

Introducción a la Fabricación Aditiva

(CÓMO Y PORQUÉ DE LA IMPRESIÓN 3D)

Germán Martín Boizas

Dedicatoria

A mi mujer, que está sorprendentemente habituada a vivir con mis múltiples manías, y responde siempre con una sonrisa a los miles de veces que le hago leer y releer algo.

Nota informativa

Este libro se ofrece sin coste alguno. No debería haber pagado por él. Sin embargo, el copyright del mismo sigue siendo propiedad exclusiva del autor y por lo tanto no se permite su reproducción ni copiado ya sea con fines comerciales o sin ánimos de lucro, aunque sí su libre distribución.

El autor no será responsable de cualesquiera consecuencias derivadas del uso de la información aquí contenida, de decisiones tomadas a partir de ella, ni de la precisión de la misma.

© Germán Martín Boizas 2018. Todos los derechos reservados.

Primera Edición: Mayo 2018

Contenido

PRÓLOGO.....	1
INTRODUCCIÓN	3
Definición y conceptos clave.....	5
¿Qué es la fabricación aditiva?	5
¿CÓMO SE HACE?	14
Proceso genérico de fabricación aditiva	16
Paso 1: Generación de modelo 3D.....	17
Paso 2: Simplificación a formato válido para el Sistema de fabricación aditiva	20
Paso 3: Rebanado (“Slicing”).....	21
Paso 4: Ejecución en la Máquina de fabricación aditiva	24
Paso 5: Extracción	25
Paso 6: Acabado y post-producción.....	26
VENTAJAS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA.....	29
Ventajas.....	31
Residuos y moldes	31
Geometrías	32
.....	34
Curvas de coste.....	35
Resumen de las ventajas de la fabricación aditiva.....	41
PROBLEMAS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA.....	42
Problemas.....	44
De vuelta con las curvas de coste	44
Problemas en el rebanado	45
Anisotropía.....	48
Repetibilidad	49
Propiedades de algunos materiales.....	50
Tamaño	50
Estándares.....	50
Escasez de conocimiento	51
Nuevos competidores.....	51
Resumen de los problemas de la fabricación aditiva.....	52
HISTORIA.....	53
Historia	55

APLICACIONES Y EJEMPLOS SECTORIALES.....	57
Cuando aplicar una fabricación aditiva	59
Estrategias.....	59
Prototipado rápido.....	59
Copia	60
Repuestos	63
Arquitectura.....	64
Joyería y Decoración	67
.....	67
Moda.....	67
En el espacio	68
Sector aéreo.....	70
Industria automovilística	71
Ayuda humanitaria.....	71
Medicina personalizada	72
Bioimpresión	75
Imprimiendo comida.....	76
Electrónica	78
Internet of Things (IoT)	78
Enseñanza	79
El Movimiento <i>Maker</i>	80
Moldes de inyección	81
TRANSFORMANDO LA FORMA EN QUE PRODUCIMOS Y CONSUMIMOS.....	82
La nueva cadena de suministro	84
Introducción.....	84
Cambios posibles debidos a la fabricación aditiva.....	86
OTROS FACTORES	92
Seguridad y Ciberseguridad	94
Seguridad	94
Seguridad de la impresión 3D.	96
Aspectos legales y éticos	100
Recursos humanos	102
Estándares en la Fabricación Aditiva	104
Medio ambiente.....	106
Uso de material.....	106
Transporte de mercancías	106
Ahorro en almacenamiento	107
Cuestión de peso.....	107
Tiradas más cortas	107
Residuos.....	108
Reciclaje	108
Reduciendo la obsolescencia	108
Consumo de Energía	109
Materiales.....	109
Impresión 4D.....	111

¿4D?	111
EVALUACIÓN PARA LA ADOPCIÓN DE FABRICACIÓN ADITIVA.....	113
Analizando la opción de la fabricación aditiva.....	115
Algunas preguntas previas a hacerse.....	115
¿Sí o no?	116
Análisis de costes en la fabricación aditiva	119
Externalizar o no	121
Un posible modelo de referencia.....	124
PRINCIPALES TECNOLOGÍAS	132
Tipos de Tecnologías de Fabricación Aditiva.....	134
Material Extrusion.....	136
FDM / FFF	136
Materiales	140
Ventajas e inconvenientes	141
Syringe Extrusion	142
Vat Polymerization	144
SLA	144
DLP	147
Ventajas e inconvenientes	147
Powder Bed Fusion.....	149
SLM/DMLS	149
SLS.....	151
EBM.....	153
Material Jetting	155
Inyección de Materiales	155
Multi-jet fusion	156
Binder Jetting.....	159
Inyección de Aglutinante	159
Directed Energy Deposition	161
DED	161
Sheet Lamination	163
Laminated Object Manufacturing	163
Ultrasonic Additive Manufacturing.....	164
Resumen comparado de tecnologías de fabricación aditiva.....	166
Resumen	166
VISIÓN DE FUTURO	168
¿Qué esperar del futuro?.....	170
Empecemos por lo fácil.....	170
Impresión 3D industrial.....	170
La impresión 3D en casa	172

¿Hasta dónde?	173
PRUEBA DE COMPRENSIÓN.....	175
Examen	177
Soluciones	182
DESPEDIDA.....	183
Glosario de términos	185
Contraportada.....	196

Prólogo

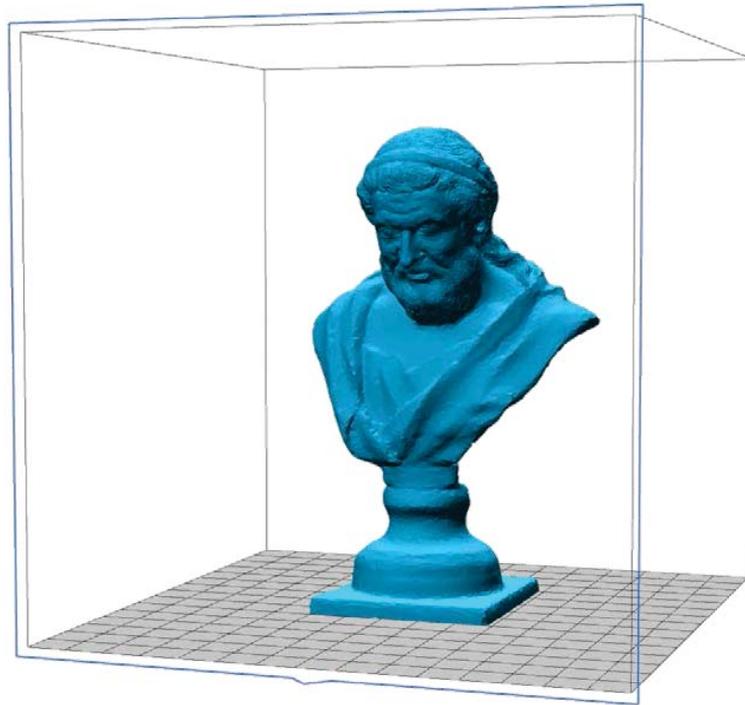
EN LOS ÚLTIMOS AÑOS resulta poco menos que imposible no haber oído hablar de la Fabricación Aditiva, con este término o en su forma más conocida para el gran público, impresión 3D. Nos hemos ya acostumbrado a los titulares tipo “el primer coche impreso en 3D” y las impresoras 3D de uso personal no hacen sino reducir año a año su precio, haciéndolas muy atractivas para los aficionados a la tecnología o al bricolaje. De igual modo, son muy pocas ya las universidades que no incluyen planes formativos específicos en estas tecnologías para sus alumnos en los programas de sus diversas titulaciones, y no sólo en las de ingeniería.

Oímos cantos de sirena afirmando que la impresión 3D terminará por eliminar a los procesos de fabricación alternativos y en un futuro no muy lejano todos tendremos una impresora en casa que nos facilitará prácticamente todo lo que necesitemos, desde un tornillo para arreglar la mesa hasta incluso nuestra comida.

Las promesas de la Fabricación Aditiva, ¿son reales?, ¿es tan revolucionaria su tecnología?, ¿desaparecerán las fábricas tal y como las conocemos?, ¿qué ventajas e inconvenientes tiene? Mi propósito al escribir esto es simplemente facilitar un primer acercamiento a esta nueva forma de fabricación, con el objetivo de que el lector sea capaz de evaluar por sí mismo la veracidad de esta nueva revolución tecnológica

Introducción

La Fabricación Aditiva o impresión 3D es posiblemente el componente más conocido de la llamada Industria 4.0, la nueva revolución industrial, y sin embargo no todos conocen en qué consiste y el porqué de este nuevo tipo de fabricación.



“El comienzo es la parte más importante del recorrido”
Platón

Definición y conceptos clave

¿Qué es la fabricación aditiva?

Si atendemos a la definición que podemos encontrar hoy día en Wikipedia *“La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material”*.

Sin embargo, si nos atenemos estrictamente a lo que dice esta definición no parece algo muy moderno. Por ejemplo, la humanidad lleva miles de años haciendo paredes a base de poner ladrillos unos sobre otros.



Figura 1: Sin duda las pirámides de Egipto son un “objeto tridimensional creado mediante la superposición de capas sucesivas de grandes piedras” (Foto: Pixabay)

Resulta por tanto necesario añadir algo más a la definición que explique el porqué de tanto revuelo. En definitiva, se trata de distinguir entre una fabricación aditiva artesanal y la actual tecnología industrial, por lo que creo necesario reformular la definición añadiendo un mayor nivel de detalle:

Definición de Fabricación Aditiva

La Fabricación Aditiva es el conjunto de tecnologías de fabricación por las que un diseño digital en 3D se transforma en un objeto real, uniendo poco a poco material (o materiales) de

forma controlada por un ordenador, como oposición a las tecnologías sustractivas.

Añadimos así a la definición inicial varios puntos muy importantes, como son que el proceso está controlado por un ordenador, o que el inicio del mismo es un modelo informático en tres dimensiones, haciendo además mención a que es el “proceso opuesto” a una metodología sustractiva.

Para entender por tanto la fabricación aditiva es necesario entender los mecanismos de fabricación alternativos, agrupados de forma general en dos grandes grupos: la fabricación conformativa y la fabricación sustractiva.

Llamamos fabricación **conformativa** (o formativa, según otros autores) a aquella en la que un material es obligado (por presión, a golpes, derritiéndolo o por cualquier otro procedimiento) a adquirir la forma y dimensiones que nos interese. La fabricación **sustractiva** sería aquella en la que se van eliminando trozos de material (a golpes, lijado, fresado u otro procedimiento) de un bloque compacto inicial hasta conseguir el producto deseado.

Sería difícil establecer cuál de ellas es más antigua, puesto que ambas técnicas eran empleadas por el hombre prehistórico cuando moldeaba arcilla con sus manos hasta conseguir la forma de un cuenco (fabricación conformativa) o cuando golpeaba una piedra de sílex quitándole lascas hasta conseguir una punta de hacha afilada (fabricación sustractiva).

Podemos ver ejemplos de técnicas conformativas tradicionales en la Galería 1,



Foto: Pixabay



Foto © Germán Martín



Foto © Germán Martín

Galería 1: Ejemplos de fabricación conformativa tradicional. Hay muchas maneras distintas de forzar un material a adquirir una forma determinada.

y ejemplos de técnicas sustractivas en la Galería 2:



Imagen por Stanislav Traykov, Niabot (cut out) - Image: Michelangelo's Pietà 5450.jpg, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3667077>



Foto: Pixabay



Foto © Germán Martín

Galería 2: Ejemplos de fabricación sustractiva tradicional. Como decía Miguel Angel: “La escultura ya estaba dentro de la piedra. Yo, únicamente, he debido eliminar el mármol que le sobraba

Todos los actuales procesos industriales (exceptuando los nuevos de fabricación aditiva, claro) pueden agruparse en alguna de estas dos categorías.

Así, un ejemplo común de empleo de la fabricación conformativa en la actualidad sería la tecnología de inyección de plástico dentro de un molde, con un proceso genérico similar al presentado en el diagrama 1.1:

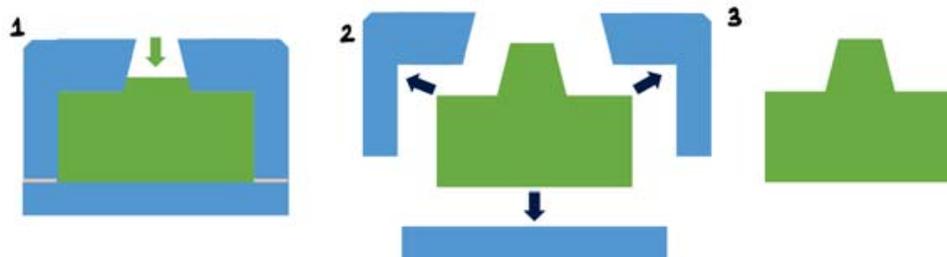


Diagrama 1.1: Proceso típico de fabricación conformativa. (a) inyección de material en el molde; (b) separación del molde; (c) producto terminado.

Los ejemplos de productos realizados con fabricación conformativa industrial moderna nos rodean en prácticamente todos los objetos de plástico (ver Galería 3).



Botellas hechas por inyección de plástico en un molde. (Foto: Pixabay)

Los tradicionales soldaditos de juguete hechos de plástico son otro ejemplo clásico de inyección de materiales. (Foto: Pixabay)

Galería 3: Ejemplos de fabricación conformativa moderna.

De igual modo, un ejemplo moderno de la fabricación sustractiva sería el empleo de máquinas CNC (Control Numérico Computerizado) de fresado. En ellas, una máquina-herramienta es programada mediante ordenador para la ejecución de una serie de trabajos mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una fresa (herramienta rotativa de corte). Con ello, la fresa elimina todo el sobrante de un bloque de material hasta conseguir el producto deseado de una forma automática.

El proceso genérico de la fabricación sustractiva sería por tanto el presentado en el diagrama 1.2.



Diagrama 1.2: Proceso típico de fabricación sustractiva. (a) Partimos de un bloque de material; (b) eliminación de material hasta adquirir la forma deseada; (c) producto terminado.

A la vista del proceso sustractivo, es más sencillo ver en qué consiste una fabricación aditiva; justo en todo lo contrario: partimos de la “nada”, y vamos añadiendo de forma sucesiva material (poquito a poquito, generalmente capa a capa) hasta conseguir el producto final.

A modo de ejemplo, una forma teóricamente posible de fabricar un sencillo vaso sería ir superponiendo una serie de aros de plástico, pegándolos sobre una base redonda, en la forma siguiente descrita en la imagen:

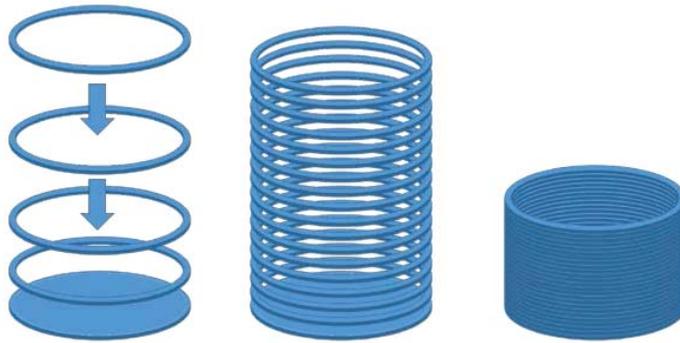


Figura 2: Al ir pegando uno a uno aros de plástico sobre una base circular terminamos construyendo un vaso.

La moderna impresión 3D consiste precisamente en eso: en ir añadiendo elementos de material de forma muy precisa, asegurando la correcta unión entre los distintos elementos añadidos (por ejemplo, haciendo que el material esté a una temperatura tal que una adecuada fusión entre capas es posible); y todo ello de forma automática, controlada por un ordenador y a partir de un diseño preliminar en 3D.

Como analogía, vamos a revisar cómo obtenemos una imagen impresa en un papel mediante una impresora de inyección de tinta.

Partimos de una imagen digital que, como sabrá, está compuesta de múltiples puntos, llamados *pixels*. Es la unión de millones de pequeños *pixels*, imperceptibles uno a uno a simple vista, lo que construye la imagen final. Estamos tan acostumbrados al mundo de la imagen digital que parece que ya no recordamos que hace nada las imágenes no se hacían así.

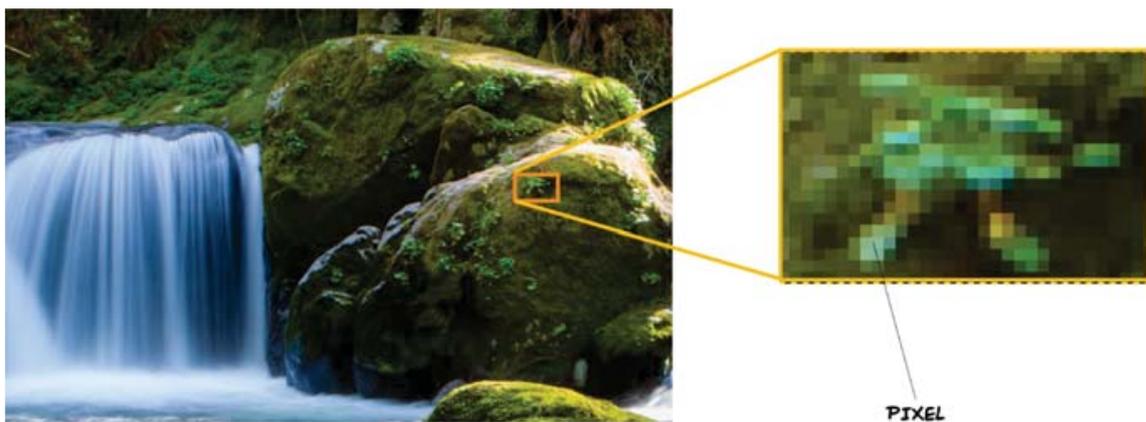


Figura 3: Concepto de pixel.

A continuación, tenemos que llevar cada uno de esos pixels a un papel. La forma normal de hacerlo es mediante el “*driver*” de la impresora, un programa que se encarga de transformar cada uno de esos pixels en uno (o varios) puntos (*dots*) que serán la “unidad imprimible”.

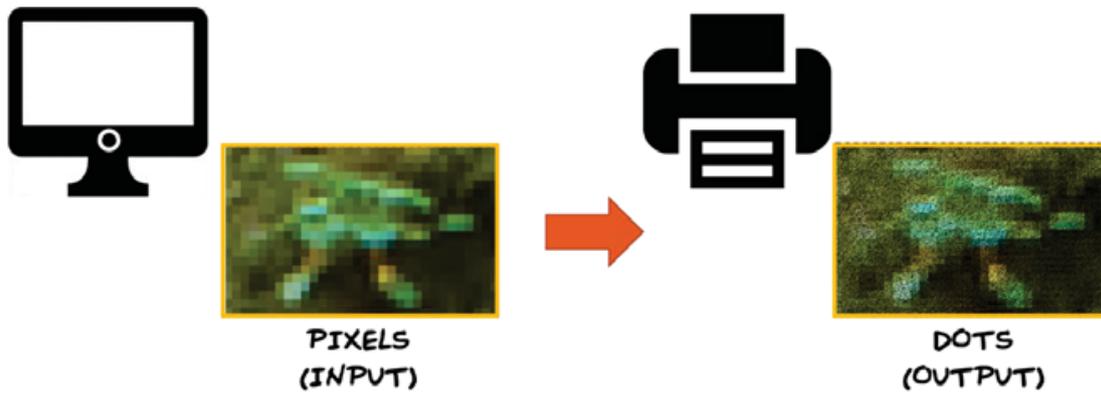


Figura 4: Para imprimir transformamos pixels en puntos.

Finalmente, nuestro hardware (la impresora de inyección de tinta) ejecutará las acciones pertinentes para escribir los puntos del color adecuado (basado en 4 colores básicos) en la posición deseada del papel.

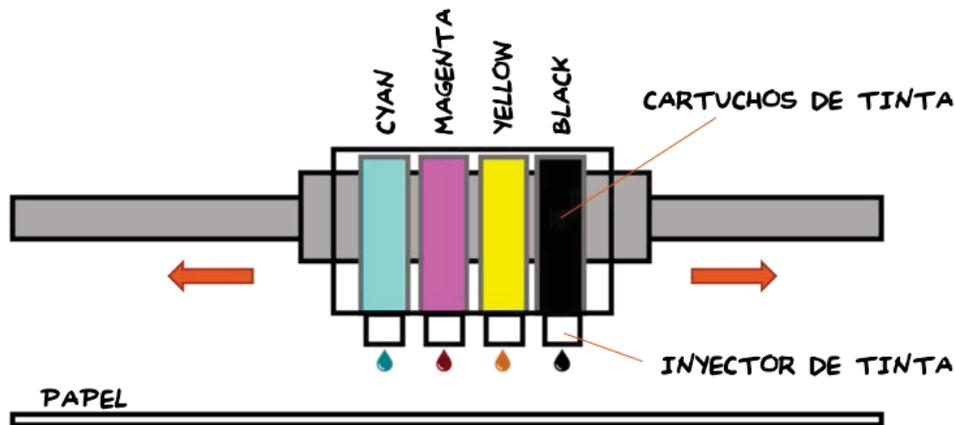


Figura 5: Funcionamiento esquemático de una impresora de inyección de tinta.

Pues bien, si llevamos este mismo principio a las tres dimensiones, podemos considerar que cualquier objeto está compuesto de “*pixels en 3D*”, llamados **vóxels** (del inglés, *volumetric pixel*, pixels con volumen).

Si fuésemos capaces de ir añadiendo “cubitos” de materia en los sitios adecuados podríamos teóricamente construir cualquier cosa, de modo análogo a como construimos una imagen digital a partir de sus pixels. Al fin y al cabo, los objetos están compuestos de átomos de distintos elementos que componen los materiales, todos ellos unidos entre sí.

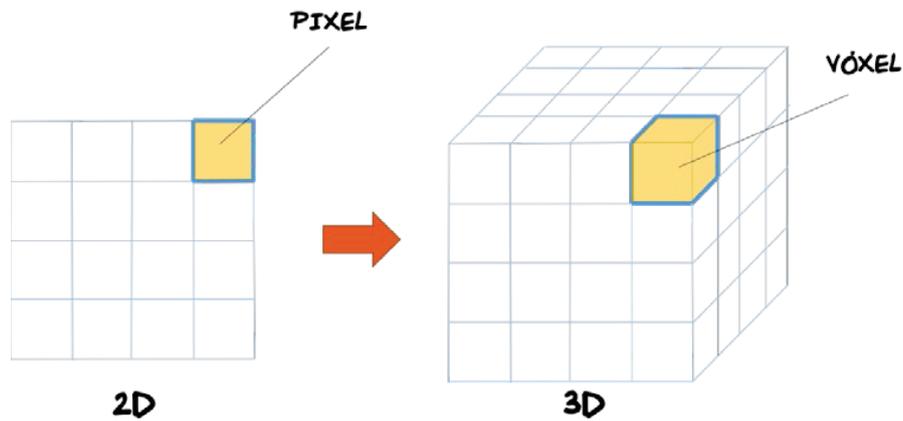


Figura 6: Concepto de vóxel.

No estamos ni de lejos cerca de fabricar algo a base de unir átomos, en lo que es habitual en las películas de ciencia-ficción (aunque en laboratorio se trabaja ya a nivel molecular). Y ni siquiera muchas tecnologías de fabricación aditiva tienen control a nivel de vóxel, sino que están más enfocadas hacia líneas superpuestas (varios vóxels a la misma altura). Pero el principio es el mismo.

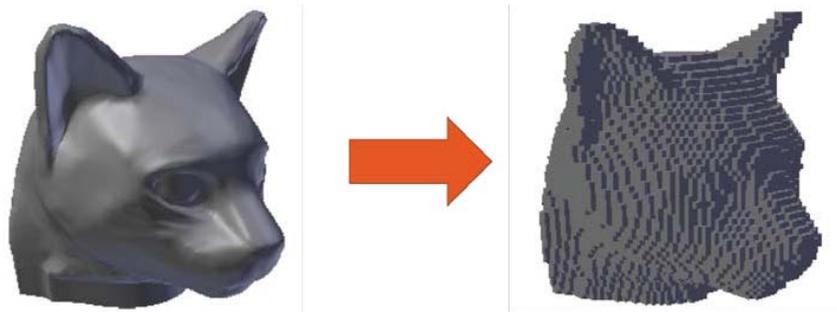


Figura 7: Construcción de un objeto a partir de vóxels.

En la medida que la tecnología de fabricación aditiva evoluciona permite capas más y más finas, con resoluciones ya inferiores a la décima de milímetro, y así la percepción para el usuario empieza a ser casi invisible.



Figura 8: Representación de un objeto 3D con diferentes tamaños de vóxels. Puede observarse que al reducir el tamaño del vóxel mejora la resolución hasta el punto de ser imperceptible

Continuando con el símil de las imágenes digitales, ahora es difícil recordarlo, pero hubo un tiempo en el que, al ser totalmente perceptibles, el aspecto de cada pixel resultaba significativo. Por ejemplo, ciertos sistemas de imagen digital (como los que buscan mantener la compatibilidad con películas de televisión) no usan un pixel cuadrado, sino pixels rectangulares en los cuales la altura del pixel es diferente de su anchura. La relación de aspecto de un pixel (*pixel aspect ratio*) es lo que describe la diferencia. De igual modo, el vóxel que consigamos fabricar, tampoco tiene por qué ser perfecto, pudiendo tener diferentes dimensiones x,y,z:

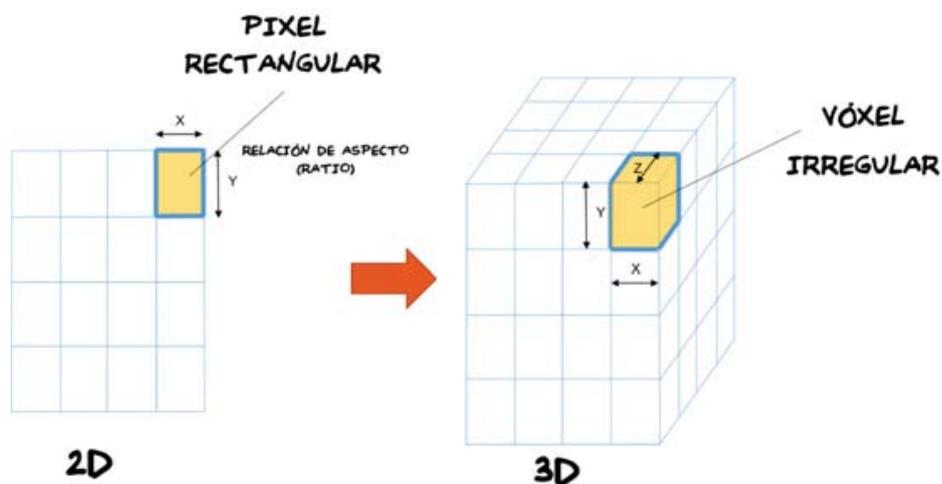


Figura 9: Relación de aspecto.

De hecho, en muchas tecnologías de impresión 3D, podemos considerar que, más que un vóxel con forma de prisma, tenemos una especie de esfera irregular capaz de fundirse con las vecinas. Es la unión de muchas de ellas la que permitirá construir el objeto final, de forma similar a como en la impresión digital un pixel se transforma en uno o más puntos (*dots*):

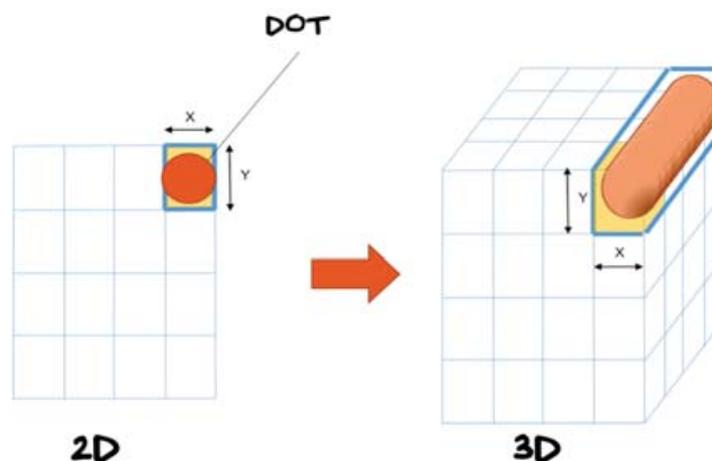


Figura 10: Vóxels impresos.

Y, por supuesto, la adición de múltiples de capas así confeccionadas es lo que terminará construyendo nuestro objeto final:

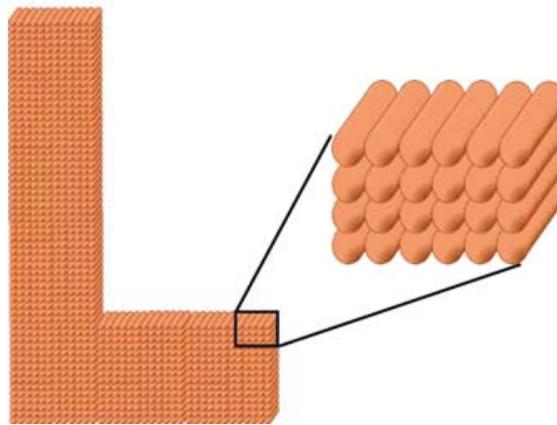


Figura 11: Una letra L impresa en 3D

Para poder comparar posteriormente con respecto a los procesos de fabricación conformativa y sustractiva presentados en los diagramas 1 y 2, nos quedaría así este proceso simplificado para la fabricación aditiva:



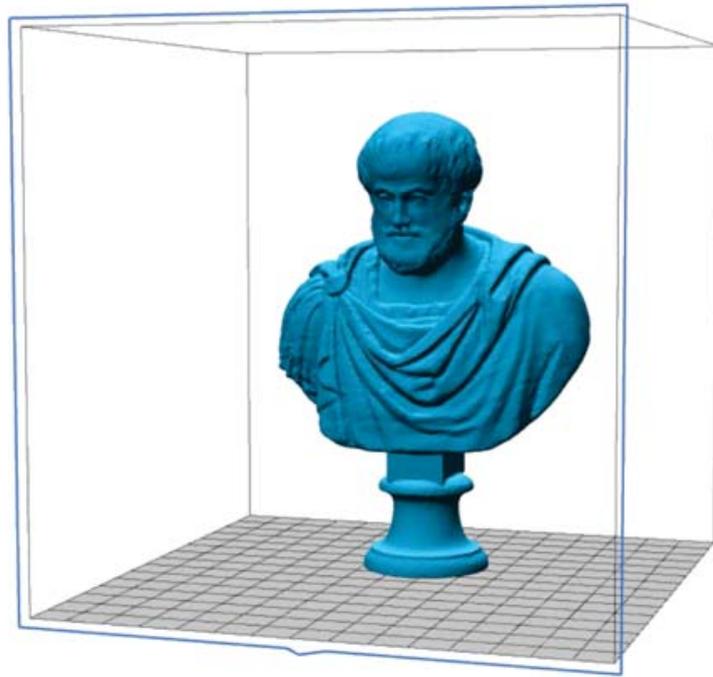
Diagrama 1.3: Proceso típico simplificado de fabricación aditiva.

(a) Un diseño 3D es enviado a una impresora 3D; (b) capa a capa se construye el modelo; (c) producto terminado

Hemos encontrado por tanto una “tercera vía” para fabricar un mismo objeto. ¿Y qué?, se preguntará el lector. Al fin y al cabo, aunque por distintos caminos, los tres procesos acaban generando aparentemente el mismo producto. Para entender las ventajas que supone emplear esta tercera vía es necesario entrar un poco más en detalle en el proceso de fabricación aditiva.

¿Cómo se hace?

Bajo la denominación de Fabricación Aditiva se agrupan ya decenas de nuevas tecnologías de fabricación. Sin embargo, sin entrar en demasiados detalles técnicos, es posible explicar de una forma general en qué consisten todas ellas.



“No se puede desatar un nudo sin saber cómo está hecho”.

Aristóteles.

Proceso genérico de fabricación aditiva

Como veremos más adelante, existen actualmente una multitud de tecnologías de fabricación aditiva, si bien es posible establecer un **proceso genérico común** a todas ellas, que consta de 6 fases:

1. Generación de un modelo 3D en ordenador.
2. Simplificación del modelo al formato válido para la máquina de fabricación.
3. Rebanado / Troceado de la pieza
4. Fabricación capa a capa con la tecnología 3D seleccionada.
5. Extracción del producto fabricado.
6. Acabado y post-producción

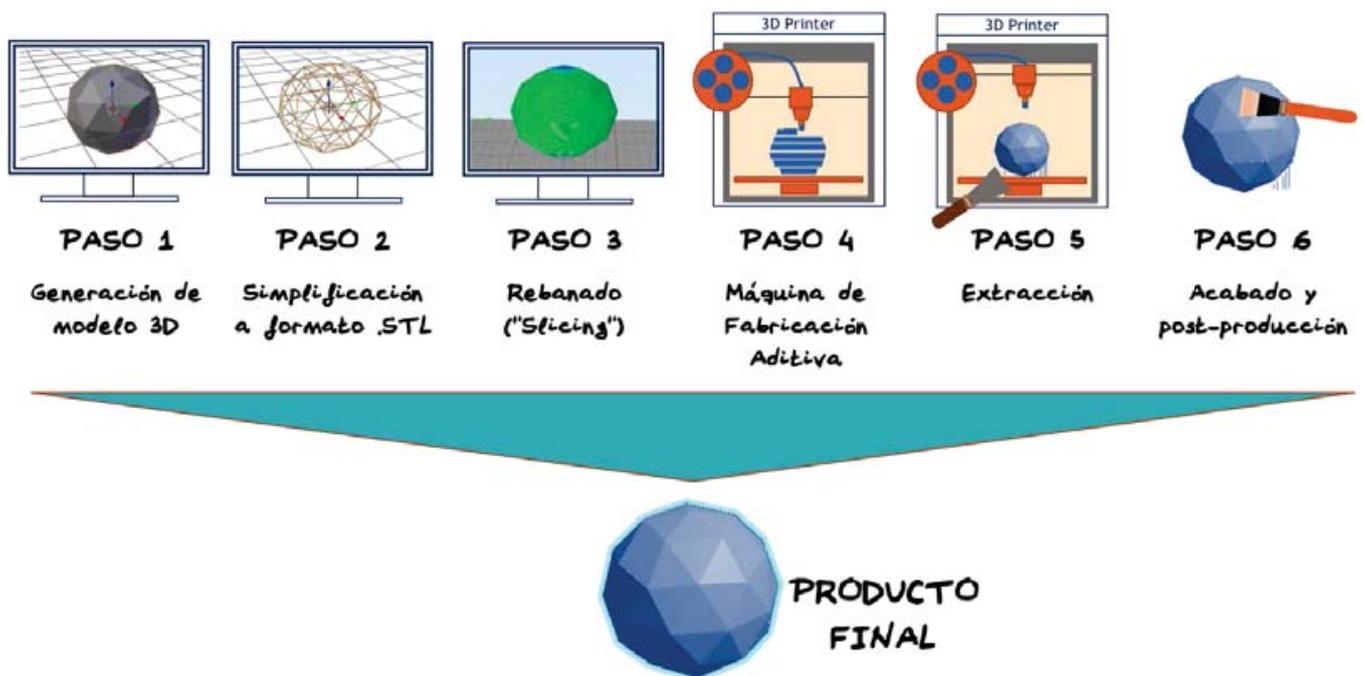
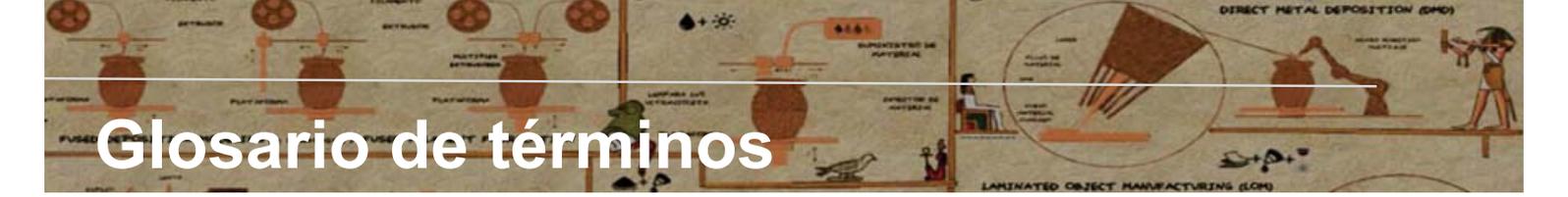


Figura 12: Proceso genérico de fabricación aditiva



Glosario de términos

3D printing as a service

Impresión 3D bajo demanda, se refiere el servicio de fabricación por impresión 3D en la cual el usuario envía un modelo 3D en formato digital, escoge el material de fabricación y recibe en su domicilio el objeto fabricado conforme a sus especificaciones.

ABS

El ABS (siglas de *Acrylonitrile Butadiene Styrene*) es un material plástico muy usado en la fabricación aditiva por extrusión de materiales, muy conocido por ser el que encontramos en las famosas piezas de LEGO y en muchas aplicaciones industriales.

Anisotropía

Propiedad de un objeto según la cual algunas cualidades como resistencia, elasticidad, etc. varían según la dirección en que se examine el objeto.

Arduino

Es el nombre de una compañía y de un proyecto hardware de *open-source*, que fabrica placas de desarrollo sencillas y baratas para favorecer la construcción de dispositivos que puedan controlar todo tipo de objetos de la vida real.

B2B

Abreviatura de *Business To Business*, se refiere a las relaciones y transacciones comerciales entre empresas.

B2C

Abreviatura de *Business To Consumer*, se refiere a las estrategias de las empresas comerciales para llegar al cliente final.

CAD

CAD (Computer Assisted Design) es el software de diseño asistido por ordenador en 2D y 3D para la creación de objetos en 2 y 3 dimensiones.

CMM

(CMM, del inglés *Coordinate-Measuring Machine* es un instrumento de medición directa de objetos que emplea un puntero físico con el que se va tocando al objeto al mismo tiempo que se envían coordenadas. Se miden así completamente todas las dimensiones del objeto, siendo un procedimiento muy preciso, pero también muy lento.

CNC

CNC (Control Numérico Computerizado) es una tecnología en la cual una máquina-herramienta es programada mediante ordenador para la ejecución de una serie de trabajos mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una fresa (herramienta rotativa de corte).

Complejidad gratis

Una de las grandes ventajas de la fabricación aditiva es precisamente su capacidad de hacer fácil las piezas complejas, de forma que el incremento de coste con la complejidad es mínimo.

Customer empowerment

Customer empowerment o empoderamiento del cliente se refiere a la situación en la que el consumidor tiene un mayor control de sus procesos de compra, muy relacionado con el auto-servicio del cliente.

DED

La familia de tecnologías de deposición directa de materiales (*Directed Energy Deposition*), como su propio nombre indica, tiene la particularidad de que funcionan añadiendo pequeñas cantidades de material de forma directa en cualquier punto del espacio que se desee. Dentro de esta familia, encontramos la tecnología *Direct Metal Deposition (DMD)* o *Laser Metal Deposition (LMD)*.

Democratización de la producción

Hacer accesible la fabricación de determinados objetos a empresas o individuos que antes no lo hacían porque no tenían necesidad de fabricar un alto número de productos, y el coste de hacerlo para uno solo resultaba absolutamente prohibitivo. Esta es una de las principales ventajas de la fabricación aditiva.

Denegación de servicio

Conocido también como ataque DoS (*Denial of Service*), es un tipo de ataque informático en el cual el atacante impide el correcto funcionamiento del elemento informático atacado.

DLP

La tecnología *Digital Light Processing* (DLP) es otra tecnología muy similar a la estereolitografía. Su única diferencia es la forma en que se consigue la solidificación de la resina; en lugar de emplear un láser, se emplea un proyector digital de luz,

DMLS

Selective Laser Melting (SLM) y *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS) son los nombres que recibe la tecnología de Powder Bed Fusion que emplea polvos metálicos, los cuales consigue solidificar mediante un láser. La diferencia entre la tecnología SLM y la DMLS es que mientras la primera funde completamente el polvo metálico, la segunda emplea aleaciones (en lugar de un polvo metálico homogéneo del mismo metal) y no funde todo el polvo, sino que consigue la unión de partículas que se funden entre sí sin que todo el metal se funda completamente.

Do It Yourself (DIY)

Literalmente “Hágalo usted mismo” es la denominación que recibe el fenómeno de querer hacer una solución a una necesidad en lugar de comprarla hecha.

Domótica

Conjunto de técnicas orientadas a automatizar una vivienda, integrando los sistemas de seguridad, gestión energética, ocio o telecomunicaciones.

DRM

Sistemas de gestión de derechos digitales (*DRM - Digital Right Management*), es el nombre que reciben las tecnologías que buscan impedir la copia ilegal de archivos digitales.

EBM

Electron Beam Melting (EBM) es una tecnología de fabricación aditiva que es muy similar a SLM, y -al igual que esta- produce modelos muy densos a partir de polvo metálico. La diferencia fundamental con SLM es que EBM emplea un

haz de electrones de alta energía en lugar de un láser para fundir el polvo metálico.

Escaneo 3D (3D scanning)

Es el proceso de generación de un modelo 3D de ordenador a partir de un objeto real.

Estereolitografía (SLA)

Charles Hull inventó la estereolitografía (SLA), primera tecnología de fabricación aditiva basada en polímeros sensibles a la luz ultravioleta (reaccionan ante la luz solidificándose).

Posteriormente patentaría su invento en 1986 y sobre esa patente desarrollaría su empresa 3D Systems.

Extrusor

El extrusor es la pieza de una impresora 3D que calienta el filamento de material y la deposita de forma precisa moviéndose hasta el punto exacto. Hay muchos tipos distintos de extrusores. Es la pieza que en mayor medida determina la calidad de la pieza impresa, por lo que suelen ser intercambiables.

Fabricación aditiva

Conjunto de tecnologías de fabricación por las que un diseño digital en 3D se transforma en un objeto real, uniendo poco a poco material (o materiales) de forma controlada por un ordenador, como oposición a las tecnologías sustractivas.

Fabricación conformativa

Aquella fabricación en la que un material es obligado (por presión, a golpes, derritiéndolo o por cualquier otro procedimiento) a adquirir la forma y dimensiones que nos interese.

Fabricación sustractiva

Aquella en la que se van eliminando trozos de material (a golpes, lijado, fresado u otro procedimiento) de un bloque compacto inicial hasta conseguir el producto deseado.

FDM

La denominación de tecnología como FDM (*Fused Deposition Modeling*) es *copyright* de la compañía *Stratasys*, por lo que se usa normalmente el término FFF (*Fused Filament Fabrication*) para referirnos a la técnica de fabricación en la que se usa un filamento de plástico que, convenientemente controlado, se lleva a través de un extrusor que lo calienta y lo deposita poco a poco hasta construir el objeto.

FFF

La denominación de tecnología como FDM (*Fused Deposition Modeling*) es *copyright* de la compañía *Stratasys*, por lo que se usa normalmente el término FFF (*Fused Filament Fabrication*) para referirnos a la técnica de fabricación en la que se usa un filamento de plástico que, convenientemente controlado, se lleva a través de un extrusor que lo calienta y lo deposita poco a poco hasta construir el objeto.

Fotogrametría

Una técnica de escaneo 3D que consiste en realizar una serie de fotografías de un objeto, desde todos los ángulos posibles. A continuación, un software se encarga de encontrar los puntos comunes entre las distintas fotografías hasta crear una malla representando el objeto tridimensional.

G-code

Es el nombre más conocido del lenguaje de programación RS-274 empleado en control numérico, usado principalmente en automatización y en la impresión 3D.

Geometrías imposibles

Se denomina así a la forma de objetos que la fabricación aditiva ha hecho posible su producción de una única pieza y que anteriormente es imposible de fabricar por otras tecnologías a no ser que se hiciera en varias partes que eran posteriormente unidas entre sí.

Infill

Término que designa la forma en que vamos a rellenar las partes sólidas del objeto fabricado con impresión 3D. En general, con rellenos del orden 15-20% el resultado es lo suficientemente robusto, si bien dependerá de la geometría escogida, del material de fabricación, y de las propiedades que necesitamos para el objeto en cuestión. Hay obviamente muchas formas de rellenar una

capa, si bien las más comunes son en panal (hexagonal) o triangular, por su mayor resistencia con un menor relleno.

Inteligencia colectiva

Término con el que se conoce al fenómeno mediante el cual entre toda la comunidad de Internet especialista en algún área, compuesta de miles de individuos, es posible encontrar la mejor solución a un problema. En los últimos años se ha generalizado la opción de plantear retos (*challenges*) a la comunidad ofreciendo un pequeño premio en metálico a la mejor solución, lo que ha demostrado ser una forma eficaz y barata de resolver problemas.

Internet of Things (IoT)

El concepto de Internet de las cosas, IoT por sus siglas en inglés, aparece como el nombre a que se refiere la tendencia actual de ir interconectando más y más objetos cotidianos que nos rodeen con Internet.

Inyección de Aglutinante

La inyección de Aglutinante (Binder Jetting) es una tecnología de fabricación aditiva similar a las de fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion) pero con la diferencia de que consigue la fusión de materiales no mediante calor, sino mediante la adición de un material aglutinante que une entre sí las distintas partículas de polvo.

Inyección de Materiales

Tecnología de fabricación aditiva que recibe su nombre por su similitud con las tecnologías de inyección de tinta (*Inkjet*) empleadas en las impresoras en papel. Su funcionamiento es el siguiente: una cabeza móvil en los ejes X e Y se encarga de inyectar múltiples pequeñas gotas de material en estado viscoso, que inmediatamente se solidifican mediante una lámpara de rayos ultra-violeta

Laminación de hojas

La **laminación de hojas** es una tecnología de impresión 3D que usa material en hojas que se cortan con la capa necesitada y se unen entre sí mediante algún mecanismo.

Laminated Object Manufacturing

Laminated object Manufacturing es la tecnología de laminación de hojas más común, y se emplea fundamentalmente en papel recubierto con adhesivo, plástico o un fino laminado metálico.

Maker

De toda la vida ha existido gente con ganas de fabricar objetos con sus propias manos: manitas, artesanos, ingenieros, artistas, inventores, etc... Sin embargo, en el año 2005, y al abrigo del lanzamiento de una nueva revista (*MAKE Magazine*) se produjo un fenómeno de catálisis y unión de los amantes del *DIY* (el *Do It Yourself*, o hágalo usted mismo), que comenzaron a auto-denominarse *makers*, y a su movimiento, el movimiento *Maker*.

Mass customization

Estrategia comercial en la cual llevamos la personalización/adaptación al individuo de nuestro producto a muchos más clientes. Cada cliente recibe un producto único.

Multi-jet fusion

Tecnología desarrollada por HP, híbrido entre la tecnología SLS y la inyección de materiales, buscando obtener lo mejor de ambos mundos.

Overhang

Nombre que reciben las partes de un objeto 3D que están en voladizo y que por ello tendrán problemas en ser impresas si no se emplean soportes.

PEEK

Polieteretercetona (PEEK): Polímero técnico termoplástico semi-cristalino, empleado en la fabricación de extrusión de materiales, de mucha mayor calidad que PLA y ABS.

PEI

La poliéterimida (PEI) es un termoplástico de alta resistencia a la temperatura y al impacto, y buena rigidez.

Personalización

Personalización (“*customización*”) del producto, es el nombre que se da a la posibilidad de cambiarlo y adaptarlo a las necesidades individuales de cada cliente.

Pixel

Unidad básica de la que están compuestas las imágenes digitales. Es la unión de millones de pequeños *pixels*, puntos de color imperceptibles uno a uno a simple vista, lo que construye la imagen final.

PLA

Siglas de *PolyLactic Acid*, el PLA es un material plástico muy usado en la fabricación aditiva por extrusión de materiales. La temperatura de fusión del PLA (aprox. 200°) es inferior al ABS (alrededor de 240°-250°) por lo que es menos sensible al *warping* y más usado como “nivel de entrada” para impresoras de usuarios en el mercado doméstico.

Powder Bed Fusion

Bajo este nombre se agrupan las diferentes tecnologías que consiguen la fabricación 3D mediante la fusión de un material en polvo, que se encuentra dentro de una cámara. Según sea éste material (metales vs elementos cerámicos, cristales o plásticos) o según el método por el que se consiga la solidificación de ese polvo tenemos las diferentes tecnologías dentro de esta categoría.

Prosumidor

Consumidor que se auto-abastece, produciendo lo que necesite consumir, y que se considera el estado último de la fabricación aditiva.

Prototipado rápido

Se denomina así a la primera aplicación de la fabricación aditiva: la posibilidad de fabricar muy rápidamente un nuevo diseño que, aunque no tenga exactamente las mismas propiedades del producto final, permita evaluar y analizar la validez del diseño, ahorrando así costosos errores de producción. Por ser su primera aplicación, aún es común emplear indistintamente los términos sistemas de prototipado rápido, impresión 3D y fabricación aditiva.

Raspberry Pi

Es un ordenador muy sencillo y de bajo costo fabricado en el Reino Unido por una fundación de igual nombre con el objetivo inicial de estimular la enseñanza de la computación en escuelas, pero que ha sido usado por la comunidad open source para el desarrollo de todo tipo de soluciones tecnológicas de bajo coste.

Rebanado (Slicing)

Tercera fase de la fabricación aditiva, consistente en establecer las capas que, una a una, van a construir el producto final; esto se hace cortando (rebanando) el modelo en trozos superpuestos muy finos uno sobre otro.

SLA

Primera tecnología de fabricación aditiva basada en polímeros sensibles a la luz ultravioleta (reaccionan ante la luz solidificándose).

SLM

Selective Laser Melting (SLM) y *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS) son los nombres que recibe la tecnología de Powder Bed Fusion que emplea polvos metálicos, los cuales consigue solidificar mediante un láser. La diferencia entre la tecnología SLM y la DMLS es que mientras la primera funde completamente el polvo metálico, la segunda emplea aleaciones (en lugar de un polvo metálico homogéneo del mismo metal) y no funde todo el polvo, sino que consigue la unión de partículas que se funden entre sí sin que todo el metal se funda completamente.

SLS

Selective Laser Sintering (SLS) es el nombre de la tecnología empleada para la impresión 3D de materiales no metálicos en *Powder Bed Fusion*.

Smart manufacturing

Smart manufacturing o *digital manufacturing* es el término con el que se conoce el futuro modelo de fabricación en el que todos los procesos se realizan de forma digital y colaborativa entre todos los intervinientes (diseño, fabricación, distribución, etc...).

Sonotrodo

En una herramienta de soldadura, el sonotrodo es la parte del conjunto oscilante que se apoya en una de las piezas a soldar, transmitiendo vibraciones hasta lograr la fusión.

Soportes

Se denomina así al material extra impreso junto al objeto fabricado con el único propósito de soportar las partes de este que caso de no existir lo soportes

estarían al aire o sobresaliendo con un ángulo tal que sería imposible su impresión.

Supply chain

La cadena de suministro (*supply chain*) es el nombre que se le da a la secuencia de pasos ejecutados para la producción, distribución y venta de un producto desde su inicio hasta llegar al consumidor final.

Syringe extrusion

Tecnología de extrusión de materiales de propósito general (literalmente, extrusión de jeringuilla), que se emplea con cualquier tipo de material con tal de que se encuentre en formato cremoso o viscoso.

Su funcionamiento es muy sencillo: en lugar de un extrusor que caliente el filamento hasta la boquilla, en su lugar tenemos una jeringa motorizada que se ocupa de hacer llegar el material a imprimir en estado sólido hasta la boquilla.

Ultrasonic Additive Manufacturing

Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM) es una técnica de laminación de hojas en la cual se unen hojas metálicas: pero en lugar de usar adhesivos químicos o fundir el metal, logra la unión de las capas mediante ultrasonidos.

Vat Polymerization

Bajo este nombre se agrupan las tecnologías que consiguen la impresión 3D mediante la polimerización de una cubeta (VAT) llena de resina fotosensible.

Vóxel

Llevando el concepto de pixel a las tres dimensiones, podemos considerar que cualquier objeto está compuesto de “*pixels en 3D*”, llamados **vóxels** (del inglés, *volumetric pixel*, pixels con volumen).

Warping

Problema típico en la fabricación por extrusión de materiales, derivado de la diferente temperatura que tienen diferentes partes del objeto que está siendo impreso: el material sale del extrusor a alta temperatura y -especialmente en las primeras capas- se encuentra con la plataforma o capas anteriores a una temperatura muy inferior, creando una fuerza contractiva que deforma el objeto.

Wearable

Anglicismo con el que se denomina a los objetos tecnológicos que se llevan puestos como si fueran ropa o accesorios de moda.

DIRECTED ENERGY DEPOSITION

DIRECT METAL DEPOSITION (DMD)

Seguro que ha oído hablar de la Fabricación Aditiva, si no con este término, en su forma más conocida de impresión 3D. En este libro se explica en qué consiste esta nueva tecnología y porqué cambiará la forma en que producimos y consumimos actualmente.

Contenido:

- Definición y Conceptos clave
- ¿Cómo se hace? El proceso genérico de fabricación aditiva.
- Ventajas y Problemas de la fabricación aditiva
- Historia
- Aplicaciones y ejemplos sectoriales
- La creación de nuevas cadenas de suministro
- Evaluación de una solución de fabricación aditiva
- Otros factores como Seguridad, Medio ambiente, aspectos legales, ...
- Explicación de las principales tecnologías: FFF, SLA, DLP, SLM SLS, LOM, UAM, ...
- El futuro de la fabricación aditiva
- Preguntas de repaso