadas de manera frecuente.

Según la ASTM y posteriormente siendo secundada por la ISO [2] se denomina **Additive Manufacturing (Fabricación Aditiva):**

“El proceso de producción de objetos mediante la adición de material capa a capa realizado a partir de la información de un modelo tridimensional.”

3.2 Estandarización de la FA

3.2.1 Introducción

En la actualidad nos encontramos en un marco en el que la Fabricación Aditiva cobra cada vez más importancia en numerosos sectores industriales e incluso está accesible al público en general. Esto hace que sea necesaria la creación de una normativa que las regule.

Una norma es un documento de aplicación voluntaria que contiene especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico. Las normas son el fruto del consenso entre todas las partes interesadas e involucradas en la actividad objeto de la misma. Además, deben aprobarse por un Organismo de Normalización reconocido. Las normas garantizan unos niveles de calidad y seguridad que permiten a cualquier empresa posicionarse mejor en el mercado y constituyen una importante fuente de información para los profesionales de cualquier actividad económica.

Para realizar esta normalización, la Unión Europea ha impulsado un proyecto denominado SASAM (Support Action for Standardisation in Additive Manufacturing) para desarrollar una hoja de rutas de las actividades a realizar para la estandarización de la FA. Este documento está abierto a la comunidad para que todas las grandes organizaciones y empresas tengan la oportunidad de expresar su sugerencias de cara a la mejora. De esta manera todas las aportaciones podrán ser revisadas para mejorar o adaptar esta hoja de ruta.

Esta hoja de ruta se muestra en la siguiente imagen (Figura 5), además la última revisión del documento emitido por el SASAM [3] será la referencia para el desarrollo de este apartado 3.2.

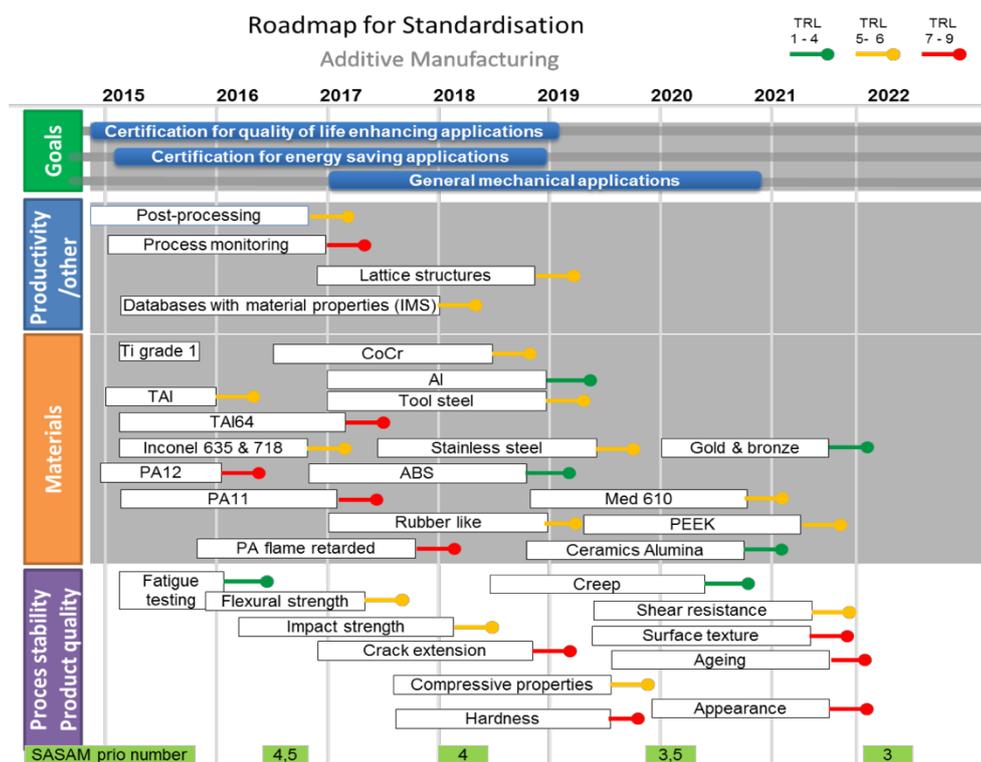


Figura 5. Hoja de ruta para la estandarización de la FA [3]

3.2.2 Esquema de estandarización

Actualmente existe una cooperación entre las principales entidades de normalización, que destinan han conformado comités destinados a estas tecnologías, estos son: **ISO TC261**, **ASTM F42** y recientemente **CEN/TC 438**. Esto hace que americanos y europeos trabajen conjuntamente con el objetivo de desarrollar un estándar único aceptado por todas las partes. De esta manera se reconoce el gran interés a nivel mundial por la FA.

Se ha llegado a un consenso en el que la estructura común define múltiples niveles y jerarquías dentro de los estándares de la FA, estos se basan en tres niveles principales:

Estándares generales: especifica conceptos generales y requerimientos comunes.

Estándares de categoría: especifica requerimientos que son específicos a procesos o categorías de materiales.

Estándares especializados: especifica requerimientos específicos para un material, proceso o aplicación.

Estos estándares o normas y su estructura se pueden apreciar de manera más clara en la siguiente imagen (Figura 6).

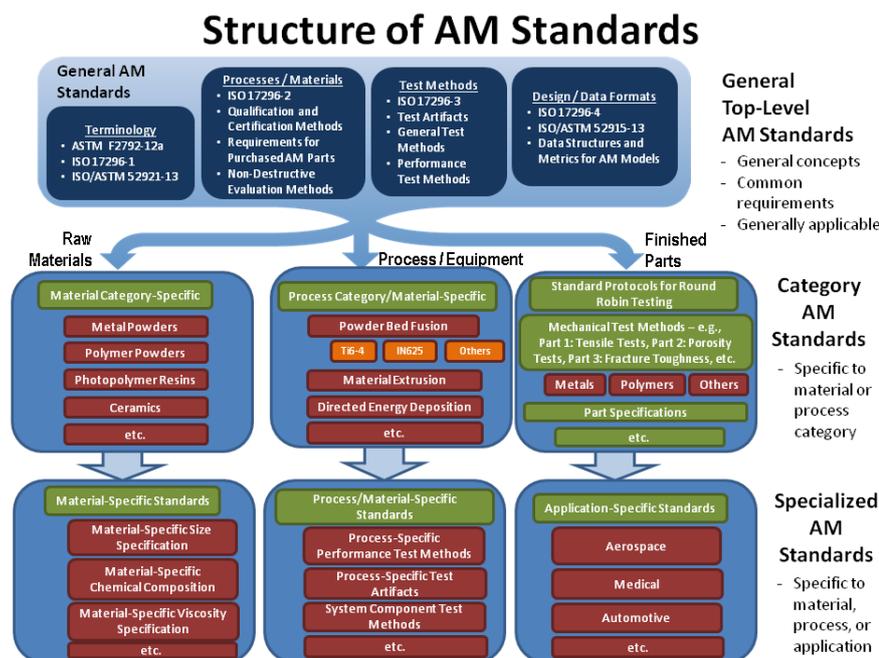


Figure 6. Estructura acordada para el desarrollo de la estandarización de la FA [3]

Hay una relación padre-hijo entre los distintos niveles, por lo que las características de las normas padre se transfieren a las hijas. La intención de esta estructura es facilitar el desarrollo de una estandarización modular para reducir el riesgo de duplicar el trabajo así como el riesgo de contradicción entre normativas.

3.2.3 Beneficios de la estandarización para la FA

La estandarización es esencial para el uso de la FA en aplicaciones críticas como piezas para motores de aeronaves o implantes fabricados con estas tecnologías, estas normativas permitirán la certificación y aprobación de los mismos, impulsando así su uso.

En términos generales los objetivos de la estandarización son:

- Promover la calidad de los productos, procesos y servicios, defendiendo las características que estos aportan para satisfacer determinadas necesidades.

- Promover mejoras en la calidad de vida, seguridad salud y proteger el medio ambiente.
- Promover el uso rentable de materiales, energía y recursos humanos y la producción e intercambio de bienes.
- Promover la comunicación clara entre las partes interesadas dentro de un marco legal.
- Promover el libre comercio internacional.
- Promover la eficiencia industrial bajo un extenso control.

En definitiva, la normativa, conseguirá impulsar la implementación industrial de estas tecnologías, con el consiguiente impacto económico que esto supondrá a nivel global.

3.3 El proceso de Fabricación Aditiva

En este apartado se describe el proceso genérico de utilización de las tecnologías FA, desde el proceso de diseño hasta la producción.

Como se viene mostrando, el funcionamiento de la FA consiste en la adición de material por capas, cada capa es una delgada sección de la pieza original del modelo CAD. En la práctica cada capa tiene un grosor finito, por lo que el resultado será una aproximación al modelo y cuanto más finas sean esas capas mayor será su fidelidad con respecto al modelo. La diferencia entre las distintas tecnologías de FA existentes se podrían clasificar en; los materiales que pueden usar, como se forman las capas y como se unen. Estas diferencias, harán que sea de vital importancia la selección de la tecnología o máquina utilizada, ya que condicionan factores como: la tolerancia de las piezas o las propiedades mecánicas del material; la velocidad de fabricación; la necesidad de postprocesado; el tamaño y el coste.

Al margen de las particularidades de cada tecnología y de las máquinas en función del fabricante, podemos organizar el proceso en las siguientes fases:



Figura 7. Diagrama del proceso

3.3.1 CAD

Para comenzar debemos tener un modelo 3D digital. La obtención de este modelo se puede conseguir principalmente mediante utilizando un software de CAD. En el mercado existen numerosas opciones tanto bajo licencia como libres. Gracias a la capacidad de obtener geometrías complejas que no se podían obtener de manera tradicional, destaca la posibilidad de utilización de software de modelado orgánico que utilizado en conjunción con sistemas hápticos permite a los diseñadores sentir una respuesta tangible de resistencia, que hace que sientan que están esculpiendo de verdad y por tanto tengan más control para modelar.



Figura 8. Utilización de un sistema háptico. Recuperado a partir de <http://www.cadblu.com/images/geomagic/Geo-Sculpt/image1.jpg>

Por otra parte, otro de los métodos más utilizados para la obtención de estos modelos CAD es la ingeniería inversa. Esto consiste en obtener un modelo 3D a partir de un modelo físico ya existente. Para esto existen diversas técnicas de escaneado tanto por contacto como sin contacto. El principio básico de ambos es el mismo, obtener una nube de puntos para posteriormente generar una malla que los cubra y así obtener un modelo 3D.

3.3.2 Conversión a .STL

El siguiente paso, es convertir el modelo CAD a un tipo de fichero común que pueda leer la máquina. Este formato es por lo general .STL, que se ha convertido en el formato “estándar” para la FA. Para la conversión a este formato, la mayoría de software CAD, dan la opción de “Guardar como” o “Exportar a...”, por lo que es un proceso sencillo.

El formato .STL es una representación mediante una malla triangular del archivo CAD. Esto que creará un efecto de facetado en la superficie, que variará en función de los parámetros elegidos durante el guardado [6]. A mayor densidad de triángulos en la maya, mayor será la resolución y por tanto mejor será el resultado. Por el contrario esto aumentará el tiempo de procesamiento y también el tiempo de fabricación, por lo que es fundamental adaptar los parámetros según las necesidades y funcionalidad de la pieza.

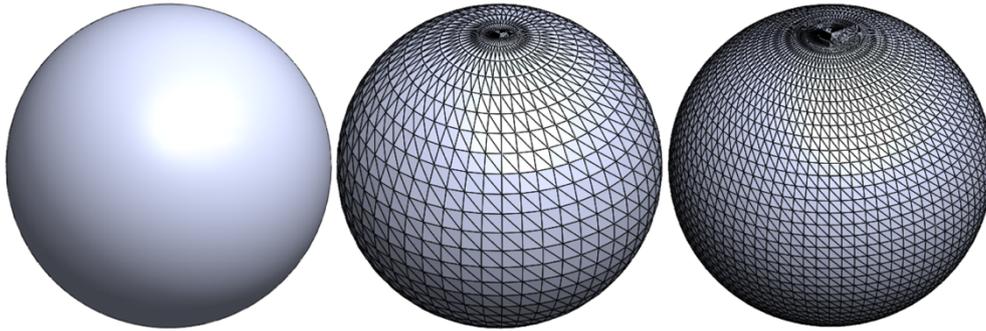


Figura 9. Conversión de CAD a STL. Recuperado a partir de <http://ira3d.com/modules/phsimpleblog/views/img/covers/152.png>

A pesar de la imposición del .STL, este formato tiene varias deficiencias por lo que algunas compañías han optado por desarrollar su formato propietario para sus máquinas. A su vez, la ASTM en su afán por la estandarización de la FA que creó un formato normalizado. Bajo la norma ISO/ASTM 52915:2013 en 2011 se crea y en 2013 se aprueba el formato .AMF. Este formato de código abierto proporciona información completa sobre el modelo, jerarquizada en 5 niveles: objeto, material, textura, constelación y metadatos. Estos son la base para obtener información sobre la forma, composición, color, material y geometría del modelo. También introduce el concepto de constelación de fabricación, permitiendo agrupar iteraciones de objetos para optimizar la producción [8].

La aceptación de estos formatos está siendo progresiva pero aún está lejos de sustituir al .STL. Con el fin de agilizar la transición grandes fabricantes como Stratasys o proveedores de software como Autodesk están apoyando el formato mediante la inclusión del mismo y la creación de herramientas para migrar los antiguos .STL a .AMF.

3.3.3 Slicer

En el siguiente paso, se prepara el .STL para la fabricación. El software utilizado para este procedimiento se conoce como "slicer", ya que secciona el modelo en capas o secciones planas, que serán las que conformen la pieza tridimensional.

Estos programas permiten también modificar todos los parámetros relacionados con la fabricación: orientación de pieza e incluso adición de material de soporte si fuera necesario; velocidad de fabricación, tolerancia dimensional de las capas, temperatura de fabricación y cualquier otro parámetro relevante en función de la

tecnología utilizada. Existen una gran variedad de software tanto libres como de pago, por lo general cada máquina tiene el suyo propio o un perfil pre ajustado a sus parámetros en función del material. Controlando estos parámetros podremos también obtener datos como el tiempo de fabricación o la cantidad de material utilizado, fundamentales para la elaboración de presupuestos.

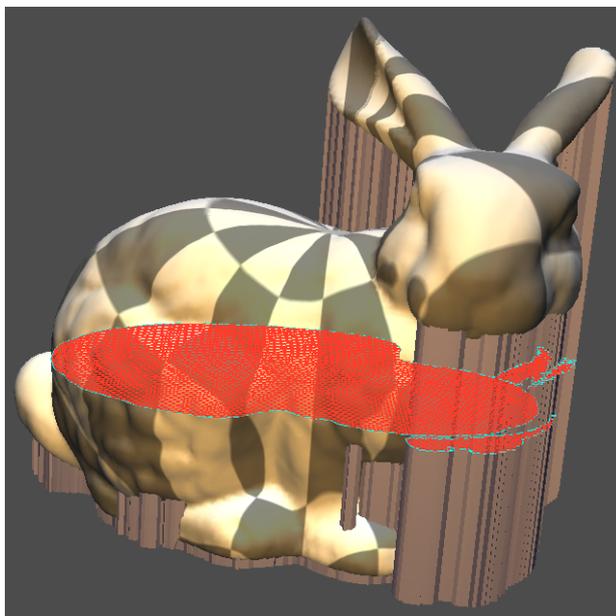


Figura 10. Modelo 3D donde se aprecia la colocación del material de soporte y su proceso de seccionado por capas. Recuperado a partir de http://cybertron.cg.tu-berlin.de/rapid_prototyping_11ws/slicer/slice.png

A pesar de estos pre ajustes, cada tecnología y material tiene sus limitaciones y características, por lo que es fundamental elegir una correcta configuración para no obtener piezas defectuosas. En numerosas ocasiones y a pesar de poder realizar precisas simulaciones, la configuración idónea se consigue a base de ensayo y error.

3.3.4 Fabricación

Una vez obtenido el fichero con toda la información necesaria para la correcta fabricación de la pieza, este es introducido en la máquina para su fabricación. Las máquinas también cuentan con controles para variar los parámetros desde las mismas si fuera necesario. El proceso de adición de capas varía según la tecnología utilizada.

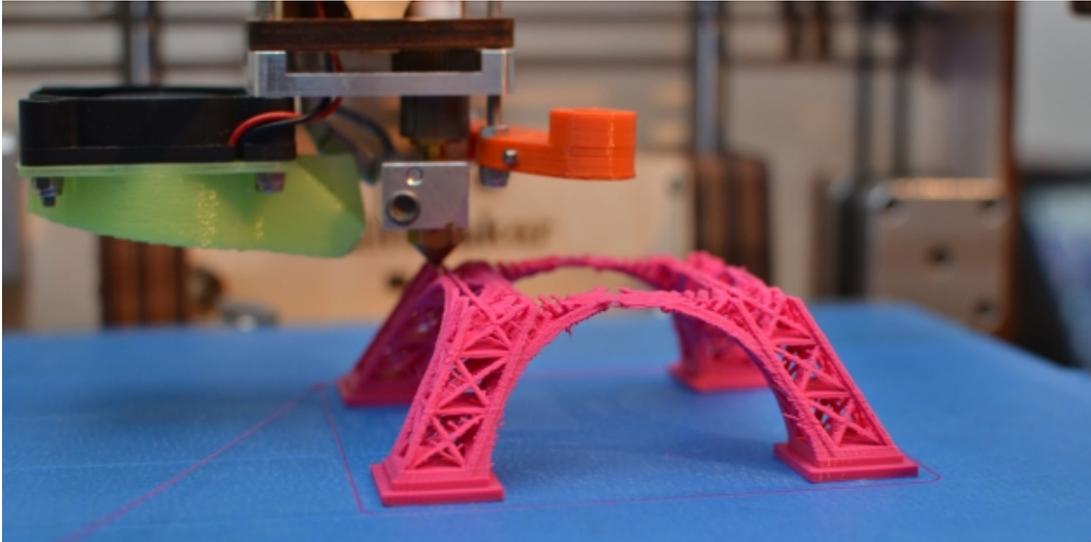


Figura 11. Proceso de fabricación de un modelo de la Torre Eiffel por FDM. Recuperado a partir de <http://www.ratolinformatic.es/wp-content/uploads/2016/03/2.jpg>

3.3.5 Post-Procesado

En función de la tecnología o máquina utilizada será necesario realizar distintas tareas de postprocesado. Cada tecnología tiene su propio sistema de extracción de piezas. como se expondrá en el capítulo 4 del documento.

Una vez extraída la pieza, esta será sometida a diferentes procesos de acabado en función de su finalidad. Por ejemplo en la Figura 11 vemos como el plástico deja pequeños hilos de material que por motivos estéticos podrán ser eliminados una vez finalice el proceso de fabricación.

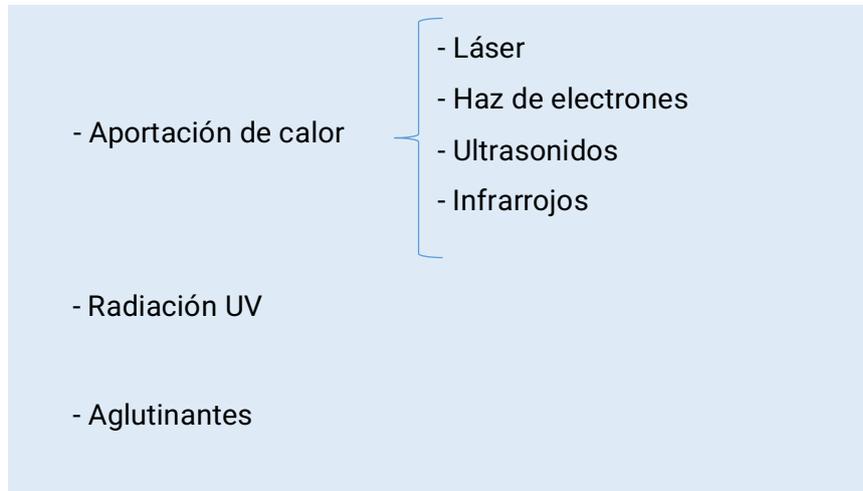
3.3.6 Aplicación

Terminadas todas estas fases ya se obtiene la pieza final para su utilización. Esta puede ser una pieza final o un prototipo que deberá ser sometido a pruebas visuales, de ensamble o a ensayos para comprobar sus propiedades mecánicas.

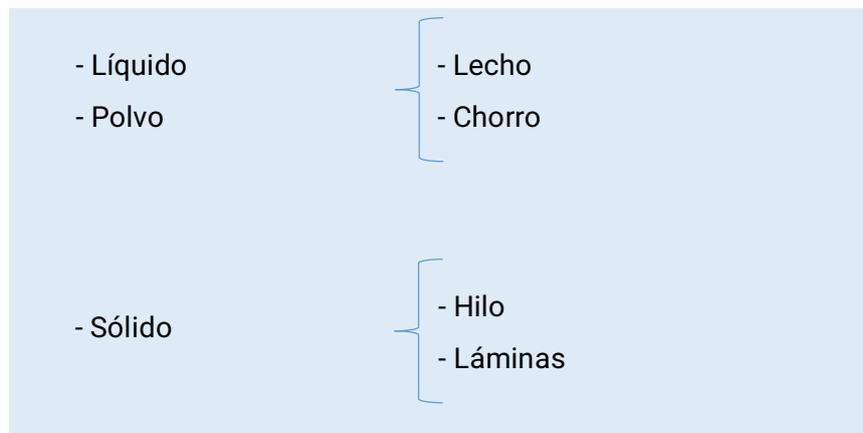
3.4 Clasificación de procesos

El principio de todas las tecnologías de FA es el mismo, la adición de material por capas, por lo tanto la gran variedad de procesos existentes se suele clasificar en basa a:

- La forma para inducir la consolidación del material:



- El formato de aporte del material:



Siguiendo estos parámetros, la normativa ISO/ASTM 52900:2015 propone una clasificación en 7 grupos principales:

Fotopolimerización en tanque (VAT Photopolymerisation)	Acrónimos tecnologías comerciales en cada grupo
Se utiliza un tanque de polímero fotocurable en estado líquido, este se va endureciendo bajo la acción de la luz ultravioleta, que va incidiendo de manera localizada para generar la geometría del modelo.	- SLA - DLP
Chorro de material (Material Jetting)	
El funcionamiento es similar al de una impresora de tinta convencional, el material es inyectado a chorro por el cabezal en la plataforma de construcción de manera selectiva para conformar el objeto	- DOD (drop on demand) - Inkjet Printing
Extrusión de material (Material Extrusion)	
En este proceso, un termoplástico es extruido a través del extrusor del cabezal sobre la plataforma de fabricación. El propio calor del material al ser extruido es el que consolida la adhesión de las capas.	- FDM - FFF - PJP
Fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion)	
Las partículas del lecho de polvo son fundidas de manera selectiva mediante la energía térmica proveniente de la incidencia de un láser.	- DMLS - EBM - SHS - SLM - SLS
Chorro de aglutinante (Binder Jetting)	
Un aglutinante líquido es inyectado a chorro en un lecho de polvo de manera selectiva para formar y adherir las capas. También permite inyectar tinta para aportar color.	- 3DP
Laminación de hojas (Sheet Lamination)	
Láminas de material son unificadas para formar el objeto. Existen varias tecnologías en función del método utilizado para unir estas láminas.	- LOM - UAM
Deposición de energía dirigida (Directed Energy Deposition)	
Este proceso típicamente utilizado para metales, utiliza la focalización de energía térmica para fundir el material a la vez que se deposita, permitiendo así la formación y unión de las capas.	- LMD

Estas son las 7 categorías principales en las que se pueden clasificar las tecnologías de FA, en el próximo capítulo (4) se hará un análisis en profundidad tanto de las principales categorías como de los procesos asociados a las mismas.

3.5 Ventajas y Desventajas de FA

3.5.1 Ventajas

Comparando la Fabricación Aditiva con procesos de fabricación tradicionales, podemos apreciar una serie de ventajas, comunes a todas las tecnologías, competitivas que hacen que sean de vital interés para la industria. Una de las principales es la posibilidad de producir **piezas muy complejas sin sobre coste** (Figura 12). Esto se debe a la capacidad de producir directamente las piezas desde el CAD, simplificando la planificación del proceso, **sin necesidad de** fabricar **utilajes**, dividir el proceso en varias fases, utilizar diversa maquinaria y su consiguiente personal cualificado. Además en ocasiones estas piezas serían directamente imposibles de fabricar por métodos convencionales.

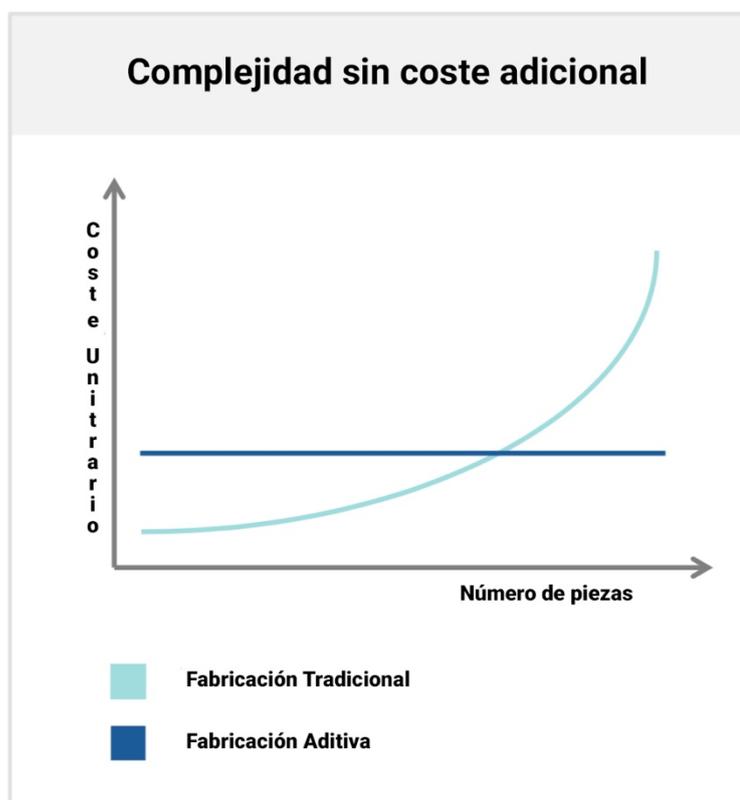


Figura 12. Adaptada de la imagen original de [11]

Esta capacidad se traduce en una **libertad en el diseño** sin precedentes. Se pueden hacer geometrías más orgánicas y ergonómicas. Se pueden representar modelos matemáticos de manera fiel y sin restricciones. Por añadidura, se pueden fabricar **piezas personalizadas** o piezas fácilmente escalables gracias al diseño paramétrico.

Por otro lado, no sólo se puede variar el diseño sino su construcción, variando el grosor de las paredes o la estructura interna de las mismas. Esto consigue **optimizar el material y sus capacidades mecánicas al máximo**.

Siguiendo con la optimización, estas tecnologías permiten **producir mecanismos de manera directa** o incluso **reducir el número de piezas** en los mismos. Asimismo se pueden fabricar **piezas multimaterial**, consiguiendo integrar circuitos en piezas macizas, o piezas con una estructura interna muy resistente y un tacto gomoso en su exterior, por ejemplo. En definitiva permite la innovación.

A esto hay que sumarle una **producción mínima de desechos** ya que el material utilizado es el necesario para la producción, obteniendo pocos desechos de los postprocesados, siendo en muchas ocasiones reutilizables.

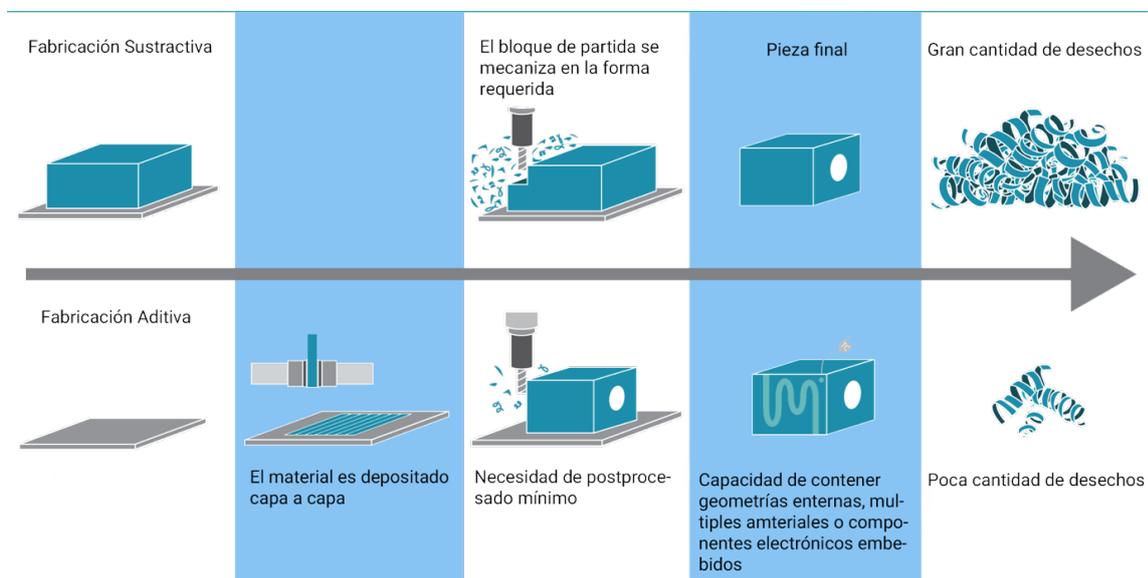


Figura 13. Ventajas de FA frente a FS. Generada a partir de una imagen original de Fabrisonic. Recuperada a partir de <https://3dprint.com/44405/fabrisonic-am-milling-process/>

Todas estas ventajas se traducen principalmente en una **reducción del "time to market"**, debido a la facilidad de realización de prototipos y posibilidad de ajustar el modelo 3D hasta llegar al producto final. Otro punto ventajoso para acortar el tiempo de salida al mercado es la posibilidad de reducir los pasos en la cadena para la producción final.

Así mismo, permite rentabilizar la **fabricación de series cortas**, sin economía de escalas, ya que el coste productivo siempre es el mismo independientemente del número de piezas realizadas. Sin embargo esto puede ser precisamente un contrapunto.



Figura 14. Adaptada de la imagen original de [11]

Otro de sus principales puntos fuertes es la capacidad de poder ofrecer un servicio postventa sin fecha de caducidad, ya que a pesar de que la pieza esté descatalogada, basta con recuperar el archivo CAD de la base de datos y volver a producir la pieza de repuesto. Pero esto no sólo se queda ahí, permite a las empresas dar un paso más para convertirse en industrias 4.0, estando conectadas a nivel global y teniendo capacidad de automatización. Por ejemplo, una empresa alemana con varias sedes a lo largo del globo, tiene sus archivos en la nube, cuando un cliente solicita una pieza en China y otro en EE.UU, las sedes de los respectivos países descargan el archivo

y lo fabrican in situ, ahorrando así costosas tasas de transporte transoceánicas, coste de almacenaje y acortando los tiempos de entrega.

Por su puesto, otra de las principales ventajas es la democratización de la fabricación a nivel del consumidor. Ya que debido a la incursión de las máquinas FA de bajo coste es y será cada vez más común encontrar estas máquinas en las casas. Esto que otorga la capacidad al consumidor de producir sus propias piezas, dando lugar a nuevas oportunidades de mercado como la venta online de ficheros CAD.

3.5.2 Desventajas

A pesar de suponer una gran cantidad de ventajas, y parecer sobre el papel mucho más viables que los procesos de fabricación convencionales, a día de hoy los procesos de fabricación aditiva cuentan con una serie de desventajas o limitaciones que hacen que su elección sea la adecuada según el caso particular. Hasta que estos problemas no sean resueltos no veremos una imposición de estas tecnologías frente a las convencionales, es por ello que, en numerosas ocasiones su uso es combinado como se amplía en el capítulo 5 de este documento.

La principal limitación es su **baja capacidad productiva**. Como se comentó anteriormente la FA no permite la economía de escala, lo que hace que su precio sea muy elevado para la producción de grandes series de piezas.

A pesar de reducir las etapas del proceso productivo y conseguir recortar mucho tiempo en la producción de prototipos, el proceso de fabricación en si es muy lento. Mientras que por inyección se pueden producir piezas en cuestión de segundos estas podrían tardar horas por fabricación aditiva. Por lo que los **ratios de producción** son **bajos**. Además de ser una desventaja, la velocidad tiene una incidencia directa en la calidad del acabado. Ya que al ser un proceso de producción por capas, cuanto menor sea el espesor de las mismas mejor será el acabado superficial. Por tanto si se quiere mejorar el acabado superficial se requerirá de capas más finas, lo que se traduce en la necesidad de un mayor número de capas para generar la geometría y por tanto el proceso requerirá más tiempo.

El acabado superficial también es por lo general un inconveniente. La calidad del mismo variará según la tecnología utilizada, los parámetros, el material y la geometría a fabricar. Pero por lo general todas **requieren de postprocesado** para ser extraídas de la

base de fabricación. En caso de requerir material de soporte, su eliminación no es siempre sencilla, por ello se están desarrollando materiales de soporte hidrosolubles.

También existen **restricciones en el tamaño de fabricación**, ya que estará limitado al tamaño de la plataforma de fabricación. En la actualidad existen máquinas con volúmenes de fabricación superiores a los 216 metros cúbicos [14], ya que las compañías desarrollan maquinaria en función de sus necesidades. Pero por lo general los volúmenes de fabricación no son muy grandes, ya que para obtenerlos la propia maquinaria deberá de tener unas dimensiones acorde. A parte de limitaciones en el tamaño máximo, también las hay para el tamaño mínimo. Están directamente relacionadas con las capacidades físicas de la máquina como el espesor mínimo de capa.

A su vez, la **necesidad de un formato determinado y la compatibilidad limitada con según que materiales** por parte de las diferentes tecnologías hace que el precio de los mismo se encarezca.

Así mismo, la propia **inmadurez y falta de desarrollo** de las tecnologías son un gran hándicap. Esto propicia un desconocimiento profundo del comportamiento anisotrópico de los materiales y por tanto el resultado no es tan controlable y homogéneo como en los procesos tradicionales.

Este último punto propicia que todavía no se haya desarrollado el **Sistema de Normalización** pertinente. Resultando en una ralentización de la expansión de estas tecnologías, lo que encarece los precios tanto de la maquinaria como de los materiales.

A modo de resumen, en el siguiente cuadro comparativo se pueden apreciar las principales ventajas y desventajas de la fabricación aditiva frente a la fabricación tradicional.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> -Piezas muy complejas sin sobrecoste -Libertad de diseño -Piezas personalizadas -Optimización del material -Capacidad de innovación -Reducción del “time to market” -Rentabilidad de fabricación en series cortas -Acelerador para la Industria 4.0 -Democratización de la fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja capacidad productiva - Bajos ratios de producción - Requerimiento de postprocesado - Limitaciones de tamaño de fabricación - Limitación de materiales y formatos - Inmadurez y falta de desarrollo - Falta de Sistema de Normalización

Referencias

- [1] González, H., & Vicente, J. (2012). Desarrollo de un procedimiento de diseño óptimo para fabricación de componentes mediante tecnologías aditivas. Recuperado a partir de <https://riunet.upv.es/handle/10251/17874>
- [2] Norma ISO/ASTM 52900:2015. Principios generales para la fabricación aditiva, Terminología. (2015). Recuperado 17 de mayo de 2016.
- [3] Additive Manufacturing: SASAM Standardisation Roadmap (2015).
- [4] Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2010). Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. New York [etc.]: Springer. Recuperado a partir de <http://ulpgc.summon.serialssolutions.com/>
- [5] Mahamood, R. M., Akinlabi, E. T., Shukla, M., & Pityana, S. (2014). Revolutionary additive manufacturing: an overview. Recuperado a partir de <https://ujdigispace.uj.ac.za/handle/10210/13128>
- [6] STL File Format: How to Prepare STL Files. (s. f.). Recuperado a partir de <https://www.stratasysdirect.com/resources/how-to-prepare-stl-files/>
- [7] Dennis Bella. (2015, julio 21). 3D printing file format cage match: AMF vs. 3MF. Recuperado a partir de <http://blog.grabcad.com/blog/2015/07/21/amf-vs-3mf/>
- [8] Norma ISO/ASTM 52915:2015. Especificaciones para el formato de archivo de la fabricación aditiva (AMF), versión 1.2 . (2015). Recuperado 27 de mayo de 2016.
- [9] Introducción a la Fabricación Aditiva - Adimen Lehiakorra. (s. f.). Recuperado 8 de abril de 2016, a partir de <http://www.adimenlehiakorra.eus/es/contenidos>
- [10] The 7 categories of Additive Manufacturing | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>
- [11] Create value with 3D printing - Additively - your access to 3D printing. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de <https://www.additively.com/en/create-value-with-3d-printing>

[12] Manuel Porras Rodríguez. (2012, Agosto). ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE TÉCNICAS DE FABRICACIÓN ADITIVA PARA APLICACIÓN EN DIFERENTES SECTORES INDUSTRIALES. Recuperado a partir de <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/50a4d66bb89d5.pdf>



CAPÍTULO 4

Análisis en profundidad de las 7 categorías de FA

Capítulo 4 Análisis en profundidad de las 7 categorías de FA

Como ya se ha comentado la ASTM propone en conjunción con ISO, bajo la norma ISO/ASTM 52900:2015, una clasificación en 7 categorías principales. En este capítulo se desarrollará en profundidad cada una de estas categorías. Además de explicar las diferencias entre las tecnologías comerciales asociadas dentro de estas categorías, también se aportará –al final de cada grupo- un ejemplo de maquinaria y casos de usos representativos con el objetivo de lograr una mejor comprensión y familiarización con la FA y sus posibilidades. Se ha tomado como base para la redacción de este capítulo las referencias [1-4].

4.1 Fotopolimerización en tanque (VAT Photopolymerisation)

Definición según la ISO/ASTM 52900:2015: proceso de fabricación aditiva en el cual un fotopolímero líquido en un tanque es selectivamente curado por la acción de luz que activa la polimerización.

Descripción

Este proceso, denominado en inglés VAT photopolymerisation, utiliza un tanque lleno de resina de fotopolímero en estado líquido en el que el modelo es construido capa a capa. Para ello un haz de luz ultravioleta es proyectado para curar o endurecer la resina donde es requerido. La plataforma va descendiendo a medida que se endurece cada capa. [4]

Debido a la utilización de un material en estado líquido, este no puede actuar como soporte del objeto construido por lo que la estructura de soporte tiene que ir construyéndose a lo largo del proceso.

Esquema de funcionamiento

Dentro de esta categoría podemos encontrar dos tecnologías comerciales principales que se basan en este principio.

La **estereolitografía**, en inglés **SLA** (stereolithography) es la primera de las tecnologías de FA inventada. Lo hizo Charles Hull 1983, que comenzó a comercializar la primera máquina en 1988 tras fundar 3DSystems. Esto hace que sea una de las tecnologías más extendidas a nivel industrial.

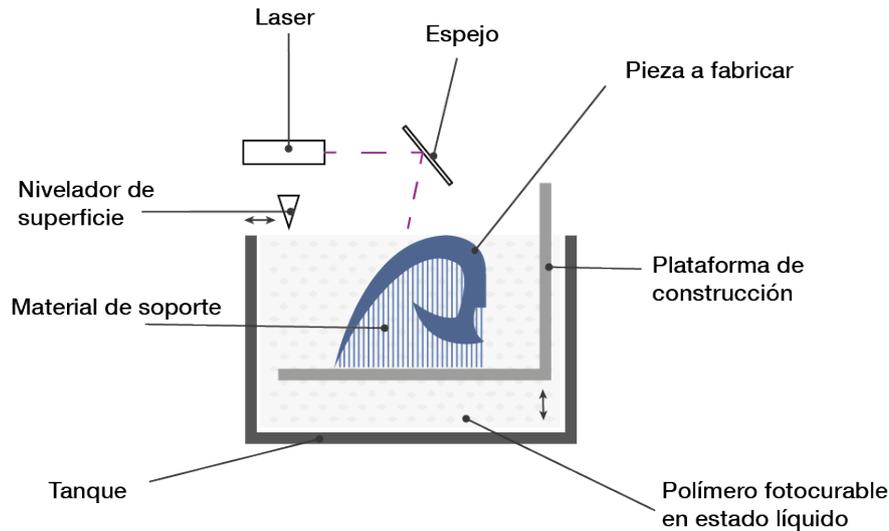


Figura 15. Esquema de funcionamiento del proceso de fotopolimerización en tanque. Diseño planteado a partir de [3]

1. La plataforma comienza a descender en el interior del tanque.
2. El cabezal se desplaza y utiliza el mecanismo de espejos para proyecta el haz de luz ultravioleta que va curando la resina capa a capa. La plataforma sigue descendiendo y las capas se siguen formando una encima de la otra.
3. Algunas máquinas usan una cuchilla para asegurar que la superficie no tiene imperfecciones antes de generar la siguiente capa.
4. Una vez completado el proceso, el tanque es drenado y se puede extraer la pieza.

Por su parte la **DLP (Digital Light Processing)** fue desarrollada en 1996 por Texas Instruments, su funcionamiento es muy similar al de una máquina SLA, la diferencia es que la curación de la resina se produce al proyectar una imagen mediante tecnología DLP. Esta es creada por espejos microscópicos en una matriz sobre un chip semiconductor, que proyecta de manera homogénea las imágenes en el espacio y el tiempo para ir endureciendo las capas. La necesidad de incorporar un proyector hace que por lo general las máquinas tengan dimensiones mayores a las máquinas SLA con el mismo volumen de impresión.

Otra de las diferencias con respecto a la SLA es que la plataforma asciende tras generar una capa, lo que hace que la pieza se construya boca abajo. Esta distribución consigue prescindir de dispositivo para limpiar las imperfecciones entre la generación de una capa y la siguiente. El esquema de funcionamiento es el siguiente:

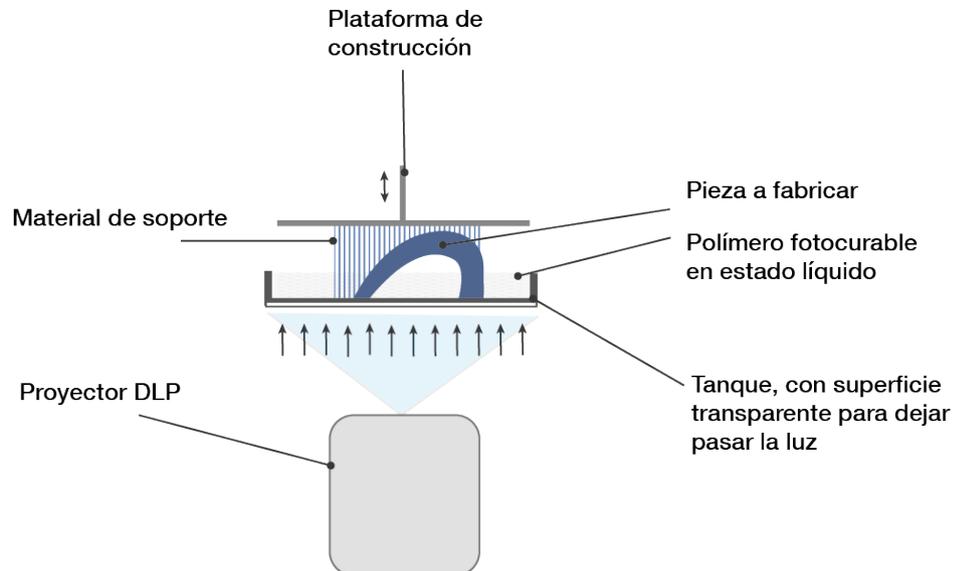


Figura 16. Esquema de funcionamiento del proceso de DLP. Diseño planteado a partir de [3]

1. La plataforma de construcción está en contacto con la cuba donde se encuentra la resina líquida. La base de la plataforma es un cristal recubierto por una sustancia que permite la adhesión entre la resina y la plataforma.
2. La resina se expone a la imagen proyectada por el proyector DLP desde el fondo de la máquina. Esto permite curar el material de una capa de una sola vez. Por lo que el tiempo de fabricación depende de la altura de los objetos.
3. Una vez generada la capa, la plataforma sube, una nueva cantidad de resina se aporta a la cuba y la plataforma vuelve a bajar para generar una nueva capa.
4. Esto se repetirá hasta generar la pieza final.
5. Una vez terminada la pieza se extrae y al igual que con pasa con la LSA, por lo general la piezas se siguen curando en un horno para alcanzar una completa polimerización y así obtener las propiedades deseadas. En caso de haber requerido de estructura de soporte, esta se eliminará previamente a la curación en el horno de manera mecánica o química.

El funcionamiento del proyector DLP es el siguiente, cada capa es representada por una máscara digital transferida en formato bitmap. Los espejos giran entre la posición de encendido y apagado para representar los datos del archivo.

Por lo general tanto en SLA como en DLP, tras finalizar el proceso, las piezas se siguen curando en un horno para alcanzar una completa polimerización y así obtener las propiedades deseadas. En caso de haber requerido de estructura de soporte, esta se eliminará previamente a la curación en el horno de manera mecánica o química.

Ahora podrá ser sometida al tipo de proceso de acabado superficial deseado, tanto de eliminación de material (pulido, lijado...) o de adición de material (pintado, revestimiento...)

Además, la propia naturaleza de los materiales hace que sus propiedades no se prolonguen en el tiempo. Por lo que hay que tener cuidado a su exposición a determinadas fuentes de radiación, por ejemplo el sol, ya que hacen que se produzca un efecto de curado continuo afectando de inmediato las características mecánicas de la pieza.

Materiales

Estos procesos sólo son compatibles con resinas fotocurables mediante la acción de rayos UV.

Ventajas

- Buena tolerancia y buen acabado superficial.
- Proceso relativamente rápido con respecto a los de otras categorías.
- Normalmente tienen áreas de construcción grandes.

Además de las ventajas asociadas a las tecnologías de fotopolimerización, las ventajas de los procesos DLP frente a los SLA son:

- Mayor precisión.
- Mejor resistencia mecánica por lo que se obtienen piezas funcionales.
- El tiempo de construcción no depende de la cantidad de piezas a producir.

Concretamente la construcción de forma invertida permite también:

- Menor necesidad de soporte.

- Prescindir de la pieza que nivela y suaviza las capas tras su formación.

Desventajas

- Son procesos relativamente caros.
- Requiere de largos tiempos de postprocesado y extracción.
- Limitados a sólo materiales fotopoliméricos.
- Necesitan tiempo de postcurado para mejorar su propiedades estructurales.
- Cuanto más alta sea al pieza más largo y costoso será el proceso.

Limitaciones del proceso y condiciones de diseño

Una de las principales limitaciones a tener en cuenta es precisamente el riesgo al fotocurado de manera accidental. Para evitar posibles fallos en la fabricación el polímero seleccionado debe cumplir con estos requisitos:

- Alta reactividad a la radiación láser
- Baja contracción.
- Limitada toxicidad.
- Limitada volatilidad.
- Bajo nivel de energía de activación.
- Viscosidad estable y controlable.
- Alta reactividad a la radiación UV.
- Buenas propiedades mecánicas después de la fotopolimerización.

Además el hecho que el curado no sea completo durante el proceso hace vital que se conozca la cantidad de material que podrán soportar las capas inferiores sin deformarse.

Otra de las condiciones a tener en cuenta es la relación entre la calidad del objeto y su orientación de construcción en la máquina. Para obtener el mejor acabado se recomienda optimizar la colocación para que no haya cambios bruscos en la sección que corresponde a cada capa, ya que de lo contrario se apreciará el efecto escalonado. También es importante conocer los esfuerzos a los que se verá sometida la pieza para así construirla de manera que la distribución de las capas esté orientada a soportar mejor dichos esfuerzos. Por último destacar que es más caro construir capas en altura

que de manera horizontal a lo largo de todo el tanque, por lo que las piezas altas serán más caras.

DLP

Las características que ofrecen tanto SLA como DLP varían en función de la máquina y el material utilizado, por tanto se recomienda consultar la ficha técnica del fabricante para comprobar si la máquina cuenta con características como la tolerancia o el volumen de construcción que se requiere.

Uno de los principales fabricantes de máquinas DLP es **Envisiontec**. La **Perfactory 4DDP** es una de sus máquinas más avanzadas. Cuenta con:

- Volumen de fabricación: **160x100x180 mm.**
- Resolución de capa de: **entre 20 y 150 µm.**



Figura 17. Perfactory 4DDP. Recuperado a partir de <http://envisiontec.com/3d-printers/perfactory-mini-family/p4-digital-dental-printer/>

Cuenta con una variedad de materiales compatibles que va desde materiales con propiedades similares al ABS, hasta materiales con alta resistencia térmica para el moldeo por colada. También puede utilizar materiales biocompatibles, ampliamente solicitados en el sector de la medicina.

Más información acerca de la máquina y los materiales compatibles se puede encontrar en el apartado 2.1 del Anexo II, adjunto al final de esta memoria.

Usos y sectores de aplicación

Las principales aplicaciones para esta tecnología son dos. La fabricación de prototipos debido a la gran precisión y acabado superficial que permite. Sin embargo estos prototipos están más indicados para pruebas visuales y de ensamble (figura 18, superior-izquierda). También existen materiales capaces de obtener buenas propiedades mecánicas, pero no será un resultado comparable al obtenido por procesos tradicionales u otros procesos de FA.

Por otro lado para obtener piezas patrón para técnicas de copiado como R.I.M y colada en vacío. Esto se debe una vez más a su alta precisión y acabados superficiales (figura 18, superior-derecha).

En cuanto a los sectores de aplicación, encontramos su utilización para generar prototipos en numerosas industrias como la aeroespacial, la electrónica o el sector de la automoción. La capacidad de utilizar materiales biocompatibles hace que destaque su uso en el sector médico, donde se fabrican férulas quirúrgicas y réplicas mandibulares para guiar en una operación. También se emplean para producir audífonos a medida (figura 18, inferior-izquierda).

A su vez, en el sector de la joyería se utilizan para generar los modelos base para generar los moldes y hacer la colada en vacío. (figura 18, inferior-derecha).



Figura 18. Imágenes de los ejemplos mencionados. Ordenadas de izquierda a derecha en el orden en el que son mencionados en el documento. Recuperado a partir de <http://envisontec.com/3d-printing-materials/>

4.2 Chorro de material (Material Jetting)

Definición según la ISO/ASTM 52900:2015: proceso de fabricación aditiva en el cual gotas de material son selectivamente depositadas.

Descripción

Estos procesos, denominados en inglés Material Jetting processes , construyen los objetos de una forma similar a las impresoras de tinta convencionales. Un cabezal de impresión deposita de manera selectiva el material en estado líquido en la plataforma de construcción. Estos materiales son también fotopolimerizables por lo que una luz UV los va curando a medida que se inyectan capa a capa. Estas máquinas utilizan varios cabezales de impresión por lo que permiten usar multitud de materiales en un mismo proceso. Sin embargo estos materiales deben ser obviamente fotocurables por tanto, sólo permite utilizar materiales plásticos y resinas.

Esquema de funcionamiento

Además de las denominaciones remarcadas con anterioridad a estos procesos también se les conoce por las marcas registradas por los principales fabricante; *Polyjet* de *Stratasys* y *MJM (Multi-jet modeling)* o *Thermojet* de *3DSystems*. Las diferencias son pequeñas variaciones en las patentes y el método que emplean para inyectar el material.

Por un lado encontramos el proceso ***Inkjet printing*** o de chorro de tinta. Este sistema es continuo. El material innecesario que no es curado se puede reciclar.

Por otro lado, encontramos el **Dropo on Demand (DOD)**, que se traduce en goteo bajo demanda. Esto significa que el material es dispensado sólo cuando es requerido en forma de gotas en lugar de a chorro, permite una mayor precisión y optimización del material, por contra es más lento.

Una vez revisada la diferencia entre ambas técnicas, el esquema de proceso es común:

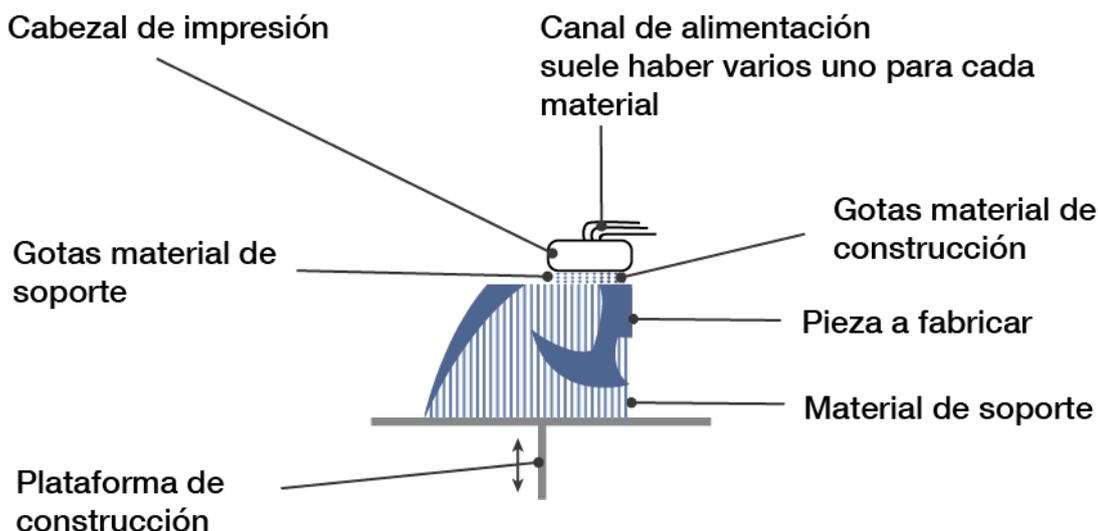


Figura 19. Esquema de funcionamiento Chorro de material. *Diseño planteado a partir de [3]*

1. Se prepara el archivo CAD para determinar los parámetros de fabricación, así como el material con el que se va a fabricar cada parte o pieza. Los cabezales de impresión se colocan sobre la plataforma de construcción.
2. El material se deposita desde el cabezal por uno de los dos métodos, sobre la cama de construcción. A medida que es depositado se cura mediante al acción de la luz ultravioleta.
3. La base de construcción desciende y se repite el proceso para seguir construyendo capa a capa la geometría deseada.
4. Una vez construida la pieza se extrae de la plataforma y se puede realizar el postprocesado.

En la actualidad todas las máquinas de chorro de material cuentan con un cabezal para la construcción del material de soporte. Este material suele ser fácilmente eliminable con agua a presión, por procesos químicos que no dañan el resto de la pieza o incluso hidrosolubles. Al margen de este sencillo postprocesado, se puede considerar que -gracias a la gran precisión dimensional, la posibilidad de utilizar distintos materiales y ajustar sus parámetros para obtener distintos acabados superficiales y propiedades mecánicas- las piezas obtenidas con estos procesos son totalmente funcionales una vez extraídas de la máquina.

Materiales

Los materiales disponibles para estas tecnologías son polímeros o resinas fotocurables con una gran variedad de propiedades físicas y mecánicas. Además, estos se pueden combinar para obtener mejores propiedades.

Ventajas

Esta tecnología cuenta con una gran variedad de ventajas que la hacen muy interesante dentro de diversos sectores.

- Gran libertad geométrica y excelente grado de precisión.
- Gran acabado superficial.
- Alta velocidad de fabricación, en 15mm³ la tecnología es la más rápida, a medida que el volumen de fabricación aumenta porque los cabezales tienen que recorrer un espacio mayor.
- El material de soporte se genera con otro material fácilmente eliminable.
- Permite gran variedad de materiales poliméricos con diferentes propiedades disponibles.
- Permite construir de una sola vez piezas multimaterial y multicolor. Conjuntos ensamblados con cada una de sus piezas con las propiedades y colores requeridos.
- No requiere de fotocurado posterior.

Desventajas

Entre las desventajas destaca:

- La incapacidad de utilizar materiales metálicos.
- La necesidad de utilizar diferentes materiales para obtener diferentes colores en lugar de utilizar el mismo con diferentes pigmentos hace que la inversión en material sea mayor.
- A menudo requiere material de soporte que habrá que eliminar posteriormente.

Limitaciones del proceso y condiciones de diseño

Esta categoría de tecnologías no cuenta con prácticamente restricciones a la hora de utilizarse dado que el material de soporte es fácilmente eliminable. Además la orientación de las piezas a la hora de fabricarse no afecta prácticamente al resultado en comparación con otras tecnologías. Si bien, cabe destacar que las máquinas ofrecen mayor resolución en el eje z.

Polyjet

Uno de los principales exponentes en esta categoría es **Stratasys** con su tecnología Polyjet. El fabricante cuenta con una amplia gama de maquinaria. Contando con máquinas de escritorio, máquinas orientadas al prototipado y máquinas con mayores capacidades productivas. Las características que ofrecen varían en función de la máquina y el material utilizado, por tanto se recomienda consultar la ficha técnica del fabricante para comprobar si la máquina cuenta con características como la tolerancia o el volumen de construcción que se requiere.

Se ha seleccionado a modo de ejemplo una máquina orientada a la producción, la **Object1000 Plus**. Cuenta con:

- Volumen de fabricación: **1000x800x500 mm.**
- Resolución de capa de: **hasta 16 µm.**
- Materiales utilizados durante la impresión: **6 cartuchos, posibilidad de combinar hasta 3 materiales y utilizar 2 combinaciones diferentes de manera simultánea.**



Figura 20. Object1000Plus y esquema de funcionamiento. Recuperado a partir de <http://www.stratasys.com/es/impresoras-3d/production-series/objet1000-plus>

Tal y como se ha explicado, estas tecnologías permiten combinar materiales para mejorar sus parámetros. Stratasys llama a esto materiales digitales. Por ejemplo su ABS Digital se puede modificar para obtener una mayor durabilidad y distintos valores de Shore A desde 27 a 95. Otro ejemplo, (figura 21, superior-izquierda) es poder combinar materiales con propiedades distintas, como un material flexible y translúcido como materiales opacos y de diferentes colores. Las posibilidades son prácticamente ilimitadas.

Más información acerca de la máquina, los materiales compatibles y sus posibles combinaciones se puede encontrar en el apartado 2.2 del Anexo II, adjunto al final de esta memoria.

Usos y sectores de aplicación

Dadas sus prestaciones y la utilización de material fotocurable para la fabricación es inevitable comparar los procesos de chorro de material con los de fotopolimerización en tanque. Por tanto, sus usos y aplicaciones son prácticamente idénticos, centrándose en la fabricación de prototipos y modelos para colada en vacío.

Sin embargo, la capacidad de ofrecer mejores propiedades mecánicas hace que los procesos de inyección también se utilicen para construir piezas funcionales o hacer ensayos más fiables de los prototipos. Se ha creado un mosquetón de una sola pieza, que se abre gracias a su flexibilidad pero puede soportar cargas superiores a 50 kg (figura 21, superior-derecha).

El hecho de obtener piezas con los materiales, propiedades y colores correspondientes ya ensambladas, combinado con la velocidad de fabricación permite ahorrar muchos postprocesos y tiempo de producción (figura 21, inferior-derecha).

Estas capacidades hace que no sólo sean utilizadas en industrias como la médica o el sector de la joyería, permite que otras industrias como la automovilística o empresas que se dedican a la producción de bienes de consumo (figura 21, inferior-derecha) también saquen partido de estas tecnologías. En definitiva, cualquier sector puede sacar partido de las ventajas que esta categoría ofrece.



Figura 21. Imágenes de los ejemplos mencionados. Ordenadas de izquierda a derecha en el orden en el que son mencionados en el documento. Recuperado a partir de <http://envisontec.com/3d-printing-materials/>

4.3 Extrusión de material (Material Extrusion)

Definición según la ISO/ASTM 52900:2015: proceso de fabricación aditiva en el cual el material es selectivamente dispensado mediante una boquilla u orificio.

Descripción

Estas tecnologías son introducidas al mercado en 1990 por Stratasys, bajo la la marca registrada “Modelado por Deposición Fundida”, FDM en inglés. El término equivalente es el de “Fabricación de Filamento Fundido”, que fue creado por la comunidad RepRap (ver historia de la FA en el Capítulo 2) para disponer de un término libre de licencia. Por su parte, 3D Systems, registro su equivalente como **Plastic Jet Printing**, que se traduce como impresión de chorro de plástico.

En cuanto al funcionamiento, la máquina calienta el filamento de plástico hasta fundirlo para extruirlo por una boquilla extrusora. El plástico es extruido sobre la plataforma de construcción donde se enfría y solidifica adhiriéndose a la capa siguiente, construyendo así la geometría deseada capa a capa.

Esta tecnología es la más extendida a nivel de consumo, donde se conoce coloquialmente y de manera errónea como impresoras 3D. Esto hace que exista una gran variedad de máquinas con diferentes características, pero por lo general están destinadas a utilizar materiales y compuestos poliméricos. Sin embargo, se están desarrollando máquinas capaces utilizar estos procesos con metales.

Esquema de funcionamiento

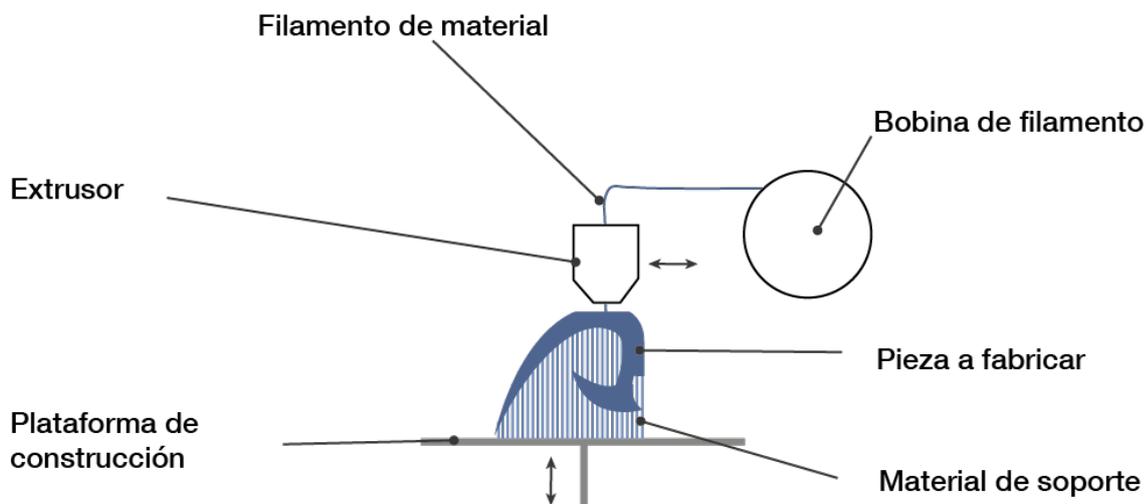


Figura 22. Esquema de funcionamiento de extrusión de material. Diseño planteado a partir de [3]

1. Dependiendo de la máquina el cabezal y la plataforma de construcción se mueven para conseguir movimiento en los tres ejes.
2. El cabezal, calienta el filamento para así extruirlo y depositar el material para crear una capa del objeto. El cabezal se alimenta del filamento de manera continua para seguir creando las capas.
3. Una vez depositada la primera capa, las siguientes se añaden una encima de la otra. Las capas se adhieren al solidificarse debido a que el plástico se encuentra en estado fundido.
4. Una vez terminado el proceso, se puede extraer la pieza de la plataforma de construcción, para pasar al postprocesado.

En el postprocesado, se debe eliminar el material de soporte si ha sido necesario su utilización, así como los posibles desperfectos y excesos de material en la base donde la pieza estaba adherida a la plataforma de construcción. Por lo general se suele crear una capa base más fina denominada "raft" para que su eliminación se sencilla y deje un buen acabado.

Además en función del material utilizado y las características y parámetros de la máquina el acabado variará, por lo que posteriormente se podrán someter a procesos de acabado propios de el tipo de material utilizado.

Materiales

Termoplásticos y otros polímeros compuestos para mejorar sus propiedades, con fibras de por ejemplo madera, cobre, fibra de carbono y más. Generalmente en formato filamento.

Ventajas

- Es un proceso altamente extendido y con un precio de entrada bajo.
- Funcionan con materiales estándar por lo que existe una gran variedad de materiales disponibles.
- Las piezas obtenidas presentan propiedades mecánicas similares a las obtenidas por procesos convencionales. También permiten postprocesados .

Desventajas

- Debido a la dirección de construcción de las capas, en función de la resolución de la máquina se podrán apreciar los escalones entre capas.
- A su vez, la dirección de construcción en X-Y hace que la pieza presente anisotropía en Z.
- La calidad y altura de capa de la pieza vendrá definida por el diámetro de la boquilla del extrusor.
- Esto también hace que en comparación con otros procesos la velocidad y precisión de construcción sean inferiores.
- Se requiere controlar constantemente las condiciones de presión durante el proceso, esto es imposible en las máquinas de bajo coste abiertas, lo que se traduce en una peor calidad en la pieza.

Limitaciones del proceso y condiciones de diseño

Como se ha comentado, la dirección de construcción hace que la pieza presente anisotropía en el eje z, por lo que es recomendable posicionar la pieza a la hora de su construcción en función de la dirección en la que va a sufrir los esfuerzos cuando sea utilizada.

Las máquinas también permiten controlar la cantidad y el patrón de relleno, lo que permite optimizar la relación cantidad de material-prestaciones.

Se recomienda evitar voladizos o cualquier estructura que pueda requerir material de soporte, ya que este tendrá que ser removido a posteriori. Actualmente existen máquinas con varios extrusores lo que permite utilizar un material soluble para esta tarea.

Por último, la velocidad de fabricación comprometerá la calidad de la misma.

FFF

El proyecto RepRap, ya comentado con anterioridad, ha sido el principal impulsor de el acercamiento de estas tecnologías al gran público, por ello, estas máquinas son las más representativas dentro de esta categoría. Existen infinidad de modelos, sin embargo, la **BCN3D+** de la empresa **BCN3DTechnologies**, es una máquina con una gran

relación calidad-precio. Este se puede comprar ya montada, o se puede comprar en un kit para que sea el propio consumidor el que la monte, pudiendo así ahorrar dinero y poder realizar modificaciones de una forma más sencilla. Esta máquina cuenta con:

- Volumen de fabricación: **252x200x200 mm.**
- Resolución máxima de capa de: **hasta 0,05 mm.**

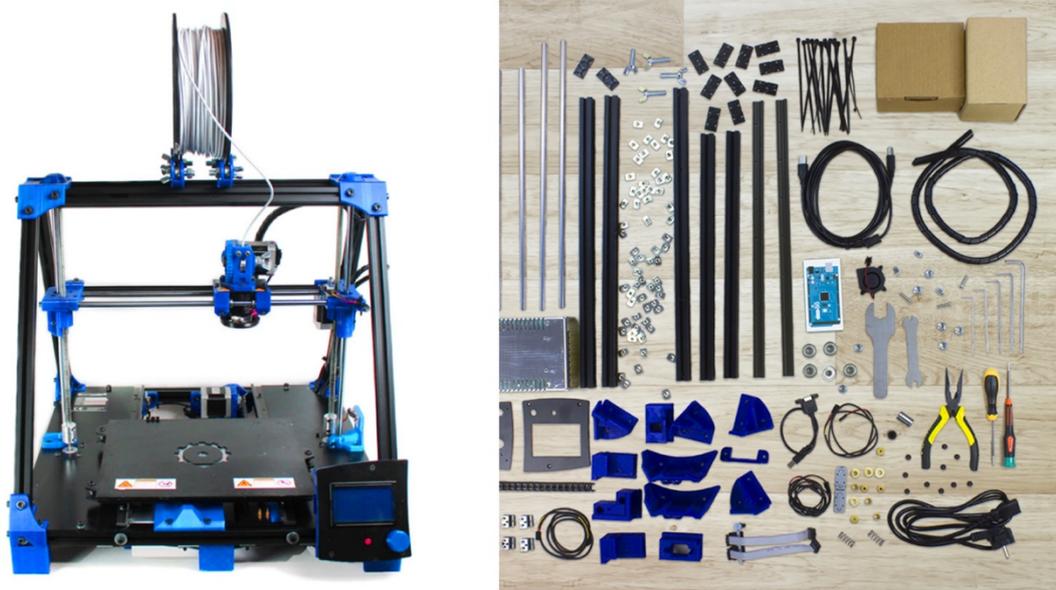


Figura 23. BCN3D+ y kit de montaje. Recuperado a partir de <https://www.bcn3dtechnologies.com/es/catalog/bcn3d-plus/>

La máquina cuenta con una superficie de impresión calefactada que permite la perfecta adhesión de todos los materiales compatibles con estas tecnologías, –PLA, ABS, Nylon, Filaflex...- asegurando la calidad de la pieza.

Más información acerca de la máquina y los materiales compatibles en el apartado 2.3 del Anexo II, adjunto al final de esta memoria.

Usos y sectores de aplicación

Debido a la posibilidad de obtener piezas con características mecánicas similares a las obtenidas por procesos de fabricación de plástico tradicionales, la FFF permite producir series cortas de piezas a un precio más competitivo que por inyección.

Evidentemente también se usan para fabricar prototipos tanto funcionales como visuales, por ejemplo el prototipo de calzado construido con filamento flexible, a la izquierda de la figura 24. Además, para fabricar objetos exclusivos o personalizados. Un

ejemplo son los auriculares DIY de la empresa Print+, que proporcionan los componentes electrónicos del producto y los compradores pueden fabricarse la carcasa y resto de accesorios del color, tamaño y material que elijan (figura 25).



Figura 24. Imágenes de ejemplo. Creación propia

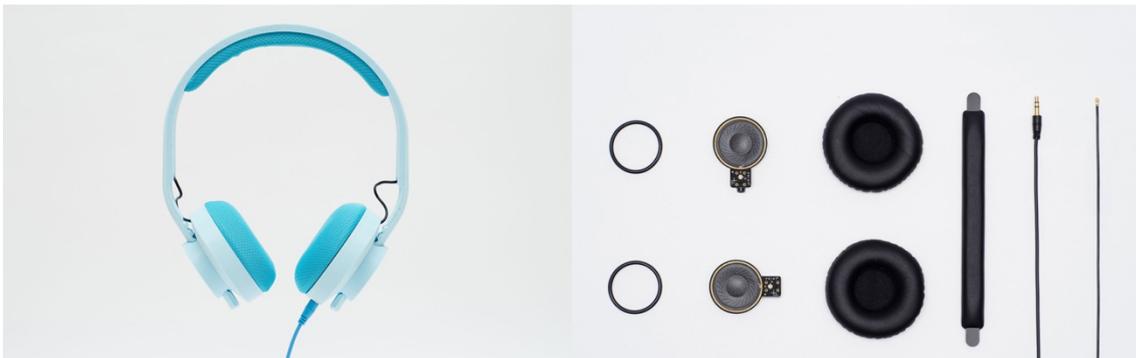


Figura 25. Auriculares DIY de la empresa Print+. Recuperado a partir de <https://ultimaker.com/en/stories/17527-3d-printed-diy-headphones-by-print>

4.4 Fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion)

Definición según la ISO/ASTM 52900:2015: proceso de fabricación aditiva en el cual energía térmica funde de manera selectiva regiones de un lecho de polvo.

Descripción

La fusión de lecho de polvo fue inicialmente desarrollada para materiales poliméricos a mediados de los 80 por Deckard y Beaman. Consiste en la fundición selectiva del material del lecho de polvo, que se irá fusionando y generando el objeto capa.

En función de el método utilizado para fundir el material y la capacidad de materiales a fundir podemos distinguir diversas tecnologías dentro de esta categoría:

MATERIALES POLIMÉRICOS

- **SLS (Selective Laser Sintering):** El sinterizado selectivo laser fue la tecnología pionera y como su nombre indica utiliza un laser para sinterizar el material polimérico.
- **SMS (Selective Mask Sintering):** esta variante utiliza radiación infrarroja para fundir el material, consiguiendo una mayor velocidad y homogeneidad.
- **SHS (Selective Heat Sintering):** esta tecnología utiliza un cabezal con una resistencia térmica para fundir el material polimérico en polvo. Requiere menos energía que el láser pero esto hace que los materiales utilizados tengan propiedades mecánicas peores por lo que su uso está destinado prototipos más que a pizas funcionales.

MATERIALES METÁLICOS

- **DMLS (Direct Metal Laser Sintering):** Es el homólogo a el SLS, pero en este caso el material utilizado es metálico.
- **SLM (Selective Laser Melting):** esta variante de SLS es más rápida pero requiere del uso de un gas inerte lo que la hace más cara.
- **EBM (Electro Beam Melting):** Por su parte esta tecnología utiliza un haz de electrones.

Esquema de funcionamiento

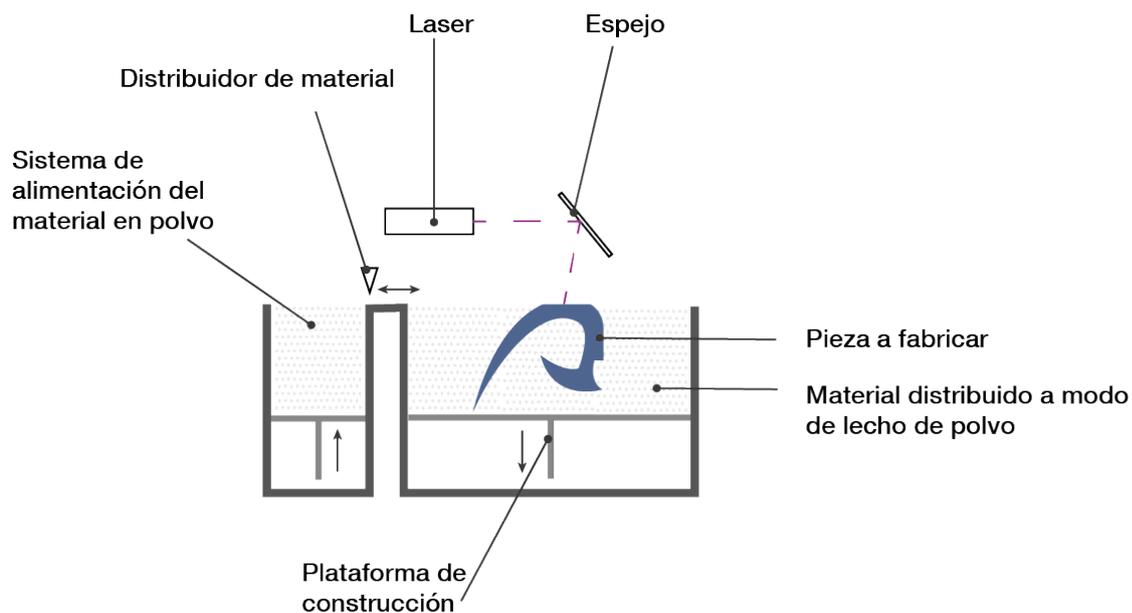


Figura 26. Esquema de funcionamiento fusión de lecho de polvo. Diseño planteado a partir de [3]

1. Para comenzar el material en formato de polvo es distribuido en una capa sobre la plataforma de construcción. Esta está a una temperatura próxima a la de fusión del material para evitar un cambio muy brusco de temperatura y así conseguir resultados más homogéneos y rápidos.
2. El laser u otra de las técnicas utilizadas funde de manera selectiva para generar la primera capa del objeto.
3. Una nueva capa de material se distribuye sobre la capa recientemente creada.
4. El proceso se repite hasta construir el objeto.

Una vez terminada la pieza, se extrae de la máquina y se limpia el exceso de polvo restante sobre la geometría.

Materiales

Existen tecnologías para cubrir una amplia gama de materiales, siempre que sea en formato polvo. Dentro de los poliméricos encontramos Nylon, PA, PP, TPU. En cuanto a los metales, aleaciones de: titanio, aluminio, acero inoxidable, cromo y cobre.

Ventajas

- Son procesos relativamente económicos.
- Tanto los procesos para plásticos como para metales, son competitivos en series cortas frente a los procesos de fabricación tradicionales, obteniendo piezas con propiedades mecánicas muy similares.
- Existen procesos para tener una amplia variedad de materiales.
- No requieren de material de soporte.

Desventajas

- Son procesos relativamente lentos.
- Suponen un consumo energético alto.

Limitaciones del proceso y condiciones de diseño

Es importante conocer cuales son los requerimientos de la pieza y el material que se deseada utilizar para elegir la tecnología correcta dentro de esta categoría.

Ninguna requiere de material de soporte, sin embargo es importante manejar de manera adecuado los tiempos de enfriamiento entre capa para evitar inconsistencia en las propiedades del material en determinadas zonas. Además en muchas ocasiones las piezas obtenidas no tienen la densidad estructural requerida por lo que es necesario someterlas a procesos de maduración.

EBM

Como tecnología destacada en esta categoría cabe resaltar el EBM, por su capacidad para producir piezas metálicas. Esta tecnología utiliza un haz de electrones a alta potencia para fundir el material. Requiere de una atmosfera de vacío y altas temperaturas para su correcto funcionamiento. Además, esto permite obtener piezas de altas propiedades y acabado superficial, lo que la hace ideal para campos como la medicina o la aeronáutica.

La empresa **Arcam** cuenta con una alta reputación en la industria. Su tecnología permite utilizar varios haces de electrones de manera simultánea lo que permite mejorar

el acabado superficial, precisión y velocidad de producción. Dentro de su catálogo se puede encontrar la **Arcam Q10plus**. Cuenta con:

- Volumen de fabricación: **200x200x180 mm**.
- Diámetro mínimo del haz: **140 µm**.



Figura 27. Arcam Q10plus y esquema de funcionamiento del EBM. Recuperado a partir de <http://www.arcam.com/technology/products/arcam-q10/>

La maquinaria de esta empresa trabaja con materiales en polvo de alta calidad especialmente seleccionados y tratados para trabajar con EBM. Entre las aleaciones disponibles se encuentran las de titanio y de cobalto.

Más información acerca de la máquina y los materiales compatibles en el apartado 2.4 del Anexo II, adjunto al final de esta memoria.

Usos y sectores de aplicación

La tecnología EBM permite obtener piezas de altas propiedades y acabado superficial. El modelo Q10plus está especialmente diseñado para producir prótesis quirúrgicas a medida de altas prestaciones en aleaciones de titanio (figura 28).

El resto de máquinas de la empresa están enfocadas a la producción de componentes para la industria aeroespacial, como las palas de una turbina (figura 29). La mayor potencia de estos otros modelos también les permite trabajar con materiales que requieren temperaturas más altas para ser procesados, por lo que permiten tanto

investigación y desarrollo de aleaciones, como producción de piezas de altas prestaciones.

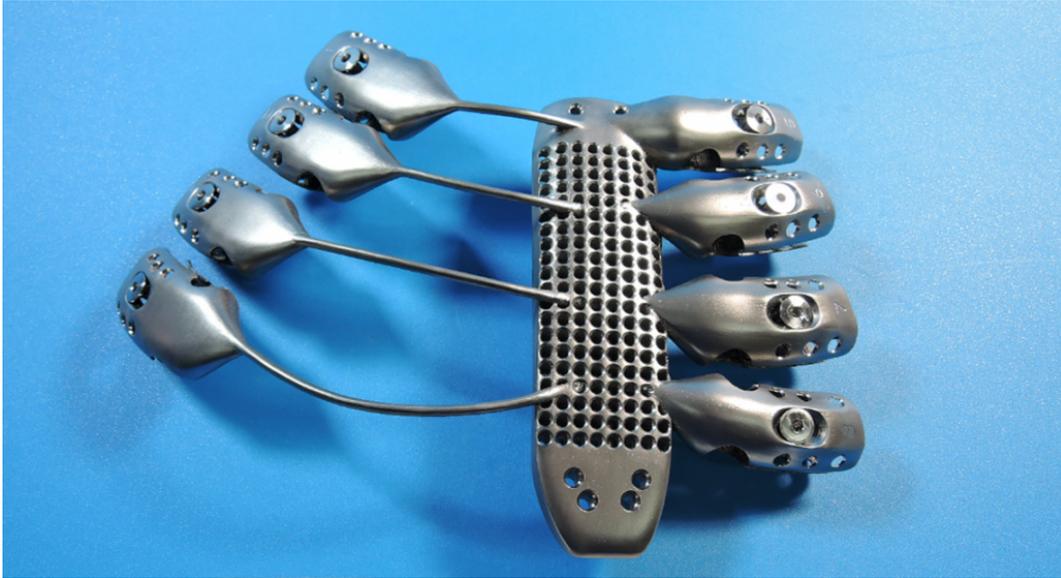


Figura 28. Prótesis de esternón de titanio. Recuperado a partir de <http://impresora3dprinter.com/wp-content/uploads/2015/09/impresora-3d-argentina-trasplante-estern%C3%B3n-y-costillas-2.png>



Figura 29. Pala de turbina. Recuperado a partir de <https://3dprint.com/wp-content/uploads/2014/08/ge9x-4.jpg> y creación propia (derecha)

4.5 Chorro de aglutinante (Binder Jetting)

Definición según la ISO/ASTM 52900:2015: proceso de fabricación aditiva en el cual un agente aglutinante en estado líquido es selectivamente depositado para unir material en polvo.

Descripción

Esta tecnología fue estudiada y desarrollada por primera vez por el MIT y comercializada bajo la marca registrada 3DP (3D printing) por la compañía Z Corp, actualmente propiedad de 3D Systems.

Estos procesos utilizan dos materiales, un material en formato polvo que actúa como base, sobre el que se proyecta a chorro un agente aglutinante que adhiere las capas entre sí. El material es extendido y el cabezal proyecta el chorro de manera selectiva para crear la primera capa, la plataforma desciende y se repite el proceso hasta completar la pieza.

Como en las otras tecnologías de lecho de polvo, el material que no se endurece actúa como soporte, por lo que se requerirá de un largo proceso de limpieza una vez extraída la pieza.

Estas tecnologías son compatibles con cualquier material en formato polvo. Sin embargo, para materiales metálicos, no se usa líquido aglutinante sino que el material se sinteriza por una fuente de calor, por ello las tecnologías utilizadas para tratar estos materiales se han descrito dentro de la categoría de *Fusión de Lecho de Polvo*.

Esquema de funcionamiento

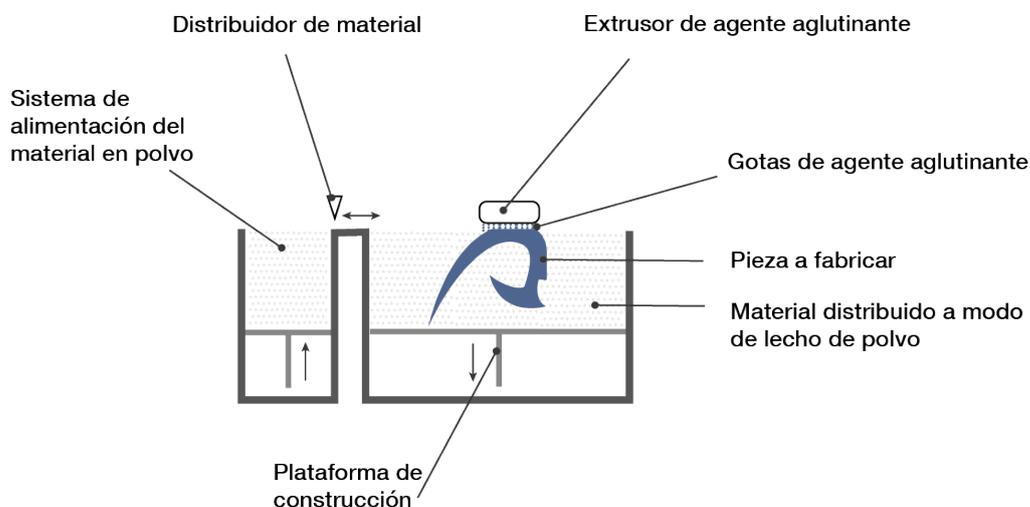


Figura 30, Esquema funcionamiento chorro de aglutinante. Diseño planteado a partir de [3]

1. El distribuidor de material lo reparte de manera uniforme sobre la plataforma de construcción.
2. El cabezal proyecta el aglutinante de manera selectiva para crear la primera capa.
3. La plataforma desciende y se vuelve a extender una capa de polvo.
4. El aglutinante repite su acción adhiriendo las capas entre si.
5. El proceso se repite hasta que se completa la pieza. Puede ser extraída y pasar a la fase de postprocesado.

Una vez extraída la pieza, se debe limpiar todo el polvo sobrante, esto se hace con aire comprimido y puede resultar una tarea tediosa en función de la complejidad de la misma. A su vez las piezas pueden requerir de procesos como la infiltración de resina para mejorar sus propiedades mecánicas.

Materiales

Estas tecnologías son compatibles con cualquier material no metálico en formato polvo. Materiales cerámicos y composites y polímeros como el ABS, PA y PC. Además de materiales arenosos para producir moldes directamente.

Ventajas

- Las piezas se pueden producir en una amplia gama de colores mediante al adición de tinta al aglutinante.
- Permite gran variedad de materiales.
- Permite utilizar todo el volumen de fabricación mediante la anidación de piezas.
- Es más rápido que otros procesos de FA.

Desventajas

- El postprocesado suele ser tedioso y consume mucho tiempo.
- Las piezas obtenidas también suelen tener un acabado poroso y requerir de la adición de resinas para mejorar sus propiedades mecánicas y estructurales.

Limitaciones del proceso y condiciones de diseño

Se recomienda optimizar el área de fabricación llenándola mediante la anidación de piezas. El hecho de no requerir material de soporte facilita lo anterior.

El proceso es de por sí relativamente rápido dentro de los procesos de FA, por lo que cuanto más cabezales para la deposición del aglutinante mayor velocidad en el proceso.

Debido a que el proceso utiliza dos materiales, esto permite una gran cantidad de combinaciones en cuanto a la utilización de diferentes materiales o la variación en la proporción de cada uno de ellos. Esto permite, por ejemplo reforzarla estructura interna mediante el incremento en la proporción del aglutinante.

En muchas ocasiones se requiere de un tiempo de enfriamiento después de la fabricación para que el aglutinante consiga solidificar la pieza por completo. Aún así las propiedades no son siempre las deseadas, pudiendo mejorarse mediante la adición de resinas a posteriori.

ZPrinter

El gigante de la FA, **3DSystems** adquirió una de las precursoras de esta tecnología en el año 2012, ZCorporation. Aprovechando su renombre en la industria sigue comercializando todo el portfolio de máquinas de chorro de aglutinante bajo la denominación ZPrinter.

Entre su máquinas se va a resaltar el modelo más básico que ofertan con capacidad para operar con más de cien mil colores, la **ZPrinter 450** . Cuenta con:

- Volumen de fabricación: **203x254x203 mm.**
- Resolución de capa: **0,089 – 0,102 mm.**
- Color: **180.000 colores (2 cabezales de impresión).**



Figura 31. Zprinter 450. Recuperado a partir de https://3dhubs.s3-eu-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/talk/attachments/IMG_1561.JPG

La maquinaria de esta empresa trabaja con composites de alto rendimiento. Obteniendo diferentes propiedades y colores en función de la proporción de aglutinante aportado y los tintes que se le apliquen en al creación de cada capa.

Más información acerca de las máquinas y los materiales compatibles en el apartado 2.5 del Anexo II, adjunto al final de esta memoria.

Usos y sectores de aplicación

Estos procesos se suelen utilizar para realizar prototipos o modelos a todo color, principalmente para comprobaciones visuales y estéticas. Por tanto es ampliamente utilizado para presentaciones y mostrar el aspecto final del producto en sectores como la arquitectura (Figura 32, superior-izquierda) o el diseño industrial (Figura 32, superior-derecha).

También se usa para fabricar figuras para coleccionistas (Figura 32, inferior-izquierda), para generar modelos topográficos tridimensionales a color (Figura 32, inferior-centro) o para mostrar el comportamiento de las piezas ante ciertos extraños utilizando gradientes de color (Figura 32, inferior-derecha).

A su vez su precisión y acabado permiten producir piezas modelo para fabricar moldes de colada en vacío (Figura 33, izquierda) o incluso permite producir directamente los moldes para piezas plásticas, con materiales especiales arenosos (Figura 32, derecha). Por lo que también es utilizado en otros sectores industriales.



Figura 32. Imágenes de los ejemplos mencionados. Ordenadas de izquierda a derecha en el orden en el que son mencionados en el documento.. Recuperado a partir de <http://www.zcorp.com/es/imagesets/>

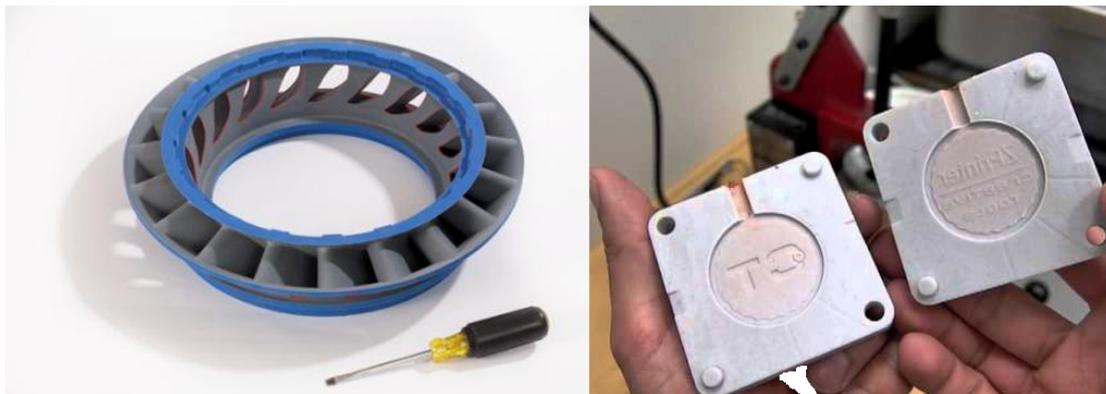


Figura 33. Imágenes de los ejemplos mencionados. Ordenadas de izquierda a derecha en el orden en el que son mencionados en el documento. Recuperado a partir de <http://www.zcorp.com/es/imagesets/y>

4.6 Laminación de hojas (Sheet Lamination)

Definición según la ISO/ASTM 52900:2015: proceso de fabricación aditiva en el cual láminas de material son unidas para formar un objeto.

Descripción

Esta tecnología comúnmente conocida por sus siglas en inglés **LOM (Laminated Object Manufacturing)**, fue desarrollada y patentada en 1987 por la empresa, hoy conocida como, Cubic Technologies.

El proceso utiliza laminas de papel o cartón que se van apilando y cohesionando mediante la utilización de un adhesivo. A medida que se generan las capas un cabezal de corte separa el contorno de la geometría a producir.

Dentro de los procesos de laminación en hojas podemos encontrar otra variante, conocida como **UAM (Ultrasonic Additive Manufacturing)**, que utiliza láminas de metal en lugar de papel y estas son unidas mediante soldadura ultrasónica. Permite combinar capas de diferentes materiales y requiere poca energía porque el material no tiene que fundirse, además permite producir geometrías internas. Sin embargo requiere de postprocesados para eliminar el exceso de metal sobretodo generado por la soldadura y para extraerlo del marco de material en el que está embutido.

Esto la convierte en una tecnología potencialmente híbrida, usada para producir piezas de partida que posteriormente serán mecanizadas y así desperdiciar menos material o utilizar su capacidad de combinar varios materiales para producir piezas con geometrías internas o multimetal.

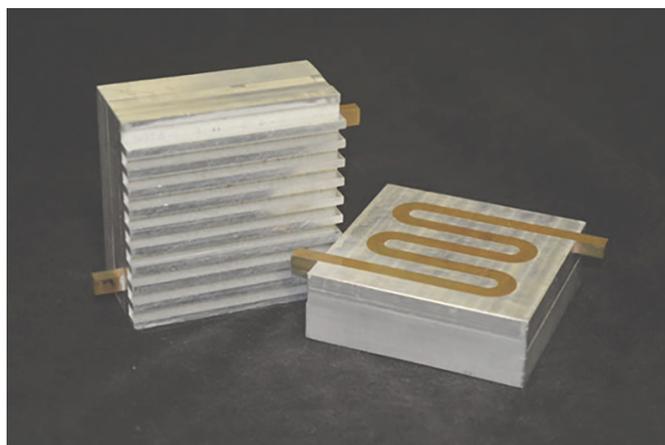


Figura 34, Pieza de aluminio con geometría interna de cobre. Recuperada a partir de <https://3dprint.com/44405/fabrisonic-am-milling-process/>

Esquema de funcionamiento

El esquema de funcionamiento es el mismo para ambos procesos variando el material utilizado y la forma de adherirlo, así como el método de corte que puede ser por láser o con cuchilla.

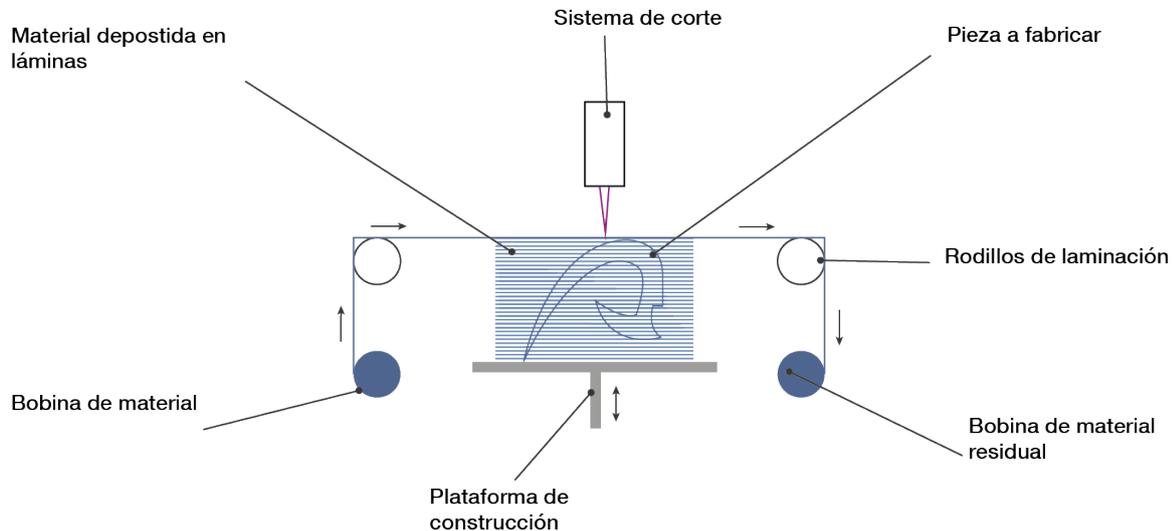


Figura 35, Esquema de funcionamiento Laminación de hojas. Diseño planteado a partir de [3]

1. El material en láminas es extendido sobre la plataforma de construcción.
2. Las láminas se adhieren unas a otras por el método correspondiente.
3. El sistema de corte, traza la geometría deseada de la capa.
4. Se añade una nueva capa y se repite el proceso.

Una vez terminada, la pieza tiene que extraerse del material donde está embutida. En el caso de la LOM al tratarse de papel, este es fácil pudiendo incluso realizarse a mano. Sin embargo las propiedades estructurales de los objetos son limitadas por lo que se pueden mejorar añadiendo adhesivos, pinturas o barnices. Además de poder lijarse para mejorar la superficie.

Materiales

El material más comúnmente utilizado en los procesos LOM es el papel en formato A4, utilizando un sistema de cartuchos de tinta similar al de las impresoras convencionales para dar el color a los objetos. Sin embargo podría utilizarse láminas de cualquier material que se pudiera enrollar para generar el laminado (polímeros). Por su

parte UAM permite utilizar cualquier aleación metálica que permita también ser laminada.

Ventajas

- Se puede conseguir objetos a color mediante la adición de tinta a la vez que se suministra el adhesivo.
- Es un proceso rápido y de bajo coste que ofrece buenos acabados.
- Además es un proceso limpio, en el que no se requiere de entornos controlados o sustancias químicas para el postprocesado.
- Permite utilizar materiales reciclados.

Desventajas

- Está limitado a materiales en formato lámina.
- Requiere de postprocesados para obtener un buen acabado final.

Limitaciones del proceso y condiciones de diseño

La principal limitación de estos procesos como ya se expone en las desventajas es el material y formato utilizado. A pesar de ser barato esto condiciona los acabados obtenidos, siendo normalmente necesario postprocesados para obtener un buen resultado final.

LOM

Uno de los principales fabricantes de maquinaria LOM es **Mcor**, que utiliza el papel como materia prima para la fabricación. Recientemente ha lanzado una máquina de escritorio con un precio muy competitivo y que debido a las funciones que aporta este tipo de tecnología hace que sea una opción muy interesante. La **Mcor Arke** cuenta con:

- Volumen de fabricación: **240x205x125 mm.**
- Resolución de capa: **0,1 mm.**
- Color: **amplia gama de colores.**



Figura 36. Mcor Arke. Recuperado a partir de <http://mcor technologies.com/3d-printers/arke-3d-photorealistic-colour-printer/>

Más información acerca de la máquina en el apartado 2.6 del Anexo II, adjunto al final de esta memoria.

Usos y sectores de aplicación

Al igual con los procesos de chorro de aglutinante, estos procesos se suelen utilizar para realizar prototipos o modelos a todo color, principalmente para comprobaciones visuales y estéticas. Por tanto es ampliamente utilizado para presentaciones y mostrar el aspecto final del producto en diversos sectores que pueden sacar partido a estas características (figura 37).

Con máquinas más avanzadas se pueden obtener resoluciones de capa mucho mejores y resultados más parecidos a los obtenidos por chorro de aglutinante (figura 38).

Si bien, requiere de postprocesados para tener un acabado superficial óptimo, también se pueden usar para generar modelos patrón para moldes de colada.



Figura 37. Imágenes de modelos fabricados por la Mcor Arke.. Recuperado a partir de http://mcor technologies.com/wp-content/uploads/2015/11/DSC_5484-1024x562.jpg



Figura 38. Imágenes de modelos fabricados por modelos superiores de Mcor. Recuperado a partir de http://mcor technologies.com/wp-content/uploads/2015/11/DSC_5484-1024x562.jpg

4.7 Deposición de energía dirigida (Directed Energy Deposition)

Definición según la ISO/ASTM 52900:2015: proceso de fabricación aditiva en el cual energía térmica dirigida es utilizada para fusionar materiales al fundir el que está siendo depositado.

Descripción

Estas tecnologías también conocidas como LMD (Laser metal deposition) o laser cladding, reciben estos nombres debido a que su funcionamiento consiste en aportar un metal en formato polvo o alambre mientras este es fundido por una fuente de calor como un haz de electrones o laser. Al entrar en contacto con la superficie se solidifica formándose las capas.

En términos más simples, se podría definir como un soldador CNC de múltiples ejes ya que sus principales aplicaciones son para reparar o añadir materiales a estructuras ya existentes.

Esquema de funcionamiento

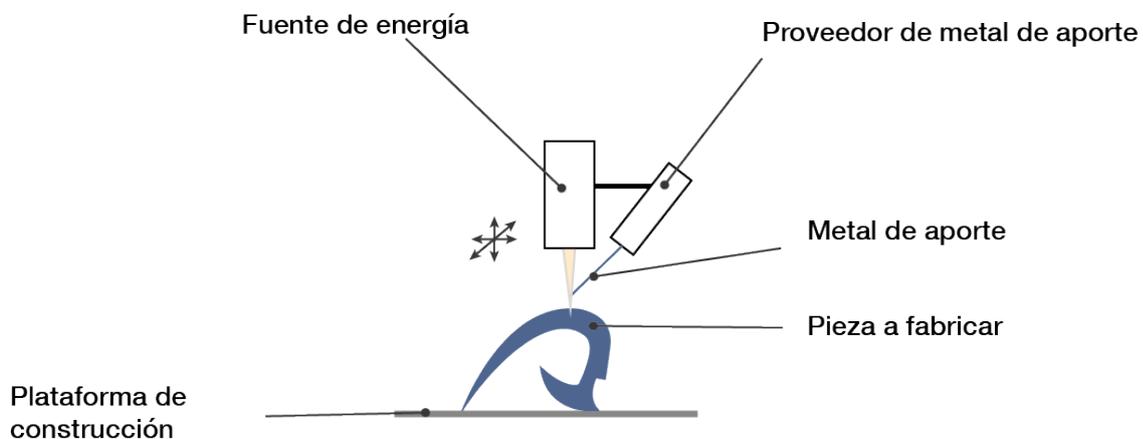


Figura 39. Esquema de funcionamiento Deposición de energía dirigida. Diseño planteado a partir de [3]

1. El cabezal de 3-5 ejes se mueve para posicionarse en la superficie en la que hay que depositar el material.
2. Este se proyecta en el punto deseado en formato polvo o alambre.
3. A su vez el material se funde por la acción de una fuente de energía como puede ser un haz de electrones, un laser o un arco eléctrico.
4. Al entrar en contacto con la superficie este solidifica.

5. El proceso se repite para ir generando nuevas capas y así reparar o añadir una nueva geometría a la pieza existente.

Al igual que en un proceso de soldadura el acabado superficial es deficiente por lo que se debe someter a postprocesados si se requiere mejorarlo.

Materiales

Los materiales utilizados son aleaciones metálicas en formato polvo o alambre.

Ventajas

- Permite reparar piezas funcionales y de gran calidad al permitir un alto control de la estructura del material depositado.
- Las máquinas son fácilmente escalables y no necesitan una atmósfera controlada por lo que se pueden fabricar piezas de gran tamaño.

Desventajas

- El acabado superficial no es liso, por lo que requiere de postprocesados.
- Requiere de una superficie de partida sobre la que depositar el material.

Limitaciones del proceso y condiciones de diseño

A la hora de utilizar estas tecnologías es importante controlar los tiempos de enfriamiento, ya que al sobreponer varias capas de material podría volver a fundir el material sobre el que es depositado, dejando superficies imperfectas o comprometiendo la estructura interna del material.

Laser Cladding

En el mercado existen máquinas de Laser Cladding desde 3 a 5 ejes para obtener una mayor libertad de movimiento a la hora de elaborar las geometrías. **Huffman** es un fabricante con una amplia gama de máquinas de este tipo. Dentro de su gama de 5 ejes, la más asequible es la **HC-205**, que cuenta con:

- Volumen de fabricación: **735x650x560 mm.**
- Resolución del láser: **0,001°.**

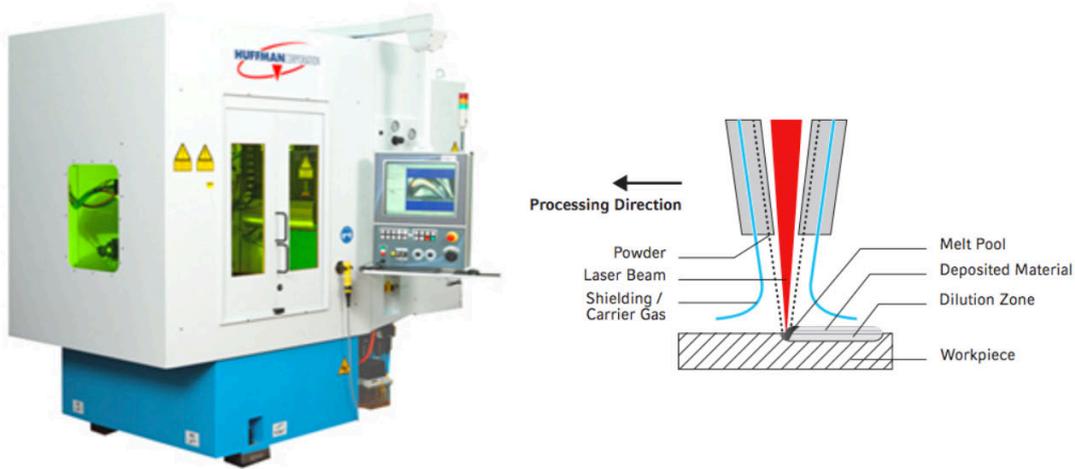


Figura 40. Huffman HC-205 y esquema genérico del funcionamiento de esta categoría .
Recuperado a partir de <http://huffman-llc.com/HC-205-LPF-Cladding-Joining-System.aspx?sid=67&pid=17&red=yes>

Puede trabajar con aleaciones metálicas utilizadas en piezas de altas prestaciones. Entre ellas se encuentran aleaciones de; acero inoxidable, cromo, titanio, bronce, etc.

Más información acerca de la máquina en el apartado 2.7 del Anexo II, adjunto al final de esta memoria.

Usos y sectores de aplicación

Una de las principales aplicaciones de estas tecnologías es la reparación y mantenimiento de herramientas y utillajes de altas prestaciones. Lo que ahorra muchos costes al evitar tener que fabricar o comprar una pieza nueva. También se utilizan para proporcionar recubrimientos sobre piezas y protegerlas contra la corrosión o el desgaste. (figura 41).

El potencial de estas tecnologías, hace que se utilicen mucho en procesos híbridos, combinando las ventajas que tanto el laser cladding (flexibilidad) como el mecanizado CNC (velocidad y precisión) aportan. Dentro de estos procesos híbridos se pueden encontrar centros de mecanizado que ya incorporan un cabezal con el láser

(figura 42) o cadenas de montaje con diferentes brazos robóticos en el que cada uno se encarga de una de las tareas.

Estos procesos híbridos permiten que a una pieza de partida se le añaden una serie de características, como geometrías internas o voladizos complejos, para posteriormente requerir de menos etapas en el proceso de mecanizado o directamente conseguir geometrías imposibles o muy costosas por procesos tradicionales.

Un sector en el que estas características son muy aprovechables es el aeronáutico. Por ejemplo para fabricar carcasas de turbina (figura 43). Donde con la tecnología láser se construye la geometría básica y los conectores, a su vez utiliza el fresado a la hora de mejorar la superficie y seguir con la construcción. Finalmente el mecanizado es empleado para mejorar el basto acabado superficial que deja el laser cladding en las zonas donde se requiere de un acabado liso.

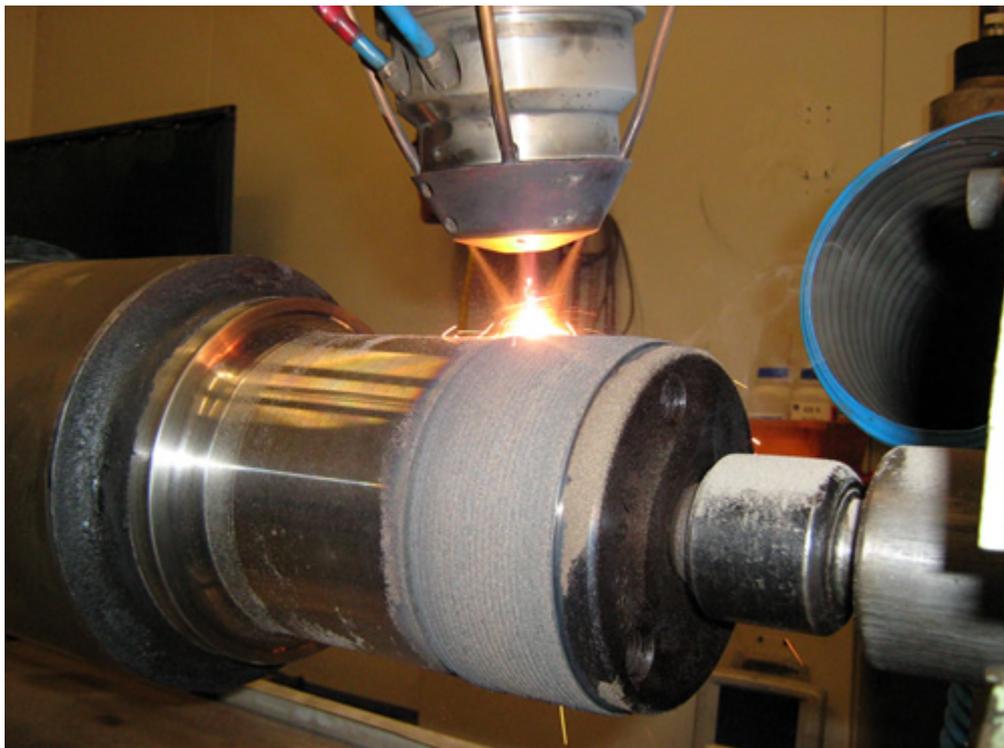


Figura 41. Recubrimiento por Laser Cladding. Recuperado a partir de <http://www.hardchrome.com.au/technologies/laser-cladding/>



Figura 42. AMBIT, cabezal que permite virtualmente a cualquier centro de mecanizado o brazo robot utilizar esta tecnología de FA. Recuperado a partir de <http://www.hybridmanutech.com/technology.html>

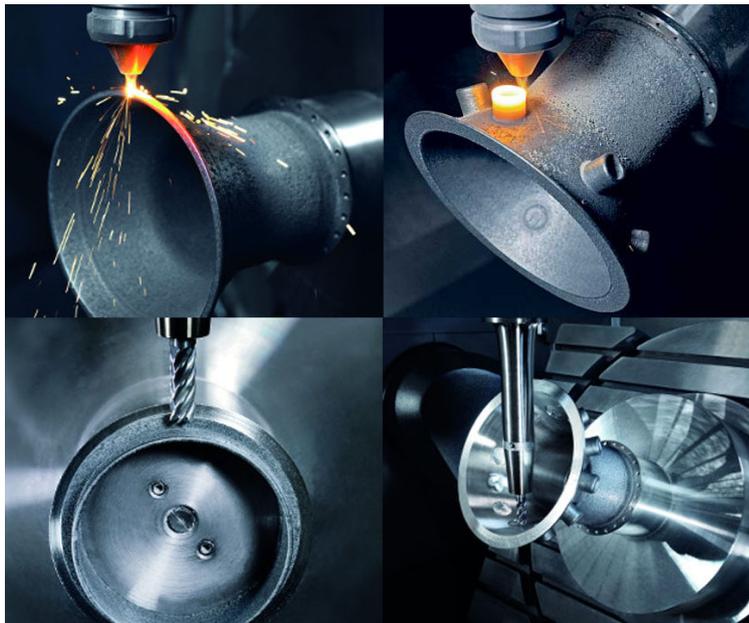


Figura 43. Fabricación de carcasa de turbina por Laser Cladding y mecanizado CNC en una máquina híbrida. Recuperado a partir de <http://es.dmgmori.com/productos/lasertec/manufacturing/mar14/pics/DMG-MORI-LASERTEC-65-AdditiveManufacturing-5.jpg>

Referencias

- [1] Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2010). Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. New York [etc.]: Springer. Recuperado a partir de <http://ulpgc.summon.serialssolutions.com/>
- [2] Norma ISO/ASTM 52900:2015. Principios generales para la fabricación aditiva, Terminología. (2015). Recuperado 17 de mayo de 2016.
- [3] Norma ISO/DIS 17296-2:2015. Principios generales para la fabricación aditiva, Parte 2. Descripción general de categorías de procesos y materia prima. Recuperado 17 de mayo de 2016.
- [4] The 7 categories of Additive Manufacturing | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing>
- [5] Additively - your access to 3D printing. (s. f.). Recuperado 8 de abril de 2016, a partir de <https://www.additively.com/en/learn-about/>
- [6] Introducción a la Fabricación Aditiva - Adimen Lehiakorra. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de <http://www.adimenlehiakorra.eus/es/contenidos>
- [7] Rapid Prototyping, Advance Digital Manufacturing, 3D Printing, 3-D CAD | 3D Systems. (s. f.). Recuperado 5 de mayo de 2016, a partir de <http://www.3dsystems.com/>
- [8] Guías Diseño RM. (2015, marzo 23). Recuperado a partir de <http://www.aserm.net/guias-rm/>
- [9] Additive Manufacturing processes. (s. f.). Recuperado 8 de mayo de 2016, a partir de https://www.utwente.nl/ctw/opm/research/design_engineering/rm/Additive%20Manufacturing/overview-of-additive-manufacturing-processes/
- [10] Guía de diseño(s. f.). Recuperado 8 de mayo de 2016, a partir de http://www.aserm.net/wp-content/uploads/2011/05/guia-design08_aserm.swf



CAPÍTULO 5

Impacto, Estado y Futuro de la FA

Capítulo 5 Impacto, Estado y Futuro de la FA

Tras conocer en mayor detalle los procesos de Fabricación Aditiva, así como sus ventajas e inconvenientes respecto a los sistemas de fabricación tradicional, en este capítulo se analizará el impacto de estas nuevas tecnologías, así como las tendencias o puntos a mejorar en el futuro.

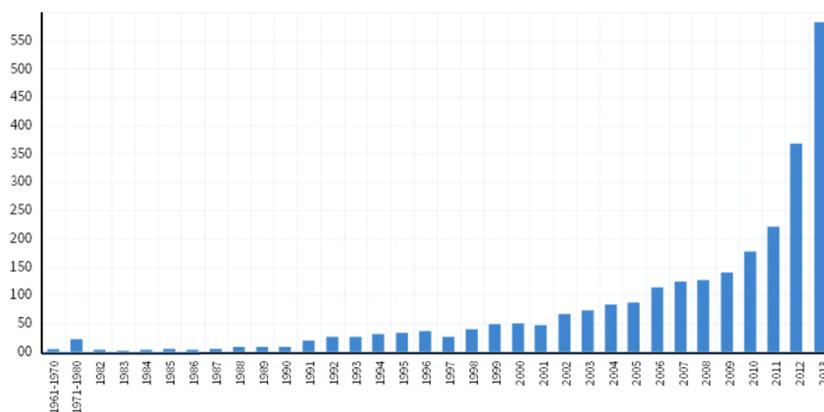
Este análisis se dividirá en tres partes:

- **Sector industrial:** impacto a nivel empresarial (productividad, costes, I+D), tendencias y nuevos modelos de negocio.
- **Consumidor:** el impacto sin precedentes que estas tecnologías está teniendo acercando al posibilidad de fabricar al consumidor de a pie (movimiento maker)
- **Profesionales:** el acercamiento tecnológico a las masas, hace que se abra un amplio abanico de posibilidades laborales que hacen que sea de vital importancia la formación en este ámbito de los ingenieros.

5.1 Industria

Como se puede apreciar en la siguiente figura y ya se ha expuesto durante este documento, uno de los principales motivos por los que la FA está en auge, es el gran número de liberación de patentes sobre las tecnologías que está aumentando durante la última década.

Patent publications around 3D printing



Source: <http://www.patentinsightpro.com/techreports/0214/Tech%20insight%20Report%20-%203D%20Printing.pdf>

additively
» your access to 3D printing

Figura 44. Publicación de patentes sobre impresoras 3d [4]

Con el objetivo de fundamentar este análisis en datos reales, se ha tomado como referencia los resultados obtenidos en dos estudios realizados por las empresas [14] *Sculpteo* y [16] *Stratasys* respectivamente.

El primero cuenta con una muestra de 1118 encuestados que utilizan tecnologías de fabricación aditiva, de los cuales el 91% se encontraban geográficamente concentrados en Norte América y Europa. Los participantes pertenecen a 16 sectores industriales diferentes. El 58% de la muestra reportó ganancias anuales superiores a los 50 000 dólares y el 23% superiores al millón de dólares.

Por su parte el estudio elaborado por *Stratasys*, obtuvo una muestra de 700 ejecutivos, ingenieros o jefes de producción que utilizan o planean utilizar tecnologías de FA en los próximos 3 años. Esta muestra está geográficamente asentada en Norte América y el 40% de la misma pertenece a compañías que generaron unos ingresos de más de 50 millones de dólares en 2014.

A partir de estos estudios se han generado estos gráficos explicativos a modo de conclusión para facilitar su comprensión en el material didáctico. En ningún caso se muestran resultados porcentuales exactos, sino una representación proporcional o gráficos de tipo ilustrativos, en base al análisis cruzado de los datos aportados por el estudio.

5.1.1 Impacto

Principales aplicaciones

Aproximadamente el 80% de los usos principales están destinados a fases del desarrollo de un producto más que a la fabricación de productos finales en si.

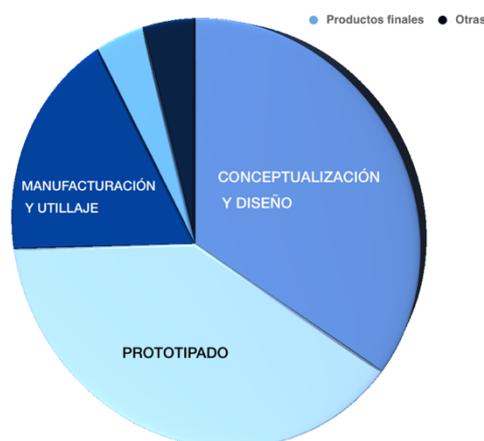


Figura 45. Gráfico principales aplicaciones de la FA.

Sectores de mayor impacto

El sector donde mayor impacto tiene es en los productos de consumo, habiéndose destinado el 26% del total de máquinas de FA en el mundo para producir estos productos. Este dato es normal debido a la gran cantidad de productos abarcables dentro de este sector. Sectores como la industria médica o aeroespacial suponen entre un 10 o un 15% que en proporción es un alto impacto en estos sectores.

Principales razones por las que las empresas utilizan métodos de FA

Los principales motivos por los que las empresas utilizan FA para fabricar los productos son principalmente dos:

Aceleración en el desarrollo de productos.

- Fabricación y validación de prototipos.
- Energía inversa y validación de los prototipos
- Fabricación de herramientas y utillaje.
- Capacidad de sustituir varios procesos en la cadena de producción por uno solo.

Capacidad de diseño complejo y ofertar productos personalizados.

- Capacidad de producir geometrías orgánicas y geometrías internas.
- Capacidad de integrar mecanismos en una única pieza.

Si bien estos son los principales motivos por los que se usa la FA, y los que mayores beneficios aportan a corto plazo, existen otras ventajas que la FA aporta a las empresas y que podrán tener un impacto en un plazo mayor o incluso abrir nuevas posibilidades a modelos de negocio innovadores.

Incrementa la flexibilidad de producción.

- Capacidad de introducir modificaciones en el diseño sin que esto impacte de manera significativa en el coste y tiempo de producción.
- Capacidad de producir series cortas de variantes de un producto.
- Capacidad de producir piezas bajo demanda.
- Capacidad de producir diferentes piezas a la vez.

Permite descentralizar la producción.

- Un ejemplo es la elaboración de un proyecto en un estudio y su posterior fabricación a partir de los archivos almacenados en la nube en fábricas situadas en distintos países para ahorrar costes de transporte.

Disminuye la inversión en utillaje.

- Los procesos no requieren de utillaje, como moldes o sistemas de anclaje para la producción.

Potencia el servicio postventa.

- Permite fabricar piezas bajo demanda a partir de los archivos almacenados. Por lo que se pueden ofertar repuestos de por vida, sin necesidad de invertir en volver a montar toda la cadena productiva y necesitar un volumen alto de producción para rentabilizarlo.

5.1.2 Necesidades de mejora

Principales motivos para su no implementación

Al igual que con los motivos para su implementación, los principales motivos por los que las empresas no utilizan la FA para fabricar sus productos son dos:

Costes de equipamiento.

- Los costes del equipamiento son elevados, así como los costes de producción y el mantenimiento de la maquinaria.
- El coste de materiales es también más elevado por la necesidad de formatos en bruto específicos y con menor demanda.

Limitaciones en los materiales.

- Propiedades mecánicas limitadas en algunos materiales o dificultad a la hora de conseguir estructuras homogéneas.
- Variedad de materiales disponibles. Cada tecnología funciona con una tipología y formato de material determinado. Los materiales en donde las industrias desean desarrollo son por orden:
 - Metales.
 - Materiales de tipo elastoméricos.
 - Plásticos con alta resistencia térmica.

- Fibra de carbono.
- Materiales con núcleo interno conductor.
- Bioplásticos.
- Materiales solubles.

Existen otros factores que hacen que las empresas todavía estén considerando la implementación de estas tecnologías.

Capacidad Productiva.

- Relación tiempo/calidad. En la actualidad la FA no es capaz de ofrecer piezas de calidad con una velocidad de producción similar a la obtenida mediante métodos tradicionales. Esto hace que estén en desventaja a la hora de producir en masa series muy amplias.
- Volúmenes de fabricación. Son por lo general limitados y menores que los de tecnologías tradicionales.
- Sistemas de producción híbridos. Estas limitaciones hacen que por lo general se usen sistemas de FA en conjunto con sistemas de fabricación tradicionales. Es por tanto, en general a día de hoy, un aliado a la Fabricación Tradicional más que un sustituto.

Falta de un marco legal claro.

- Falta de un marco legal claro a nivel internacional, una normativa, que asegure la calidad de las piezas y de los procesos y materiales utilizados.
- Esto es en lo que están trabajando los organismos ISO TC261, ASTM F42 y recientemente CEN/TC 438.

Necesidad de formar al personal.

- Al tratarse de unas tecnologías relativamente nuevas, requiere de personal cualificado para su utilización. Por lo que hasta que no se disponga del mismo no se podrá aprovechar correctamente estas tecnologías.

5.1.3 Futuro y Tendencias

Actitud de las empresas hacia la FA

Alrededor del 65% de las empresas planea invertir en FA en los próximos tres años. El 45% de estas planea invertir el doble de lo invertido este año el año próximo. Y el 60% planea destinar parte de la inversión en contratar y formar personal especializado en FA.

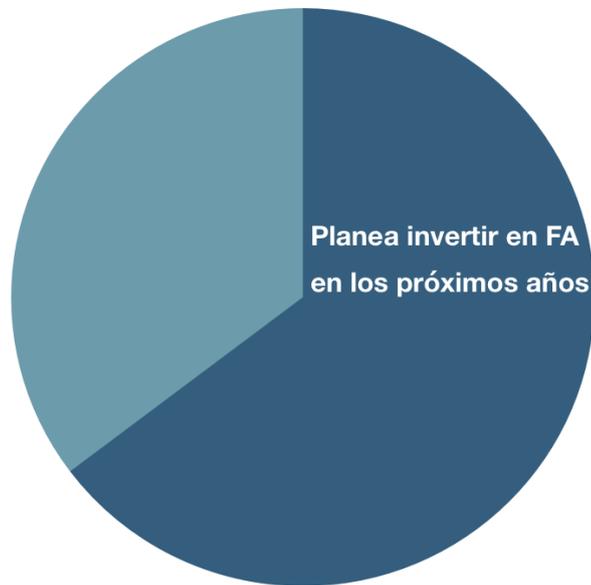
FUTURO Y TENDENCIAS **Actitud de las empresas hacia la FA**

Figura 46. Actitud de las empresas hacia la FA.

Cambios en los próximos 5 años

Se puede apreciar como la tendencia es que poco a poco se vaya utilizando la FA para producir más piezas útiles, ya sea para potenciar la producción o directamente para producir piezas terminadas y listas para el consumo.

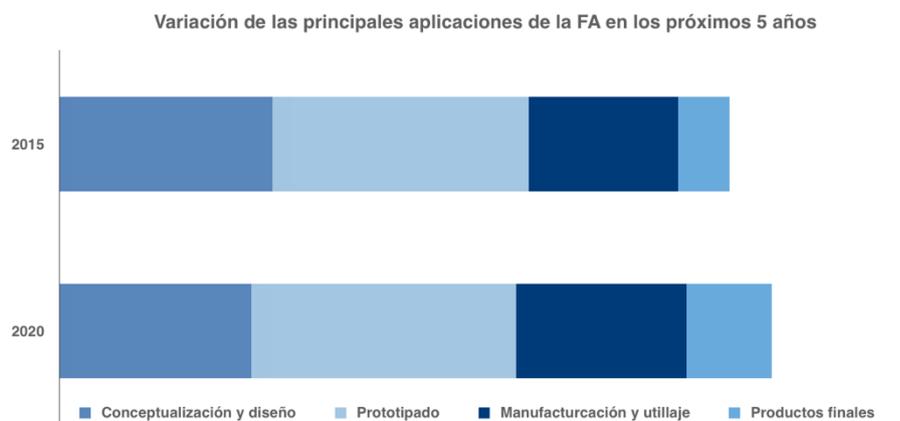


Figura 47. Variación de las principales aplicaciones de la FA en los próximos 5 años.

5.2 Consumidor

El reciente auge de la maquinaria -sobretudo FFF- de bajo coste en el mercado, hace que los consumidores no sólo tengan posibilidad de comprar productos personalizados, sino que ahora pueden fabricar sus propios productos. Esto permite agrupar de manera generalizada a los consumidores en dos grandes grupos:

- Los hacedores son los usuarios que diseñan y fabrican objetos por si mismos. Suelen tener un perfil más especializado.
- Usuarios acostumbrados al modelo usual en el que esperan una experiencia cómoda en la que simplemente tengan que comprar los ficheros para poder “imprimirse” sus productos.

5.3 Profesionales

Esta repercusión en la industria y en los consumidores hace que profesionales con el perfil de un Ingeniero. Y de un ingeniero en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos en particular, esté muy demandado. Además abre nuevas posibilidades y multiplica las posibilidades de emprender un proyecto con éxito.

La fuerte irrupción de las máquinas FA de bajo coste convierte a los Ingenieros y profesionales en potenciales consumidores de estas tecnologías. Haciendo que cobre más fuerza los movimientos “Maker” y “DIY”. Esto se traduce en la creación de una comunidad mundial en la que se comparte conocimientos y proyectos.

El principal exponente tangible de esta comunidad es el **Fab lab** (acrónimo del inglés Fabrication Laboratory) es un espacio de producción de objetos físicos a escala personal o local que agrupa máquinas controladas por ordenadores.

Fab Lab

Es una plataforma que estimula la emprendimiento mediante la conexión en red global de estudiantes, educadores y diferentes perfiles profesionales con la innovación como denominador común.

La red de Fablabs se extiende en más de 30 países con hasta la fecha 669 laboratorios que comparten metodología, herramientas de libre acceso y procesos; facilitando la colaboración en cualquier parte del mundo.

Según la definición de la Fab Foundation, el concepto de Fab Lab se puede sintetizar en los siguiente apartados:

- **Misión:** los fab labs son una red global de laboratorios locales que favorecen la creatividad proporcionando a los individuos herramientas de fabricación digital.
- **Acceso:** cualquier persona puede usar el Fab lab para fabricar casi cualquier cosa (que no haga daño a nadie); debe aprender a hacerlo por sí solo y debe compartir el uso del laboratorio con otros usuarios.
- **Educación:** la enseñanza en el Fab Lab se basa sobre proyectos en progreso y aprendizaje entre pares; los usuarios deben contribuir a la documentación y a la instrucción.
- **Responsabilidad:** los usuarios son responsables de :
 - **Seguridad:** saber trabajar sin dañar a las personas ni a las máquinas.
 - **Limpieza:** dejar el laboratorio más limpio aún que antes de usarlo.
 - **Operaciones:** contribuir al mantenimiento, reparación y coordinación de los suministros y la maquinaria.
 - **Confidencialidad:** los diseños y los procesos desarrollados en los Fab labs deben quedar e libre acceso para la comunidad, aunque la propiedad intelectual pueda ser protegida según elección del usuario.
 - **Negocio:** actividades comerciales pueden incubarse en los Fab labs pero no pueden entrar en conflicto con el acceso abierto; se espera que esos negocios beneficien a los inventores, laboratorios y redes que han contribuido a su éxito.

Cada vez más centros educativos y otras instituciones están adoptando el modelo de Fab Lab. Por ejemplo en Barcelona se está disponiendo una red de “Ateneos de Fabricación” en los que bajo la filosofía Fab Lab los vecinos pueden ir a aprender y realizar proyectos que aporten productos positivos para el barrio o el propio ateneo.

Comunidades y tiendas en línea

También existen otras comunidades online en la que se comparten diseños y proyectos, ya sea para buscar ayuda a la hora de desarrollar el proyecto o simplemente para aportarlo de manera desinteresada al **Patrimonio Tecnológico de la Humanidad** y que cualquiera pueda aprender del proyecto original e incluso mejorarlo, como se hizo con el proyecto **RepRap**. Es importante que el trabajo compartido en estas comunidades

abiertas este protegido bajo licencia **Creative Commons[14]** para evitar apropiaciones indebidas y usos indeseados. Los ejemplos más conocidos son **Thingiverse[15]** como repositorio abierto de modelos 3D o **Instructables[6]** que es un repositorio abierto de proyectos DIY.

Hay otras comunidades en las que además de compartir se puede conectar para contratar u ofrecer servicios. Ya sea por encargos de diseño y modelado 3D. Simplemente diseñando y subiendo o comprando piezas a la tienda. También se puede ofertar y contratar infraestructura como máquinas para fabricar un lote de pieza. **MyMiniFactory[10]** es un ejemplo de tienda de modelos y servicios 3D y **3dHubs[1]** un servicio de piezas bajo demanda.

Las grandes empresas como **3DSystems [18]**, **Protolabs [19]** y **Stratasys [20]** entre otras, también aprovechan la drástica reducción de la Escala Mínima Eficiente que permite la FA, para ofertar servicios de fabricación bajo demanda en los que el cliente puede subir las piezas y elegir los parámetros y unidades a fabricar, obteniendo presupuesto y plazo de entrega en un breve espacio de tiempo.

Crowdfunding y emprendimiento

Además de tener herramientas para desarrollar proyectos de manera más rápida y a un coste menor, siguiendo con la cultura colaborativa, cada vez existen más plataformas en internet de "**Crowdfunding**" o micromecenazgo. El funcionamiento varía en función de la plataforma y el tipo de proyecto pero por lo general se puede sintetizar de la siguiente manera:

- El emprendedor presenta su proyecto en uno de estos escaparates digitales por un tiempo limitado y con una meta de recaudación mínima fija.
- Las personas interesadas pueden compartir el proyecto además de apoyarlo económicamente de manera desinteresada por simpatizar con el mismo o a cambio de recompensas que ofrezca el emprendedor, como acceder al producto de manera anticipada o más económica.
- Una vez cumplido el plazo, si se ha alcanzado la meta el emprendedor recibirá la financiación y deberá cumplir con las promesas estipuladas en las recompensas. De no llegar al objetivo deberá devolver la financiación a sus mecenas.

Estas plataformas en combinación con la capacidad de la FA de reducir el capital necesario para para iniciar la manufacturación y eliminar la necesidad de economías de

escala permite a los emprendedores cuantificar y reducir los recursos para poder realizar la producción del proyecto de manera exitosa.

Referencias

- [1] 3D Hubs: Local 3D Printing. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <https://www.3dhubs.com/>
- [2] Ateneus de Fabricació. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://ateneusdefabricacio.barcelona.cat/>
- [3] Babu, S. s., Love, L., Dehoff, R., Peter, W., Watkins, T. r., & Pannala, S. (2015). Additive manufacturing of materials: Opportunities and challenges. *MRS Bulletin*, 40(12), 1154–1161. <http://doi.org/10.1557/mrs.2015.234>
- [4] Create value with 3D printing - Additively - your access to 3D printing. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de <https://www.additively.com/en/create-value-with-3d-printing>
- [5] Fab lab. (2016, abril 12). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Fab_lab&oldid=90415468
- [6] Instructables - DIY How To Make Instructions. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://www.instructables.com/>
- [7] Labs | FabLabs. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <https://www.fablabs.io/labs>
- [8] Map | FabLabs. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <https://www.fablabs.io/map>
- [9] Micromecenazgo. (2016, mayo 19). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Micromecenazgo&oldid=91167502>
- [10] MyMiniFactory - Guaranteed 3D Printable Designs. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <https://www.myminifactory.com/>
- [11] ¿Qué es el Movimiento Maker? «Hacedores.com | Maker Community. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://hacedores.com/movimientomaker/>
- [12] rachael.daltontaggart. (2014, julio 24). Will 3D printing ever be as fast as Injection Molding? The answer is yes. [Text]. Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de <http://es.3dsystems.com/will-3d-printing-ever-be-fast-injection-molding-answer-yes>

- [13]** Sculpteo. (s. f.). THE STATE OF 3D PRINTING. Recuperado a partir de https://www.sculpteo.com/en/get/report/state_of_3D_printing_2015/
- [14]** Sobre las licencias - Creative Commons. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://creativecommons.org/licenses/>
- [15]** Thingiverse.com. (s. f.). MakerBot Thingiverse. Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://www.thingiverse.com/>
- [16]** Stratasys. (2015) TREND FORECAST 3D Printing's Imminent Impact on Manufacturing. Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de <http://www.stratasys.com/>
- [17]** What is a Fab Lab? (2013, agosto 19). Recuperado a partir de <http://www.fabfoundation.org/fab-labs/what-is-a-fab-lab/>
- [18]** admin. (2015, julio 28). Quickparts [Text]. Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://www.3dsystems.com/Quickparts>
- [19]** Proto Labs. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://www.protolabs.es/3d-printing/>
- [20]** Stratasys Direct Manufacturing Services | Stratasys. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://www.stratasys.com/solutions/stratasys-direct-manufacturing>



CAPÍTULO 6

Selección de tecnología en el desarrollo de un producto

Capítulo 6 Selección de tecnología en el desarrollo de un producto

6.1 Consideraciones para utilizar FA

Para seleccionar la tecnología adecuada y obtener el máximo rendimiento de las mismas es importante tener en cuenta una serie de consideraciones durante todo el proceso de desarrollo y fabricación [4].

Lo primero que se hace en un proceso de diseño es atender cuál es el problema que se va a resolver. Una vez tengamos claro esto, podremos establecer cuales son los requerimientos que debe cumplir el objeto para resolver correctamente ese problema. Aquí es donde se detectará el potencial de fabricar este producto por tecnologías de FA (apartado 6.2 de este capítulo).

La forma y el material del objeto dependerán de las condiciones a las que va a estar sometido el objeto durante su utilización.

6.1.1 Consideraciones de diseño

En este apartado se remarcarán una serie de parámetros que el diseñador debe tener siempre presentes para evitar problemas.

6.1.1.1 Consideraciones geométricas

- **Precisión y tolerancias:** estos depende del proceso utilizado, los parámetros de fabricación, los materiales empleados y la orientación de la pieza durante la fabricación.
- **Acabado superficial:** depende también de la orientación de la pieza, el material y los parámetros del proceso utilizado, principalmente la altura de capa que determinará el acabado de la superficie. Siendo mejor cuanto menor sea la altura de capa, pero afectando a la velocidad de fabricación negativamente.
- **Aspectos dimensional y características geométricas:** esto hace referencia los límites dimensionales de las partes de una pieza. Teniendo un tamaño mínimo de fabricación con el que se pueden reproducir pequeños detalles como esquinas muy pronunciadas o el espesor mínimo de pared; un espacio mínimo entre objetos subyacentes; y un tamaño máximo de fabricación en relación a la densidad e inclinación de la estructura para construirla sin soporte.

- **Recomendación de ajustes para ensamblaje:** en función del tipo de ajuste necesario entre las piezas del ensamblaje se deberá tener en cuenta la distancia a dejar entre componentes en función de la tolerancia que permita la máquina para que el ajuste sea el deseado.
- **Tamaño máximo de fabricación:** si no se dispone de una máquina que tenga un volumen de fabricación que permita fabricar la pieza, se puede analizar al posibilidad de dividir la pieza en varias partes sin que esto afecte a la funcionalidad para la que se construye la pieza.
- **Evitar voladizos:** el diseñador debe saber que para integrar voladizos en el diseño, dependiendo de la tecnología utilizada deberá utilizar estructuras de soporte. Por tanto debe prever esto y orientar la pieza para minimizar su requerimiento o diseñar de manera que las estructuras de soporte sean de fácil acceso para su posterior eliminación. Generalmente la necesidad de soporte de un voladizo vendrá determinado por el ángulo tamaño y longitud del mismo.
- **Mantener un espesor de pieza constante:** al igual que en otros procesos tradicionales, en los procesos de FA en los que se utiliza energía térmica un cambio de espesor brusco puede producir defectos de rechupe o alabeo en la pieza.
- **Evitar volúmenes atrapados:** en procesos de lecho de polvo o líquido, el material que no se ha sido utilizado podría quedar atrapado, aumentando el peso de la pieza y pudiendo producirse fugas peligrosas del material.
- **Salto de capa:** al formarse las capas de material puede dejar superficies escalonadas que deberán tratarse con postprocesados abrasivos para dejar una superficie lisa. Sin embargo, estos escalones en estructuras interiores no son tan fáciles de corregir y pueden ser puntos de concentración de estrés.
- **Limpieza:** algunos procesos dejan material en polvo sobre la superficie, es fundamental limpiar bien este exceso para evitar problemas durante el servicio de las piezas, que en aplicaciones médicas o hidráulicas pueden ser críticos. Por lo que habrá que adecuar el nivel de limpieza en función e la aplicación de la misma.
- **Pequeños detalles:** durante los postprocesados es fundamental prever el nivel de agresividad del abrasivo para no dañar pequeños detalles o partes frágiles de la pieza.
- **Consideraciones intrínsecas a cada proceso:** es fundamental que el diseñador conozca las limitaciones y características principales asociadas a cada proceso (Capítulo 4).

6.1.1.2 Consideraciones de intercambio de archivos

- **Nivel de mallado:** al convertir el CAD a .STL o .AMF la geometría queda definida por una malla. En función del tamaño de los triángulos de la misma se obtendrá un nivel de detalle. Es fundamental adecuar el tamaño de malla a la resolución necesaria en el proceso de fabricación. Cuanto menor el tamaño de los triángulos mayor será el nivel de detalle y mejor el acabado superficial. Además es fundamental que la máquina soporte esa resolución.
- **Comunicación e intercambio de archivos:** al igual que con los procesos de fabricación por CNC los programas y archivos cuentan con la información necesaria para su fabricación, por tanto podría simplemente cargarse el programa y empezar la fabricación. Es vital realizar documentación para que durante el proceso de fabricación todo el personal involucrado conozca las unidades y detalles constructivos fundamentales, pudiendo así revisar y evitar errores. A su vez se debe considerar la compatibilidad entre formatos y programas utilizados o las consecuencias que un cambio de formato puede producir en el archivo.

6.1.2 Consideraciones del material

Para seleccionar el material es fundamental conocer las propiedades que ofrece en función de su tipo y la tecnología con la que se utilicen. En términos generales los procesos de FA producen piezas con propiedades anisótropas mayores que en la mayoría de procesos tradicionales.

6.1.2.1 Propiedades mecánicas

- **Resistencia a la tracción:** esta propiedad dependerá de la orientación de la pieza durante la construcción.
- **Resistencia a la flexión:** esta propiedad dependerá también de la orientación de la pieza durante la construcción.
- **Resistencia a la compresión:** esta propiedad se ve menos alterada en función de la orientación de construcción.
- **Resistencia a la fatiga:** en muchos casos las piezas producidas por FA tienen baja resistencia a la fatiga por la propia construcción por capas que facilita la propagación de las fisuras. Es fundamental conocer el principal eje de carga al que será sometida la pieza para orientarlo en el eje de construcción y así reforzar la resistencia ante este fenómeno. Un buen acabado superficial, sin saltos entre capas también favorece la resistencia a este fenómeno.

6.1.2.2 Propiedades térmicas

- **Temperatura de distorsión térmica:** es la temperatura a la cual un polímero se deforma bajo una carga específica, es fundamental tenerla en cuenta para piezas que van a utilizarse en entornos con temperaturas por encima de la temperatura ambiente. También es vital controlarla para adecuar los tiempos de fabricación y evitar que las capas superiores hagan colapsar a las inferiores.
- **Punto de fusión:** es fundamental conocer esta propiedad para adecuar los parámetros de la máquina y evitar problemas como el solapamiento de capas.

6.1.2.3 Otras propiedades

Evidentemente es importante tener en cuenta otra serie de propiedades en función de los requerimientos de uso de la pieza, tal y como se hace con piezas manufacturadas por procesos convencionales. Algunos ejemplos son las propiedades eléctricas; la resistencia a la inflamabilidad o a agentes químicos; la densidad del material; y la dureza en caso de piezas metálicas.

6.1.3 Consideraciones de sostenibilidad

En la actualidad cada vez es más importante mantener un control sobre el impacto medioambiental que supone la producción industrial. Es por ello que los objetos producidos por FA también deben cumplir con la regulación vigente y aprovechar las ventajas que estos aportan para reducir todo lo posible el impacto.

6.1.3.1 Reducción de material

La FA no sólo permite desperdiciar menos material que por métodos de fabricación convencionales. También permite reducir el material utilizado para fabricar componentes. Lo que en industrias como la aeronáutica se puede traducir en un ahorro en combustible de millones de litros al año con su consiguiente reducción en emisiones de CO_2 debido al aligeramiento de una aeronave.

6.1.3.2 Reciclaje y Código de identificación

Por lo general todos los materiales metálicos son reciclables. Las resinas empleadas en Chorro de Material y Fotopolimerización en tanque no son reciclables.

El resto de procesos utilizan materiales por lo general reciclables (teniendo en cuenta la degradación típica asociada a este proceso). Los realizados en materiales

plásticos reciclables deberán estar correspondientemente marcados con sus códigos de identificación según el RIC (Resin Identification Code).

6.1.3.3 Impacto del Ciclo de vida del producto

El ciclo de vida de un producto tiene un impacto en el planeta desde que se obtienen los materiales hasta que el producto es finalmente desechado, reutilizado o reciclado. Para conocer el impacto que tiene la producción de este objeto por procesos de FA, estos se compararan con proceso tradicionales. A pesar de que en primera instancia un proceso e FA pueda requerir de más energía que un proceso convencional, la reducción de recursos necesarios para la producción a lo largo de toda la cadena puede ser suficiente como para que sea una alternativa más eficiente y sostenible.

Por tanto, para elegir la utilización de una tecnología de FA con respecto a otra u otro proceso tradicional, es fundamental analizar las consecuencias que va a tener este proceso junto con el material utilizado en el impacto del ciclo de vida del producto en el planeta.

6.1.4 Consideraciones de negocio

Se debe tener en cuenta una serie de factores para decidir si producir el producto utilizando FA es la opción más rentable.

6.1.4.1 Aportación de valor

Lo primero a considerar es si la FA realmente aporta un valor al producto que no se puede obtener por métodos de fabricación tradicionales. Esto puede hacer que el producto sea una innovación y por tanto ser más atractivo en el mercado.

6.1.4.2 Costes

Si el producto es realmente innovador se puede asumir una serie de sobrecostes y riesgos adicionales, sin embargo hay que considerar si finalmente será un producto rentable. En caso de no aportar realmente un valor demasiado distintivo habrá que estudiar si realmente es rentable la producción utilizando FA en lugar de métodos tradicionales. Además habrá que analizar qué tecnología de FA se adapta al proyecto y es la más rentable.

6.1.4.3 Capacidad productiva

Entre los principales motivos por los que muchas empresas no han comenzado a implantar la FA en sus cadenas productivas es por la baja productividad a gran escala que estas ofrecen. Por tanto, se debe analizar la estrategia de mercado correctamente para saber si la FA puede cumplir con la demanda del producto.

6.1.4.4 Otras consideraciones

Al igual que con procesos de fabricación tradicionales, la producción seguirá una cadena en la que se debe integrar estos procesos. Por tanto la inversión a realizar no sólo es en una máquina de FA, se tiene que considerar el tiempo de amortización de la misma, el personal que la va a hacer funcionar, los postprocesos asociados a esas tecnologías, el tratamiento de los residuos, etc.

Con el fin de reducir riesgos e inversión, considerar la probabilidad de subcontratar la producción es una buena opción, ya que la FA permite ofertar precios competitivos sin necesidad de producir series largas.

6.2 Diagrama de flujo para utilizar FA

Con todas las herramientas y conocimientos recogidas en este documento, el ingeniero podrá seleccionar la tecnología de FA adecuada a las necesidades de cada parte del proceso productivo. Esta toma de decisiones se puede facilitar y resumir en el siguiente diagrama de flujo:

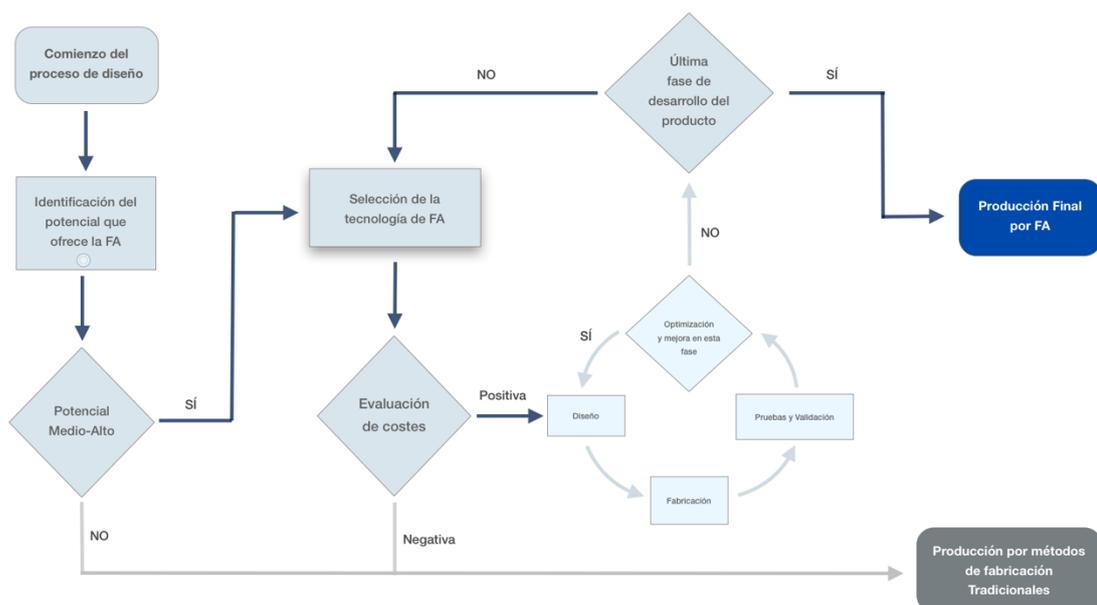


Figura 48. Diagrama de flujo para utilizar la FA. Diseño planteado a partir de [4]

Para comenzar, se debe identificar el potencial que ofrece fabricar el producto por FA frente a los métodos tradicionales. Esto se puede hacer en función de las ventajas y desventajas que la FA ofrece (apartado 3.5, capítulo 3). De ser un potencial medio-alto se considerará que se puede utilizar FA frente a otros métodos de fabricación tradicional. De ser bajo, se puede seguir utilizando la FA para abaratar los costes y acortar los tiempos de desarrollo del producto.

Tomada esta decisión, es el momento de seleccionar que tecnología es la más adecuada en función de la fase en la que se encuentre el proyecto. Esta selección se puede hacer siguiendo los dos siguientes pasos.

Primero, se debe identificar los requerimientos de la pieza a fabricar en función a la fase de desarrollo del proyecto en la que se encuentre. Este paso no tiene que tomarse como lineal, dado que si desde un inicio se conocen o se intenta plantear los requerimientos de la pieza final, será más sencillo y económico seleccionar o adaptar las tecnologías utilizadas durante todo el proceso de diseño y desarrollo del producto.

Segundo, en función de estos requerimientos podrá realizar una rápida comparativa entre las 7 categorías de procesos de FA fundamentales, recogida en la siguiente figura.

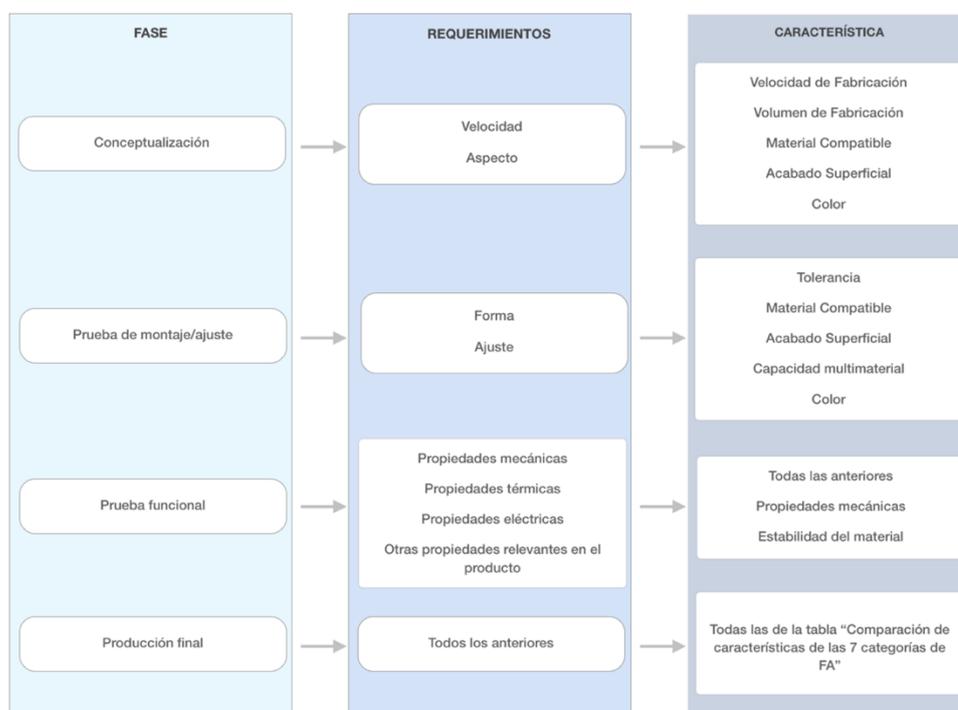


Figura 49. Primera fase de selección de proceso de FA. Diseño planteado a partir de [2]

COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LAS 7 CATEGORÍAS DE FA																		
	Fotopolimerización de Tanque			Chorro de Material		Extrusión de Material	Fusión de Lecho de Polvo			Chorro de Aglutinante		Laminación de Hojas			Deposición de Energía Dirigida			
Material compatible	Pte	RC	Ce	Pte	RC	Ptp	Me	Ptp	RC	Ce	Pte	Ce	Me	Ma	Pte	Me		
Tolerancia y Precisión	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○
Acabado Superficial	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○
Volumen de Fabricación	●	●	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○
Velocidad de Fabricación	●	●	○	●	●	○	●	○	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○
Necesidad de Material de soporte	●	●	○	●	●	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Tiempo/Dificultad de postprocesado	●	●	●	●	○	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○
Estabilidad del Material	○	○	○	●	○	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○	●	●	○
Propiedades mecánicas	●	○	○	●	○	○	●	●	○	●	●	○	●	○	○	●	●	○
Multimaterial de manera simultánea	○	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Variedad de Color	●	○	○	●	●	●	●	●	○	●	○	○	●	●	●	—	—	—

Pte Polímeros termoestables Ptp Polímeros termoplásticos Me Metal Ma Madera RC Resinas Composites Ce Cerámicos

● ○ ○ ● ● ○ ● ● ● ○ ● ● ● ○ ● ● ● ○ ● ● ● ○ ● ● ● ○ ● ● ● ○ ● ● ● ○ ● ● ● ○

Figura 50. Comparativa de características de las 7 categorías de FA. Diseño planteado a partir de [2]

Una vez elegida la tecnología, se seguirá con el flujo del diagrama de la figura 34, repitiendo el ciclo hasta llegar a la producción del producto final.

Es posible que una producción completa por FA sea económicamente inviable, por tanto la FA no tiene porque ser un sustituto de los métodos tradicionales sino un complemento para desarrollar y producir un producto.

Para comprender mejor el funcionamiento del diagrama de flujo se presenta el siguiente caso práctico [7]. Con el motivo de las elecciones presidenciales de la Unión Europea acogidas este año 2016 en Ámsterdam, se debía construir un palacio de congresos para albergar el acontecimiento. Dicha edificación tendría un carácter temporal dado que sólo era necesaria durante las elecciones. Para la ornamentación exterior se quería conseguir unas estructuras singulares de color azul que recordaran al agua con motivo de la temática naval de la edificación en la ciudad de los canales. Por ello, la fabricación aditiva era un recurso claramente idóneo para esa tarea.

Tras detectar el *alto potencial de la FA* en este proyecto, gracias a que permite libertad en el diseño y la parametrización del mismo para adaptarlo a las diferentes

secciones donde se va a utilizar, se avanza a la *Primera fase de selección del proceso de FA*.

Debido a la temporalidad de la edificación, las estructuras fabricadas por FA deberían ser: ligeras y con el menor número de piezas posibles para facilitar su transporte, montaje y desmontaje; a la vez estar compuestas por materiales biodegradables y reciclables. Además de cumplir una función decorativa, la geometría producida generaría superficie de asiento para los visitantes, por tanto tendría que ser capaz de resistir estos esfuerzos y su exposición a la intemperie.

Partiendo con la ventaja de conocer de antemano los requerimientos fundamentales del objeto final, esta primera fase se afronta de forma inversa a la planteada en el esquema. Esto se hace, con el objetivo de tratar de seleccionar una sola tecnología para desarrollar el proyecto en su totalidad y así poder; conseguir mejores resultados, ahorrar tiempo y dinero en su desarrollo.

Pasando a la tabla de *comparación de las 7 categorías (figura 50)*, lo primero es seleccionar una categoría que utilice un material que cumpla con los requerimientos establecidos. Los polímeros termoplásticos y el papel parecen los únicos que cumplen con esta premisa. Quedando sólo seleccionables; la extrusión de material, la fusión de lecho de polvo y la laminación en hoja.

Las tres categorías presentan a priori características muy similares en cuanto a la resistencia y estabilidad del material, sin embargo, el acabado superficial obtenido con las dos últimas es algo poroso por lo que requerirán de postprocesados que haga que las piezas puedan resistir mejor a la intemperie. Además al conocer de antemano que se debe tratar de conseguir piezas de grandes volúmenes para facilitar el montaje, la extrusión de material es la categoría que permite escalar la maquinaria con mayor facilidad para producir piezas de gran tamaño que incluso podrían ser producidas in-situ.

Una vez elegida la extrusión de material, se hicieron modelos a escala para refinar el diseño hasta conseguir la estética deseada (*conceptualización*). Estos también sirvieron para asegurar el correcto ajuste entre las piezas y la fachada (*prueba de montaje/ajuste*). La extrusión de material permite también controlar la cantidad de material de relleno en las paredes de la pieza. Durante las *pruebas funcionales*, se determinó la dificultad de obtener piezas ligeras que a su vez aseguran la integridad de

la estructura en las zonas destinadas para sentarse sin que el precio y la complejidad del montaje se dispararan.

Sin embargo, para la *producción final* se optó por aprovechar esta innovación y el diseño planteado en combinación con un método de construcción tradicional, para así conseguir que el proyecto fuera económicamente rentable. Para esto, se utilizó una máquina de extrusión de material de gran escala que permitía producir las piezas de ornamento en un solo cuerpo y las zonas de asiento fueron rellenadas con un hormigón ligero, una vez las estructuras ya estaban correctamente fijadas.



Figura 51. Fachada edificio Europa en Ámsterdam [7]

Referencias

- [1]** 3D Printing vs Injection Molding eBook. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de http://www.sculpteo.com/en/get/ebook/3Dprinting_vs_injection/
- [2]** Creación de prototipos. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de <http://www.protolabs.es/resources/whitepapers/2015/prototyping-processes/>
- [3]** La impresión en 3D y los procesos de fabricación tradicionales. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2016, a partir de <https://www.sculpteo.com/es/impresion-3d/la-impresion-en-3d-y-los-procesos-de-fabricacion-tradicionales/>
- [4]** Norma ISO/DIS 20195:2015. Guía de diseño para la fabricación aditiva. (2015). Recuperado 17 de mayo de 2016.
- [5]** Norma ISO/ASTM 52900:2015. Principios generales para la fabricación aditiva, Terminología. (2015). Recuperado 17 de mayo de 2016.
- [6]** Norma ISO/DIS 17296-2:2015. Principios generales para la fabricación aditiva, Parte 2 Descripción general de categorías de procesos y materia prima. Recuperado 17 de mayo de 2016.
- [7]** DUS Architects Amsterdam - Europe Building. Recuperado 7 de junio de 2016, a partir de <http://www.dusarchitects.com/projects.php?categorieid=publicbuildings>



CAPÍTULO 7

Elaboración del material didáctico

Capítulo 7 Elaboración del material didáctico

Con toda la información recogida durante el proceso de desarrollo de este TFG, se realizará el Material Didáctico. Para su elaboración se seguirán las líneas planteadas por el GIEIF en sus otros materiales didácticos [3],[4],[5] y las definiciones de los autores *Pablo Alberto Morales Muñoz [1]* e *Isabel Ogalde Careaga [2]*, consiguiendo así dar respuesta a los elementos principales propios de un Material Didáctico.

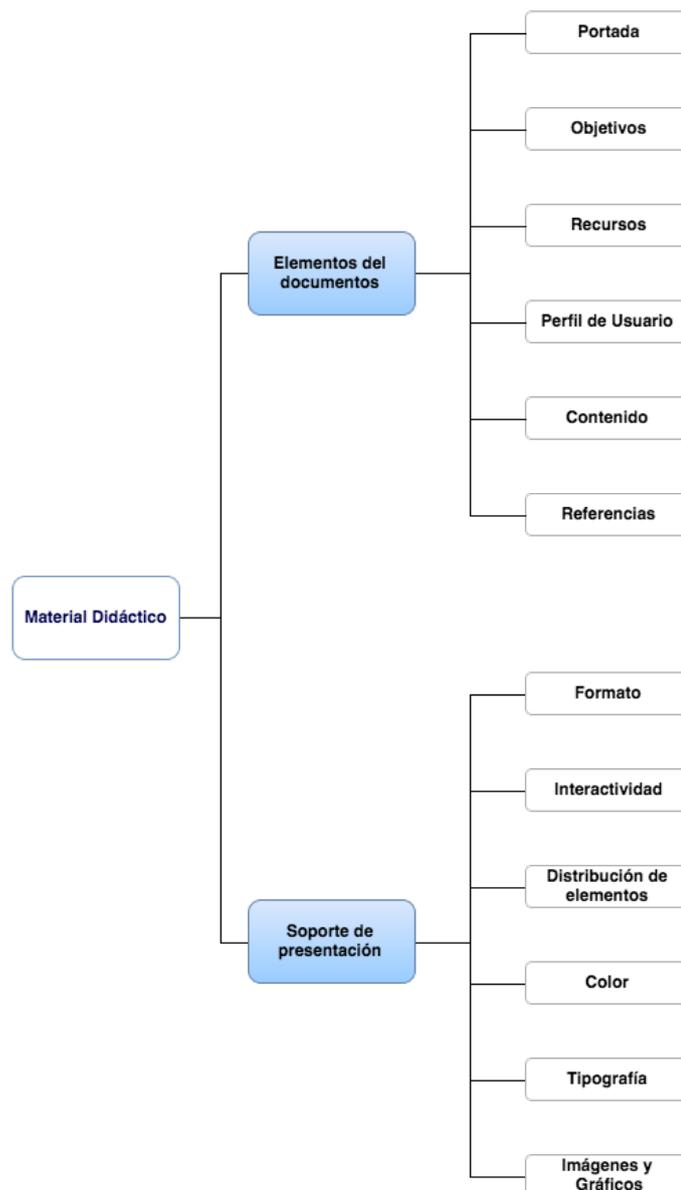


Figura 52. Esquema diseño de un material didáctico

7.1 Elementos del documento

Portada

En la portada se mostrará el título del documento así como su autoría (Alumno y Tutor) y los grupos u organismos que colaboraron en su elaboración (GIEF y ULPGC).

Objetivos

Tal y como se indica en Capítulo 1 de este documento, el objetivo general de la elaboración de este material didáctico es introducir la fabricación aditiva en el proceso formativo de los estudiantes de ingeniería de la ULPGC.

Para cumplir este objetivo general se fijaron una serie de objetivos particulares de estudio antes de elaborar el documento, que se traducirán en explicaciones y demostraciones en el cuerpo del material didáctico:

- Recopilación de los orígenes y el estado de estas tecnologías.
- Descripción del proceso de utilización de estas tecnologías
- Estudio en profundidad y análisis las diferentes tecnologías de fabricación aditiva
- Descripción del impacto y futuro de estas tecnologías.
- Descripción del proceso de selección de la tecnología más adecuada en función de los requerimientos de la pieza en cada fase de diseño.

Recursos

Los recursos temporales que se disponen para la elaboración de este material didáctico, son 300 horas si bien hay que tener en cuenta que para la elaboración del documento se tuvo que realizar la investigación y análisis de las características que debe cumplir un documento para ser considerado material didáctico, con lo que el tiempo dedicado al diseño propiamente dicho del documento es sensiblemente menor.

Los recursos humanos, he tenido el apoyo en la tutorización del profesor Pedro Manuel Hernández Castellano.

Los recursos materiales necesarios para la elaboración del trabajo son: documentación tanto en soporte físico como digital; equipo informático, software para retoque y edición de imágenes y gráficos vectoriales (Adobe Photoshop e Illustrator); el

software de ofimática Microsoft Word para la elaboración de la memoria y otros borradores; el programa *Ibooks author* para la elaboración y maquetación del Material Didáctico final.

Perfil de usuario

Los usuarios que utilizarán este material didáctico, son estudiantes del ámbito de Ingeniería donde se imparten las asignaturas del área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación. Profesionales del sector industrial interesados en formarse en este tema.

Sin embargo, posteriormente se mostrará como la estructuración del documento estará diseñada para facilitar su lectura e interacción para cualquier tipo de usuario. Siendo un documento jerarquizado por capas en el que un usuario sin ningún tipo de conocimientos pueda obtener los conceptos básicos sin perderse en la navegación. Mientras que un usuario más experto podrá seguir interactuando e indagando llegando a distintas capas en las que la información se desglosará de manera profunda.

En el contexto actual al tratarse de un material didáctico en formato digital, los usuarios podrán tener acceso al mismo desde cualquier dispositivo, ya sea ordenador, móvil o Tablet.

Contenido

Los contenidos recogidos en el material didáctico, así como su estructuración por capítulos y secciones serán detallados y ejemplificados posteriormente en el apartado 7.3 de este capítulo de la memoria del TFG.

Referencias

Se incluirá la bibliografía utilizada para la elaboración del documento, así como otros recursos en línea que sirvan para respaldar los contenidos del material didáctico.

7.2 Soporte de Presentación

El método elegido para la elaboración del material didáctico digital, es utilizando el programa *Ibooks Author*, ya que permite crear impresionantes documentos con un alto nivel de interactividad mediante la inclusión de gráficos interactivos, ventanas desplegables, vídeos o galerías de imágenes.

Formato

El formato generado por este programa se ajusta de manera dinámica a la resolución y tamaño de pantalla del dispositivo en el que se está utilizando, adaptando también los gestos a una interfaz táctil o a una interfaz de ordenador. A su vez es fácilmente exportable a otros formatos como el .pdf o .epub para su distribución y mayor compatibilidad entre dispositivos.

Interactividad

El hecho de tratarse de un soporte digital permite un nivel de interactividad que directamente el papel no permite. Tal y como se muestra en la siguiente figura, el papel sólo permite recopilar por tomos las información, sin embargo con el soporte digital se puede generar un documento con varias capas o niveles de profundidad. En otras palabras, el usuario es el que elige en función de su formación hasta que punto quiere profundizar en la materia de una manera intuitiva.

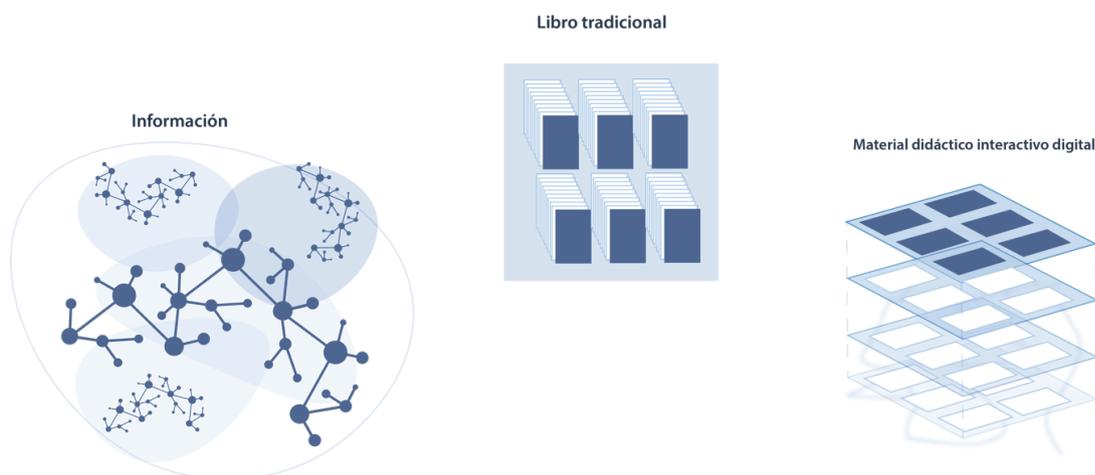


Figura 53. Esquema interactividad en material didáctico digital

Para facilitar esta interacción el programa *Ibooks author* cuenta con una serie de “widgets” interactivos que hacen que la experiencia sea aún más rica que la obtenida con otros programas de maquetación.



Figura 54. Widgets *Ibooks Author*

- **Galería:** permite añadir una galería con varias fotos de alta calidad.
- **Multimedia:** permite añadir vídeos explicativos de apoyo para las explicaciones.
- **Repaso:** permite añadir cuestionarios para comprobar si los conceptos han quedado claros.
- **Keynote:** permite añadir presentaciones ya generadas para aumentar la información.
- **Imagen interactiva:** Permite añadir anotaciones desplegables para expandir la información presente en una imagen.
- **3D:** permite añadir modelos 3D para que el usuario los explore.
- **Barra lateral de desplazamiento:** Permite dejar una interfaz más limpia y con espacios al poder añadir largos textos en espacios pequeños.
- **Ventana emergente:** Permite añadir información escondida sobre una imagen o figura, para mantener la interfaz más limpia.
- **HTML:** permite enlazar contenido web, por lo que se puede tener información totalmente actualizada en tiempo real.

La navegación por el documento es muy dinámica e intuitiva como cualquier otra aplicación para móviles u ordenador. Sin embargo, con el fin de asegurar una experiencia simple y sin problemas, se añadirá al principio del documento unas diapositivas expiatorias que guiarán al usuario en la navegación e interacción.

¿Cómo funciona este libro?

La forma de navegar es intuitiva utilizando los mismos gestos que utilizarías para navegar por cualquier otra aplicación y haciendo uso de los botones contextuales.



Pulsar para interactuar



ZOOM +



Desplaza hacia derecha e izquierda para pasar página



ZOOM -

Ir a la vista minimizada por capítulos

vi

Figura 55. Diapositiva: ¿Como funciona el libro? I

Además siempre que aparezca un nuevo elemento interactivo, este símbolo te lo indicará para que comiences a familiarizarte con él.



Pulsa sobre el icono

Este icono no sólo te indicará un nuevo elemento de interacción que no conocías, si pulsas sobre él te indicará como funciona este nuevo elemento.



Desliza verticalmente para ver todo el texto dentro del cuadro

vii

Figura 56. Diapositiva: ¿Como funciona el libro? II

Distribución de elementos

Las pantallas del material didáctico se dividen en pantallas de Capítulo y pantallas de Sección con sus respectivas páginas de desarrollo.

En cuanto a las páginas de Capítulo, que hacen las funciones de portada del mismo, la distribución de los elementos será la indicada en la siguiente figura.



Figura 57. Distribución pantalla capítulo

Constará de una imagen de fondo relacionada con lo tratado en el tema que sea preferentemente sobre un fondo negro para mantener una homogeneidad en las páginas de capítulo y que sea más fácil la navegación del documento en la vista de carrusel.

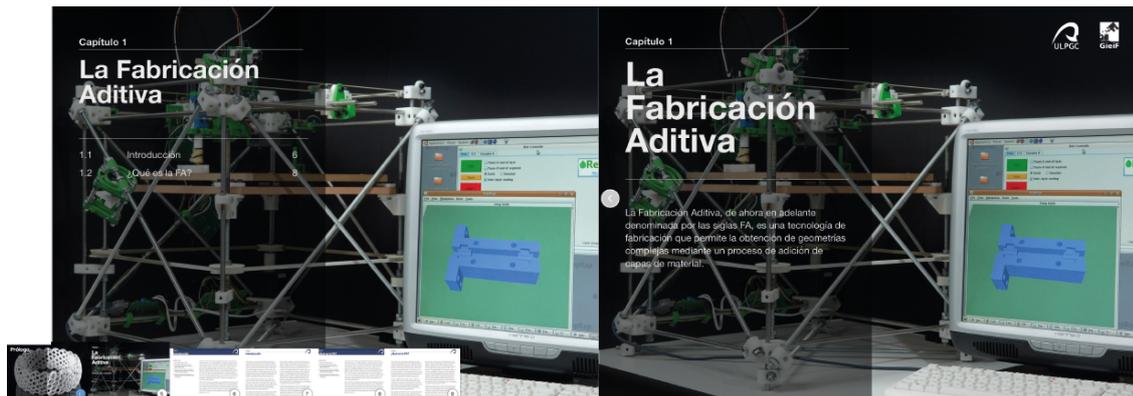


Figura 58. Vista de carrusel a la izquierda, vista dentro del capítulo a la derecha

En la sección inferior izquierda el texto variará. Presentándose el índice al posicionarse sobre la pantalla del capítulo y dando la posibilidad de acceder directamente a cada uno de los puntos mostrados en el mismo. Por otro lado el texto pasará a ser una introducción del capítulo en cuestión una vez se accede al interior del capítulo.

Para el diseño de las pantallas de Sección, donde se desarrolla el contenido de cada capítulo, se sigue el siguiente esquema.

Nº Capítulo	ENCABEZADO	Logo ULPGC
Título Sección		
<p>LOREM IPSUM</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lorem ipsum dolor sit amet 2. Consectetur adipisicing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. 3. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. 4. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat <p>Galería 1.1 Lorem ipsum dolor amet, consectetur</p>  <p>Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.</p>	<p>TÍTULO PRINCIPAL</p> <p>Lorem ipsum dolor sit amet, ligula suspendisse nulla pretium, rhoncus tempor placerat fermentum, enim integer ad vestibulum volutpat. Nisi rhoncus turpis est, vel elit, congue wisi enim nunc ultricies sit, magna tincidunt. Maecenas aliquam maecenas ligula nostra, accumsan taciti. Sociis mauris in integer, a dolor netus non dui aliquet, sagittis felis sodales, dolor sociis mauris, vel eu libero cras. Interdum at. Eget habitasse elementum est, ipsum purus pede porttitor class, ut seditione, aliquet ac, nunc lobortis, per diam dapibus libero duis. Enim eros in vel, lorem ipsum volutpat nec, pellentesque leo, temporibus scelerisque nec. Ac dolor ac adipiscing amet bibendum nullam, massa lacus molestie ut libero nec, diam et, pharetra sodales eget, feugiat ullamcorper id tempor eget id vitae. Mauris pretium eget aliquet, lectus tincidunt. Porttitor mollis imperdiet lorem ipsum libero senectus pulvinar.</p> <p>Etiam molestie mauris ligula eget laoreet, vehicula eleifend. Repellat orci eget erat et, sem cum, ultricies sollicitudin amet eleifend dolor nullam erat, malesuada est leo ac. Varius natoque turpis elementum est. Massa lacus molestie ut libero nec, diam et, pharetra sodales eget, feugiat ullamcorper id tempor eget id vitae. Mauris pretium eget aliquet, lectus tincidunt. Porttitor mollis imperdiet libero senectus</p>	
	Nº DE PÁGUINA	

Figura 59. Distribución pantalla "Sección"

El encabezado ocupa una superficie de 100 puntos; en el encontraremos el número del capítulo al que pertenece esa sección y debajo con un mayor tamaño de fuente el título de la sección; a la derecha se sitúa el logo de la universidad conformado por capas para adaptarlo a la temática del material didáctico. En cuanto a los otros márgenes, se dejan 50 puntos tanto para los laterales como para el inferior. Encontramos la numeración de página en la esquina superior derecha de este último margen. El resto de la superficie de la pantalla, respetando el margen delimitado por la línea de puntos, será utilizada para disponer la información e imágenes que ilustrarán el material didáctico.



Figura 60. Pantalla inicio de sección a la izquierda, pantalla perteneciente a dicha sección derecha.

Las páginas pertenecientes a la sección seguirán el mismo diseño, pero pasando el encabezado a negativo (Figura 44), esto permitirá al usuario distinguir rápidamente dónde empieza cada sección y qué páginas pertenecen a las mismas, tal y como se ve en la vista de carrusel de la Figura 43.

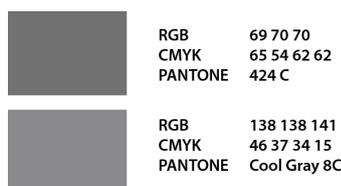
Color

El diseño del material didáctico trata de ser lo más sobrio y minimalista posible, con el fin de centrar la atención en el contenido y simplemente servir de guía para la navegación a la vez que se asocia la autoría del mismo. Por ello se opta por utilizar una gama de colores no muy amplia en la que se utilicen los colores corporativos de la ULPGC.

Al margen de la utilización del negro y el blanco en la pantalla de capítulos, el color utilizado para el encabezado de las secciones es:



Para los textos del cuerpo del documento se utilizan varias tonalidades de gris en conjunción con la variación del tamaño de fuente para diferenciar entre los distintos niveles de información, títulos, texto, leyendas de imagen, etc.



Tipografía

La familia tipográfica elegida para el material didáctico es la *Helvetica Neue*, por su claridad, buena legibilidad y sensación de calidad y modernidad que transmite. Para distinguir diferentes niveles de información esta tipografía se variará en tamaño de fuente y estilo (negrita, cursiva, subrayado).

En la pantalla de capítulo se utiliza:

- Encabezado:
 - Fuente de 18 puntos en negrita para designar el número del capítulo.
- Cuerpo:
 - Fuente de 50 puntos en negrita para designar el nombre del capítulo.
 - Fuente de 18 puntos para el cuerpo del texto tanto en la introducción como en el índice.

En las pantallas de sección se utiliza:

- Encabezado:
 - Fuente de 14 puntos en negrita para designar el número del capítulo.
 - Fuente de 36 puntos en negrita para designar el nombre de la sección.
- Cuerpo:
 - Fuente de 18 puntos en negrita y mayúscula para los títulos de párrafo.
 - Fuente de 15 puntos normal para el texto.

- Fuente de 16 puntos en negrita para el título de imágenes y elementos multimedia.
- Fuente menor de 14 puntos cursiva para las leyendas de imágenes y elementos multimedia.
- Fuente menor de 14 puntos para cualquier otro texto que no forme parte del cuerpo principal.
- Pie de página:
 - Fuente de 14 puntos para la numeración de página.

Imágenes y Gráficos

Las imágenes utilizadas en el documento deben ser de una calidad alta. Los formatos utilizados son .jpg y .png. El formato de los gráficos serán archivos vectoriales, para asegurar una correcta reproducción en cualquier resolución, incluida la proyección en clase. Estos gráficos también seguirán una gama de colores en concordancia con los colores corporativos planteados en el apartado correspondiente con anterioridad.

Se embeberá otro contenido multimedia como vídeos utilizando HTML para reproducirlos desde la red y así aligerar el peso del archivo. El formato para los gráficos en 3d es .dae.

Todas las imágenes y demás contenido multimedia irá acompañado de una leyenda explicativa junto con la autoría de la misma en caso de ser de una fuente externa.

7.3 Contenido

En lo que al contenido se refiere, toda la información extraída durante el proceso de investigación de este TFG y recogida en la presente memoria, se sintetiza y vuelca en el material didáctico, siguiendo la estructura mostrada en este esquema.

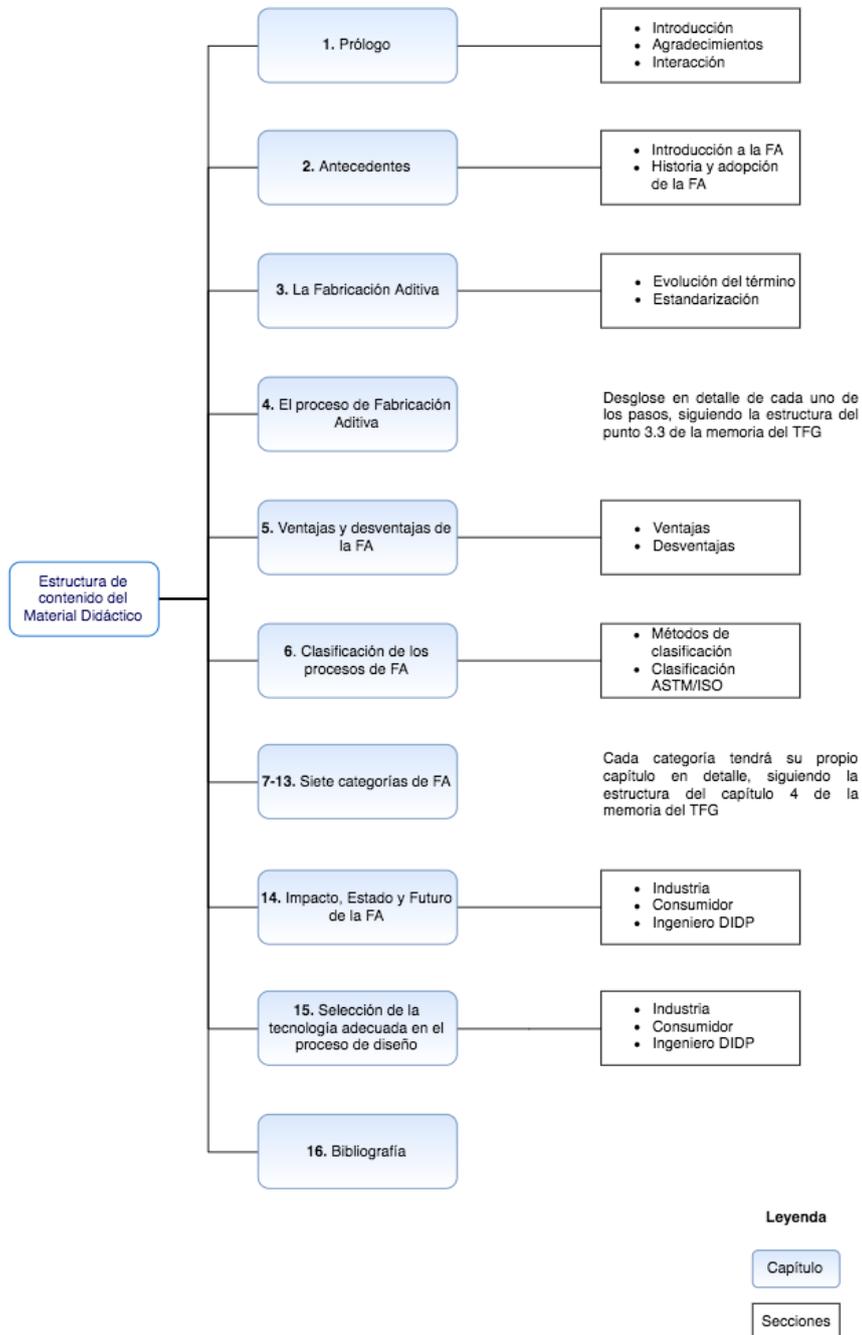


Figura 61. Esquema estructura de contenido del material didáctico.

Con el objetivo de ilustrar mejor la estructura y las mecánicas de funcionamiento del material didáctico, a continuación se van a presentar y explicar algunas diapositivas -del capítulo 6 del material didáctico- de ejemplo.



Figura 62. Portada capítulo 6 Fotopolimerización en tanque

A lo largo de este capítulo, no se hace mención acerca de botones de navegación, un recurso muy utilizado en este tipo de documentos electrónicos. Sin embargo, en este caso no es necesario integrarlos en la pantalla de contenido, ya que estos botones aparecen de forma contextual cuando el usuario se acerca con el ratón a los extremos de la página o son directamente visibles en los dispositivos táctiles (figura 63).



Figura 63. Botones contextuales

Tabla de contenido	
Miniaturas	
Prólogo	
1 Antecedentes	8
2 La Fabricación Aditiva	13
3 El Proceso de utilización de la FA	18
4 Ventajas y Desventajas	23
5 Clasificación de los Procesos de FA	28
6 Fotopolimerización en tanque	33
6.1 Fotopolimerización en Tanque	34
6.1 SLA Estereolitografía	36
6.2 DLP Digital Light Processing	37
7 Chorro de Material	40
8 Extrusión de Material	45
9 Fusión de Lecho de Polvo	50
10 Chorro de Aglutinante	55
11 Laminación de Hojas	60
12 Deposición de Energía Dirigida	65
13 Impacto, Estado y Futuro de la FA	70
14 Selección de la tecnología adecuada en el p...	87

Figura 65. Tabla de contenido

Volviendo al contenido del material didáctico, en la siguiente figura se puede apreciar la disposición de la información, con protagonismo por igual para las imágenes y el texto. Pudiendo analizarse de un vistazo para después centrarse en los puntos de interés uno por uno.

Capítulo 6

Fotopolimerización en Tanque

Definición según la ISO/ASTM 52900:2015

Proceso de fabricación aditiva en el cual un fotopolímero líquido en un tanque es selectivamente curado por la acción de luz que activa la polimerización.

VENTAJAS

DESVENTAJAS

Modelo de anillo fabricado por fotopolimerización en tanque

MATERIALES

Resinas Poliméricas fotocurables y composites cerámicos

Botella de resina fotocurable de la empresa formlabs

34

Figura 66. Inicio de sección I del Capítulo 6, Fotopolimerización en tanque.

Con el objetivo de mantener ese equilibrio y limpieza, se utilizan estrategias de interacción, como los puntos presentes en los gráficos de ventajas y desventajas (figura 67), que al comienzo del material didáctico habrán sido debidamente explicados con la simbología descrita anteriormente en esta memoria en el apartado *interactividad*.

Capítulo 6

Fotopolimerización en Tanque

Definición según la ISO/ASTM 52900:2015
Proceso de fabricación aditiva en el cual un fotopolímero líquido en un tanque es selectivamente curado por la acción de luz que activa la polimerización.

Buena tolerancia y buen acabado superficial.
Proceso relativamente rápido con respecto a los de otras categorías.
Normalmente tienen áreas de construcción grandes.

DESVENTAJAS

Modelo de anillo fabricado por fotopolimerización en tanque

MATERIALES
Resinas Poliméricas fotocurables y composites cerámicos

Botella de resina fotocurable de la empresa formlabs

34

Figura 67. Ventana emergente. Capítulo 6, Fotopolimerización en tanque.

En la siguiente página de esta sección se completa el resto de información recopilada en el apartado correspondiente a esta categoría de FA en esta memoria. Es importante remarcar que todas las fotos cuentan con su pie de página explicativo correspondiente, aportando la autoría de las mismas si fuera ajena. Según el artículo 32 de la Ley de Protección Intelectual vigente [7], al tratarse -tanto este TFG como el Material Didáctico- de documentos cuya divulgación es con carácter educativo y sin finalidad comercial, se confiere el derecho a la utilización de estas imágenes sin la concesión de permiso previo siempre que las fuentes estén claramente citadas en los documentos en los que se use el material gráfico ajeno.

Capítulo 6

Fotopolimerización en Tanque



LIMITACIONES DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO

- Riesgo al fotocurado de manera accidental.
- Para evitar posibles fallos en la fabricación el polímero seleccionado debe cumplir con estos requisitos:
 - Alta reactividad a la radiación láser

- Además el hecho que el curado no sea completo durante el proceso hace vital que se conozca la cantidad de material que podrán soportar las capas inferiores sin deformarse.
- Orientar la pieza de manera que la distribución de las capas esté orientada para soportar mejor los esfuerzos a los que se someterá la pieza.
- Es más caro construir capas en altura que de manera horizontal a lo largo de todo el tanque, por lo que las piezas altas serán más caras.

PRINCIPALES TECNOLOGÍAS COMERCIALES EN ESTA CATEGORÍA

SLA

DLP



Pieza producida por fotopolimerización en tanque en una resina traslúcida

35

Figura 68. Continuación de sección I del Capítulo 6, Fotopolimerización en tanque.

En la sección de la SLA, se puntualiza que el principio de funcionamiento de la misma es realmente el de la propia categoría y se ilustra su funcionamiento tanto con el esquema como con un vídeo.

Capítulo 6

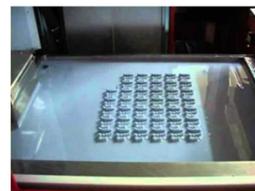
SLA Estereolitografía



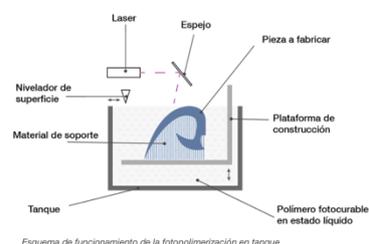
DESCRIPCIÓN

La estereolitografía, es la primera de las tecnologías de FA inventada. Lo hizo Charles Hull 1983, que comenzó a comercializar la primera máquina en 1988 tras fundar 3DSystems. Esto hace que sea una de las tecnologías más extendidas a nivel industrial. También es su principio de funcionamiento en el que se fundamentan las tecnologías asociadas a esta categoría.

VÍDEO DEL FUNCIONAMIENTO SLA



Video cortesía de 3MESPEdentalEurope, toque encima para reproducir



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

1. La plataforma comienza a descender en el interior del tanque.
2. El cabezal se desplaza y utiliza el mecanismo de espejos para proyecta el haz de luz ultravioleta que va curando la resina capa a capa. La plataforma sigue descendiendo y las capas se siguen formando una encima de la otra.

36

Figura 69. Sección SLA del Capítulo 6, Fotopolimerización en tanque.

Más adelante, comienza la sección dedicada a la tecnología DLP, se pueden apreciar más elementos interactivos que ayudan a hacer la interfaz más amable (figura 70). Se trata del cuadro de texto con barra de desplazamiento, que permite añadir mucha información en un espacio pequeño (figura 71, izquierda). Y de un enlace de vídeo, en el que se dispone el mismo en miniatura para después poder visualizarlo en pantalla completa (figura 71, derecha).

Capítulo 6

DLP Digital Light Processing

DESCRIPCIÓN

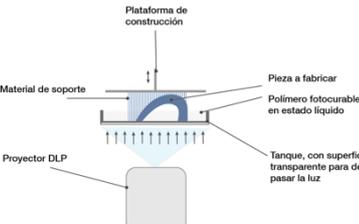
Esta tecnología fue desarrollada en 1996 por Texas Instruments, su funcionamiento es muy similar al de una máquina SLA, la diferencia es que la curación de la resina se produce al proyectar una imagen mediante tecnología DLP.



VENTAJAS



DESVENTAJAS



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

1. La plataforma comienza a descender en el interior del tanque.
2. El cabezal se desplaza y utiliza el mecanismo de espejos para proyecta el haz de luz ultravioleta que va curando la resina capa a capa. La plataforma sigue descendiendo y las capas se siguen formando una encima de la otra.
3. Algunas máquinas usan una cuchilla para asegurar que la superficie

VÍDEO DEL FUNCIONAMIENTO DE DLP



Vídeo cortesía de Adafruit Industries, toque encima para reproducir

37

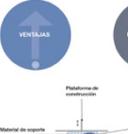
Figura 70. Inicio de la Sección DLP. Capítulo 6.

Capítulo 6

DLP Digital Light Processing

DESCRIPCIÓN

Esta tecnología fue desarrollada en 1996 por Texas Instruments, su funcionamiento es muy similar al de una máquina SLA, la diferencia es que la curación de la resina se produce al proyectar una imagen mediante tecnología DLP.



VENTAJAS



DESVENTAJAS



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

1. El cabezal se desplaza y utiliza el mecanismo de espejos para proyecta el haz de luz ultravioleta que va curando la resina capa a capa. La plataforma sigue descendiendo y las capas se siguen formando una encima de la otra.
2. Algunas máquinas usan una cuchilla para asegurar que la superficie no tiene imperfecciones antes de generar la siguiente capa.

VÍDEO DEL FUNCIONAMIENTO DE DLP



Vídeo cortesía de Adafruit Industries, toque encima para reproducir

Figura 71. Elementos interactivos de la Sección DLP. Capítulo 6.

Para terminar con esta sección y el capítulo, en las dos siguientes páginas se introduce la máquina seleccionada y sus características (figura 72), así como, los usos y aplicaciones recogidos en el apartado 4.1 del Capítulo 4 de esta memoria. En la última página se puede ver también la galería de fotos que permite añadir varias fotos en una sola página y poder verlas en pantalla completa si así se desea (figura 73). Los enlaces de los pies de página permiten además acceder directamente a las webs para obtener más información al respecto.

Capítulo 6

DLP Digital Light Processing

MAQUINARIA Y MATERIALES

Las características que ofrecen tanto SLA como DLP varían en función de la máquina y el material utilizado, por tanto se recomienda consultar la ficha técnica del fabricante para comprobar si la máquina cuenta con características como la tolerancia o el volumen de construcción que se requiere.

Uno de los principales fabricantes de máquinas DLP es **Envisiontec**. La **Perfactory 4DDP** es una de sus máquinas más avanzadas.



Perfactory 4DDP y su datasheet, cortesía de <http://envisiontec.com/3d-printers/perfactory-mini-family/p4-digital-dental-printer/>

Machine Properties *	Perfactory® 4 Standard	Perfactory® 4 Standard XL
Build Envelope	6.3" x 3.5" x 7.09"/9.06" (160 x 100 x 180/230 mm)	7.6" x 4.7" x 7.09"/9.06" (192 x 120 x 180/230 mm)
Projector Resolution	1920 x 1200 Pixels	1920 x 1200 Pixels
Native Pixel Size	0.0033" (83 µm)	0.0039" (100 µm)
Pixel Size With ERM	0.0017" (42 µm)	0.0020" (50 µm)
Dynamic Voxel	0.0004" (25 µm) to 0.0059" (150 µm)	0.0004" (25 µm) to 0.0059" (150 µm)
Resolution in Z (material dependent)**		
Data Handling		STL
Warranty		1 Year included

* Specifications are subject to change without notice. ** A voxel is a volumetric pixel.

Materials Available	Ideal for
ABS/uff	General purpose similar to ABS plastic
ABflex	General purpose similar to ABS plastic with flexible characteristics
HTM Series	High temperature molding, architectural models, plating
LS600, EC100, WIC 100/0, E-Shell® 200 Series	General purpose
PIC 100	Casting
RS, R5 Gray, R11	General purpose, master models
RC31	High temperature applications
Photosilver, RCP 30, RC70, RC90 (Not available on XL)	High temperature applications with fine detail
WIC300 (Not available on XL)	General Purpose

38

Figura 72. Página 2 de la Sección DLP. Capítulo 6.

Capítulo 6

DLP Digital Light Processing

USOS Y SECTORES DE APLICACIÓN

Las principales aplicaciones para esta tecnología son dos:

- La fabricación de prototipos debido a la gran precisión y acabado superficial que permite. Sin embargo estos prototipos están más indicados para pruebas visuales y de ensamble (Imagen 1). También existen materiales capaces de obtener buenas propiedades mecánicas, pero no será un resultado comparable al obtenido por procesos tradicionales u otros procesos de FA.
- Obtención de piezas patrón para técnicas de copiado como R.I.M y colada en vacío. Esto se debe una vez más a su alta precisión y acabados superficiales (Imagen 2).

En cuanto a los sectores de aplicación, se utilizan para generar prototipos en



Imagen 2. Imagen cortesía de <http://envisiontec.com>

39

Capítulo 6

DLP Digital Light Processing

USOS Y SECTORES DE APLICACIÓN

Las principales aplicaciones para esta tecnología son dos:

- La fabricación de prototipos debido a la gran precisión y acabado superficial que permite. Sin embargo estos prototipos están más indicados para pruebas visuales y de ensamble (Imagen 1). También existen materiales capaces de obtener buenas propiedades mecánicas, pero no será un resultado comparable al obtenido por procesos tradicionales u otros procesos de FA.
- Obtención de piezas patrón para técnicas de copiado como R.I.M y colada en vacío. Esto se debe una vez más a su alta precisión y acabados superficiales (Imagen 2).

En cuanto a los sectores de aplicación, se utilizan para generar prototipos en



Imagen 1. Imagen cortesía de <http://formlabs.com/products>

39

Figura 73. Página 2 de la Sección DLP y sus elementos interactivos. Capítulo 6.

En el Anexo I de los ANEXOS, se presentan algunas páginas adicionales del material didáctico para visualizar otros ejemplos representativos de la estructura e interactividad que proporciona el documento.

Referencias

- [1] Pablo Alberto Morales Muñoz , Elaboración de material didáctico (2012).
- [2] Isabel Ogalde Careaga, NUEVAS TECNOLOGÍAS Y EDUCACIÓN (2008).
- [3] Eduardo Taboada Margalejo, DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA FACILITAR EL ACCESO A LOS CONTENIDOS DEL SISTEMA GPS (2015).
- [4] Illari Antón Henríquez, DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO A PARTIR DEL DESARROLLO DE UN PRODUCTO MEDIANTE INYECCIÓN (2015) .
- [5] Ana María Aranda Loureiro, DESARROLLO DE UN MATERIAL DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON TECNOLOGÍAS CNC (diciembre 2015).
- [6] Scott Hagedorn, HOW TO CREATE ON IBOOKS AUTHOR (2014).
- [7] Ley 21/2014, de 4 de noviembre, por la que se modifica el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, y la Ley 1/2000, de 7 de enero, de Enjuiciamiento Civil. Recuperada a partir de, el «BOE» núm. 268, de 5 de noviembre de 2014, páginas 90404 a 90439 (36 págs.)



CAPÍTULO 8

Conclusión

Capítulo 8 Conclusión

8.1 Conclusión

Con la determinación de cumplir los objetivos planteados al inicio de esta memoria, se ha realizado una búsqueda y análisis de información exhaustivos que me ha permitido obtener las siguientes conclusiones.

Si bien, se partía de la premisa de la importancia de la utilización de recursos didácticos para la enseñanza y formación del alumnado, el proceso seguido durante la elaboración de este TFG ha reforzado estas bases. Por, ello se ha desarrollado una estructura de contenidos y de navegación que hará que el usuario del material pueda asimilar los conceptos de manera intuitiva. Dotándolo de gráficos y otros recursos interactivos que se ajustarán al nivel del usuario, haciendo que este pueda obtener una idea básica de los conceptos y una vez los tenga asimilados pueda reforzarlos o profundizar en mayor medida.

En lo referente a la temática de este material didáctico, la Fabricación Aditiva, es un método de fabricación relativamente nuevo, con un gran potencial, que actualmente se encuentra en auge y cuyo impacto no hará más que crecer durante los próximos años. Por tanto, es vital que un perfil profesional, como el de los ingenieros en general y de los ingenieros en DIDP en particular, este ampliamente formado en estas materias de cara a afrontar su futuro laboral.

El hecho de que la FA sea un método de fabricación asistidos por ordenador, hace que guarde ciertas similitudes con otros procesos de fabricación por control numérico tradicionales. Esto puede suponer un punto de partida que facilitará la comprensión del proceso de utilización de las mismas.

Sin embargo, existen siete categorías de FA según el formato en el que se aplica el material. Conocer las ventajas y limitaciones que estas ofrecen. Así como las especificidades de cada proceso dentro de las tecnologías aditivas, permitirá obtener el máximo rendimiento a la hora de desarrollar un producto.

A pesar del fuerte impacto que está teniendo y que seguirá aumentando, estas tecnologías también tienen contrapuntos frente a los métodos tradicionales. Por tanto, no deben ser concebidas como un sustitutivo de las mismas, sino como otra

herramienta más que el ingeniero debe manejar para combinarlas y poder así desarrollar productos de la manera más eficiente posible.

Actualmente existe muy poca normativa internacional que regule la FA. Organismos como la ASTM e ISO están estudiando y trabajando en la redacción de estas, lo que permitirá impulsar de manera definitiva la implementación industrial de estas tecnologías, con el consiguiente impacto económico que esto supondrá a nivel global.

En definitiva, se considera que los objetivos del TFG han sido cumplidos, ya que se ha elaborado un material didáctico interactivo, orientado a las tecnologías de Fabricación Aditiva. En este, se sintetiza la información recogida y analizada en esta memoria, haciéndolo útil para la docencia, tanto para impartir las clases como para el posterior estudio autónomo por parte de los estudiantes.

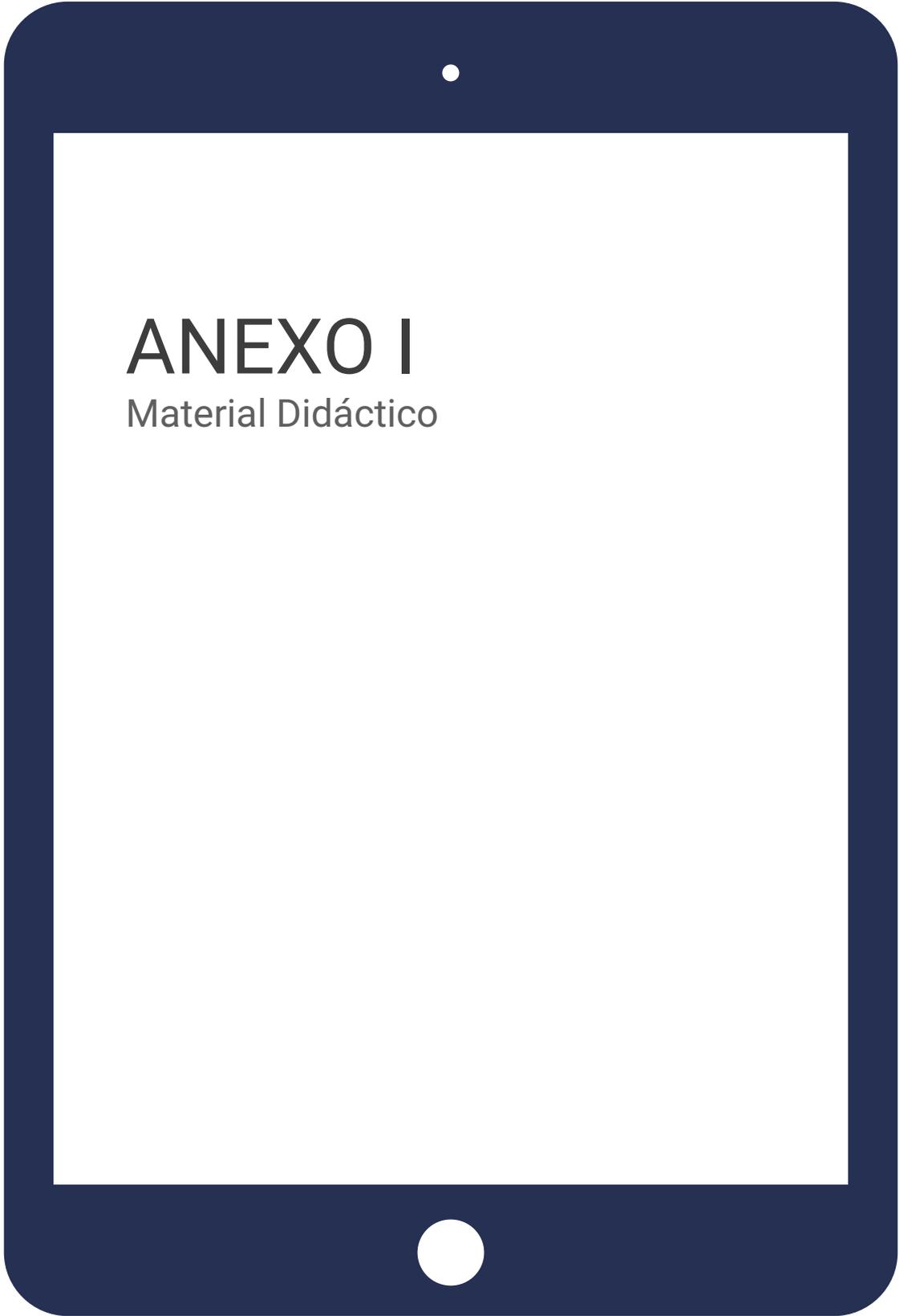


ANEXOS

Anexos

Índice

Anexo I Material didáctico.....	5
Anexo II Datasheets.....	21
2.1 Fotopolimerización en tanque. <i>Envisiontec, Perfactory 4DDP</i>	23
2.2 Chorro de material. <i>Stratasys, Polyjet Object1000 Plus</i>	26
2.3 Extrusión de material. <i>BCN3DTechnologies, BCN3D+</i>	30
2.4 Fusión de lecho de polvo. <i>Arcam, Arcam Q10plus</i>	37
2.5 Chorro de aglutinante. <i>3DSystems, ZPrinter 450</i>	44
2.6 Laminación de hojas. <i>Mcor, Mcor Arke</i>	48
2.7 Deposición de energía dirigida. <i>Huffman, HC-205</i>	51



ANEXO I

Material Didáctico

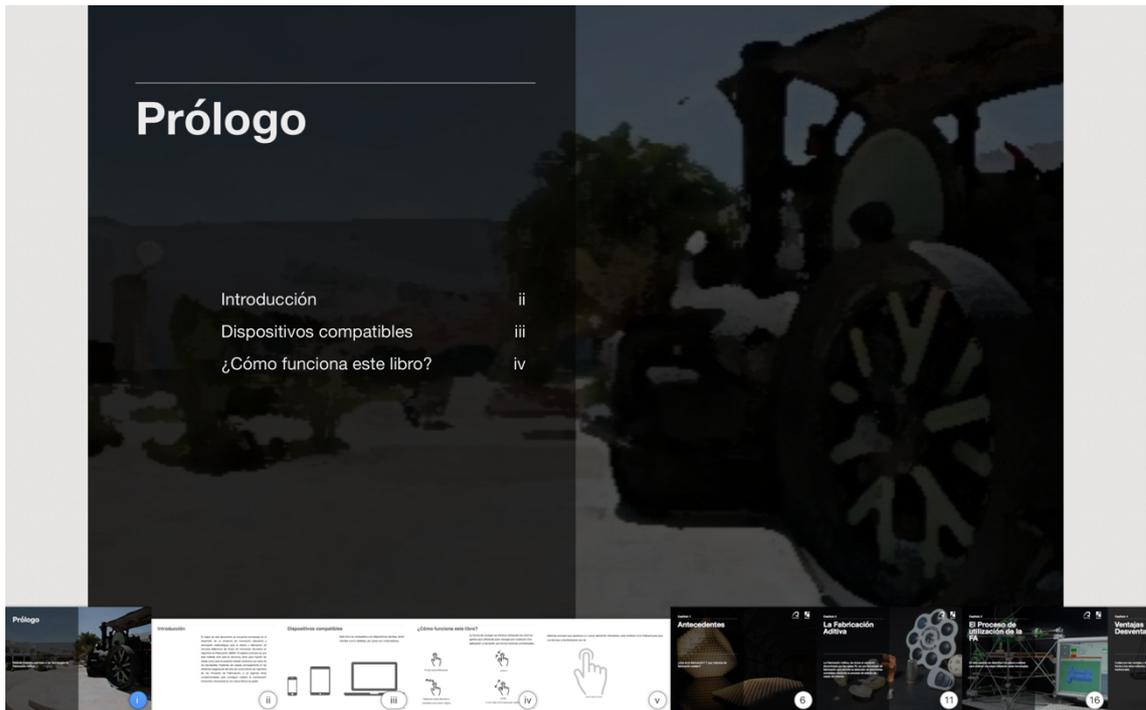
MATERIAL DIDÁCTICO

Tecnologías de Fabricación Aditiva

Autor **Alejandro Gutiérrez Barcenilla**

Tutor **Pedro Manuel Hernández Castellano**



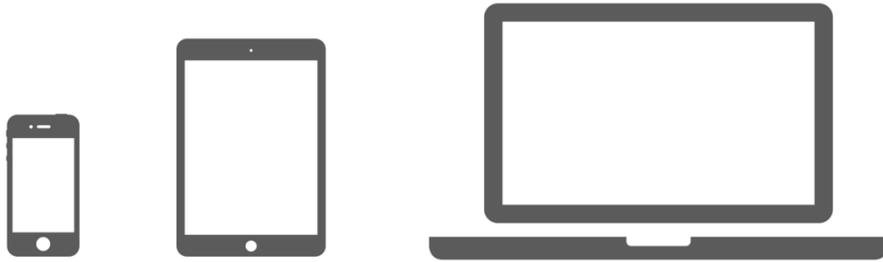


Introducción

El origen de este documento se encuentra enmarcado en el desarrollo de un proyecto de innovación educativa y renovación metodológica para el diseño y fabricación de recursos didácticos del Grupo de Innovación Educativa en Ingeniería de Fabricación (GIEIF). El objetivo principal es que este material sirva para la docencia, tanto para impartir las clases como para el posterior estudio autónomo por parte de los estudiantes. Pudiendo ser usados principalmente en las diferentes asignaturas del área de conocimiento de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, o en algunas otras complementarias para conseguir mejorar la coordinación horizontal y transversal en los nuevos títulos de grado.

Dispositivos compatibles

Este libro es compatible con dispositivos táctiles, tanto móviles como tabletas, así como con ordenadores.



iii

Capítulo 1

Antecedentes

1.1 Procesos de Fabricación 7



Capítulo 1

Procesos de Fabricación

7

Capítulo 1

Procesos de Fabricación

Siempre que veas este símbolo, toca para desplegar una ventana con más información.

7

Capítulo 1

Procesos de Fabricación

La geometría final se obtiene a partir de un bloque de material de dimensiones mayores, del que se va eliminando material mediante operaciones de arranque de material. Dentro de estos procesos podemos encontrar:

- Mecanizado
- Corte por agua

7



Capítulo 5

Clasificación

El principio de todas las tecnologías de FA es el mismo, la adición de material por capas, por lo tanto la gran variedad de procesos existentes se suele clasificar en base a:



Capítulo 5

Clasificación según ASTM/ISO

Siguiendo estos parámetros, la normativa ISO/ASTM 52900:2015 propone una clasificación en 7 grupos principales:



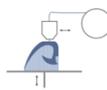
Fotopolimerización en tanque (VAT Photopolymerisation)

Se utiliza un tanque de polímero fotocurable en estado líquido, este se va endureciendo bajo la acción de la luz ultravioleta, que va incidiendo de manera localizada para generar la geometría del modelo.



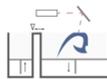
Chorro de material (Material Jetting)

El funcionamiento es similar al de una impresora de tinta convencional, el material es inyectado a chorro por el cabezal en la plataforma de construcción de manera selectiva para conformar el objeto.



Extrusión de material (Material Extrusion)

En este proceso, un termoplástico es extruido a través del extrusor del cabezal sobre la plataforma de fabricación. El propio calor del material al ser extruido es el que consolida la adhesión de las capas.



Fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion)

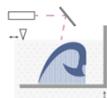
Las partículas del lecho de polvo son fundidas de manera selectiva mediante la energía térmica proveniente de la incidencia de un láser.

28

Capítulo 5

Clasificación según ASTM/ISO

Siguiendo estos parámetros, la normativa ISO/ASTM 52900:2015 propone una clasificación en 7 grupos principales:



Fotopolimerización en tanque (VAT Photopolymerisation)

Se utiliza un tanque de polímero fotocurable en estado líquido, este se va endureciendo bajo la acción de la luz ultravioleta, que va incidiendo de manera localizada para generar la geometría del modelo.

Los gráficos cuyas esquinas estén redondeadas y tengan sombra dando un efecto 3D, son botones que te llevarán a la parte del documento correspondiente.



Chorro de material (Material Jetting)

El funcionamiento es similar al de una impresora de tinta convencional, el material es inyectado a chorro por el cabezal en la plataforma de construcción de manera selectiva para conformar el objeto.

En este caso, a los capítulos donde se explican en detalle cada una de las categorías.



Extrusión de material (Material Extrusion)

En este proceso, un termoplástico es extruido a través del extrusor del cabezal sobre la plataforma de fabricación. El propio calor del material al ser extruido es el que consolida la adhesión de las capas.



Fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion)

Las partículas del lecho de polvo son fundidas de manera selectiva mediante la energía térmica proveniente de la incidencia de un láser.

28

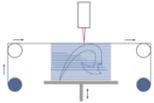
Capítulo 5

Clasificación según ASTM/ISO



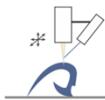
Chorro de aglutinante (Binder Jetting)

Un aglutinante líquido es inyectado a chorro en un lecho de polvo de manera selectiva para formar y adherir las capas. También permite inyectar tinta para aportar color.



Laminación de hojas (Sheet Lamination)

Láminas de material son unificadas para formar el objeto. Existen varias tecnologías en función del método utilizado para unir estas láminas.



Deposición de energía dirigida (Directed Energy Deposition)

Este proceso típicamente utilizado para metales, utiliza la focalización de energía térmica para fundir el material a la vez que se deposita, permitiendo así la formación y unión de las capas.

29

Capítulo 5 Test de Repaso

Test Capítulo 5. Clasificación de Procesos de Fabricación Aditiva

Pregunta 1 de 5

¿Qué categoría o categorías utilizan únicamente material en formato líquido?

- A. Fotopolimerización en Tanque
- B. Chorro de Material y Chorro de Aglutinante
- C. Chorro de Material
- D. A y C son correctas

Compartir



30

Capítulo 5 Test de Repaso

Test Capítulo 5. Clasificación de Procesos de Fabricación Aditiva

Pregunta 1 de 5

¿Qué categoría o categorías utilizan únicamente material en formato líquido?

- A. Fotopolimerización en Tanque
- B. Chorro de Material y Chorro de Aglutinante
- C. Chorro de Material
- D. A y C son correctas

Reintentar



30

Capítulo 5 Test de Repaso

Test Capítulo 5. Clasificación de Procesos de Fabricación Aditiva

Pregunta 1 de 5

¿Qué categoría o categorías utilizan únicamente material en formato líquido?

- A. Fotopolimerización en Tanque
- B. Chorro de Material y Chorro de Aglutinante
- C. Chorro de Material
- D. A y C son correctas

Compartir



30

Capítulo 5 Test de Repaso

Test Capítulo 5. Clasificación de Procesos de Fabricación Aditiva

Pregunta 1 de 5

¿Qué categoría o categorías utilizan únicamente material en formato líquido?

- A. Fotopolimerización en Tanque
- B. Chorro de Material y Chorro de Aglutinante
- C. Chorro de Material
- D. A y C son correctas

Reintentar respuesta



30



Extrusión de Material



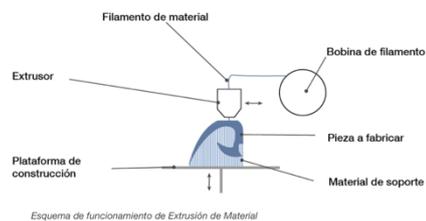
Definición según la ISO/ASTM 52900:2015

Proceso de fabricación aditiva en el cual el material es selectivamente dispensado mediante una boquilla u orificio.

DESCRIPCIÓN

Estas tecnologías son introducidas al mercado en 1990 por Stratasys, bajo la marca registrada "Modelado por Deposición Fundida", FDM en inglés.

En cuanto al funcionamiento, la máquina calienta el filamento de plástico hasta fundirlo para extruirlo por una boquilla extrusora. El plástico es extruido sobre la plataforma de construcción donde se enfría y solidifica adhiriéndose a la capa siguiente, construyendo así la geometría deseada



VÍDEO DEL FUNCIONAMIENTO DE EXTRUSIÓN DE MATERIAL



Vídeo cortesía de Economía Creativa, toque encima para reproducir

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

1. Dependiendo de la máquina el cabezal y la plataforma de construcción se mueven para conseguir movimiento en los tres ejes.
2. El cabezal, calienta el filamento para así extruirlo y depositar el material para crear una capa del objeto. El cabezal se alimenta del filamento de manera continua para seguir creando las capas.
3. Una vez depositada la primera capa, las siguientes se añaden una

44

Extrusión de Material



LIMITACIONES DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO

Como se ha comentado, la dirección de construcción hace que la pieza presente anisotropía en el eje z, por lo que es recomendable posicionar la pieza a la hora de su construcción en función de la dirección en la que va a sufrir los esfuerzos cuando sea utilizada.

Las máquinas también permiten controlar la cantidad y el patrón de relleno, lo que permite optimizar la relación cantidad de material-prestaciones.

Se recomienda evitar voladizos o cualquier estructura que pueda requerir

PRINCIPALES TECNOLOGÍAS

El término equivalente es el de Fabricación de Filamento Fundido (FFF), que fue creado por la comunidad RepRap para disponer de un término libre de licencia.

Por su parte, 3D Systems, registro su equivalente como Plastic Jet Printing (PJP), que se traduce como impresión de chorro de plástico.

MATERIALES

Termoplásticos y otros polímeros compuestos para mejorar sus propiedades, con fibras de por ejemplo



Bobinas de filamento, cortesía de Impresion3daily



45

Capítulo 8

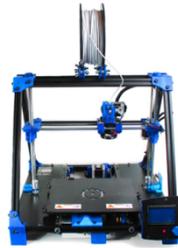
Extrusión de Material



MAQUINARIA Y MATERIALES

El proyecto RepRap, ha sido el principal impulsor de el acercamiento de estas tecnologías al gran público, por ello, estas máquinas son las más representativas dentro de esta categoría. Existen infinidad de modelos, las características que ofrecen varían en función de la máquina y el material utilizado, por tanto se recomienda consultar la ficha técnica del fabricante para comprobar si la máquina cuenta con características como la tolerancia o el volumen de construcción que se requiere.

Sin embargo, la BCN3D+ de la empresa BCN3DTechnologies, es una máquina con una gran relación calidad-precio. Este se puede comprar ya montada, o se puede comprar en un kit para que sea el propio consumidor el que la monte, pudiendo así ahorrar dinero y poder realizar modificaciones de una forma más sencilla.



BCN3D+, cortesía de <https://www.bcn3dtechnologies.com/es/>

• •

43

Capítulo 8

Extrusión de Material



USOS Y SECTORES DE APLICACIÓN

Debido a la posibilidad de obtener piezas con características mecánicas similares a las obtenidas por procesos de fabricación de plástico tradicionales, la FFF permite producir series cortas de piezas a un precio más competitivo que por inyección.

Evidentemente también se usan para fabricar prototipos tanto funcionales como visuales. Además, para fabricar objetos exclusivos o personalizados.

Por tanto, debido a sus posibilidades y precio son ampliamente utilizadas en diversos sectores.

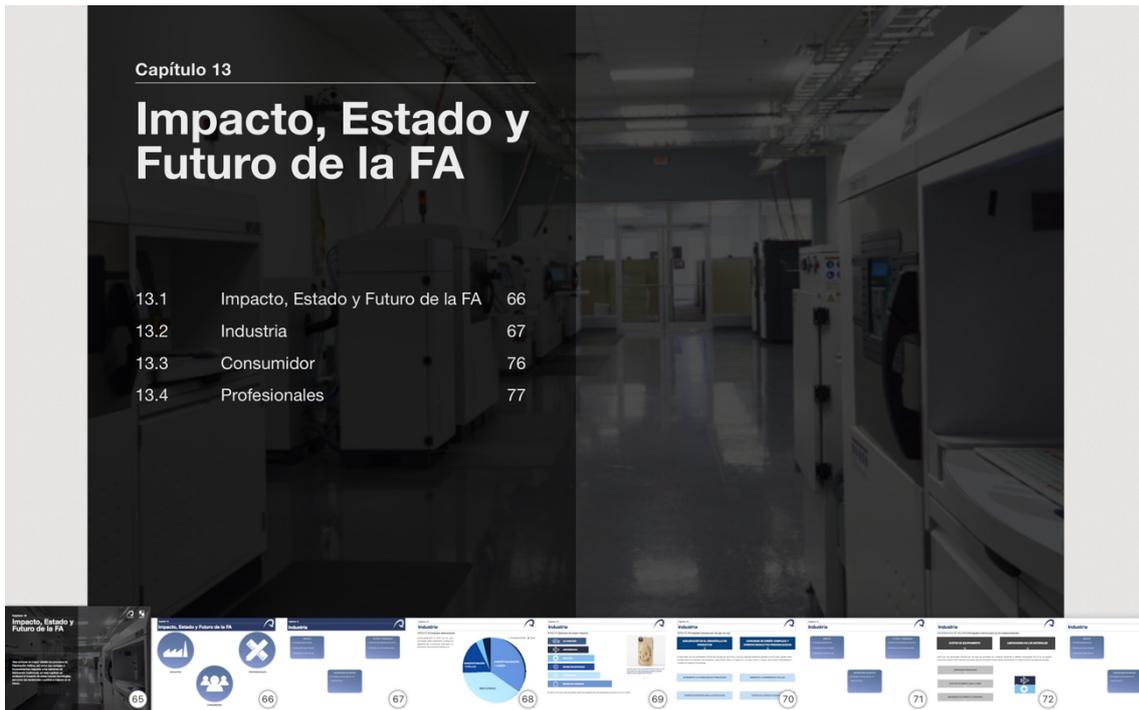
Sectores de aplicación Y ejemplos de uso



Prototipo de calzado construido con filamento flexible. El material se puede encontrar en <http://recreus.com/es/>

• • •

47



Industria



IMPACTO

- Principales aplicaciones
- Sectores de mayor impacto
- Principales motivos de uso

FUTURO Y TENDENCIAS

- Actitud de las empresas hacia la FA
- Tendencias en los próximos años

NECESIDADES DE MEJORA

- Principales motivos para su no implementación

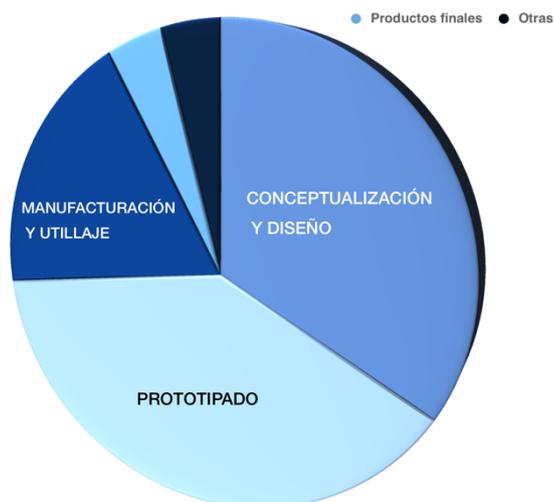
72

Industria



IMPACTO Principales Aplicaciones

Aproximadamente el 80% de los usos principales están destinados a fases del desarrollo de un producto más que a la fabricación de productos finales en sí.



73

Capítulo 13

Industria



IMPACTO Sectores de mayor impacto



Carcasa para móvil personalizada fabricada por FFF, recuperada de <http://3dpcase.sculpteo.com/es/cases/product/case-skull-iphone4>

El sector en el que más se utilizan estas tecnologías es el de los bienes de consumo con un 26%.

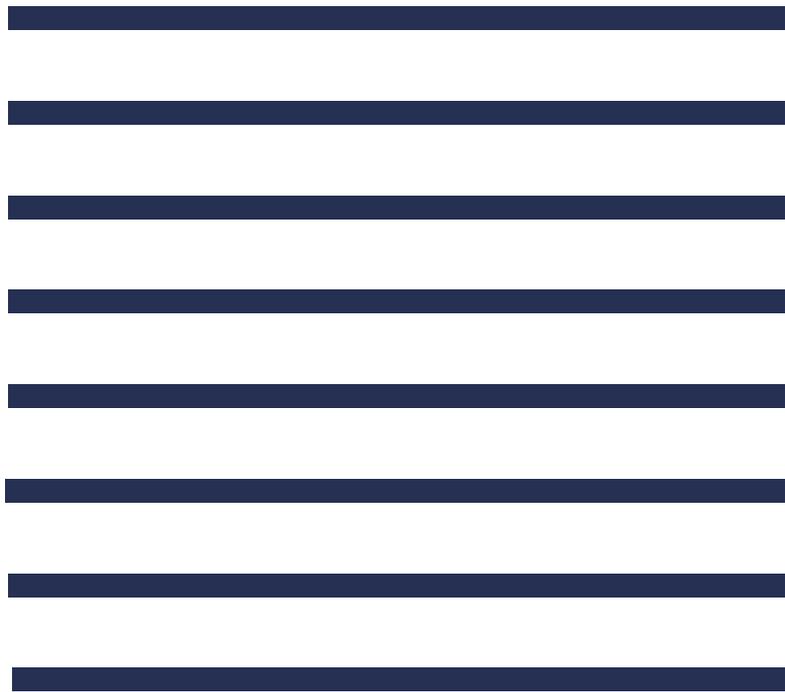
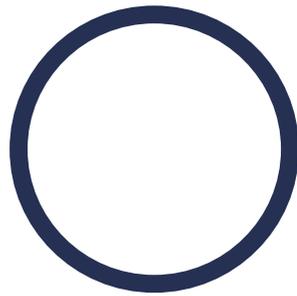
Capítulo 14

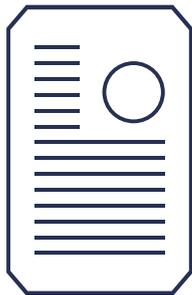
Selección de la tecnología adecuada en el proceso de diseño

- 14.1 Consideraciones para utilizar FA 83
- 14.2 Diagrama de flujo para utilizar FA 88

ANEXO II

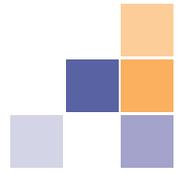
Datasheets





FOTOPOLIMERIZACIÓN EN TANQUE

Envisiontec, Perfactory 4DDP



Perfactory® 4 Standard Series with ERM

EnvisionTEC's Perfactory 4 Standard Series with ERM is a low cost, easy maintenance and user friendly 3D rapid prototype manufacturing system. Using state-of-the-art Direct Light Projection technology from Texas Instruments®, the Perfactory 4 Standard Series produces the finest detail in the shortest period of time. It creates 3D models that range from the conceptual to the fully functional.

Machine Properties *	Perfactory® 4 Standard	Perfactory® 4 Standard XL
Build Envelope	6.3" x 3.9" x 7.09"/9.06" (160 x 100 x 180/230 mm)	7.6" x 4.7" x 7.09"/9.06" (192 x 120 x 180/230 mm)
Projector Resolution	1920 x 1200 Pixels	1920 x 1200 Pixels
Native Pixel Size	0.0033" (83 µm)	0.0039" (100 µm)
Pixel Size With ERM	0.0017" (42 µm)	0.0020" (50 µm)
Dynamic Voxel Resolution in Z (material dependent)**	0.0010" (25 µm) to 0.0059" (150 µm)	0.0010" (25 µm) to 0.0059" (150 µm)
Data Handling	STL	
Warranty	1 Year Included	

* Specifications are subject to change without notice. ** A voxel is a volumetric pixel.

Materials Available	Ideal for
ABStuff	General purpose similar to ABS plastic
ABflex	General purpose similar to ABS plastic with flexible characteristics
HTM Series	High temperature molding, architectural models, plating
LS600, EC100, WIC 100 G, E-Shell® 200 Series	General purpose
PIC 100	Casting
R5, R5 Gray, R11	General purpose, master models
RC31	High temperature applications
Photosilver, RCP 30, RC70, RC90 (Not available on XL)	High temperature applications with fine detail
WIC300 (Not available on XL)	General Purpose

System Properties

- » Build speed in constant through the build up to 1" (25 mm) at 0.0039" (100 µm) voxel thickness
- » Economic material use with no vat
- » Very few moving parts and minimal consumable components make the system user serviceable
- » Models are suitable for direct manufacturing through rapid casting
- » A choice of high quality materials are readily available
- » Material changeover can be done quickly and easily

Footprint (L x W x H): 29" x 19" x 53" (73 x 48 x 135 cm)
 Weight: 188 lbs (85 kg)
 Electrical Requirements: 100-120V, 5.4 Amps
 220-240V, 2.4 Amps

Patents Pending



EnvisionTEC GmbH

Brüsseler Straße 51 • D-45968
 Gladbeck • Germany
 Phone +49 2043 9875-0
 Fax +49 2043 9875-99

EnvisionTEC, Inc.

15162 S. Commerce Dr
 Dearborn, MI 48120 • USA
 Phone +1-313-436-4300
 Fax +1-313-436-4303

envisiontec.com
 info@envisiontec.com



CHORRO DE MATERIAL

Stratasys, Polyjet Object1000 Plus



Objet1000 Plus

Create large or small production tools and full-scale prototypes.

Maximize your productivity and quickly achieve ROI with the Objet1000 Plus™ 3D Production System. Its multi-material capabilities, substantial throughput and ultra-large build tray get your jobs done faster, smarter and with more precision. Based on PolyJet™ technology, this versatile system enables engineers, manufacturers, designers and universities to 3D print any design, no matter how complex or detailed.

Part size is also no object: The Objet1000 Plus is equally adept at printing large or small prototypes with no compromise on precision. Print large parts over 1 meter in length in one build, eliminating the need to split your largest files in CAD and later bond the parts. Print many parts in one job and enjoy a competitively low cost per part.

Reliable and easy to use, the Objet1000 Plus builds parts that are ready for use with little or no post-processing. Support material is quick to remove with a WaterJet, and for most applications the smooth, multi-material parts require no polishing or painting.

The Objet1000 Plus serves challenging manufacturing needs in industries like automotive, aerospace, household appliances and industrial machinery, with precise check gauges, large fixtures and even 3D printed injection molds.

Multi-material versatility.

Along with its size, the Objet1000 Plus offers impressive multi-material 3D printing capabilities with the power of Digital Materials. Build parts with diverse material properties in one job, and even combine as many as 14 materials in one part. Base resins include:

Transparent (VeroClear™):

A nearly colorless material for fit and form testing of detailed transparent parts and models that mimic transparent thermoplastics

Rubber-like (Tango™ family):

Suitable for a range of applications requiring non-slip or soft surfaces

Rigid Opaque (Vero™ family):

In a variety of colors including white, gray, blue and black

Simulated Polypropylene (Rigur™):

Print tough parts quickly in bright white



LEARN MORE ABOUT OBJET1000 PLUS AT STRATASYS.COM

stratasys

THE 3D PRINTING SOLUTIONS COMPANY



Objet1000 Plus

PRODUCT SPECIFICATIONS

Model Material:

Transparent rigid (VeroClear)
Rubber-like (TangoPlus™ and TangoBlackPlus™)
Rigid Opaque (Vero family)
Simulated Polypropylene (Rigur)

Digital Model Material:

Transparent shades and patterns
Rigid Opaque shades
Rubber-like blends in a range of Shore A values
Simulated Polypropylene blends in rigid and flexible options

Support Material:

SUP705 gel-like photopolymer support

Build Size:

1000 x 800 x 500 (39.3 x 31.4 x 19.6 in)
Max model weight on tray: 135 kg

Build Resolution:

X-axis: 300 dpi; Y-axis: 300 dpi;
Z-axis: 1600 dpi

Accuracy:

Up to 85 microns for features smaller than 50 mm; up to 600 microns for full model size (for rigid materials only, depending on geometry, build parameters and model orientation)

Layer Thickness:

Horizontal build layers as fine as 16 microns (0.0006 in)

Integrated Workstation Compatibility:

Windows 7 64 bit/Windows 8

Network Connectivity:

LAN – TCP/IP

Size and Weight:

Height: 1960 mm (77.5 in.)
Width: 2868 mm (113 in.)
Depth: 2102 mm (83 in.)
Weight: 2200 kg (4850 lbs.)

Power Requirements:

230 VAC 50/60Hz; 8A single phase

Regulatory Compliance:

CE, FCC

FLAWLESS PRECISION FROM THE WORLD'S LARGEST MULTI-MATERIAL 3D PRINTER.

Materials to suit your needs.

Dual-jetting technology gives you the power to combine two base resins into composite Digital Materials for a wide range of precise properties. Options include:

Digital ABS™ simulates ABS plastics by combining high-temperature resistance with toughness. Digital ABS2™ matches those properties and provides enhanced dimensional stability in walls thinner than 1.2 mm (.047 in).

Transparent shades and patterns

Rigid Opaque shades

Rubber-like materials with a range of Shore A values

Rigur-based Digital Materials in a range of Shore A values and shades in rigid and flexible options

Backed by proven PolyJet technology.

The Objet1000 Plus employs patented PolyJet technology. PolyJet 3D Printing is similar to inkjet document printing. But instead of jetting drops of ink onto paper, PolyJet 3D Printers jet layers of liquid photopolymer onto a build tray and cure them with UV light. The layers build one at a time to create a 3D production part, model or prototype. Fully cured models can be handled and used immediately, without additional post-curing. Along with the selected model material, the 3D printer also jets a gel-like support material specially designed to uphold overhangs and complicated geometries.

PolyJet technology has many advantages for rapid prototyping and manufacturing applications, including professional quality with speed, high precision and accommodation for a wide variety of materials. PolyJet technology is a ideal solution for precision production and prototyping needs, setting an entirely new standard for fit and finish.

Objet1000 Plus Makes 3D Printing As Easy As 1-2-3.

1. Prepare the file. Create your 3D part with 3D CAD software, then open Objet Studio™ software, upload the STL file and click “print.” Objet Studio converts your STL file into 3D model print paths, including support structures.
2. Print your model. PolyJet technology makes it possible to build your 3D part and its support material, layer by layer, from the bottom up.
3. Remove supports. Take your printed part out of the printer’s build chamber and easily remove support material.

The Objet1000 Plus also features three printing modes for optimal performance: Digital Material: 34 micron (0.0013 in.); high quality: 16 micron (0.0006 in.) and high speed: 34 micron (0.0013 in.). It also uses six sealed 18 kg (39.6 lb) cartridges and supports hot-swapping of cartridges during print, plus speed improvements to the print head and optimized movement of the print block over the tray.

stratasys

E info@stratasys.com / STRATASYS.COM

ISO 9001:2008 Certified

HEADQUARTERS

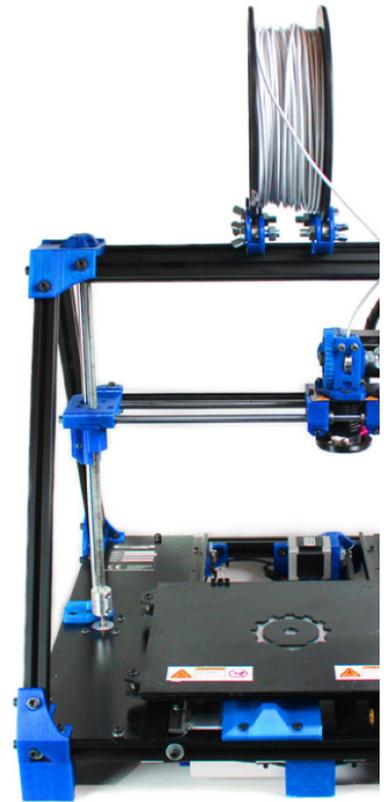
7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344
+1 800 801 6491 (US Toll Free)
+1 952 937-3000 (Intl)
+1 952 937-0070 (Fax)

2 Holtzman St., Science Park,
PO Box 2496
Rehovot 76124, Israel
+972 74 745 4000
+972 74 745 5000 (Fax)



EXTRUSIÓN DE MATERIAL

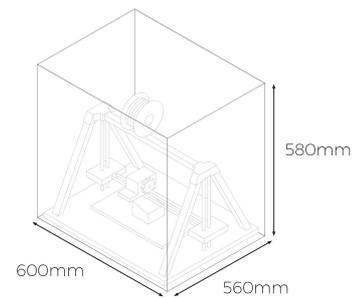
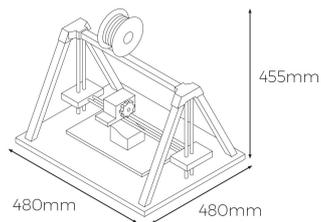
BCN3DTechnologies, BCN3D+



PROPIEDADES FÍSICAS -

Dimensiones físicas

**480mm x
480mm x
455mm**



Dimensiones del paquete de envío

**600mm x
560mm x
580mm**

Peso del
paquete de
envío

13kg

PROPIEDADES DE LA IMPRESORA -

Tecnología de
fabricación

**Fused
Filament
Fabrication**

(FFF)

Volumen de
impresión

Largo: 252mm

Ancho:

200mm Alto:

200mm

Electrónica

Arduino Mega

2560 + RAMPS

1.4

Diámetro de la
boquilla

Firmware

**BCN3D+
specific (based
on Marlin)**

Archivos
compatibles

gcode

0,4mm

(estándar) /

0,6mm

Conectividad

SD Card

(autonomous

operation) **USB**

PROPIEDADES DE LA IMPRESIÓN -

Altura de capa

0,1 - 0,35mm

(boquilla

estándar de

0,4mm) **0,2 -**

0,5mm

(boquilla de

0,6mm)

Resolución de

la posición

(X/Y)

0,05mm (FFF)

Resolución de

la posición (Z)

0,1mm

Temperatura

máxima del

extrusor

290°C

Temperatura

máxima de

impresión

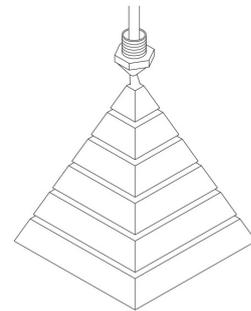
260°C

Temperatura

máxima del

hotbed

80°C



Temperatura
de trabajo

15°C - 35°C

MATERIALES -

Diámetro del
filamento

3mm

Materiales
compatibles

PLA ABS PVA

HIPS Nylon

Laybrick

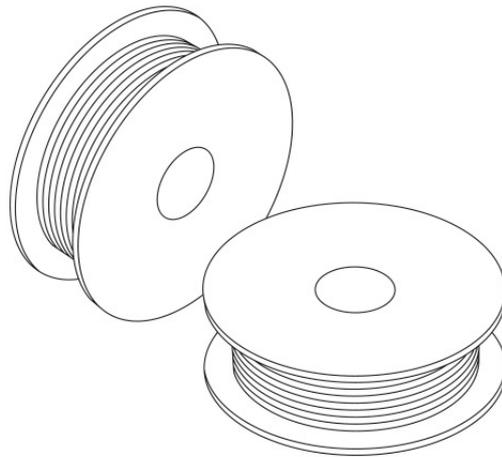
(boquilla de
0,6mm)

Laywood

(boquilla de
0,6mm)

Filaflex

(boquilla de
0,6mm)



SOFTWARE & PROPIEDADES ELÉCTRICAS -

Software de
procesamiento de
archivos

**Cura-BCN3D, Slic3r,
Simplify3D,...**

Sistema operativo

Windows, Mac, Linux

Archivos compatibles

STL

Entrada

**AC 84-240V, AC 3,6-1,3A,
50-60Hz**

Salida

24V DC, 13A

Consumo de energía

200W

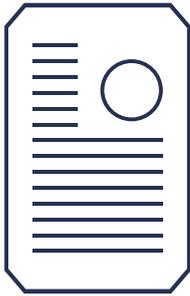
BCN3D Technologies © 2016
All Rights Reserved.
Términos y condiciones
(<https://www.bcn3dtechnologies.com/en/terms-and-conditions/>)

Subscríbete

e-mail

Ok

C/ Esteve Terradas, 1, 08860
Castelldefels, Barcelona
(00) +34 934 137 088
info@bcn3dtechnologies.com
(mailto:



FUSIÓN DE LECHO DE POLVO

Arcam, Arcam Q10plus

Q10plus



ARCAM Q10PLUS – FOR ORTHOPEDIC IMPLANT MANUFACTURING.

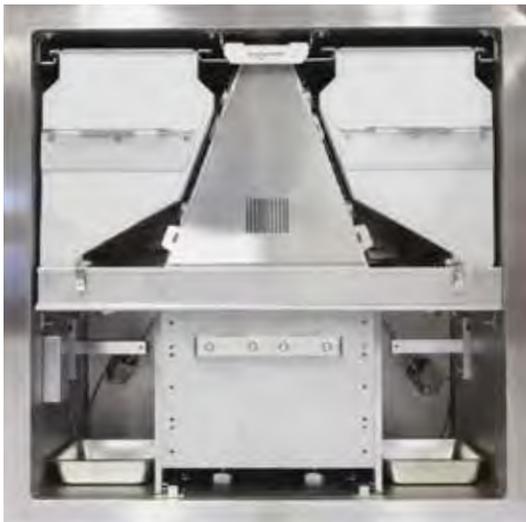
The Arcam Q10plus is designed specifically for cost-efficient production of orthopedic implants. The size of the build area is designed to allow for optimal stacking of the most common implant types, and the build chamber interior is developed for easy powder handling and fast turn-around times. The Arcam Q10plus is particularly ideal for the production of high volume press-fit implants with advanced Tribecular Structures™ as well as one-off custom implants built with data derived from CT scans of individual patients.



The Arcam EBM® process offers freedom of design, opening up a world of opportunities for product differentiation. Since the process takes place in a vacuum and at elevated temperatures, it eliminates residual stress and ensures superior material properties.

Higher productivity

In addition to enhanced precision and process robustness, Arcam Q10plus offers high productivity. This is made possible by many important new features, including groundbreaking Arcam xQam technology for high precision autocalibration, a powerful new software platform and electronics for efficient and accurate beam control.



Arcam Q10plus build chamber.

Max. build size	200 x 200 x 180 mm (W x D x H)
Max. Beam power	3000 W
Cathode type	Single crystalline
Min. Beam diameter	140 µm
Max. EB translation speed	8000 m/s
Active cooling	Water-cooled heat sink
Vacuum base pressure	5 x 10 ⁻⁴ mbar (chamber pressure before start of process)
Build atmosphere	4 x 10 ⁻³ mbar (partial pressure of He)
He consumption, build process	1 liter / hour
He consumption, build cool down	50-75 liters / build
Power supply	3 x 400 V, 32 A, 7kW
Size	1850 x 900 x 2200 mm (W x D x H)
Weight	1420 kg
CAD interface	Standard: STL

Standard implants

Arcam EBM® technology is a cost-efficient process for manufacturing both press-fit implants and cemented implants. Solid and porous sections of the implant are built in one process step, eliminating the need for expensive secondary processes for applying traditional porous materials. This also ensures structural continuity between the solid and porous sections. In addition, you can manufacture all porous implants for augments, wedges, blocks, etc.



Trabecular Structures™ – Engineered Porous Materials

With Arcam EBM® technology, you have the opportunity to design and manufacture your own trademarked trabecular structure designs, since it eliminates the design constraints typical in traditional methods for building porous materials. This allows you to develop a unique trabecular structure design with the desired properties, optimized in terms of pore geometry, pore size, relative density, roughness or structure thickness. It all starts in a CAD environment with a minimum of capital investment.



Patient-specific implants

Arcam EBM® technology offers a direct “CAD to Metal™” process allowing production of patient-specific implants using data derived from Computed Tomography (CT). The CT data is used to create an exact CAD model of the desired implant. This CAD model is then used by the Arcam EBM® machine to build the actual part. It's as easy as that.



- EASY-TO-USE OPERATOR INTERFACE
- LATEST GENERATION EB GUN
- EFFICIENT POWDER HANDLING
- ARCAM XQAM FOR HIGH PRECISION AUTOCALIBRATION
- ARCAM LAYERQAM FOR BUILD VERIFICATION
- SOFTWARE ADAPTED TO VOLUME PRODUCTION

HIGHEST QUALITY METAL POWDER...

When it comes to the manufacturing of orthopedic implants and aerospace components, achieving target material properties is absolutely vital. At Arcam, we are committed to ensuring first-class mechanical properties throughout our portfolio of materials. You can also rely on our Powder Recovery System (PRS) to minimize manual intervention and enable efficient powder recycling.

Components built by Arcam EBM® systems have excellent material properties verified by extensive testing of mechanical and chemical properties.

Advanced materials

Arcam offers a total solution for a selection of standard materials. For these materials Arcam provides metal powder, process settings and support.

- Titanium Ti6Al4V
- Titanium Ti6Al4V ELI
- Titanium Grade 2
- Cobalt-Chrome, ASTM F75
- Inconel 718

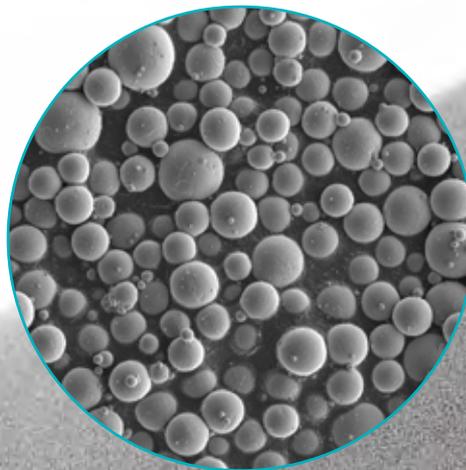
In addition to these standard materials, Arcam allows and supports our customers to independently develop the process for other materials.

Powder supply

High quality powder at competitive pricing is crucial for reliable and cost-efficient production. Arcam offers powders of the highest possible quality and the most competitive prices through our own manufacturing company AP&C.

Tested and validated

Arcam has a validated powder supply chain with full traceability of every powder batch delivered. All powders supplied by Arcam are extensively tested before delivery to our customers. This includes ensuring that the EBM® parameter settings (process themes) are optimized to work well with the metal powder used.



... AND EFFICIENT POWDER HANDLING.

Powder Recovery System

In addition to our range of Arcam EBM® machines, we offer a suite of auxiliary equipment designed for easy and safe powder handling and tough industrial standards. It includes explosion-protected vacuum cleaners (ATEX-classed), powder handling trolleys and a range of Powder Recovery Systems (PRS) for safe and efficient powder recycling.



Recycling of pre-sintered powder.



- EFFICIENT
- CLEAN
- SAFE
- POWDER RECYCLING

Arcam provides cost-efficient additive manufacturing solutions for production of metal components. Arcam's EBM® technology offers freedom in design combined with excellent material properties and high productivity.

Arcam is an innovative partner for manufacturing in the orthopedic implant and aerospace industries, where we deliver customer value through our competence and solution orientation.





CHORRO DE AGLUTINANTE

3DSystems, ZPrinter 450

LA DIFERENCIA ESTÁ EN LOS DETALLES

OPCIONES DE MATERIAL

3D Systems proporciona materiales de impresión 3D que satisfacen diversas necesidades del mercado.

- El composite de alto rendimiento crea piezas resistentes en alta definición
- Elija entre una amplia gama de opciones de acabado para satisfacer sus necesidades, desde la resina para prototipos funcionales ultra-fuertes hasta el agua para la creación de modelos conceptuales de forma rápida, segura y muy asequible
- Las piezas de ZPrinter se pueden lijar, perforar, pegar con cinta adhesiva, pintar y galvanizar, ampliando aún más las opciones de acabado

CREE PIEZAS ULTRA-
REALISTAS CON
FACILIDAD

MUESTRE LOS
DETALLES MÁS
COMPLEJOS

IMPRESIÓN 3D EN
COLORES INTENSOS:
UNA CARACTERÍSTICA
EXCLUSIVA DE 3D SYSTEMS

APLIQUE GRÁFICOS Y
ANOTACIONES DE
GRAN IMPACTO



ZPrinter® Línea de productos



ZPrinter® 150



ZPrinter® 250



ZPrinter® 350



ZPrinter® 450



ZPrinter® 650



ZPrinter® 850

FUNCIONES	ZPrinter® 150	ZPrinter® 250	ZPrinter® 350	ZPrinter® 450	ZPrinter® 650	ZPrinter® 850
Resolución	300 x 450 ppp	300 x 450 ppp	300 x 450 ppp	300 x 450 ppp	600 x 540 ppp	600 x 540 ppp
Tamaño mínimo de detalles	0,016 pulgadas (0,4 mm)	0,016 pulgadas (0,4 mm)	0,006 pulgadas (0,15 mm)	0,006 pulgadas (0,15 mm)	0,004 pulgadas (0,1 mm)	0,004 pulgadas (0,1 mm)
Color (número de colores únicos por pieza)	Blanco	64 colores (color directo básico)	Blanco	180.000 colores (color avanzado)	390.000 colores (color de gama alta)	390.000 colores (color de gama alta)
Configuración automatizada y autosupervisión	■	■	■	■	■	■
Carga de composite automatizada	■	■	■	■	■	■
Reciclaje de composite	■	■	■	■	■	■
Vaciado automático de la cubeta de construcción				■	■	■
Soplado final	Accesorio	Accesorio	Integrado	Integrado	Integrado	Accesorio
Cartuchos de aglutinante de sencilla inserción	■	■	■	■	■	■
Panel de control intuitivo	■	■	■	■	■	■
Velocidad de impresión vertical	0,8 pulgadas/hora (20 mm/hora)	0,8 pulgadas/hora (20 mm/hora)	0,8 pulgadas/hora (20 mm/hora)	0,9 pulgada/hora (23 mm/hora)	1,1 pulgada/hora (28 mm/hora)	0,2 – 0,6 pulgada/hora (5 – 15 mm/hora); la velocidad aumenta con el volumen de los prototipos
Prototipos por día*	19	19	25	25	33	42
Tamaño de la cubeta de impresión	9,3 x 7,3 x 5 pulgadas (236 x 185 x 127 mm)	9,3 x 7,3 x 5 pulgadas (236 x 185 x 127 mm)	8 x 10 x 8 pulgadas (203 x 254 x 203 mm)	8 x 10 x 8 pulgadas (203 x 254 x 203 mm)	10 x 15 x 8 pulgadas (254 x 381 x 203 mm)	20 x 15 x 9 pulgadas (508 x 381 x 229 mm)
Material	Composite de alto rendimiento	Composite de alto rendimiento	Composite de alto rendimiento	Composite de alto rendimiento	Composite de alto rendimiento	Composite de alto rendimiento
Grosor de capa	0,004 pulgadas (0,1 mm)	0,004 pulgadas (0,1 mm)	0,0035 – 0,004 pulgadas (0,09 – 0,1 mm)	0,0035 – 0,004 pulgadas (0,09 – 0,1 mm)	0,0035 – 0,004 pulgadas (0,09 – 0,1 mm)	0,0035 – 0,004 pulgadas (0,09 – 0,1 mm)
Número de inyectores	304	604	304	604	1520	1520
ESPECIFICACIONES						
Número de cabezales de impresión	1	2	1	2	5	5
Dimensiones del equipo	29 x 31 x 55 pulgadas (74 x 79 x 140 cm)	29 x 31 x 55 pulgadas (74 x 79 x 140 cm)	48 x 31 x 55 pulgadas (122 x 79 x 140 cm)	48 x 31 x 55 pulgadas (122 x 79 x 140 cm)	74 x 29 x 57 pulgadas (188 x 74 x 145 cm)	47 x 46 x 68 pulgadas (119 x 116 x 162 cm)
Peso del equipo	365 lb (165 kg)	365 lb (165 kg)	395 lb (179 kg)	425 lb (193 kg)	750 lb (340 kg)	800 lb (363 kg)
Requisitos de alimentación	90-100 V, 7,5 A 110-120 V, 5,5 A 208-240 V, 4,0 A	90-100 V, 7,5 A 110-120 V, 5,5 A 208-240 V, 4,0 A	90-100 V, 7,5 A 110-120 V, 5,5 A 208-240 V, 4,0 A	100-240 V, 15-7,5 A	100-240 V, 15-7,5 A	100-240 V, 15-7,5 A
Formatos de archivo de impresión	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR
Compatibilidad con la estación de trabajo	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®
Cumplimiento de normativas CE y CSA	■	■	■	■	■	■
Requerimientos especiales para la instalación						Aire a presión
Compatibilidad con Office	■	■	■	■	■	

*Basado en una geometría del tamaño de una pelota de béisbol.

www.printin3d.com



333 Three D Systems Circle
Rock Hill, SC 29730 EE. UU.
Teléfono +1 (803) 326-3948
moreinfo@3dsystems.com

Garantía/Descargo de responsabilidad: Es posible que las características de rendimiento de estos productos varíen en función de la aplicación del producto, de las condiciones de funcionamiento, de los materiales con los que se combinen o con el uso final. 3D Systems no ofrece ninguna garantía de ningún tipo, tanto expresa como implícita, incluidas, entre otras, las garantías de comerciabilidad o idoneidad para un fin determinado.

© 2012 de 3D Systems, Inc. Todos los derechos reservados. Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso. El logotipo de 3D Systems y el texto estilizado son marcas comerciales y 3D Systems y ZPrinter son marcas comerciales registradas de 3D Systems, Inc.

Fecha de publicación Abril de 2012



LAMINACIÓN DE HOJAS

Mcor, Mcor Arke



Features

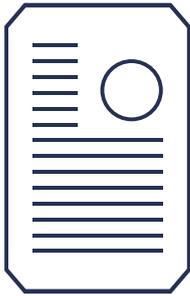
Resolution	X, Y and Z axis: 0.1 mm (0.0039 in)
Colour	Photorealistic HD Colour 4800 x 2400 DPI in X, Y and 254 in Z (up to 508 in Z with 50GSM paper)
Build Size	240 mm x 205 mm x 125 mm (9.5 in x 8 in x 4.9 in) Adaptive build volume
Build Material	Paper
Recyclable Parts/Material	Yes

Specifications

Equipment Dimensions	880 mm wide x 593 mm high x 633 mm deep (34.6 in wide x 23.3 in high x 24.9 in deep)
Power Requirements	350W, 240v 50Hz or 120v 60Hz
Network Connectivity	Ethernet, USB, WiFi
File Formats for Printing	STL, OBJ, VRML, DAE, 3MF
Hardware Requirements	8GB memory and 100GB hard drive, 1GB graphics card
Operating Systems	64bit Windows 7, Windows 8, Windows 10 and OS X Yosemite
Regulatory Compliance	CE, UL
System Software	Mcor Orange
Office Compatibility	Yes



www.mcor technologies.com



DEPOSICIÓN DE ENERGÍA DIRIGIDA

Huffman, HC-205

HC-205 5 Axis Laser Cladding & Welding System



Our HC Series of lasers offer advanced machine tool design & construction backed by a 50 year history of innovation.

The HC-205 is a precision 5 Axis Laser Powder Fusion (LPF™) Cladding and Welding systems designed for repair or hardfacing of small to medium size Aero or Industrial Gas Turbine, heavy equipment parts and components.

- High Precision Laser Cladding for Part Restoration and Hard Facing
- Process Reliability
- Omni-Directional Cladding
- Minimal Distortion or Stress (HAZ)
- Reduced Finishing Time

		Inch	Metric
<u>Linear Axes</u>	X,Y,Z Axes	14" x 14" x 14"	356 x 356 x 356 mm
	Feed Rate	0-600 ipm	0-15.24 m/min
	Accuracy	± 0.0008" / ft	± 0.067 mm/m
	Repeatability	0.0008"/ ft	0.067 mm/m
<u>Rotary Axes</u>	C Axis	Continuous	0 – 40 rpm
	Max. Part Weight	50 lbs	22 kg
	B Axis	±135°	0 - 5.5 rpm
	Resolution		0.001°
	Accuracy		±20 arc seconds