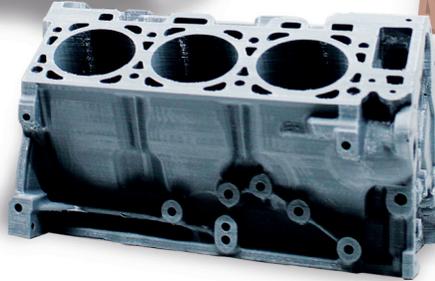
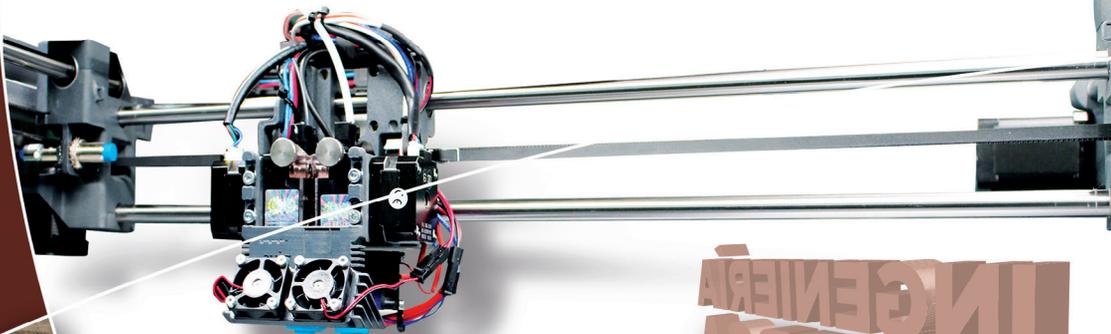


# Pràcticas de prototipado e ingeniería inversa

**Santiago Ferrándiz Bou (coord.) | María Dolores Samper Madrigal |  
José Miguel Ferri Azor | Daniel García García**



INGENIERIA  
INGENIERIA



Santiago Ferrándiz Bou (coord.)  
María Dolores Samper Madrigal  
José Miguel Ferri Azor  
Daniel García García

# Prácticas de prototipado e ingeniería inversa

EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Colección *Académica*

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: Ferrándiz Bou, Santiago; Samper Madrigal, María Dolores; Ferri Azor, José Miguel; García García, Daniel (2018). *Prácticas de prototipado e ingeniería inversa*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València

© Santiago Ferrándiz Bou (coord.)  
María Dolores Samper Madrigal  
José Miguel Ferri Azor  
Daniel García García

© 2018, Editorial Universitat Politècnica de València  
*distribución:* [www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es) / Ref.: 0703\_04\_01\_01

Imprime: Byprint Percom, sl

ISBN: 978-84-9048-699-3  
Impreso bajo demanda

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edicion@editorial.upv.es

Impreso en España

# Índice

Marco teórico .....	1
1.1. Definición y conceptos básicos .....	1
1.1.1. Fabricación aditiva .....	2
1.1.2. Prototipado rápido .....	2
1.1.3. Fabricación automatizada “Autofab” .....	2
1.1.4. Fabricación de formato o forma libre .....	3
1.1.5. Estereolitografía .....	3
1.1.6. Fabricación digital directa .....	3
1.2. Etapas del proceso de fabricación aditiva .....	4
1.2.1. Diseño mediante CAD .....	4
1.2.2. Conversión a formato específico STL o AMF .....	4
1.2.3. Transferencia del archivo al sistema de fabricación .....	5
1.2.4. Configuración del sistema de fabricación .....	5
1.2.5. Fabricación de la pieza .....	5
1.2.6. Extracción y limpieza de la pieza .....	5
1.2.7. Post-procesado de la pieza .....	6
1.2.8. Puesta en servicio de las piezas .....	6
1.3. Técnicas de fabricación aditiva .....	6
1.3.1. Vat Photopolimerization .....	8
1.3.2. Material extrusion .....	8
1.3.3. Powder Bed Fusion .....	8
1.3.4. Printing Processes .....	10
1.3.5. Sheet Lamination .....	10
1.3.6. Direct Energy Deposition .....	11
1.4. Ingeniería inversa .....	11
1.5. Referencias .....	11

Uso de escáner 3D <i>Dental Optical Reveng</i> .....	13
2.1.    Introducción.....	13
2.2.    Objetivo .....	14
2.3.    Material.....	14
2.4.    Procedimiento.....	15
2.5.    Conclusiones.....	23
2.6.    Actividad .....	23
2.7.    Referencias .....	24
Alineado de imágenes escaneadas.....	25
3.1.    Introducción.....	25
3.2.    Objetivo .....	26
3.3.    Material.....	26
3.4.    Procedimiento.....	27
3.4.1.    Entorno Meshlab .....	27
3.4.2.    Adecuación de las imágenes escaneadas.....	28
3.4.3.    Procedimiento de alineado de nubes de puntos.....	33
3.5.    Conclusiones.....	43
3.6.    Actividad .....	43
3.7.    Referencias .....	43
Gestión de datos mediante el uso de Autodesk Netfabb <sup>®</sup> .....	45
4.1.    Introducción.....	45
4.2.    Objetivo .....	46
4.3.    Material.....	46
4.4.    Procedimiento.....	46
4.5.    Conclusiones.....	57
4.6.    Actividad .....	57
4.7.    Referencias .....	57

---

Generación del G-code mediante el uso del software Slic3r.....	59
5.1.    Introducción .....	59
5.2.    Objetivo .....	60
5.3.    Material .....	60
5.4.    Procedimiento.....	61
5.5.    Conclusiones .....	72
5.6.    Actividad .....	72
5.7.    Referencias.....	73
Impresión del G-code en una impresora BCN3D+ .....	75
6.1.    Introducción .....	75
6.2.    Objetivo .....	76
6.3.    Material .....	76
6.4.    Procedimiento.....	76
6.5.    Conclusiones .....	81
6.6.    Actividad .....	81
6.7.    Referencias.....	82



# Capítulo 1

## Marco teórico

### 1.1. Definición y conceptos básicos

La metodología de fabricación convencional de piezas o conjuntos de piezas supone llevar a cabo una serie de tareas o etapas previas hasta llegar a la propia fabricación de éstas. Entre ellas está el diseño asistido por ordenador (CAD) para la realización de planos de cotas y simbologías específicas para que el operario pueda fabricar la pieza o, en el caso de utilizar métodos de mecanizado por control numérico (CNC), pueda generar la programación mediante programas específicos de fabricación asistida por ordenador (CAM) con los comandos de fabricación necesarios. Son muchos los procesos de fabricación que se necesitan para la fabricación de piezas y dependen de la geometría de ésta. Además, la metodología convencional necesita de muchos recursos humanos para desarrollar todas sus fases, inversión en máquinas herramienta y en sofisticadas herramientas lo que genera elevados costes.

A diferencia de la metodología convencional, donde se parte de bloques de material estándar y se va eliminando éste mediante herramientas de corte o abrasión para poder conformar las piezas finales, cada día más, se está implantando la fabricación aditiva, donde se parte del material en formato polvo o líquido y se añade, plano a plano, para formar un modelo físico generado a partir de programas de dibujo en 3D. Con ésta tecnología se reducen tiempos y etapas previas a la fabricación, así como una reducción importante de los costes de fabricación. La misma persona que diseña la pieza, genera un archivo específico con extensión AMF o STL y éste es el que contiene la información necesaria para producir las piezas o modelos.

### ***1.1.1. Fabricación aditiva***

Según las normas ASTM, se define la AM “Additive Manufacturing” como la fabricación directa de un modelo generado a partir de un programa de diseño en 3D sin la necesidad de planificar los procesos de fabricación (ISO/ASTM, 2015).

Con la aplicación de la tecnología convencional, los técnicos deben generar una serie de documentos con planos detallados en 2D y 3D donde aportan toda la información de dimensiones, herramientas a utilizar, acabados superficiales, máquinas a utilizar, fases y orden de las operaciones de fabricación, parámetros sobre el funcionamiento de las máquinas herramienta, etc. Por el contrario, la tecnología basada en AM, no necesita nada de esto, ya que después de su diseño pasa directamente a fabricarse. Sin embargo, el diseñador puede añadir elementos auxiliares de refuerzo si éstos fueran necesarios y que posteriormente se puedan eliminar fácilmente.

El nombre de “fabricación aditiva” se adoptó a esta tecnología debido a que todas sus variantes tecnológicas poseen el mismo principio de fabricación; depositar material en determinadas posiciones generando los planos procedentes de la discretización por secciones planas que se obtiene del modelo generado mediante diseño CAD.

Las distintas variantes de esta tecnología se diferencian por varios rasgos como son el material empleado para la fabricación, la metodología para formar capas y la unión entre capas. La precisión y el acabado final de las piezas se aproxima en mayor o menor medida al modelo CAD dependiendo del espesor de capa, de la precisión de la máquina y de varios parámetros que se nombran más adelante, donde se explican las principales técnicas de AM y sus principales características. En ocasiones es necesario un post-procesado de las piezas para mejorar sus acabados superficiales, aunque la mejora continua de la tecnología hará que en un futuro próximo sea, cada vez, menos necesario.

### ***1.1.2. Prototipado rápido***

El prototipado rápido o en inglés “Rapid Prototyping” (Wikipedia Rapid Prototyping, 2018) se entendía a finales del siglo XX como la generación de un prototipo que servía para hacerse una idea de cómo iba a ser una pieza final o incluso una construcción en el gremio de los arquitectos. Fue con el paso del tiempo que los ingenieros o arquitectos, entre otros, se fueron dando cuenta que esta tecnología de AM podía ser utilizada para la generación del producto final. Esto es lo que ha revolucionado dicha tecnología y ha hecho que se desarrollen nuevas y más precisas máquinas, adaptando su tecnología al material de cada pieza.

### ***1.1.3. Fabricación automatizada “Autofab”***

Además de las definiciones anteriores, también se puede clasificar a esta tecnología como fabricación automatizada, así definió Marshall Burns a la tecnología de AM en su libro, aunque no toda la tecnología de “Autofab”, como la llama él, se puede clasificar como AM (Burns, 1993). Este término hace referencia a la tecnología que utiliza

ordenadores y microcontroladores para controlar los actuadores de la propia máquina y las distintas variables del sistema.

#### ***1.1.4. Fabricación de formato o forma libre***

La fabricación de piezas mediante la tecnología de AM también se puede denominar como “Fabricación de formato o forma libre” (Solid Freeform Fabrication) y este nombre hace referencia a la facilidad para diseñar modelos con cualquier forma, por compleja que sea, sin limitaciones por parte de la máquina como pasa en máquinas convencionales. Un ejemplo sencillo para entender esto sería cuando haces una pieza en un torno y quieres hacer un taladrado perpendicular al eje de revolución de la pieza. En este caso, es necesario cambiar la pieza a la taladradora, colocarla perpendicular al eje de revolución de ésta y taladrar. Cuando se fabrica mediante máquinas convencionales, cada máquina tiene sus limitaciones y el operario invierte mucho tiempo para adaptar la pieza, equilibrarla o ajustarla, colocar las herramientas necesarias, etc. Sin embargo, con la fabricación de formato o forma libre se puede diseñar cualquier geometría sin ninguna limitación.

Debe quedar claro que esta tecnología no sustituye por completo a las máquinas convencionales, ya que no todas las piezas se pueden fabricar mediante AM. Sin embargo, con los avances de ésta tecnología sí se prevé que sea una tecnología muy extendida y esté presente en la mayoría de sectores industriales o de servicios.

#### ***1.1.5. Estereolitografía***

La estereolitografía (Gibson I., 2010) es un tipo de tecnología englobada dentro de la AM, que utiliza el proceso de fotopolimerización utilizando resinas líquidas, curables por radiación o fotopolímeros como sus materiales principales. Éste es el nombre que le dio su inventor, Chuck Hull. Es un nombre comercial igual que 3D printing o lo que conocemos como impresión 3D, que pertenecen a un subgrupo de técnicas de AM. Se hace especial mención por ser la primera tecnología existente de fabricación por adición de material, siendo la más conocida a día de hoy.

La estereolitografía, aunque se define con mayor detalle más adelante, es un proceso que emplea resina fotopolimerizable, mediante la aplicación de un haz de luz ultravioleta, contenida en un tanque. Los objetos o piezas tridimensionales se obtienen mediante el curado de la resina formando finas capas, que se adhieren unas encima de otras, hasta llegar a completar todos los planos que conforman la pieza.

#### ***1.1.6. Fabricación digital directa***

Este nombre hace referencia a la fabricación directamente a partir de un formato digital, que es el caso de la totalidad de procesos englobados dentro de la AM. Aunque existen procesos de fabricación convencionales que también trabajan a partir de una programación digital, como es el caso del CNC, esta mención hace referencia a los

procesos que trabajan desde el archivo STL o AMF obtenidos a partir del diseño asistido por ordenador.

## **1.2. Etapas del proceso de fabricación aditiva**

Las etapas que son comunes en la mayoría de máquinas de AM son 8 y se definen con detalle a continuación.

### ***1.2.1. Diseño mediante CAD***

Una vez se sabe claramente cómo va a ser el diseño de la muestra se debe generar, mediante un programa de diseño asistido por ordenador, el modelo 3D. Los programas más conocidos actualmente son SolidWorks™, Inventor™, Siemens NX™ y CATIA™, aunque existen muchos más. El operario debe saber utilizar correctamente este tipo de programa para cerrar bien los modelos. Esto significa que todos los volúmenes dibujados y que formen una misma pieza u objeto deben de estar unidas. En caso contrario, podrían aparecer errores a la hora de fabricar la pieza. Algunos de estos programas de diseño pueden detectar este tipo de defectos y de esa forma, no ser arrastrados a las siguientes etapas.

Otra forma de generar un modelo 3D digital sería por mediación de escáneres tridimensionales, que se engloba dentro de lo que se llama ingeniería inversa.

### ***1.2.2. Conversión a formato específico STL o AMF***

Después del modelado es necesario convertir el archivo de CAD a un archivo que aporte la información justa y necesaria para la fabricación de la pieza. Los archivos de CAD ofrecen mucha información que no es de utilidad y además no contienen toda la información geométrica necesaria para la fabricación del modelo.

Los archivos STL (nombre que viene de la técnica de estereolitografía) no son más que una aproximación de la superficie del modelo CAD mediante superficies compuestas por triángulos planos. El tamaño de los triángulos se puede ajustar previamente a la conversión para evitar superficies trianguladas visibles sobre la superficie exterior del modelo fabricado. En ocasiones, cuando las geometrías son complejas se producen errores en la triangulación dejando malas alineaciones de los triángulos. Como respuesta, por parte de algunas máquinas de AM, se intenta rellenar esos defectos añadiendo material extra en la zona con defectos. Para evitar esto, se debe examinar y reparar los archivos STL o AMF mediante un software específico como puede ser el NetFabb™ o MeshLab<sup>GPL</sup>. Dichos programas son de código libre por lo que pueden admitir ficheros de cualquier máquina de fabricación aditiva.

El formato AMF (Additive Manufacturing File Format) se utiliza en las distintas técnicas de AM y no solo a la estereolitografía, al igual que el STL, también se utiliza para el resto de técnicas de AM. El formato AMF ha representado la evolución del archivo STL, mostrando determinadas mejoras sobre éste. Entre otras, la mejora en la aproximación de

**Para seguir leyendo haga click aquí**