

# La fabricación aditiva: la evidencia de una necesidad



La Unión Europea ha decidido que la fabricación en general, y la aditiva en particular, sean una de las herramientas clave para abordar algunos de los desafíos europeos y sus objetivos posteriores, en particular, para el crecimiento y la creación de valor agregado de alta calidad de puestos de trabajo. Esta decisión está generando programas de apoyo y promoción de la investigación e innovación para conseguir que la fabricación aditiva permita ofrecer nuevos productos de alto valor, así como servicios competitivos.

**Mariano Jiménez Calzado y José Porrás Galán.**

**Universidad Pontificia Comillas. ETSI-ICAI**

**Iris A. Domínguez, Luis Romero y María del Mar Espinosa.**

**Área de Ingeniería del Diseño. UNED**


## 1.- Introducción

La industria mundial relacionada con la fabricación aditiva está empezando a responder a las necesidades de normalización a nivel global, nacional y regional, mediante una serie de grupos de trabajo en los que participa la Unión Europea: comité ASTM F432, comité Técnico ISO (TC 261), Proyecto SASAM y comité BSI.

La ASTM International (2012) ha definido la Fabricación Aditiva (Additive Manufacturing) como: "Proceso de unión de materiales capa a capa para hacer objetos modelados en 3D, en oposición a las metodologías de fabricación sustractivas, tales como el mecanizado tradicional."

Los términos empleados habitualmente alrededor de la fabricación aditiva han ido evolucionando de forma paralela al desarrollo de la tecnología, siendo conveniente establecer un marco de referencia que permita analizar la evolución sufrida y una necesaria estandarización de cara al futuro:

- **'Prototyping'**. Es el primer término que se utilizó para describir la creación mediante capas de objetos 3D. Actualmente, las tecnologías existentes, permiten conseguir algo más que un 'prototipo'.
- **'Impresión en 3D'**. Es el término más utilizado. Es frecuente emplear el término de 'Impresión en 3D de bajo coste' cuando empleamos máquinas de impresión de alcance doméstico o semiprofesional.



E-Manufacturing	Additive Manufacturing	Direct Digital
<b>Freeform Fabrication</b>	Rapid Manufacturing	<b>Additive Fabrication</b>
Generative Manufacturing	Constructive Manufacturing	Rapid prototyping
Additive Layer Manufacturing	3D Printing	Material Increase Manufacturing

Figura 1. Términos más utilizados alrededor de la fabricación aditiva.

- **‘Fabricación Aditiva’**. Es el último término aplicado y se utiliza para describir la tecnología en general. Es muy habitual cuando se hace referencia a aplicaciones industriales de fabricación de componentes y con equipos profesionales e industriales de altas prestaciones.

Existen otros términos cuando hablamos de fabricación aditiva (figura 1).

La fabricación aditiva abarca y convive, entre otras, con un grupo de técnicas de fabricación rápida que han sido utilizadas con más frecuencia por su fácil aplicación (Tabla 1):

<p><b>RAPID MANUFACTURING</b> o Fabricación Rápida: dentro de este concepto se incluye la fabricación final de productos mediante tecnologías rápidas basadas en fabricación aditiva</p>	<p><b>RAPID TOOLING</b> o Fabricación Rápida de útiles y herramientas como punzones, insertos de moldes</p>
<p><b>RAPID CASTING</b> o Fabricación Rápida de moldes. Modelos y patrones de fundición</p>	<p><b>RAPID PROTOTYPING</b> o Prototipado Rápido. Modelos y prototipos</p>

Tabla 1. Campos de acción de la fabricación aditiva.

La diferencia entre estas técnicas se reduce a la aplicación que se le da a la tecnología de fabricación aditiva, es decir, la diferencia entre fabricar un objeto con una funcionalidad de comprobación ergonómica del diseño y fabricar un elemento que sirva de soporte para ajustar dos piezas en montaje, es nula cuando hablamos de su fabricación, el matiz reside en la función final que desempeñarán. De esta forma, se puede utilizar una técnica de prototipado rápido como posible tecnología de fabricación rápida de elementos, de herramientas o de moldes. El personal técnico, tiene que tener en cuenta que esta posibilidad deriva en una mayor simplicidad de los procesos de montaje y puesta a punto de elementos en su conjunto.

Responda a esta cuestión: ¿cómo conseguiría fabricar una rótula esférica ensamblada en su asiento, sin necesidad de fabricar los elementos independientemente y realizar posteriormente su montaje?, ¿es posible conseguir una producción en serie e individualizada de ese conjunto a un precio asequible? (ver figura 2).



Figura 2. Rótula ensamblada en su asiento.

Una característica común a las diferentes técnicas de fabricación aditiva es la de requerir un mínimo número de fases en el proceso de fabricación, desde el desarrollo de la ‘idea’ por parte del diseñador hasta la obtención del producto acabado:

1. Desarrollo conceptual de la idea.
2. Diseño del modelo en una aplicación CAD 3D.
3. Generación de un fichero \*.stl para que el equipo de fabricación aditiva pueda interpretar la información geométrica (triangularización) modelada en CAD.
4. Orientación en máquina y generación del código de CN por parte del equipo de fabricación aditiva.
5. Fabricación del componente.
6. Limpieza. Eliminación del material de soporte (en el caso de que la tecnología utilizase material de soporte y la pieza lo requiriese).
7. Postprocesado (mejora del acabado y endurecimiento. Algunas tecnologías no lo requieren).

En el proceso anterior, es el propio diseñador quien puede encargarse de la fabricación del producto. No es necesaria la intervención de otro técnico para realizar operaciones complementarias. No obstante, hay que tener en cuenta que durante el proceso y antes de la fabricación, el diseñador debe saber los condicionantes del producto final, tanto para saber elegir la técnica idónea de fabricación, como para realizar las modificaciones del fichero de datos geométrico (stl) y el revisar el código CN. Es obligatorio que tenga una visión completa y una formación necesaria de todas las fases del proceso.

## 2.- Fabricación aditiva

Los procesos convencionales de fabricación de componentes se basan en el empleo de recursos con gran capacidad de elementos de control para conseguir niveles de precisión y fiabilidad muy elevados. La utilización de sistemas informáticos en las fases de ingeniería de diseño, fabricación y simulación de un producto, en combinación con otras técnicas basadas en la mecatrónica, han conseguido elevar los sistemas de producción a niveles elevados de eficacia.

No obstante, todavía tenemos algunas limitaciones en los procesos de fabricación, ya que en función del tamaño del lote a fabricar y la complejidad geométrica del componente, en ocasiones nos vemos obligados a utilizar procesos y utillajes que encarecen el coste final del elemento. Actualmente se disponen de procesos de

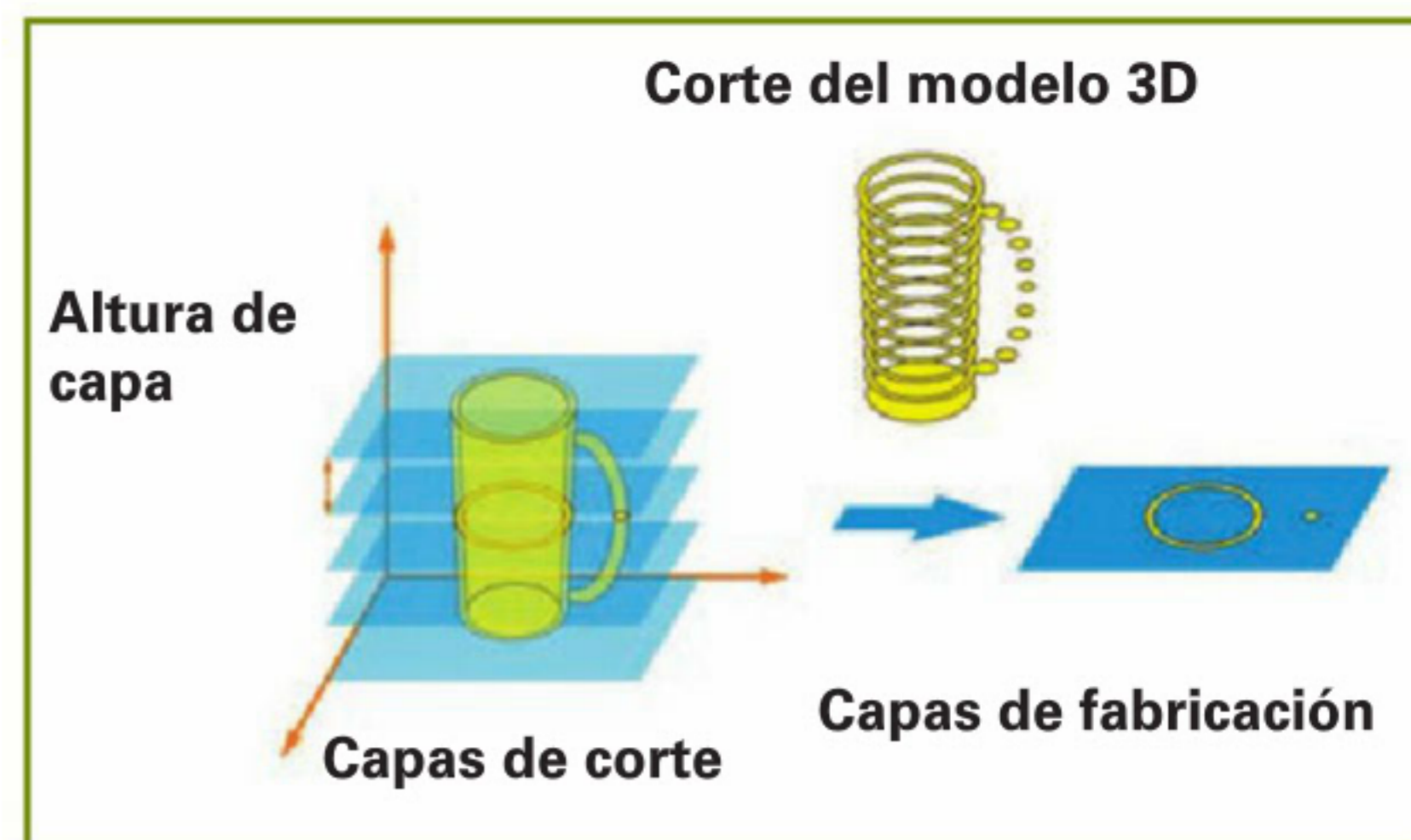


Figura 3. Principio de dispersión-acumulación.

transformación con los que podemos arrancar, deformar, fundir y unir el material base de nuestro componente, y desde hace unos años, también podemos acumular por deposición el material allí donde es necesario, es decir, a partir de un modelo virtual en 3D, se puede fabricar el componente añadiendo el material según sea el volumen sólido del modelo diseñado.

Las tecnologías actuales de tipo aditivo se basan en el principio de dispersión-acumulación (ver figura 3). El principio de dispersión-acumulación se describe en una patente de 1892 (US Patent nº 473901).

Los procesos de aporte de material o aditivos son aquellos que solidifican un material, originalmente en estado sólido, líquido o en polvo, por capas sucesivas dentro de un espacio predeterminado y con procedimientos electrónicos. Estos métodos también son conocidos con el acrónimo MIM derivado de su denominación en inglés como Material Increase Manufacturing, y su clasificación se puede realizar atendiendo a dos factores diferentes, como son el 'material de partida' (ver tabla 2) y el 'proceso de obtención del modelo' (ver tabla 3).

TIPO	TECNOLOGÍAS	MATERIAL
Extrusión o inyección	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (por ejemplo, PLA, ABS), aleaciones eutécticas de metales, productos comestibles
	Impresión por inyección (Inkjet Rapid Prototyping o Polijet)	Termoplásticos (por ejemplo, PLA, ABS),
Granular	Sinterizado láser directo de metal (LMD)	Casi cualquier aleación de metal
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterización selectiva por calor (SHS)	Termoplástico en polvo
	Sinterización selectiva por láser (SLS-DMLS)	Termoplásticos, metales en polvo, polvos cerámicos
	Impresión 3D con cabezal de inyección de tinta sobre lecho en polvo	Yeso
Foto-polimerizado	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Procesamiento digital de luz (DLP)	Resina líquida

Tabla 3. Procesos de fabricación aditiva según el proceso de obtención del modelo.

MATERIAL	HERRAMIENTA	PROCESOS	POSTPROCESADO	NOMBRE	COMERCIAL
Líquido	Radiación ultravioleta de un láser	Solidificación	Curado	Estereolitografía (Stereolithography o SLA)	3D Systems Inc. 1988
				Sistema de creación de sólidos (Solid Creation System o SCS)	Sony Corporation, JSR Corporation y D-MEC Corporation 1990
				Impresión láser ultra violeta de sólidos (Solid Object Ultraviolet Laser Printer o SOUP)	CMET Inc. 1990
	Lámpara de luz ultravioleta		**	Fotopolimerización (Solid Ground Curing o SGC)	Cubital Ltd. 1991
			**	Impresión por inyección (Inkjet Rapid Prototyping o Poly jet)	Object Geometries Ltd. 2000
Sólido	Cabezal extrusión	Fundido/solidificado	**	Modelado por deposición fundida (Fused Deposition Modeling o FDM)	(Stratasys Inc.) 1988
	Cabezal de inyección			Impresión por inyección (Inkjet Rapid Prototyping o Poly jet)	(MultiJet Modeling System o MJM) 3D Systems Inc. 1999
					(ModelMaker y Pattern Master) SolidScape 1993
	Laminación	Tallado y adhesión	**	Fabricación por laminación (Laminated Object Manufacturing, o LOM)-(Selective Deposition Lamination o SDL)	Solidimensio (Helisys), Stratoconception, MCor Technologies
Polvo	Aglutinante (posible color)	Unión	**	Impresión tridimensional (3D Printer)	Z Corporation 1994
	Láser	Sinterizado	**	Sinterizado por láser (Selective Laser Sintering o SLS-DMLS)	3D Systems 1984

\*\* El proceso de pos procesado puede ser necesario o no, en función del uso final de la maqueta o prototipo

Figura 4. Adaptación del ciclo de vida de un producto con criterios de fabricación aditiva (Solid Concepts Inc.).

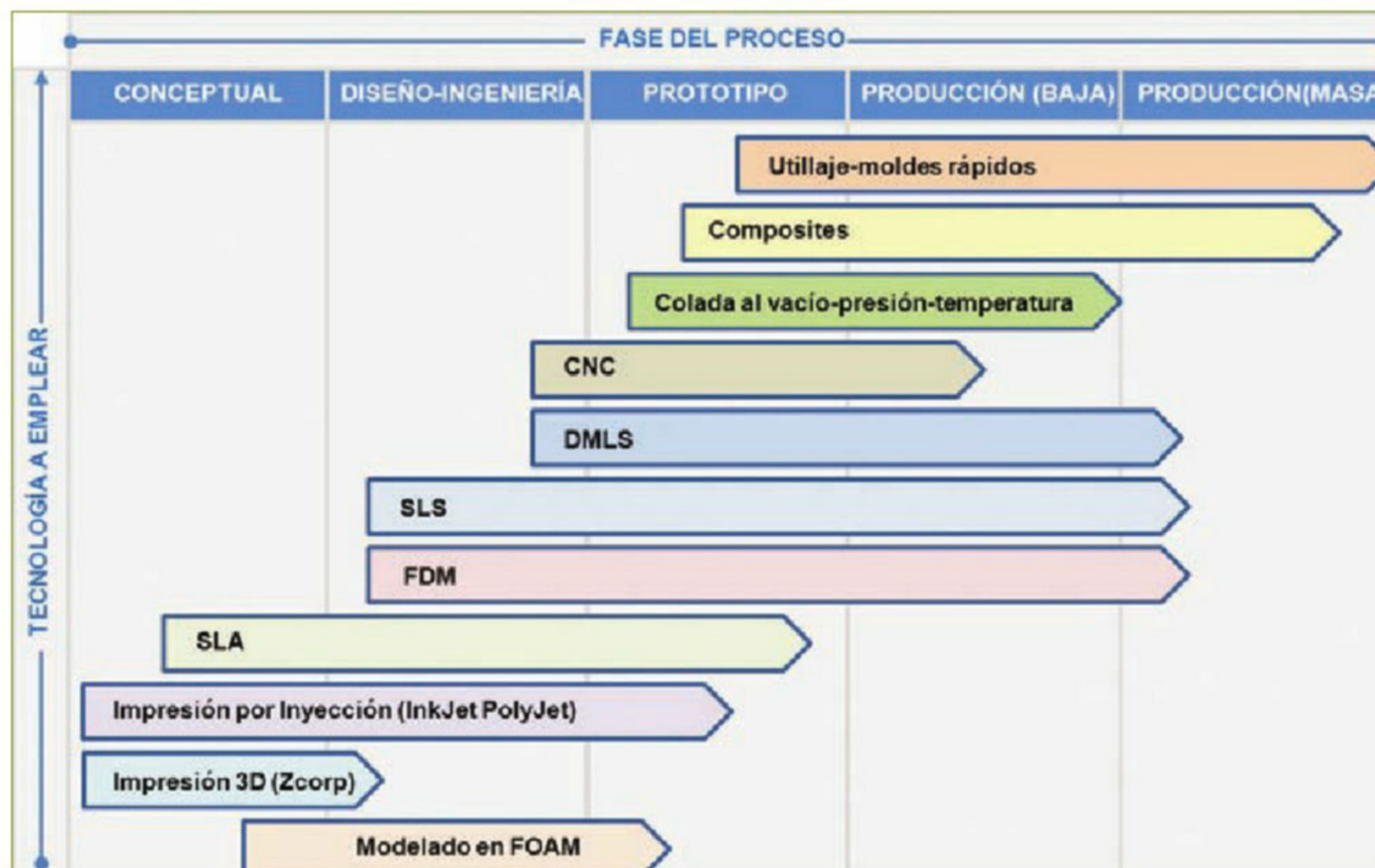


Figura 4. Adaptación del ciclo de vida de un producto con criterios de fabricación aditiva (Solid Concepts Inc.).

En la figura 4, puede valorar la propuesta realizada por un proveedor de servicios de ingeniería (Solid Concepts Inc.) del ciclo de vida de un producto con criterios de fabricación aditiva.

### 2.1.- Ventajas e inconvenientes de la fabricación aditiva

Los procesos de fabricación de piezas convencionales están condicionados por una serie de limitaciones relacionadas con la obtención de ciertas formas, como agujeros con trayectoria curva, ángulos de desmoldeo, control de las colisiones de la herramienta con piezas de geometría compleja, sin olvidar que algunos procesos de fabricación no cumplen con un compromiso con la sostenibilidad en la fabricación y llevan asociados residuos relacionados con la utilización de los líquidos refrigerantes.

Las técnicas de fabricación aditiva se distinguen principalmente de las técnicas convencionales por dos características que, además, les confieren grandes ventajas competitivas en tanto en cuanto no encarecen el proceso de fabricación:

1. La complejidad geométrica de la pieza a fabricar.
2. La personalización del diseño de la pieza a fabricar.

Estas dos características se pueden convertir en grandes ventajas en distintos sectores industriales (ver figura 5):



Desde el punto de vista de la producción de componentes industriales hay que destacar como claras ventajas:

- Reducción del 'time to market' de nuevos diseños.
- Series cortas de producción.
- Reducción de errores de montaje y sus costes asociados.
- Reducción de costes de inversión en utillaje.
- Procesos híbridos: siempre es posible combinar distintos procesos de fabricación.

- Optimización en la utilización de material.
- Provoca una fabricación más sostenible.

Sin embargo, las tecnologías de fabricación aditiva tienen algunos inconvenientes que deben ser tenidos en cuenta de cara a la elección de la tecnología más adecuada a las necesidades y los requerimientos del producto a fabricar.

- La fabricación en capas produce lo que se conoce con el nombre de efecto escalera provocando que el trazado de geometrías curvas se complique y el acabado superficial tenga una rugosidad elevada.
- La operación de fabricación, como tal, en algunas tecnologías puede resultar lenta; por lo que es típicamente conveniente para series de producción pequeñas.
- Los materiales utilizados en algunas de las tecnologías pueden no ser los idóneos para el producto que se busca fabricar.
- La deposición en capas produce materiales anisotrópicos. Es posible que el comportamiento ante los esfuerzos que reciban los componentes en servicio sea inadecuado.
- Las tolerancias obtenidas son todavía mayores que en otros métodos de fabricación.

NO ADITIVAS
Conformado incremental.
Mecanizado alta velocidad
Inyección baja presión
Colada al vacío, cera perdida,...
Láminas y contorneado
ADITIVAS
MATERIAL LÍQUIDO
Estereolitografía, SLA
Fotopolimerización, SGC
Impresión por inyección, IJP
MATERIAL EN POLVO
Sinterizado por Láser, SLS (DMLS)
Impresión tridimensional, 3DP
Fusión por haz de electrones, EBM
MATERIAL SÓLIDO
Modelado por deposición fundida, FDM
Fabricación por laminación, SDL (LOM)

Tabla 3. Principales tecnologías de fabricación rápida de prototipos.



# METAV 2014

11-15 marzo  
Düsseldorf

[www.metav.de](http://www.metav.de)

## Feria internacional de técnicas de fabricación y automatismos

Exposición especial

metal meets  
**MEDICAL**

Präzision in der Medizintechnik

**QUALITY**  
road

Qualitätssicherung in der Produktion

**Rapid.Tech**

Rapid.Tech goes METAV

**Expo-Düsseldorf España, S.L.**  
 Mr. Olivier Hubing  
 C/. Fuencarral, 139-2º D · 28010 Madrid  
 Tel: +34 91 594 45 86 · Fax: +34 91 594 41 47  
 E-Mail: Hubing.o@expodusseldorf.com

Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V.  
 Corneliusstraße 4 · 60325 Frankfurt am Main  
 Tel. +49 69 756081-0 · Fax +49 69 756081-74  
[metav@vdw.de](mailto:metav@vdw.de) · [www.metav.de](http://www.metav.de)

Eine Messe des **VDW** A Fair by **mi** Messe Düsseldorf Ideeller Träger Supporting organisation **VDMA**

### 3.- Fabricación aditiva vs Prototipado rápido. Tecnologías y variables de decisión

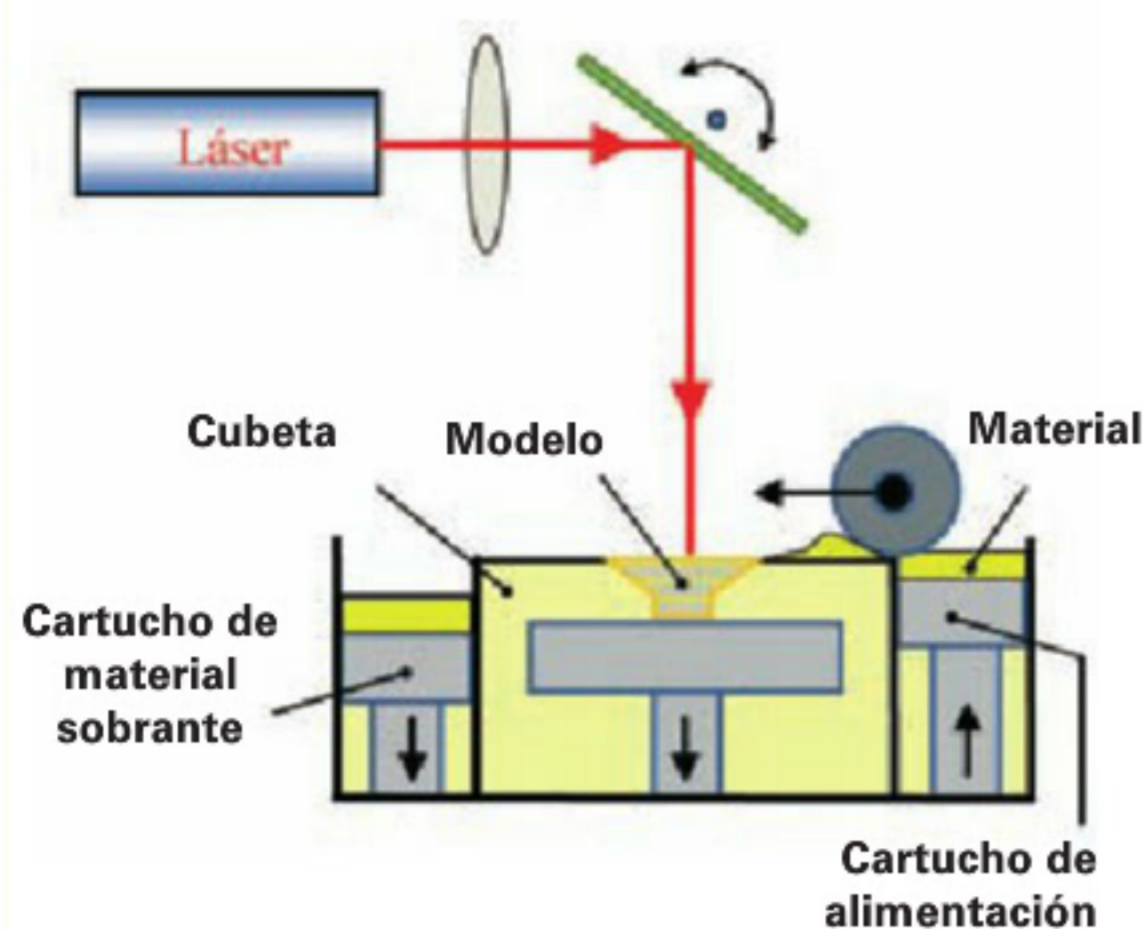
Si nos centramos en la aplicación de las diferentes tecnologías de fabricación para obtener prototipos rápidos, las tecnologías actuales se pueden clasificar en aditivas y no aditivas.

A continuación vamos a analizar los datos técnicos más relevantes de las principales tecnologías aditivas (ver tablas 4, 5 y 6):



	<p><b>Solidificación de resina - SLA (Esteriolitografía)</b></p> <p>El material se solidifica punto a punto debido a la fotopolimerización láser sobre una sección 2D del modelo (plano XY). La plataforma va descendiendo (plano Z) en pequeños incrementos según la altura de la capa definida.</p> <hr/> <p>El espesor de capa varía de 0,1 a 0,2 mm. La precisión en SLA es de +/- 0,2 % (mín +/- 0,2mm). Tamaño máximo del modelo: 2.100x700x800 mm.</p> <hr/> <p>Pueden utilizarse los siguientes materiales (resinas epoxi-acrílicas: Poly1500, PP, TuskXC2700T / Tusk2700W, Tusk SolidGrey3000, Flex70B, NeXt, Protogen White, Xtreme, WaterClear).</p>
	<p><b>Fotopolimerización por luz ultravioleta - SGC</b></p> <p>La sección 2D del modelo se sitúa encima de la resina para exponerla a la luz ultravioleta. Se elimina el polímero que no ha solidificado y se seca mediante aire, reutilizando la resina no solidificada. A continuación se rellenan los huecos dejados en el secado con cera caliente (70 °C), cuya función será de estructura de apoyo. Se solidifica la cera y se rectifica el espesor y acabados exactos.</p> <hr/> <p>El espesor mínimo de capa es de 0,06 mm</p> <hr/> <p>El material puede ser resina epoxi o acrílica con propiedades similares a las obtenidas en SLA.</p>
	<p><b>Inyección (proyección) de resina y Fotopolimerización por luz ultravioleta – Polyjet</b></p> <p>Un cabezal con miles de inyectores deposita gotas de resina líquida que se curan mediante dos lámparas de rayos UV situadas en los laterales del mismo cabezal. Se puede trabajar con dos materiales simultáneamente (piezas bimaterial).</p> <hr/> <p>El espesor mínimo de capa es de 0,017 mm</p> <hr/> <p>La gama de materiales es muy amplia desde resinas traslúcidas, Polipropileno, ABS o resinas elásticas.</p>

Tabla 4. Aportación de material en base líquida.



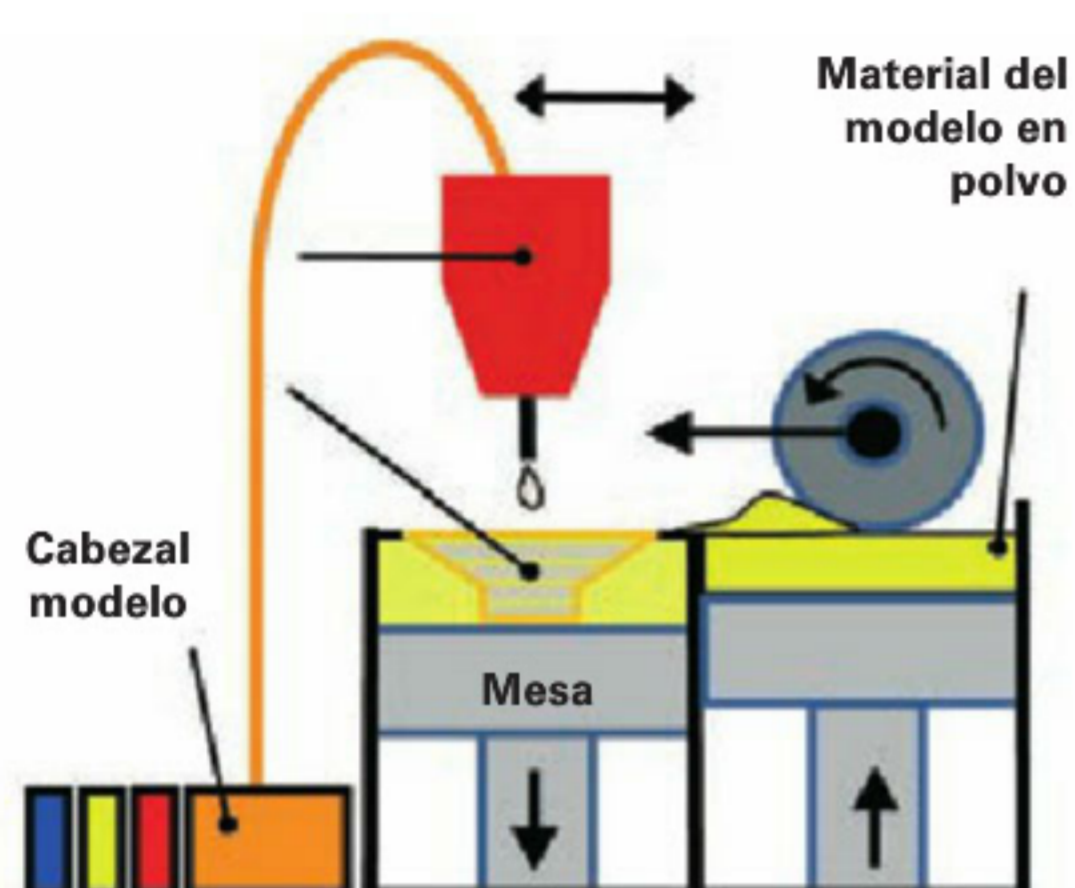
### Sinterización Selectiva por Láser-SLS

Se deposita una capa de polvo, un láser de CO<sub>2</sub> lo sinteriza en los puntos seleccionados de una sección 2D del modelo (plano XY). La plataforma va descendiendo (plano Z) en pequeños incrementos según la altura de la capa definida.

La precisión es de +/- 0,3% (min +/- 0,3 mm).

El espesor mínimo de capa es de 0,08 mm. Tamaño máximo del modelo 700x380x580 mm.

Pueden utilizarse los siguientes materiales: Polyamide (PA), Glass filled polyamide (PA-GF), Alumide, PA 2241 FR, TPU 92A-1.

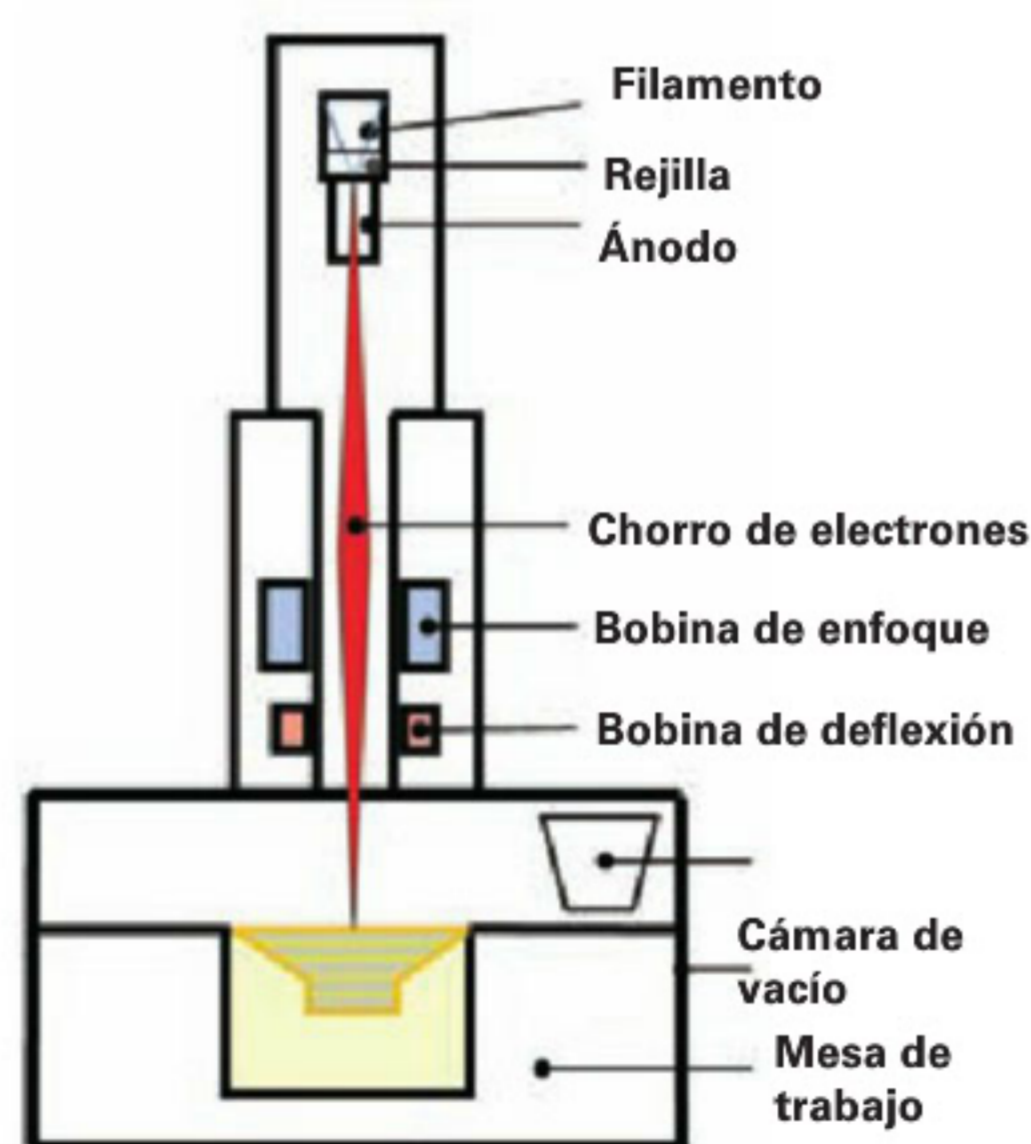


### Impresión 3D (Proyección por aglutinante- 3DP-Three Dimensional Printing)

El modelo se construye sobre una cubeta rellena de material en polvo. Un cabezal inyecta un aglutinante sobre la superficie de la cubeta, uniéndolo al polvo según la geometría de la sección 2D del modelo. La adición y nivelación del polvo se realiza mediante un rodillo. Finalizado el proceso, se aspira el polvo sobrante de la cubeta hasta que el modelo queda limpio. Posteriormente hay que curar (endurecer) el modelo con diferentes recubrimientos.

El espesor mínimo de capa es de 0,013 a 0,076 mm.

El material puede ser, cerámica, metal y polímeros.

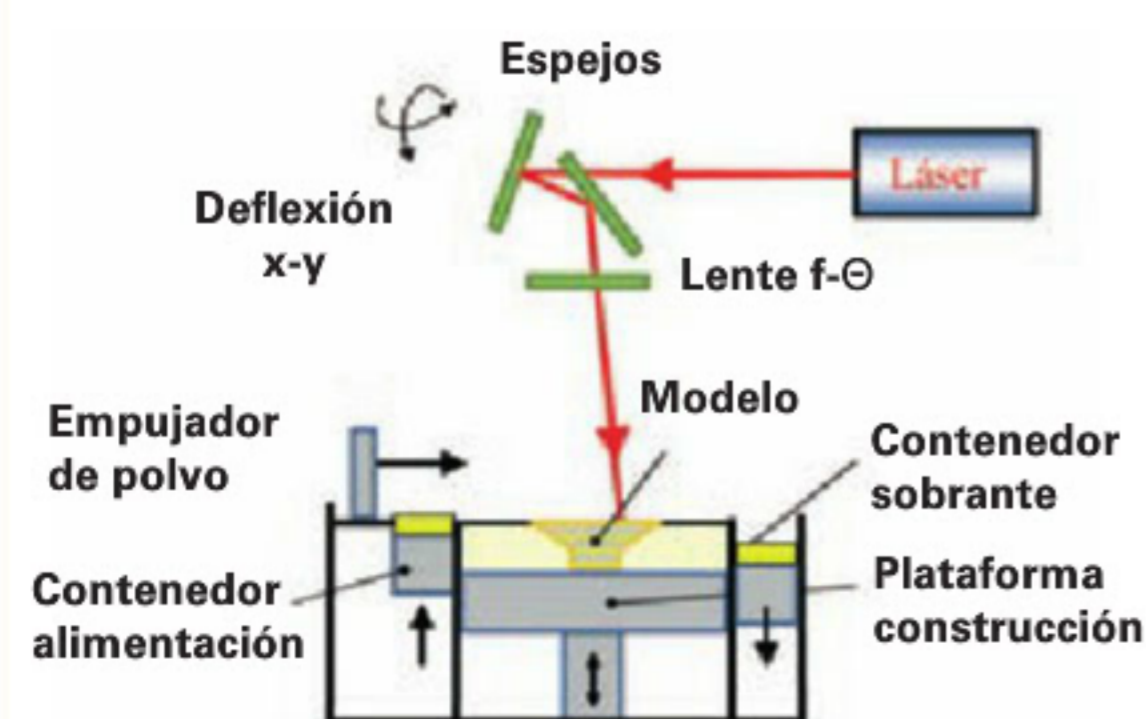


### Fusión por haz de electrones (EBM-Electro Beam Melting)

Se utiliza un chorro de electrones emitidos desde un filamento de tungsteno (pistola) que se encuentra a 60 kV de tensión. La intensidad de corriente del chorro varía de 0 a 50 mA, debido al empleo de una serie de bobinas situadas entre la pistola y la cámara de fabricación, que enfocan, dirigen y regulan la intensidad. Dispone de 3.000 W de potencia para fundir el material. La cámara de fabricación está al vacío para obtener piezas con mayor pureza. Las estructuras de soporte están realizadas del mismo material que el modelo y requieren un proceso posterior de acabado, incluso el mecanizado posterior.

El espesor mínimo de capa es de mm.

El material puede ser, acero, titanio, aleaciones no férricas.



### Fusión selectiva por láser (SLM-Selective Laser Melting) - (DMLS-Direct Metal Laser Sintering)

El cabezal de impresión, dispone de un láser de CO<sub>2</sub> que es orientado a través de un conjunto de lentes sobre el material en polvo.

Las estructuras de soporte están realizadas del mismo material que el modelo y requieren un proceso posterior de acabado, incluso el mecanizado posterior.

El espesor mínimo de capa es de 0,020 mm.

El material puede ser, acero inoxidable, Co-Cr, Inconel 625-718, titanio Ti64

Tabla 5. Aportación de material en base polvo.

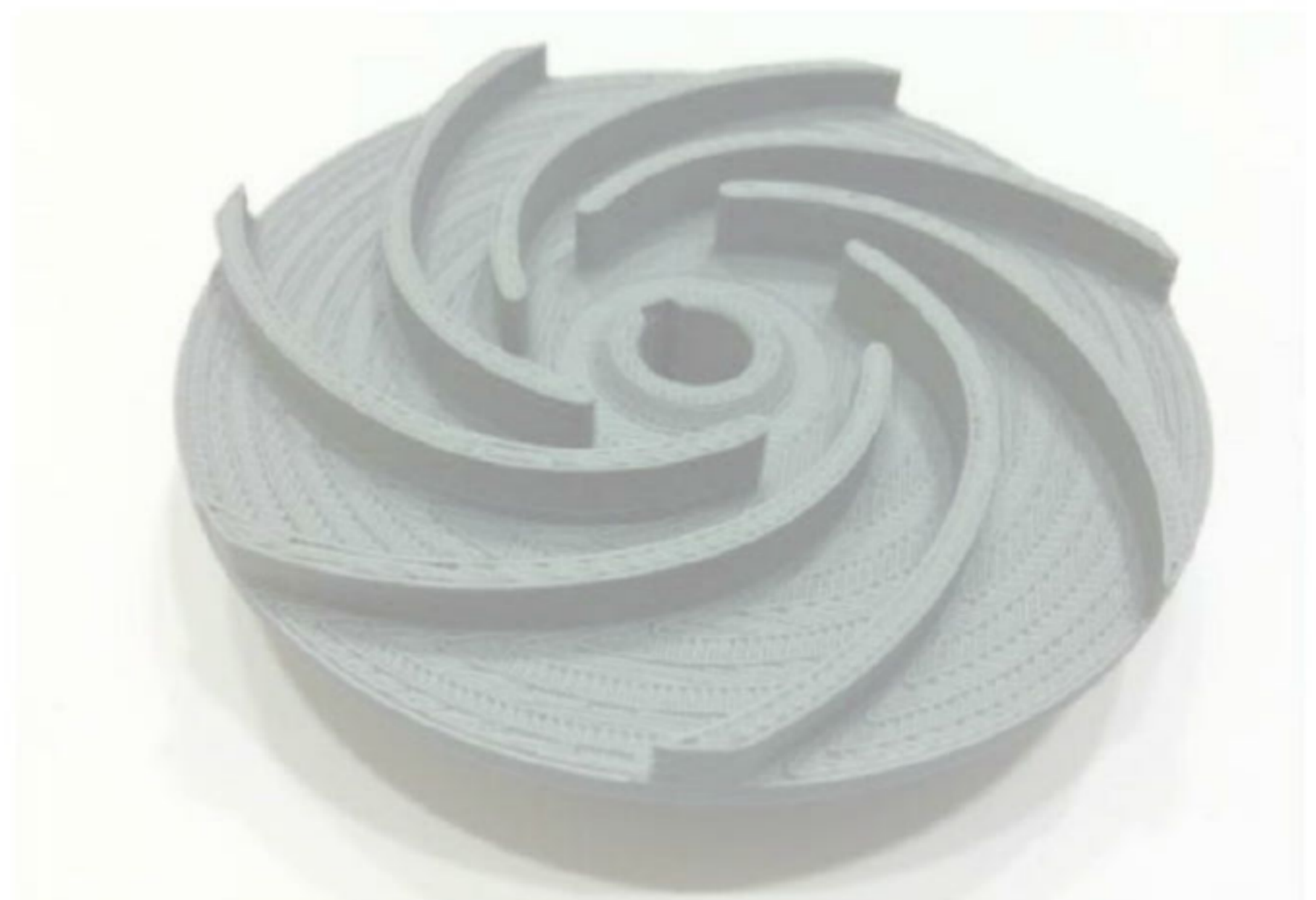
	<p><b>Deposición de Hilo Fundido-FDM</b></p> <p>La deposición del hilo enrollado en una bobina, se realiza a través de la boquilla de un cabezal térmico que se desplaza según el plano (XY). La plataforma va descendiendo (plano Z) en pequeños incrementos según la altura de la capa definida.</p> <hr/> <p>El espesor de capa es: 0,13 - 0,25 mm (for ABS); 0,18 - 0,25mm (for ABSi); 0,18 - 0,25 mm (for PC); 0,25 mm (for PPSU). El tamaño máximo del modelo es de 914x610x914 mm.</p> <hr/> <p>Pueden utilizarse los siguientes materiales termoplásticos: ABS, ABSi, ABS-M30, ABS-ESD7, PC-ABS, PC-ISO, ULTEM 9085.</p>
	<p><b>Deposición por Laminación Selectiva (SDL) o impresión 3D en papel</b></p> <p>Inventada en 2003 por el Dr. MacCormack. SDL no se debe confundir con la tecnología de fabricación de objetos por laminación (LOM). LOM utiliza un láser, papel laminado y un adhesivo que fija el material de modelo y de soporte.</p> <hr/> <p>En SDL se utiliza un adhesivo que se deposita en la zona requerida, tanto del modelo como del soporte, y una cuchilla que corta el contorno de la capa.</p> <hr/> <p>LOM: El espesor de capa es 0,165 mm. El tamaño máximo es 170x220x145 mm.          SDL: El espesor de capa corresponde al espesor del papel utilizado más la capa de adhesivo.</p> <hr/> <p>LOM: Se utilizan hojas de PVC          SDL: No se dispone de datos.</p>

Tabla 6. Aportación de material en base sólida.

Algunas de las tecnologías indicadas necesitan de la utilización de un material, conocido con el nombre de material de soporte, el cual sostiene las partes del diseño que se encuentran en voladizo. Una vez terminado el proceso de deposición, el material de soporte debe ser retirado en una operación posterior a la fabricación (postprocesado), y la técnica utilizada para retirarlo dependerá del material de soporte y, por tanto, de la tecnología de fabricación aditiva utilizada. En alguna tecnología aditiva no existe material de soporte como tal, ya que la función de soporte la cumple el material que no se ha endurecido.

Respecto a las propiedades mecánicas de los prototipos obtenidos mediante adicción de material, estas están condicionadas por la calidad del resultado de la unión entre capas y las propiedades de material. Para analizar las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en los diferentes métodos de fabricación aditiva, se deben establecer los siguientes parámetros (DIN EN ISO 178/179/180/527/2039): módulo de elasticidad, tensión

de rotura, elongación, módulo de flexión, resistencia al impacto, resistencia a compresión y punto de fusión (ver ejemplos en tabla 7).



TECNOLOGÍAS DE PROTOTIPADO – MATERIALES HABITUALES									
PROPIEDAD	NORMA	SLA	SLS	FDM		OBJET- Poly-Jet		3D System	3DP
		Next	PA 12	ABS	ABS+	Digital ABS	Poly-Jet White	VisiJet M3 X	zp150 -Z-Bond
Módulo de tracción (MPa)	ASTM D638M DIN EN ISO 527	2370-2490	1650	1627	1915	2600-3000	2500	2168	1
Resistencia a la tracción (MPa)	ASTM D638M DIN EN ISO 527	31-35	48	22	37	55-60	58	49	14
Alargamiento a la rotura (%)	ASTM D638M DIN EN ISO 527	8-10	20	6	4,4	25-40	10-25	8.3	0.2
Módulo de Flexión (MPa)	ASTM D790M DIN EN ISO 178	2415-2525	1500	1834	1917	1700-2200	2700	-	7.2
Resistencia a la flexión (MPa)	ASTM D790M DIN EN ISO 178	68-71	-	41	62	65-75	93	65	31
Resistencia al impacto (J/m)	ASTM D256 DIN EN ISO 180	47-52	53	107	96.4	65-80	-	-	-
Temperatura deformación bajo carga (°C)	ASTM D648	48-57	86	76-90	73-86	58-90	48	88	112

Tabla 7. Principales propiedades mecánicas y térmicas de los materiales funcionales empleados en RP.

La elección de la técnica más adecuada a cada tipo de prototipo se basa en la definición del objetivo que se quiere conseguir con el prototipo: estético, funcional, experimental y visual, en el caso de que se desee comprobar solo el aspecto externo de la pieza diseñada.

Para tomar la decisión de elección se puede plantear un análisis basado en el estudio de todas las variables posibles, siendo las principales las indicadas en la tabla 8, y de las que hay que destacar: resolución-precisión, propiedades mecánicas y térmicas del material, acabado superficial, tiempo de ejecución y coste del prototipo.

En cuanto a la valoración de las diferentes tecnologías de prototipado según el coste del prototipo, hay que

tener en cuenta que la comparación de tecnologías tiene una restricción según el tipo de máquina utilizada. Habitualmente se considera que las máquinas de prototipado basadas en estereolitografía (SLA) y sinterización selectiva por láser (SLS), tienen una aplicación industrial de producción de prototipos, mientras que el resto se consideran máquinas de aplicación profesional donde la producción no es el objetivo principal. En estos momentos los fabricantes están ofreciendo máquinas de prototipado rápido de gama doméstica o sobremesa, profesional e industrial, y por lo tanto los costes que se derivan de la utilización de estas máquinas deben estar justificados por las prestaciones indicadas anteriormente y por el nivel de producción que puede obtenerse (ver ejemplo tabla 9).

TIPO	RECOMENDACIÓN
Impresoras 3D de sobremesa	Bajo coste de impresión en 3D, facilita iteraciones de diseño, desarrollo de conceptos, para profesionales individuales y equipos de diseño pequeños, educadores.
Impresoras 3D profesional	Prototipado Rápido, desarrollo de productos, pruebas funcionales, ingenieros de diseño, producto Mock-Ups.
Impresoras 3D de producción	Optimizar el ciclo de vida de fabricación de productos. Producción de bajo volumen, herramientas de montaje, pruebas de productos, fabricación aditiva, prototipos resistentes.

Tabla 9. Gama de impresoras 3D adaptada por un determinado fabricante.

No obstante, para calcular el precio de un elemento fabricado mediante tecnologías aditivas, se puede seguir el siguiente modelo generalista, donde el coste final de fabricación del prototipo ( $C_p$ ) del modelo 3D se ha calculado según la ecuación (1):

$$C_p = C_t + C_e + C_m + C_a; \quad (1)$$

Donde:

$C_t$  - Coste de tratamiento del modelo 3D.

$C_e$  - Coste de ejecución.

$C_m$  - Coste de material.

$C_a$  - Coste de acabado (post-procesado).

Si se traslada ese modelo de cálculo a un caso concreto, observe el siguiente ejemplo de cálculo del coste de un prototipo generado por la técnica de FDM en una máquina profesional, que puede ser fácilmente adaptado a cualquier tecnología aditiva (tabla 10).

### ANÁLISIS DE COSTES PARA PROTOTIPADO DE PIEZAS EN IMPRESORA 3D

Datos de amortización		
Precio máquina (eur)		25.000
Coste mantenimiento anual (eur)		2.900
Años de amortización		4
Amortización (h/año) 223 días año / 8 horas-día		1784
Precio hora máquina amortización (eur/h)		4,72
Precio hora venta público (eur/h)		4,72
Datos coste material		
Coste material modelo: filamento abs (eur/cc) (271 eur-950 cc)		0,23
Coste material soporte: filamento acrílico (eur/cc) (271 eur-950 cc)		0,23
Coste material bandeja (eur/ud): (100 eur-24 uds)		4,17
Datos coste técnico analista		
Coste técnico analista del modelo - inc. desmoldeo (eur/h)		0,23
Datos técnicos de deposición		
Tipos de modelo	Malla	Sólido
Tasa de deposición (cc/h)	11	16
Precio hora máquina-deposición (eur/h)		
Pieza modelo prueba-orientación horizontal		
Conceptos presupuestados	Interior sólido	Costes parciales
Material modelo (cc)	17,32	3,98 eur/ud
Soporte modelo (cc)	2,44	0,56 eur/ud
Tiempo modelo (h)	1,30	6,14 eur/ud
Piezas por bandeja (ud)	1,00	4,17 eur/ud
Tiempo técnico-analista (h)	0,30	6,00
Cantidad de piezas	1,00	
Coste unitario (eur) +IVA	20,85 eur/ud	
Coste total (eur) + IVA	20,85 eur	

Tabla 10. Cálculo del coste de prototipado mediante la técnica FDM.

### 3.1.- Características de los modelos fabricados por adición de material

Cuando la obtención del modelo tridimensional se realiza a partir de un proceso de ingeniería inversa, la precisión del modelo final está condicionada por el proceso de escaneado, el modelado virtual en 3D y el proceso de fabricación aditiva. Si no se ha utilizado un proceso de ingeniería inversa, los modelos fabricados están condicionados al modelado virtual en 3D y por el proceso de fabricación utilizado.

Ya hemos visto que durante el proceso de fabricación, el modelo se construye mediante la deposición de capas en el plano x-y, adquiriendo volumen sólido en dirección del eje Z. Este proceso se caracteriza por un error de volumen entre el volumen del modelo virtual en 3D y el volumen de material obtenido en el modelo y, por lo tanto, la precisión de fabricación es el resultado de la superposición de diferentes errores en la producción del modelo, que afectan a la calidad superficial, la precisión dimensional y el peso final del modelo.

Los errores que se producen en este proceso son: error en la conversión del modelo 3D a formato STL (triangulación de la geometría), error en la descomposición en capas del modelo 3D (división exacta del espesor), error por efecto escalera (deposición ortogonal del material por capas) y por último error de relleno interior del modelo (ver figura 6).

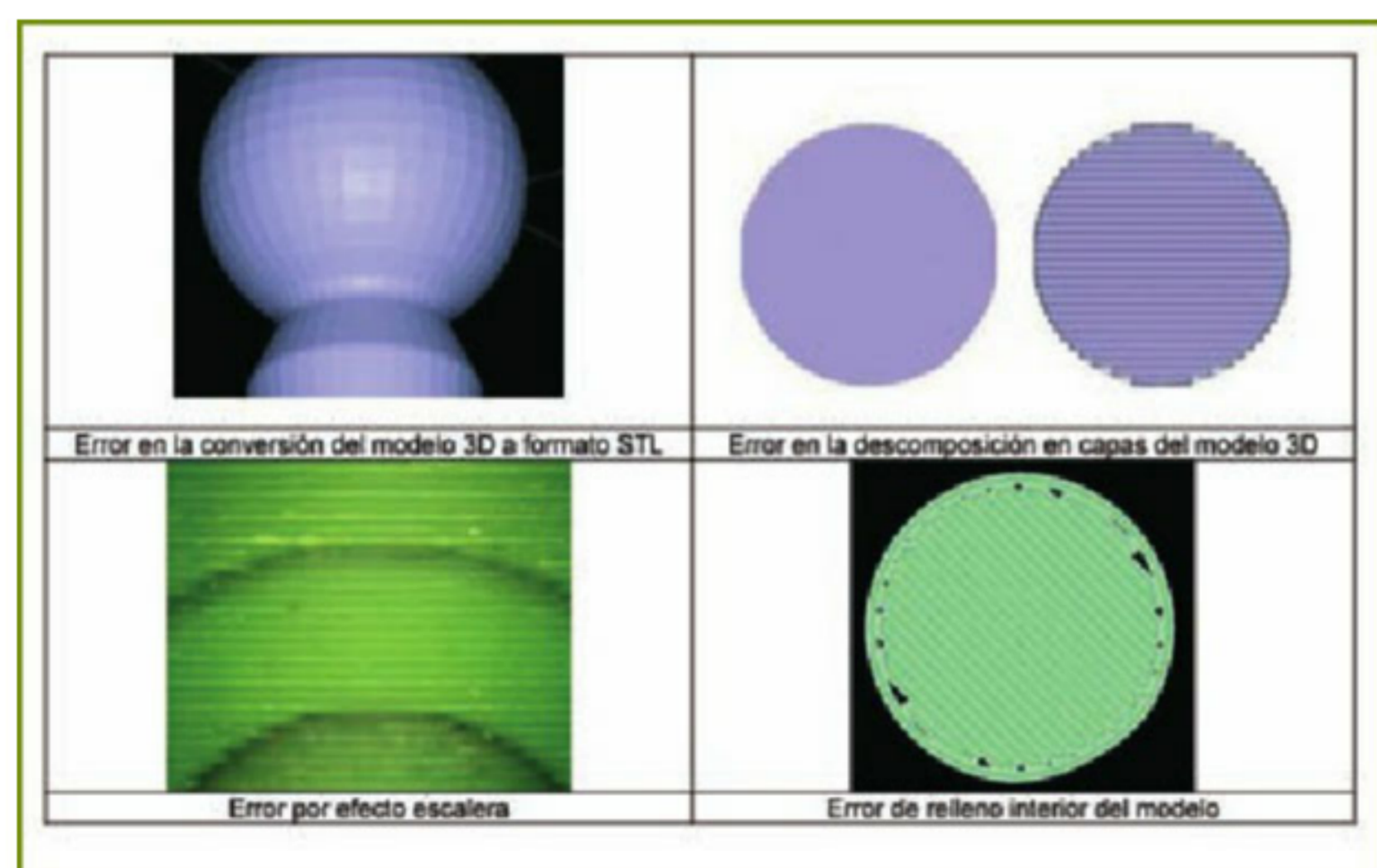


Figura 6 – Errores en el proceso de prototipado rápido

### 3.2.- Modelos (prototipos) funcionales

La fabricación aditiva de los modelos tridimensionales con un objetivo estético (visual) o de montaje es realizada mediante técnicas de adición de material capa a capa en materiales plásticos, mientras que los modelos funcionales o con capacidad para ensayos mecánicos deben ser fabricados principalmente en metal y en algún caso, en material polimérico con tratamiento posterior de endurecimiento.

Estudios realizados por diferentes institutos de investigación demuestran que los productos fabricados por tecnologías aditivas en metal ofrecen las mismas o mayores prestaciones mecánicas que los mismos productos fabricados con procesos convencionales. La resistencia a corrosión de los productos fabricados por tecnologías aditivas es similar para un mismo nivel de acabado superficial.

Un objetivo en investigación es la obtención de prototipos funcionales en materiales poliméricos con capacidad para ensayo mecánico mediante tecnologías de prototipado rápido. El avance en los materiales de deposición y el posterior acabado de los modelos puede provocar prototipos funcionales, sin necesidad de utilizar técnicas basadas en la fabricación rápida (rapid manufacturing, RM) y evitando los costes de utillaje derivados (ver figura 7).



Figura 7. Prototipos funcionales para ensayo.



### 3.3.- Aplicación de la Fabricación Aditiva. Sectores de incidencia

El porcentaje de utilización de la fabricación aditiva que se produce en los diferentes sectores puede observarse en el siguiente gráfico (figura 8):

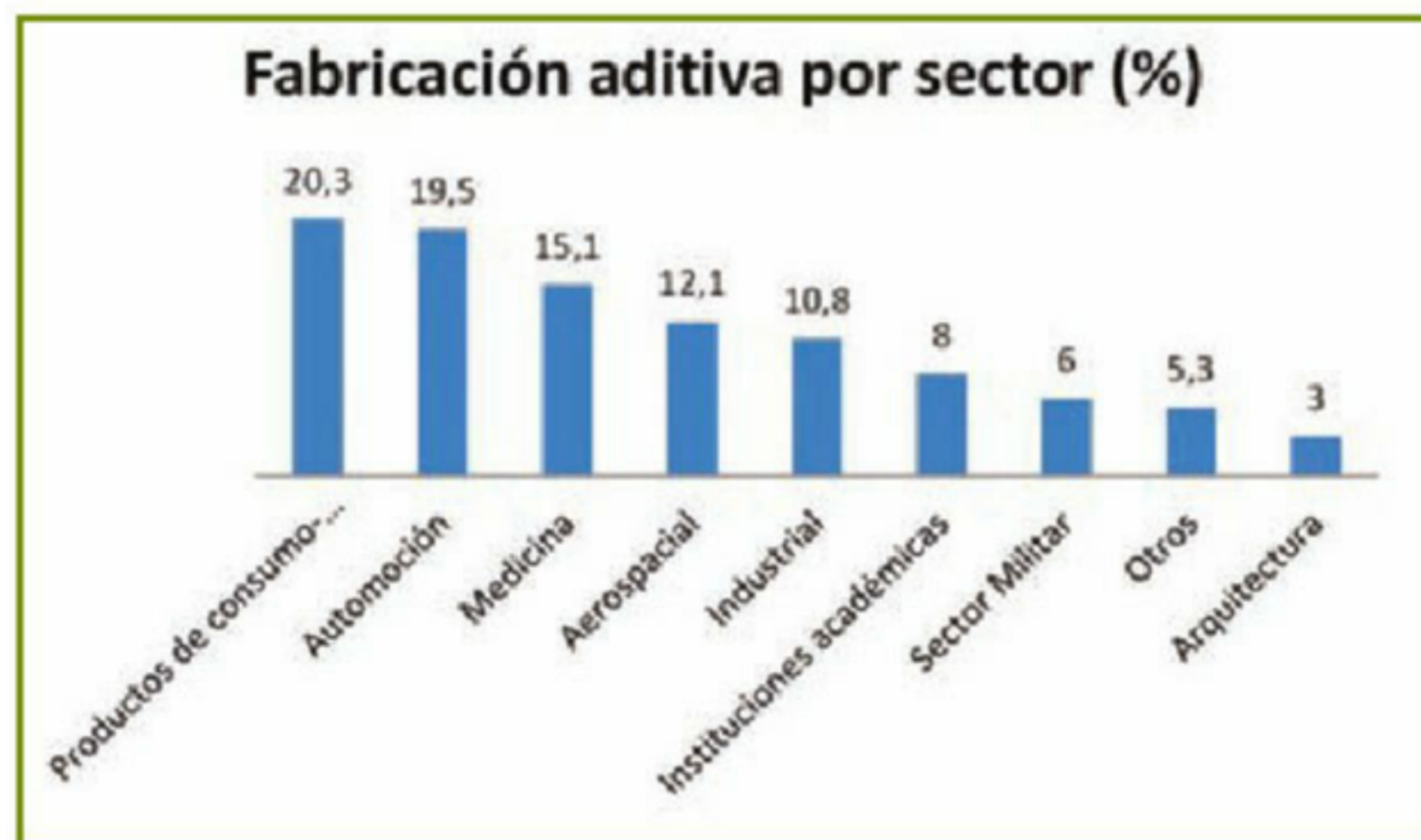


Figura 8. Incidencia de la fabricación aditiva en los diferentes sectores (Wohlers Report 2012).

Y en cuanto a los sectores de incidencia, revisemos la incidencia de la fabricación aditiva en estos momentos en cada uno de ellos:

#### Productos de consumo electrónicos

Este sector utiliza la fabricación aditiva para obtener prototipos y modelos de multitud de artículos para el hogar, equipos deportivos, juguetes, etc. Es el principal demandante de tecnologías de fabricación aditiva que permitan la fabricación digital directa de componentes finales con una alta complejidad geométrica y con necesidades de personalización.

En cuanto se consiga procesar materiales flexibles flexibles y en pequeños espesores, los productos de consumo relacionados con la fabricación de textiles y el calzado empezarán a fabricarse de forma aditiva.

Los dispositivos y componentes electrónicos pueden beneficiarse de la deposición de materiales conductores mediante la impresión de componentes pasivos de circuitos como resistencias, condensadores y bobinas, diodos, diodos emisores de luz orgánicos (OLED) y las interconexiones de circuito.

#### Automoción

En este sector se utiliza la fabricación aditiva mediante

prototipos que permitan validar procesos de ingeniería y en especial procesos de diseño funcional y estético de componentes. La producción de piezas finales no es un hecho todavía, solo se utiliza en personalización de ciertos elementos en vehículos especiales. Se espera que los nuevos desarrollos de materiales y su aplicación en máquinas de gran tamaño y de alta velocidad puedan favorecer su utilización con los criterios de exigencia de producción de este sector.

#### Medicina

La aplicación de la fabricación aditiva en medicina permite la obtención de modelos físicos 3D a partir del procesamiento de imágenes médicas (escaneo 3D, TAC) y su aplicación en diferentes especialidades.

La utilización de tecnologías aditivas de prototipado rápido permiten que los procesos de planificación preoperatoria, producción de prótesis, preparación de plantillas y guías quirúrgicas se realicen con mayor calidad del diagnóstico, con mayor seguridad de la cirugía, menor tiempo y, con un coste inferior al obtenido mediante la utilización de tecnologías de fabricación convencionales. En el caso de los implantes específicos y personalizados se ha conseguido una óptima planificación del proceso de cirugía y una reducción del tiempo operatorio.

#### Aeroespacial

Este mercado exige que la fabricación aditiva responda a altas exigencias de comportamiento mecánico y térmico, reducción de peso y mínimas pérdidas de material de ciertos componentes, tanto en materiales poliméricos como metálicos, principalmente titanio y aleaciones de níquel. La sinterización selectiva de polvo metálico se ha convertido en una solución de fabricación, reparación y mantenimiento de ciertos componentes, como alabes de turbinas, así como para la fabricación de utillaje aeronáutico de alto valor añadido.

#### Arquitectura

La fabricación de maquetas y prototipos en el ámbito de la arquitectura y la construcción ha tenido, y tiene todavía, una componente artesanal muy importante. El desarrollo de los sistemas de diseño asistido, con su consiguiente evolución hacia los sistemas de modelado sólido y los actuales sistemas BIM en edificación, ha permitido obtener maquetas digitales, infografías y animaciones virtuales de los proyectos con una calidad muy atractiva. Sin embar-

go, todavía no se puede decir lo mismo respecto de las maquetas físicas, obtenidas a partir de ese modelo digital del proyecto a través de máquinas de construcción aditiva de maquetas y prototipos. La impresión 3D puede convertirse en el complemento imprescindible de estudios de arquitectos y diseñadores.

#### 4.- Comunidad RepRap y software libre

En 2004 Adrian Bowyer funda RepRap en la Universidad de Bath, una iniciativa de código abierto para construir una impresora 3D que puede imprimir la mayoría de sus propios componentes. La visión de este proyecto es la de democratizar la fabricación de unidades de distribución de bajo coste RepRap a las personas de todo el mundo, lo que les permite crear productos a diario por su cuenta (ver [www.RepRap.org](http://www.RepRap.org)).

Al estar el término Fused Deposition Modeling registrado por Stratasys, la comunidad RepRap ha acuñado el término Fused Filament Fabrication (FFF), que puede ser usado por cualquiera sin restricción (bajo una licencia GPL versión 2). Con estas condiciones, cualquier persona puede distribuir y modificar la máquina RepRap, pero debe mantener las modificaciones realizadas bajo esta licencia. Es decir, los cambios deben seguir siendo públicos. Como la máquina es libre y de código abierto, cualquier persona puede, sin pago de derechos de ningún tipo, construir un número ilimitado de copias, para él o para cualquier otro, usando las propias máquinas RepRap para construir las partes plásticas de las copias (lo que la convierte en auto-replicante).

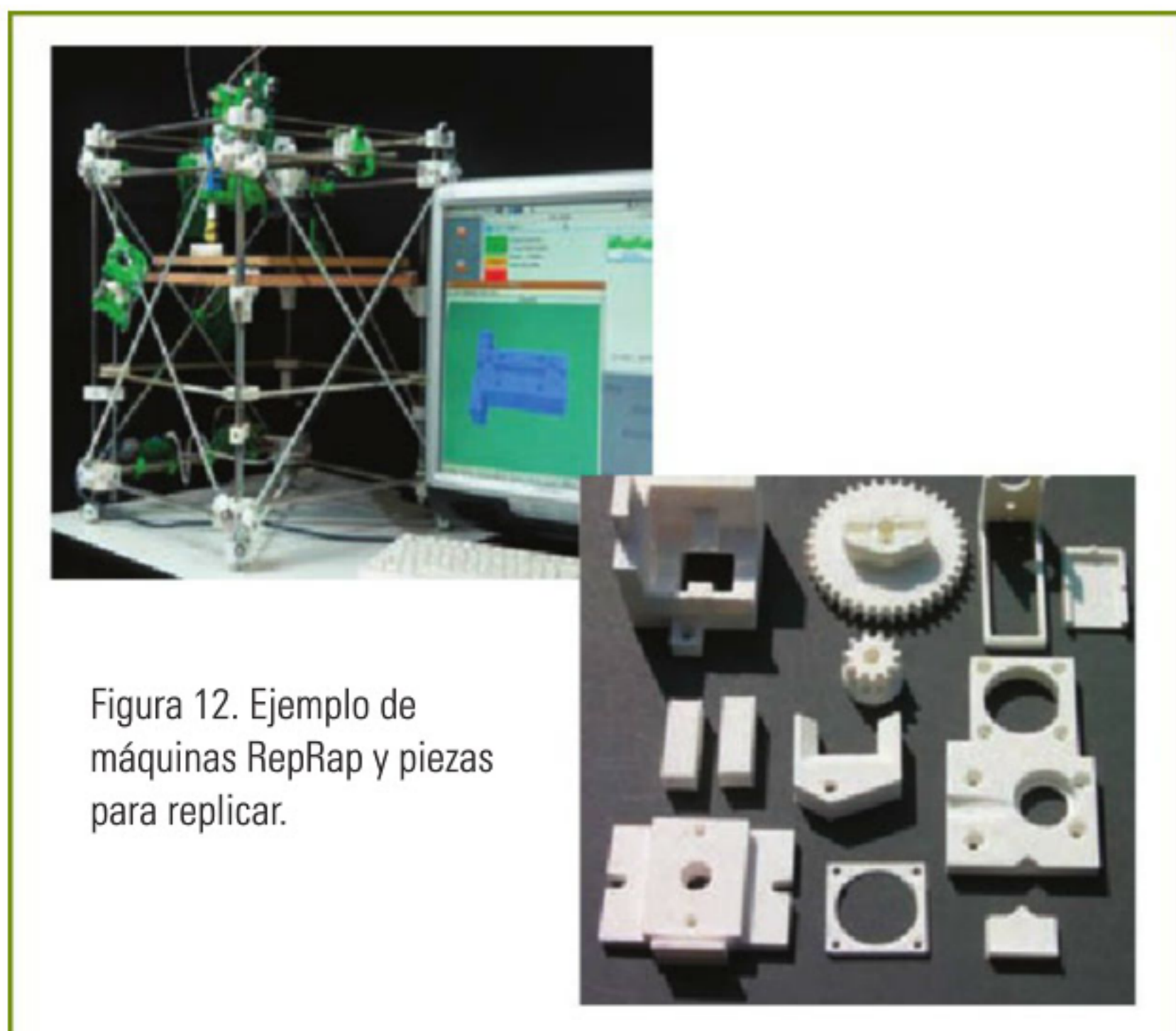


Figura 12. Ejemplo de máquinas RepRap y piezas para replicar.

Son cada vez más las reuniones de 'expertos' que analizan lo que supondrá la impresión de objetos físicos mediante impresoras 3D, que ya se entiende como una de las grandes revoluciones industriales de los próximos años, e incluso ya se habla de la Tercera Revolución Industrial.

#### 4.1.- Comunidades de usuarios e intercambio

El calado social de esta tecnología ha sido enorme y, como ya hemos dicho, su desarrollo crece de manera exponencial, permitiendo que estudiantes y profesionales de especialidades técnicas y de ingeniería de todo el mundo puedan experimentar con sus creaciones y perfeccionarlas antes de construirlas a escala real.

La accesibilidad a la tecnología lleva vinculada una serie de comunidades de usuarios desarrolladores que intercambian conocimientos y experiencias con el fin último de ir perfeccionando el sistema de impresión, abriendo nuevos campos antes inimaginables.

De manera paralela, estas comunidades de usuarios han desarrollado una serie de plata-formas de intercambio de modelos 3D ya creados, para descargar e imprimir, apuntando una idea nada descabellada para empresas fabricantes en la que puedan poner a disposición de los usuarios los modelos 3D de piezas descatalogadas de sus productos. Son bancos de carga y descarga de modelos las plataformas Thingiverse, de habla inglesa, o Rascomras, de habla hispana.

El Proyecto Clone Wars busca la divulgación de la tecnología RepRap, a la vez que aporta nuevos diseños y nuevas vías de investigación, pero ya no tanto en el sentido de ser autorreplicantes.

Desde hace un par de años en todo el mundo existen una serie de talleres, llamados FabLabs (Fabrication Laboratories) y promovidos por el Centro de Bits y Átomos (CBA) del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en los que se trabaja intensamente en esta revolución tecnológica, con el cambio social que ello significa. Se equipan con una serie de máquinas controladas por ordenador 'para construirlo (casi) todo': impresoras en tres dimensiones, corta-dora láser, fresadoras de control numérico (CNC) y un laboratorio de electrónica (entre otras muchas que varían en cada uno). En el cómputo mundial, España es el cuarto país con más FabLabs. Li-

dera Estados Unidos, con más de treinta, luego Holanda (9), Francia (8), España (7-8) y Alemania (6).

### 5.- Conclusiones

La fabricación mediante métodos convencionales se encuentra limitada principalmente en función del tamaño del lote a fabricar y la complejidad geométrica del componente, y en ocasiones nos vemos obligados a utilizar procesos y utillajes que encarecen el coste final del elemento. Además, algunos procesos de fabricación no cumplen con un compromiso con la sostenibilidad en la fabricación (contaminación, reciclaje,...).

La fabricación aditiva es una de las herramientas clave para abordar el crecimiento y la creación de valor agregado de alta calidad de puestos de trabajo.

Conceptualmente, la fabricación aditiva describe la tecnología en general y se utiliza cuando se hace referencia a aplicaciones industriales de fabricación de componentes y con equipos profesionales e industriales de altas prestaciones. Existen otros términos, siendo los más conocidos 'prototipado rápido o impresión 3D', en función del alcance del modelo y el tipo de máquina aditiva empleada.

Las técnicas de fabricación aditiva confieren grandes ventajas competitivas debido a su adaptación a la complejidad geométrica y a la personalización del diseño de la pieza a fabricar. Según los sectores de aplicación también puede conseguirse: productos aligerados, productos multimaterial, productos ergonómicos, series cortas de producción, reducción de errores de montaje y sus costes asociados, reducción de costes de inversión en utillaje, combinación de distintos procesos de fabricación, optimización en la utilización de material, fabricación más sostenible.

Los inconvenientes son: el acabado superficial en superficies complejas puede tener una rugosidad elevada, tiempo de fabricación elevado, materiales con propiedades mecánicas y térmicas limitadas que limitan el comportamiento ante esfuerzos, tolerancias mayores que en otros métodos de fabricación como los basados en arranque de material.

Las variables de estudio que se tienen en cuenta habitualmente durante la decisión de elección de la tecnología de prototipado son: resolución-precisión, propiedades

mecánicas y térmicas del material, acabado superficial, tiempo de ejecución y coste del prototipo.

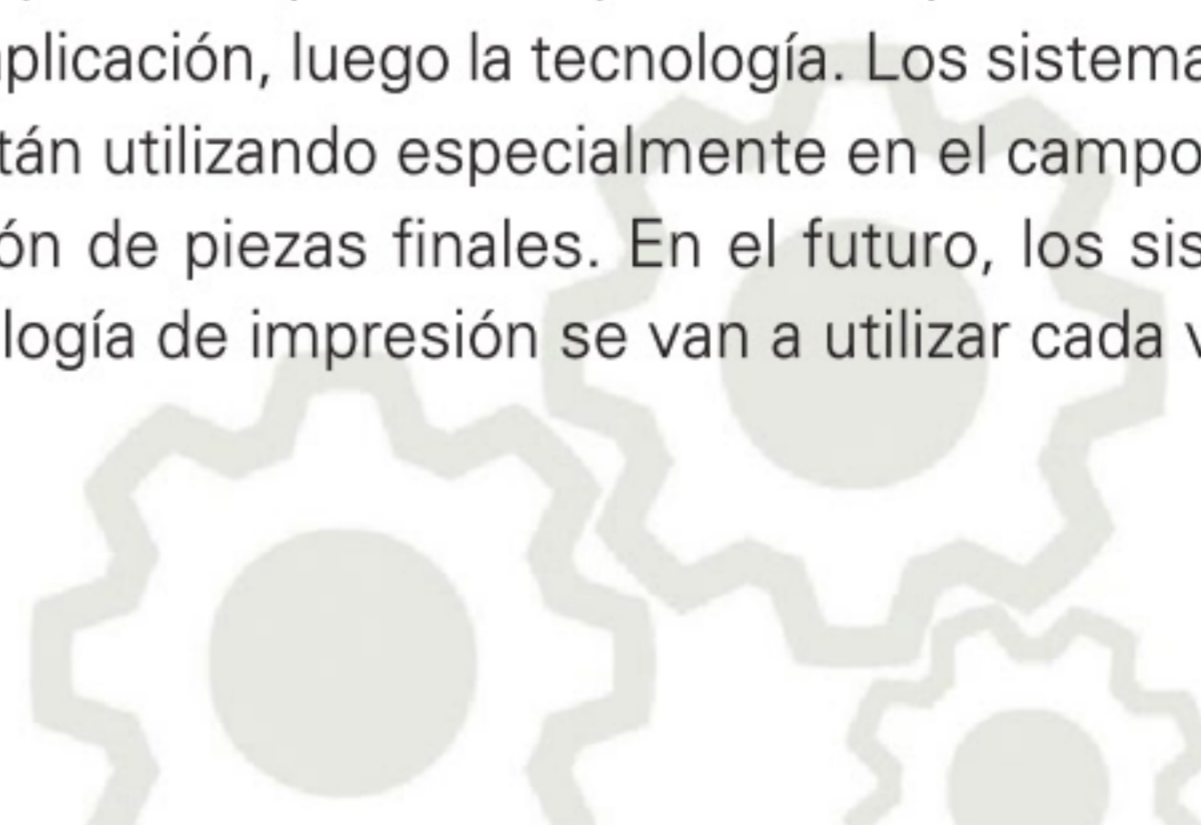
La precisión de fabricación del modelo 3D es el resultado de la superposición de diferentes errores en la producción del modelo que afectan a la calidad superficial, la precisión dimensional y el peso final del modelo. Los errores que se producen en este proceso son: error en la conversión del modelo 3D a formato STL (triangulación de la geometría), error en la descomposición en capas del modelo 3D (división exacta del espesor), error por efecto escalera (deposición ortogonal del material por capas) y por último error de relleno interior del modelo.

Pueden conseguirse modelos tridimensionales con un objetivo estético (visual) o de montaje y modelos funcionales o con capacidad para ensayos mecánicos.

El campo de aplicación de la fabricación aditiva es multisectorial y con una alta capacidad de adaptación a las exigencias de cada sector.

La impresión mediante impresoras 3D, se entiende como una de las grandes revoluciones industriales de los próximos años. Existen propuestas para democratizar la fabricación de unidades de distribución de bajo coste RepRap a las personas de todo el mundo a través de comunidades de usuarios desarrolladores que intercambian modelos 3D, conocimientos y experiencias para optimizar la fabricación de una impresora 3D autoreplicante.

Es obligatorio elegir la tecnología apropiada dependiendo de la aplicación particular que se esté planificando: primero la aplicación, luego la tecnología. Los sistemas de láser se están utilizando especialmente en el campo de la producción de piezas finales. En el futuro, los sistemas de tecnología de impresión se van a utilizar cada vez más. ■



### Referencias

Las referencias de este artículo pueden consultarse en el siguiente enlace:

[www.interempresas.net/A116342](http://www.interempresas.net/A116342)

# industria metalmecánica

Interempresas<sup>net</sup>

WWW.INTEREMPRESAS.NET



¡El 2014  
traerá muchas  
oportunidades!

- Gran potencia
- Gran rigidez
- Máxima versatilidad
- Concepto modular
- 11 kW y 10.000 rpm en cabezal
- 11 kW y 10.000 rpm en contracabezal
- 7 ejes lineales
- 2 ejes C
- Cabezal móvil y cabezal fijo
- + de 40 herramientas

¡La Swiss ST26  
es una de ellas!

y como siempre...  
¡TORNOS estará  
a su lado!



**TORNOS**

TORNOS TECHNOLOGIES IBÉRICA  
Pol. Ind. El Congost  
Avda. St Julià, 206 Nave 8  
E-08403 GRANOLLERS  
Tel. +34 93 846 59 43 - Fax +34 93 849 66 00  
commercial.tti@tornos.com

## PANORAMA

Iscar ayuda a sus clientes a afrontar y resolver sus problemas de manera inteligente

## ENTREVISTA

Javier Carrión,  
responsable de Compras  
de Egasca

## TECNOLOGÍA

La fabricación aditiva:  
la evidencia de una  
necesidad

235

ÉPOCA 2ª - Nº 1047  
DICIEMBRE 2013

**Director**

Ibon Linacisoro

**Redactora Jefa**

Nerea Gorriti

**Redactor Jefe Delegación Madrid**

David Muñoz

**Equipo de Redacción**

Esther Güell, David Pozo

redaccion\_metal@interempresas.net

**Edita****nova àgora, s.l.**

Amadeu Vives, 20-22

08750 Molins de Rei (Barcelona)

Tel. 93 680 20 27 - Fax 93 680 20 31

**Delegación Madrid**

Centro de Negocios Eisenhower,

edificio 4, planta 2, local 4

Av. Sur del Aeropuerto de Barajas, 38

28042 Madrid - Tel. 91 329 14 31

**Director General**

Albert Esteves Castro

**Director Adjunto**

Àngel Burniol Torner

**Director Técnico y de Producción**

Joan Sánchez Sabé

**Director Comercial**

Aleix Torné Navarro

**Director ejecutivo**

Ángel Hernández

**Director de operaciones y proyectos**

Ricard Vilà

**Publicidad**

comercial@interempresas.net

**Administración**

administracion@interempresas.net

**Suscripciones**

A través de internet:

[www.interempresas.net/suscripciones](http://www.interempresas.net/suscripciones)

Por correo electrónico:

suscripciones@interempresas.net

Por teléfono: 936 802 027

**[www.interempresas.net](http://www.interempresas.net)**

Tirada y difusión de la revista y audiencia de internet auditadas por:



Nova Àgora es miembro de:



Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de cualquier apartado de la revista.

D.L. B-25.481/99 / ISSN 1578-8881

# El principio del fin...

2014 puede ser el año en que empiece a notarse, moderadamente, la ligera recuperación que los gurús vienen vaticinando desde hace tiempo... sin demasiado acierto. Pero parece ser que el próximo año sí será el principio del fin de todos los males, o al menos de algunos. Así lo señalan tanto las previsiones de Crédito y Caución como algunas inversiones previstas, como en el sector de la automoción, que pueden reactivar la situación de industria en general y la metalmeccánica en particular. Datos positivos que supondrán un incentivo para la actividad de las empresas que, si bien en muchos casos no ha cesado, sí agradecerán un espaldarazo a lo largo de los próximos meses. Porque no hay que obviar que, pese a que los datos del sector no eran precisamente para tirar cohetes, el sector, por sí mismo, ha sabido reestructurarse para seguir adelante. Algunas empresas han reducido hasta la mínima expresión su actividad, seguro, pero también otras han sabido aprovechar la ocasión para realizar aquellas reformas estructurales necesarias para internacionalizarse, redirigir su actividad, especializarse o bien renunciar a aquello que no aportaba beneficios. Del mismo modo, han incrementado su apuesta por la investigación en soluciones que aporten a sus clientes mejoras en eficiencia energética y reducción de costes de producción. Y para no perder presencia en el mercado muestran estos desarrollos en sus respectivas jornadas, donde no se trata sólo de captar al cliente sino también de fidelizarlo y mostrarse como un 'partner' fiable en toda la cadena de producción. En los últimos meses del año se ha producido un importante aumento de estos encuentros, ya sea por las buenas previsiones para 2014 o bien como resultado natural de los trimestres anteriores durante los cuales se fraguaron estas novedades.

Sea por una u otra causa, toda noticia en este sentido es positiva. Así, mientras el sistema financiero todavía sigue lamiéndose las heridas y, en consecuencia, aportando muy poco al sector industrial, éste continúa trabajando para avanzar en su campo y dar a conocer sus últimas novedades y tecnologías más avanzadas.

A la espera de que, este año sí, sea el principio del fin, en Interempresas les deseamos un año 2014 realmente en positivo.

# Sumario

**Editorial** 5  
El principio del fin...

**Noticias** 10



**Iscar ayuda a sus 20 clientes a afrontar y resolver sus problemas de manera inteligente**

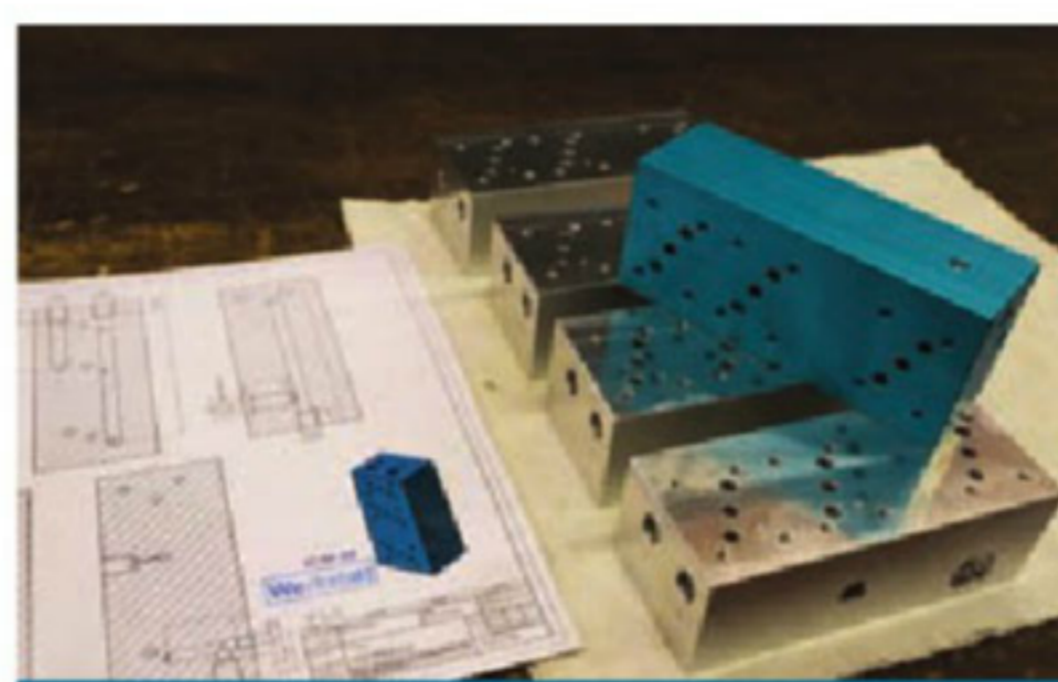
**Hexagon potencia la excelencia en metrología en Barcelona** 32



**Buena respuesta del sector al 'Technical Open House' de Delteco** 39

**DMG Mori reúne de nuevo al sector del mecanizado** 42

**Maquinaria Barriuso amplía sus instalaciones** 45



**Desafío vertical** 51

**Roscado en acero de alta resistencia a la tracción** 56



**Entrevista a Javier Carrión, responsable de Compras de Egasca** 62

**Tecnologías** 64

**La fabricación aditiva: la evidencia de una necesidad** 64



**Haciendo llegar el mensaje del rendimiento** 84

**Arranca en España la producción de 'ultra materiales'** 88



**Soluciones de acabado de superficie especiales para fundiciones** 91

**Recomendaciones para el buen uso de taladrinas** 94

**Nuevas oportunidades de control de procesos para máquinas-herramienta CNC de alto valor** 102



**Soluciones en medición dimensional** 104

**Precisión en una Micron Realm** 106

**Tecniramas** 114

**Ocasión** 130