

Impresión 3D

O el mundo de la producción a disposición del
consumidor

Arq. Lourdes Riveiro

11/12/2015

Análisis de la impresión 3D, sus aspectos tecnológicos y su impacto en el diseño, producción y comercialización de objetos, en particular del mobiliario. Tutor: Dis. Ind Carlo Nicola; Asesor: Dis. Ind. Andrés Roppa

Indice

1	Introducción y contexto general	3
1.1	Algunas precisiones de terminología:	4
2	Conocer la técnica	5
2.1	¿Qué es la Fabricación Digital y en que ámbitos se aplica?	5
2.2	Historia.....	6
2.3	¿Cuáles son las diferentes técnicas de FD?.....	9
2.3.1	MATERIAL JETTING (MJ) También llamada DROP ON DEMAND (DOD), Thermojet, Inkjet printing	10
2.3.2	BINDER JETTING (BJ)	11
2.3.3	PHOTOPOLYMER JETTING (PJ)	12
2.3.4	FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA	14
2.3.5	SELECTIVE LASER SINTERING (SLS) SINTERIZADO SELECTIVO POR LASER.....	16
2.4.1	SELECTIVE LASER MELTING (SLM) FUNDIDO SELECTIVO POR LASER	18
2.4.2	ELECTRON BEAM MELTING (EBM)	20
2.4.3	STEREOLITHOGRAPHY (SL): <i>ESTEREOLITOGRAFÍA</i>	22
2.5	Ventajas y desventajas de la fabricación digital	26
2.6	Desventajas y consideraciones de la fabricación digital.....	29
3	La impresión 3D en el mundo de los objetos	31
3.1	Prototipar diseños.....	31
3.2	Prototipado de asiento para Toyota.....	34
3.3	Fabricar herramientas o piezas auxiliares como moldes.....	35
3.4	Fabricar productos finales o piezas que componen productos finales:.....	37
3.4.1	Impresora FORTUS 900 MC de STRATASYS.....	37
3.4.2	Lámpara BLOOM de MGX by MATERIALISE.....	38
3.4.3	Sujetador FINGER WRENCH de MAKERBOT	40
3.5	¿Cómo debemos pensar nuestros diseños para la fabricación digital?	42
4	La impresión 3D en el ámbito del mobiliario.....	43
4.1	Silla RBM NOOR	43
4.2	RVR CHAIR de DICK VANDER KOOIJ	44
4.3	ONE SHOOT STOOL de MGX MATERIALISE	46
4.4	Proyecto BUILD TO PRINT	48
4.5	Mesa Keystones de Estudio Minale Maeda	51
5	La impresión 3D en el Uruguay	53

6	Conclusiones.....	60
	Bibliografía.....	63
	Crédito de las imágenes.....	67

1 Introducción y contexto general

El presente trabajo aborda el tema de la impresión 3D, sus aspectos técnicos y su impacto en el mundo del objeto, desde el diseño del mismo hasta la producción, en sentido general y haciendo foco particular en el mobiliario.

La impresión 3D es una técnica que se inscribe dentro del tema más amplio de la fabricación digital (en adelante FD) que también abarca las técnicas de corte mediante CNC¹ y corte láser. Todas estas técnicas parten de un archivo digital generalmente CAD a partir del cual se genera la forma final. Justamente por definirse dentro de un ambiente digital no hay límites para las formas que se quieren realizar y las uniones o ensambles si los hubiera. Tiene la perfección del mundo digital, una forma compleja puede fácilmente fraccionarse en partes pequeñas que se ensamblan, no hay por que temer por las uniones o la ubicación de cada fracción porque están en el archivo CAD, la libertad de diseño es absoluta. Por otra parte, las herramientas de fabricación digital han avanzado mucho más allá de la esfera de la ejecución, prototipado o modelado de los productos e impactan en todo el proceso desde el diseño y creación hasta la comercialización y son un verdadero cambio de paradigma en la esfera de la producción en masa colocando **la fabricación a disposición del consumidor**.

Como veremos en el desarrollo de este trabajo, el tema de la fabricación digital lleva a **considerar todos los aspectos de la producción**: materiales, maquinaria y herramientas, personal, inventarios e incluso los aspectos relativos al modelo de negocio.

La FD se aplica en ámbitos muy variados que van más allá de la producción industrial, sin embargo el alcance de este trabajo se limita al ámbito del objeto y en particular del mueble, quedando fuera las aplicaciones en medicina u otras disciplinas en las que también se utiliza la FD.

Se pretende contribuir en sentido amplio a la reflexión de cómo una aplicación tecnológica puede modificar la forma en que diseñamos, producimos y comercializamos los objetos y, en sentido estricto, pretende aportar al conocimiento de las diferentes técnicas y facilitar la elección de la misma de acuerdo a las necesidades de fabricación de cada producto.

¹ CNC: Control Numérico Computarizado.

Se debe tener presente que las investigaciones en este tema continúan avanzando día a día por lo tanto todo lo que se menciona en este documento refiere al estado actual de la tecnología y es, en consecuencia, efímero.



1.- Impresoras 3D de escritorio Makerbot Replicator

1.1 Algunas precisiones de terminología:

“Fabricación digital”: se optó por usar esta terminología sin embargo es frecuente referirse a las mismas técnicas al hablar de impresión 3D o incluso prototipado rápido.

“Métodos tradicionales de fabricación”, a efectos de este trabajo se entiende por tales a las técnicas de fundición, inyección, maquinado, CNC.

Se opta por dejar ciertas denominaciones en el idioma inglés ya que las traducciones al español son diversas y no hay un consenso en cuanto a cómo denominar ciertos procesos en español.

2 Conocer la técnica

2.1 ¿Qué es la Fabricación Digital y en que ámbitos se aplica?

La FD es un conjunto de técnicas y tecnologías mediante las cuales se puede generar un objeto tridimensional a partir del material eyectado por el cabezal de impresión y de acuerdo a un archivo digital generalmente CAD.

Es un proceso que usa tecnologías de adición para producir piezas, el objeto emerge capa a capa, a diferencia de los métodos tradicionales en la FD no hay moldeo o remoción de material (con la consecuente eficiencia en el uso del material, no hay desperdicio). Desde el punto de vista industrial y a modo de ejemplo, lo que se produce mediante estos métodos puede ser:

- **Productos terminados para comercializar**
- **Componentes, piezas o incluso herramientas** que ayudan en la producción de bienes prontos para comercializar, por ejemplo piezas de unión, juntas, bisagras, herrajes, plantillas de colocación
- **Moldes para la fabricación de otros productos**
- **Prototipos de productos en el proceso de diseño**

Es decir, el campo de aplicación industrial va desde el propio producto terminado y listo para consumir hasta partes o moldes para asistir el proceso de producción. A esto además se le suma el uso en el prototipado rápido, uno de los más extendidos hasta el momento.

Frecuentemente se hace hincapié en la rapidez del proceso de obtención de un producto mediante la fabricación digital, sin embargo no es la rapidez su principal atributo, la fabricación digital no es una mejora de métodos existentes sino un cambio radical en el propio proceso productivo. Modifica el modo de concebir el diseño y el flujo de trabajo, abre la puerta a nuevos diseños y nuevos modelos de negocio. La fabricación digital debe ser considerada una alternativa a los tradicionales métodos de producción más que como una tecnología que viene a reemplazar o sustituir algún método. Una alternativa a ser considerada cuando las limitaciones o rigideces de los métodos de producción industrial tradicional impiden realizar un producto de manera práctica, eficiente y a un costo razonable.

Las impresoras 3D se han popularizado en los últimos años y aunque aún no tienen el costo de un objeto doméstico masivo logran ser más baratas que otras tec-

nologías de fabricación de pequeñas cantidades. La investigación continua con el objetivo de que en un momento las impresoras 3D sean tan corrientes como una impresora convencional.

Además de la producción industrial un área importante de uso de estas tecnologías son la medicina y biotecnología. En el ámbito de las prótesis e implantes (dentales, auriculares y demás) fue donde tempranamente esta técnica empezó a mostrar ventajas de aplicación debido a la demanda de piezas a medida. Hay también numerosas experiencias exitosas de impresión de órganos y tejidos para su posterior implantación en pacientes. Como se puede inferir, cualquier disciplina que requiera un desarrollo a medida puede recurrir a la FD.

2.2 Historia

Podemos rastrear los comienzos de esta técnica en los 70 cuando se inventó la impresión de chorro de tinta, la técnica evolucionó de manera de sustituir la tinta por otros materiales. Veamos algunos hitos en la historia de la impresión 3D:

- **Año 1983**, Chuck Hull, un inventor destacado en el campo de la óptica iónica, idea el primer método de impresión 3D: la estereolitografía.
- **Año 1988**, la compañía 3D Systems, fundada por Chuck Hull, comercializa las primeras máquinas de impresión estereolitográficas.
- **Años 1988 – 1990**, se desarrollan nuevos métodos de impresión: la impresión por deposición de material fundido (fused deposition modelling o FDM) y la impresión por láser (selective laser sintering o SLS).
- **Año 1990**, Scott Crum, que había concebido el método de impresión FDM, establece la empresa Stratasys para la comercialización de su invento.
- **Año 1993**, un grupo de estudiantes del MIT concibe la impresión 3D por inyección. Dos años más tarde, en 1995, inician la venta de los primeros equipos basados en esta tecnología a través de la compañía 3D Systems, creada en 1988 por Chuck Hull.
- **Año 1999**, primeras aplicaciones en medicina, se crea el primer órgano y se implanta en un ser humano, se trató del aumento de la vejiga urinaria utilizando recubrimiento sintético con las propias células del paciente. La tecnología utilizada por los científicos del Instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa, abrió las puertas al desarrollo de otras estrategias para la impresión

de órganos debido a que los mismos están fabricados con células propias del paciente, el riesgo de rechazo es prácticamente nulo.

- **Año 2002**, un riñón 3D en funcionamiento, se logra el órgano en miniatura completamente funcional y con la capacidad de filtrar sangre y producir orina diluida en un animal.

- **Año 2005**, el Dr Bowyer, de la Universidad de Bath, Reino Unido, desarrolla la primera máquina 3D autorreplicante: la RepRap, que supone un salto adelante en la normalización y acceso a las impresoras tridimensionales.

- **Año 2006**, se construye la primera máquina del tipo SLS (Sintetización de laser selectivo) viable. Este descubrimiento abre las puertas a la personalización masiva y a la demanda de fabricación de piezas industriales, y más tarde, prótesis. Ese mismo año, Object, un proveedor de materiales e impresoras 3D, crea una máquina con la capacidad de imprimir en múltiples materiales, incluyendo polímeros y elastómeros.

- **Año 2008** Tras su lanzamiento en 2005, el proyecto RepRap saca a la luz Darwin, la primera impresora 3D con capacidad de imprimir la mayoría de sus propios componentes, permitiendo a los usuarios que ya tienen una, hacer más impresoras para sus amigos o incluso reparar componentes de la suya.

Shapeways lanza una página web beta privada para ofrecer un nuevo servicio de co-creación entre la comunidad permitiendo que artistas, arquitectos y diseñadores presenten sus diseños en 3D como objetos físicos baratos.

La primera persona que camina sobre una pierna de prótesis impresa en 3D, con todas las partes, rodilla, pie, etc, impresa en una misma compleja estructura sin ningún tipo de montaje. Este tipo de avances permiten que los fabricantes de prótesis realicen desarrollos a medida en el sector de las prótesis.

- **Año 2009** Industrias MakerBot, una compañía de hardware de código abierto para las impresoras 3D, comienza la venta de kits de montaje que permiten a los compradores fabricar sus propias impresoras 3D y productos.

Llega la bio-impresión, con la tecnología del Dr. Gabor Forgacs, que utiliza una bio-impresora 3D para imprimir el primer vaso sanguíneo. La

empresa Organovo ingenia la impresora 3D MMX Bioprinter, la primera capaz de fabricar tejidos orgánicos.

- **Año 2011**, Los ingenieros de la Universidad de Southampton diseñaron y planearon el primer avión impreso en 3D. Este avión no tripulado se construye en siete días, con un presupuesto de 7.000€. La impresión 3D permite que sus alas tengan forma elíptica, una característica normalmente cara que ayuda a mejorar la eficiencia aerodinámica y reduce al mínimo la resistencia inducida.

Kor Ecologic nos presenta Urbee, un prototipo de coche que trata de ser lo más eficiente posible con el medio ambiente, siendo toda su carrocería diseñada e impresa en 3D. Trata de ser un coche eficiente en cuanto a consumo de gasolina y en cuanto a su coste de producción. Su precio oscilará entre los 12.000€ y 60.000€ siempre y cuando sea comercialmente rentable.

IMPRESIÓN 3D EN ORO Y PLATA. La empresa materialise ha sido la primera empresa en ofrecer un servicio de impresión 3D de oro de 14 Kilates y plata de ley. Esta opción va a permitir abrir un nuevo mercado a los joyeros con diseños más económicos utilizando este material..

- Debido a los constantes avances y tal vez por la poca distancia histórica es difícil encontrar “hitos” en los últimos años. La investigación continua en varios sentidos: masificar la impresión 3d en el hogar con impresoras cada vez más accesibles; utilización de nuevos materiales incluso más de uno en la misma pieza impresa, aquí se ensaya con todo tipo de materiales incluso comida y utilización de la FD en cada vez más ámbitos.

2.3 ¿Cuáles son las diferentes técnicas de FD?

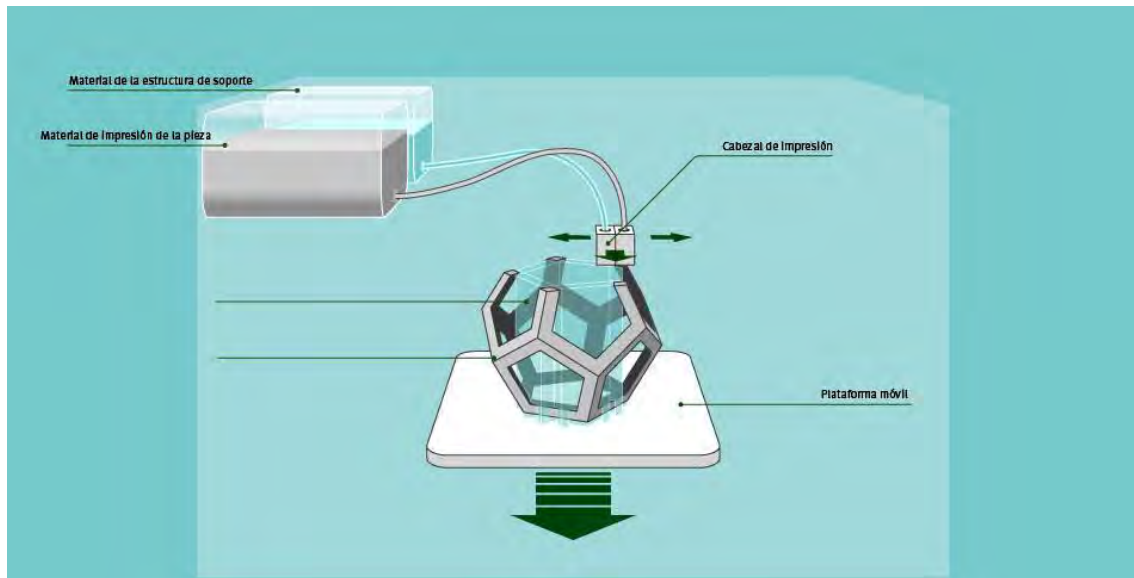
Básicamente existen dos formas de obtener un objeto mediante FD: **eyectando un material a través de un cabezal y con ese material se conforma el objeto o, eyectando un haz de luz que funde o cura un material previamente existente en la cubeta de la impresora.** El archivo digital que “guía” el recorrido del cabezal para la conformación de la pieza es del formato .stl o archivo estereolitográfico.

Tabla 1 Esquema de las diferentes técnicas de FD y sus atributos

Materiales	Técnicas				
	Piezas construidas mediante polimerización	Piezas construidas mediante agente adhesivo	Piezas construidas mediante fundido		
Cerámica		 BJ	 LM		
Metal				 EBM	
Plástico	 SL	 PJ		 FDM	 LS
Cera				 MJ *	
Baja Durabilidad Alta Suave Terminación superficial Rugosa Alto Precisión Bajo Prototipos, piezas no a la vista Aplicaciones Piezas funcionales					

* Con MJ se logran superficies suaves y alta precisión

2.3.1 MATERIAL JETTING (MJ) También llamada DROP ON DEMAND (DOD), Thermojet, Inkjet printing



2.- Diagrama de la técnica Material Jetting

2.3.1.1 ¿En qué consiste?

En eyectar desde un cabezal un material fundente que sobre la plataforma de impresión se enfría y solidifica, de esta manera la pieza se construye capa a capa. Se utilizan materiales tipo cera o parafina, se requiere de estructuras auxiliares para las piezas salientes. Estas estructuras auxiliares se imprimen en un material diferente que luego se remueve. Se obtienen piezas con buena definición y terminación superficial, pero solo pueden usarse materiales tipo cera o parafina y en consecuencia las piezas pueden ser frágiles y el proceso lento

2.3.1.2 ¿En qué se aplica?

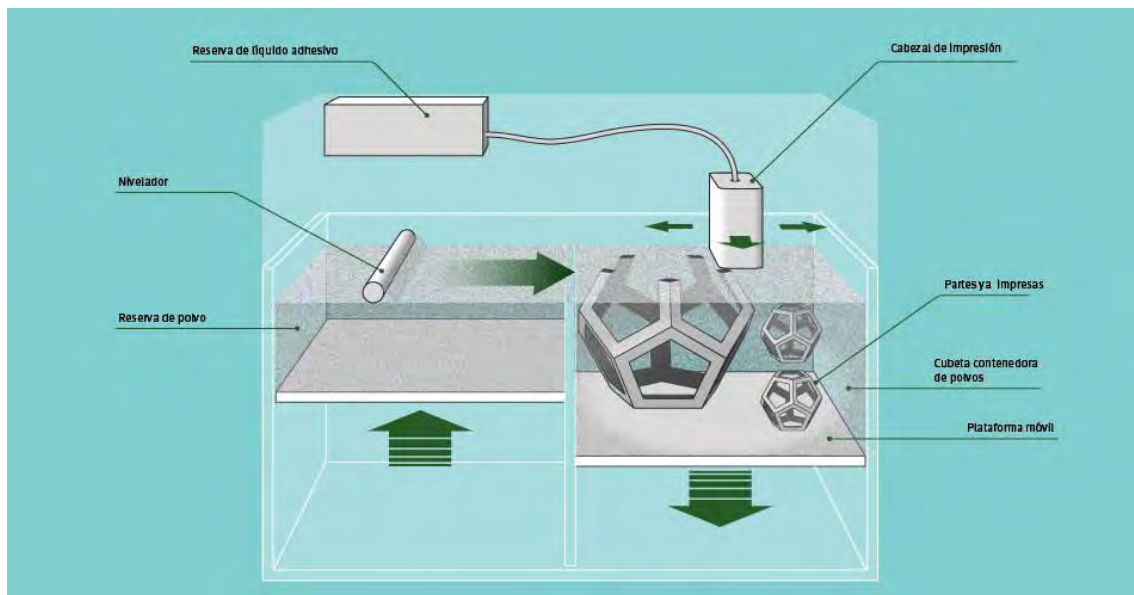
- Prototipos para probar forma y apariencia del producto, no propiedades mecánicas
- Moldes especialmente en el ámbito médico, odontológico y también joyería que luego son usados para colada de cera

2.3.1.3 Características y restricciones

- Tamaño máximo de impresión: 300 x 185 x 200 mm³

- Tamaño mínimo de detalle: 0.1 mm
- Tolerancia: ± 0.025 mm
- Mínimo espesor de las capas: 0.013 mm

2.3.2 BINDER JETTING (BJ)



3.- Diagrama de la técnica Binder Jetting

2.3.2.1 ¿En qué consiste?

Un cabezal de impresión eyecta un chorro de pegamento sobre capas de polvo cuyas partículas quedan unidas al recibir el pegamento. La plataforma de impresión va descendiendo para aplicar la próxima capa de polvo y pegamento y así se va conformando la pieza. No se requieren estructuras auxiliares para la conformación de la pieza y se pueden producir piezas que tengan otras piezas en su interior. Con casi cualquier material que esté disponible en polvo se puede imprimir mediante la técnica de BJ.

BJ es una técnica rápida y económica, acepta una amplia gama de materiales y es posible usar colores. Sin embargo la resistencia mecánica es limitada, son piezas frágiles ya que las partículas se unen con el pegamento y no con fusión como en SLS o SLM

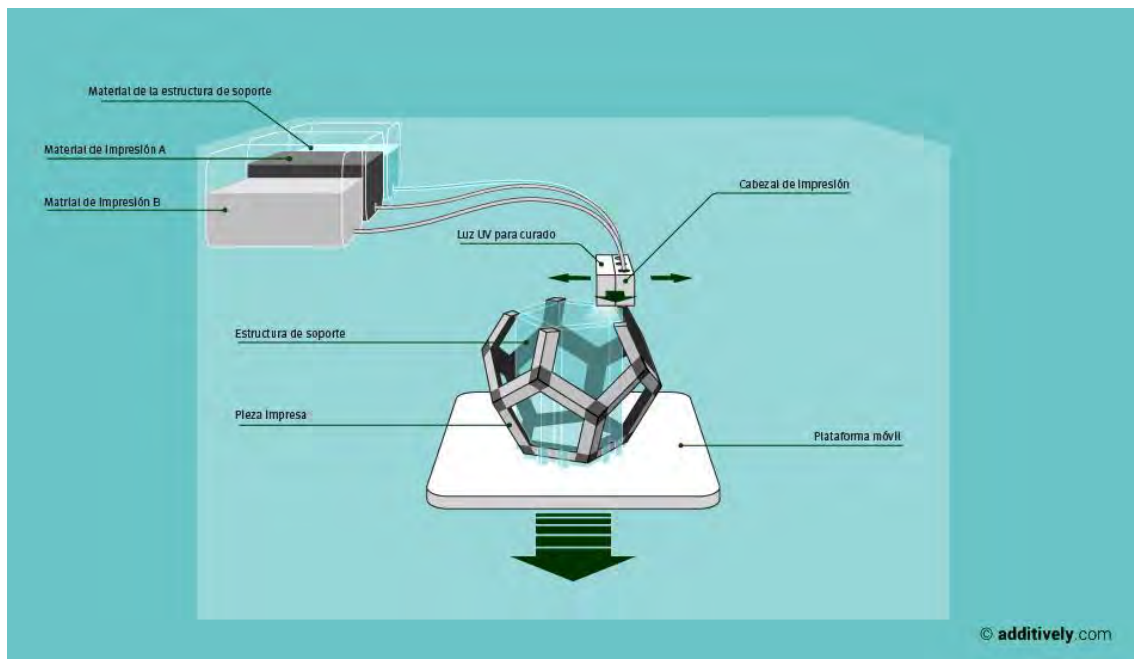
2.3.2.2 ¿En qué se aplica?

- Prototipos funcionales para prueba de productos con la posibilidad de color y evaluar visualmente los productos sin necesidad de pintar
- Moldes para colar, incluso se pueden hacer en arena
- Partes “blandas” que se colocan dentro de otras para diferentes procesos industriales y que luego se descartan

2.3.2.3 Características y restricciones

- Tamaño máximo de impresión: 4000 x 2000 x 1000 mm³
- Tamaño mínimo de detalle: 0.1 mm
- Tolerancia: +/-0.13 mm
- Mínimo espesor de las capas: 0.09 mm
- Es rápida y admite uso de pigmentos para piezas macizas de color

2.3.3 PHOTOPOLYMER JETTING (PJ)



4.- Diagrama de la técnica Photopolymer Jetting

2.3.3.1 *¿En qué consiste?*

En eyectar un fotopolímero líquido desde un cabezal de impresión que es inmediatamente “curado” por un haz UV lo que lo hace solidificar y construir la pieza capa a capa. Varios materiales pueden ser eyectados en el mismo acto de impresión por tanto se puede lograr una pieza compuesta de varios materiales e incluso varios colores siempre que sean fotopolímeros y éstos no tienen gran durabilidad. Se requiere de estructuras auxiliares para soportar las partes salientes las cuales usualmente se imprimen en un material diferente que luego se remueve.

Se obtienen piezas con buena terminación pero limitada resistencia mecánica y durabilidad.

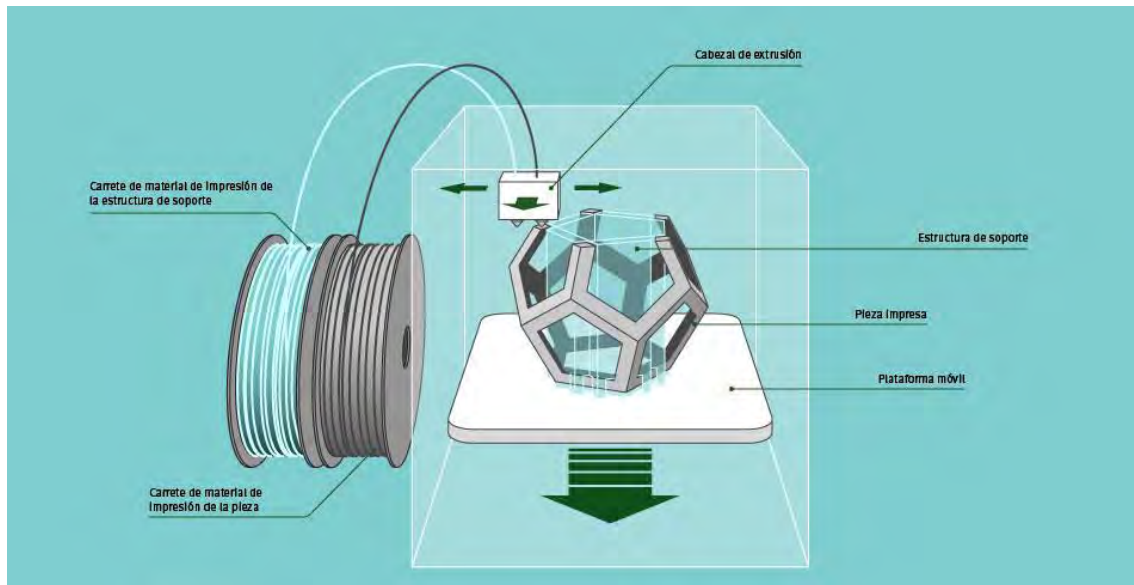
2.3.3.2 *¿En qué se aplica?*

- Prototipos que pueden ejecutarse en materiales y colores múltiples dentro de la misma pieza, acepta también materiales transparentes. Este tipo de prototipos se usan generalmente para proba forma y no tanto comportamiento mecánico del objeto
- Moldes para fundición por la buena terminación y precisión de las superficies que se obtienen
- Prototipos de piezas para moldes de inyección por la buena terminación de las piezas que se obtiene con esta técnica

2.3.3.3 *Características y restricciones*

- Tamaño máximo de impresión: 1'000 x 800 x 500 mm³
- Tamaño mínimo de detalle: 0.15 mm
- Tolerancia: +/-0.025 mm
- Mínimo espesor de las capas: 0.016 mm

2.3.4 FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA



5.- Diagrama de la técnica Fused Deposition Modeling

2.3.4.1 ¿En qué consiste?

Se la conoce también con otras denominaciones: Fused Filament Fabrication (FFF) Fused Layer Modeling/Manufacturing (FLM). Consiste en la eyección desde un cabezal de un material plástico o metálico (que generalmente se almacena en rollos) y que se funde en el propio cabezal. El material se deposita en la plataforma de la impresora donde se enfría y solidifica. La pieza se va conformando capa a capa. Requiere de estructuras auxiliares que sostienen las partes salientes, mediante el uso de un segundo cabezal la estructura de soporte puede imprimirse en un segundo material para facilitar su posterior remoción. Varias piezas pueden ser impresas al mismo tiempo siempre y cuando estén en la misma plataforma de impresión.

Mediante FDM se pueden producir piezas funcionales en plásticos como ABS y PLA. El ABS es un plástico muy resistente al impacto (golpes) muy utilizado en automoción y otros usos tanto industriales como domésticos.

EL políácido láctico (PLA o ácido poliláctico) es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a la del Politereftalato de Etileno (PET, Tereftalato de polietileno) que se utiliza para hacer envases, pero además biodegradable. Se degrada fácilmente en agua y óxido de carbono. Es

un termoplástico que se obtiene a partir de almidón de maíz. Además se puede utilizar Nylon y otros materiales pero que en este tipo de impresoras todavía no son estables o 100% confiables.

Se debe tener en cuenta que las piezas obtenidas no son isotrópicas en la dirección vertical y presentan un escalonado en la superficie propio del recorrido del cabezal para conformar la pieza.

A pesar de esto las piezas presentan buena resistencia mecánica y durabilidad e incluso pueden ser post-procesadas como cualquier pieza plástica

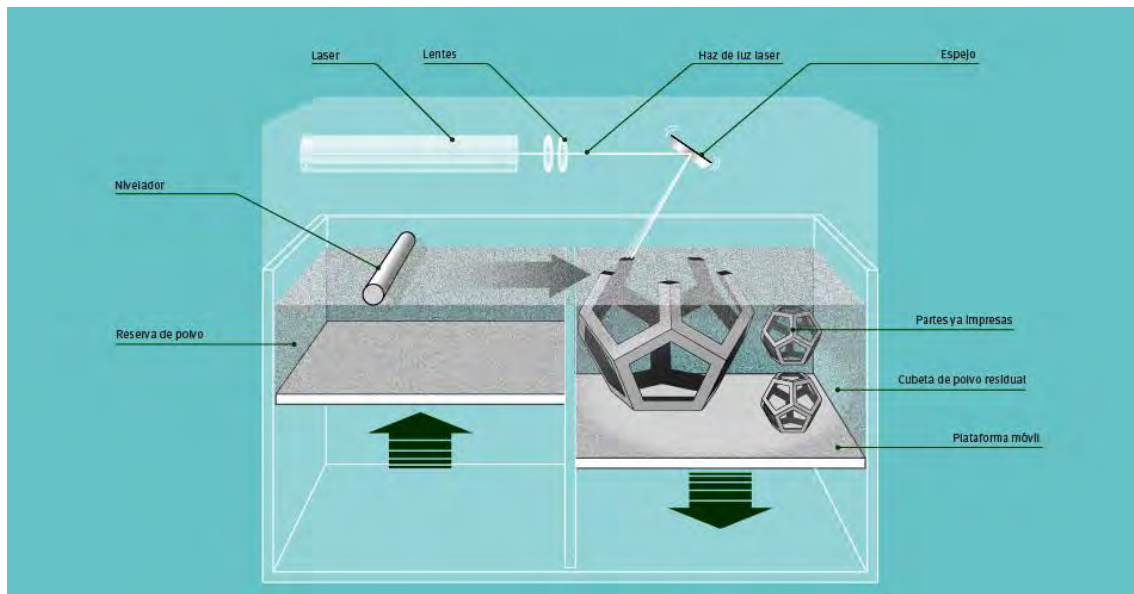
2.3.4.2 ¿En qué se aplica?

- Prototipos funcionales para prueba de productos
- Piezas auxiliares como plantillas de colocación pero tratadas como producto final
- Componentes de productos en pequeñas series

2.3.4.3 Características y restricciones

- Tamaño máximo de impresión: 914x610x914 mm³
- Tamaño mínimo de detalle: 0.18 mm
- Tolerancia: +/-0.18 mm (puede ser mejorado con tratamiento posterior)
- Mínimo espesor de las capas: 0.18 mm

2.3.5 SELECTIVE LASER SINTERING (SLS) SINTERIZADO SELECTIVO POR LASER



6.- Diagrama de la técnica Selective Laser Sintering

2.3.5.1 ¿En qué consiste?

En fundir mediante uno o varios haces de luz láser un polvo de plástico u otros materiales previamente depositado en la plataforma de la impresora.

“En esencia, el sinterizado consiste en calentar un material particulado un poco por debajo de su punto de fusión hasta que las partículas se funden entre si... El sinterizado selectivo por laser es una adaptación (y un refinamiento) de esta técnica, consistente utilizar un laser para solidificar áreas concretas dentro de un bloque de polvos y de esta forma producir objetos ligeros. Como pasa con cualquier proceso de sinterizado, también aquí el punto de partida es un material en polvo (...) Por tanto, un laser controlado mediante un dispositivo CAD es disparado repetidamente contra el polvo, fundiendo entre si las partículas capa a capa hasta que se completa el proceso.”²

Una máquina de sinterizado laser esparce una capa de polvo sobre una plataforma y luego el haz de laser lo funde guiado por un archivo digital, esto se hace capa por capa para conformar el objeto a la vez que la plataforma va descendiendo para depositar la próxima capa. No se requiere de estructuras auxiliares de soporte, se pueden imprimir con esta técnica piezas conformadas por varios componentes, incluso uno dentro de otro en un solo acto de producción.

² Lefeteri, Chris; “Así se hace. Técnicas de fabricación para diseño de producto”

Mediante esta técnica se pueden obtener piezas en plástico con buena resistencia mecánica aunque no la misma que si las piezas fueran hechas mediante inyección, especialmente en lo relativo a la terminación. Para pequeños lotes resulta una técnica competitiva en precio incluso puede ser más barata que la inyección. Hay varios materiales disponibles para el sinterizado incluso metales.

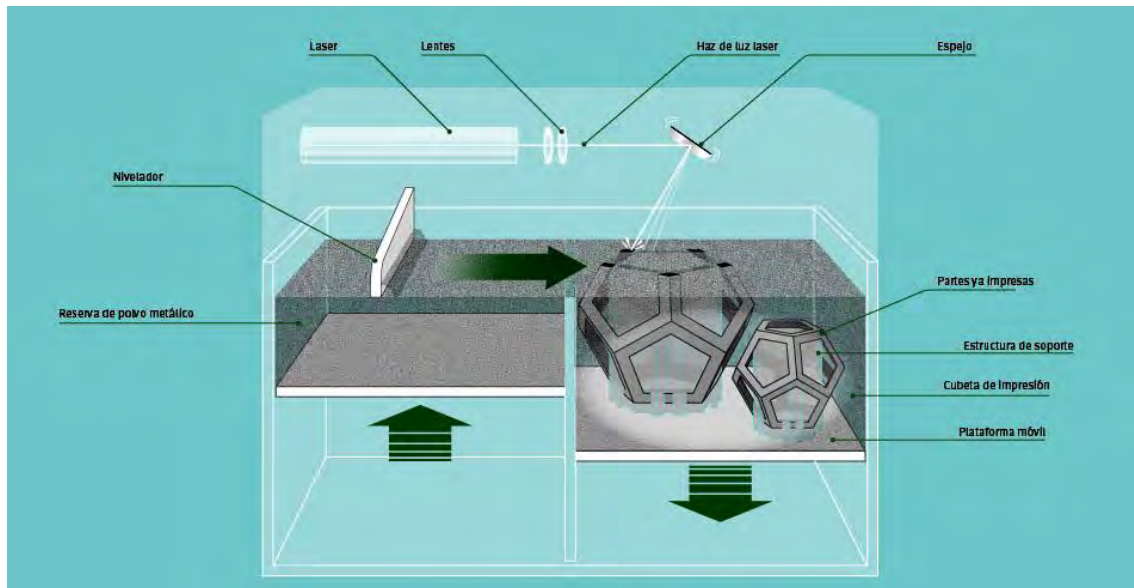
2.3.5.2 ¿En qué se aplica?

- Prototipos funcionales para prueba de productos
- Piezas auxiliares como plantillas de colocación
- Componentes de productos en pequeñas series

2.3.5.3 Características y restricciones

- Tamaño máximo de impresión: 550x550x750 mm³
- Tamaño mínimo de detalle: 0.15 mm
- Tolerancia: +/-0.25 mm (puede ser mejorado con procesos posteriores a la impresión)
- Mínimo espesor de las capas: 0.1 mm

2.4.1 SELECTIVE LASER MELTING (SLM) FUNDIDO SELECTIVO POR LASER



7.- Diagrama de la técnica Selective Laser Melting

2.4.1.1 ¿En qué consiste?

Es similar al sinterizado pero se usa con polvo de metales. En este caso sí se requiere de estructuras auxiliares que sostengan partes salientes mientras el laser va fundiendo el resto. Esto evita fatiga de la pieza o tensiones por contracción en puntos que se pueda generar diferencia de temperatura. Se pueden imprimir varias piezas a la vez siempre y cuando estén en la misma plataforma. Se pueden producir piezas metálicas con alta densidad (en el entorno del 99%) y buenas propiedades mecánicas (comparable a las técnicas tradicionales) Las piezas producidas de esta forma admiten procesos posteriores como por ej. soldadura. La técnica es aún costosa y lenta, las terminaciones son todavía rústicas pero pueden mejorarse con tratamiento posterior

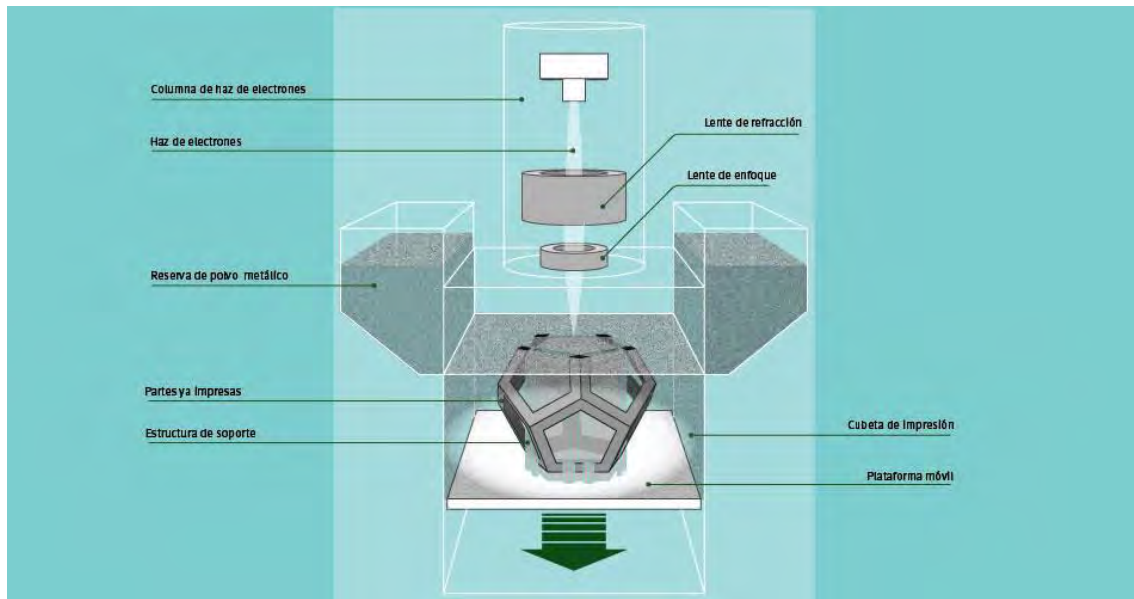
2.4.1.2 ¿En qué se aplica?

- Prototipos funcionales para prueba de productos
- Piezas auxiliares como plantillas de colocación
- Componentes de productos en pequeñas series
- Herramientas

2.4.1.3 Características y restricciones

- Tamaño máximo de impresión: 600x400x500 mm³
- Tamaño mínimo de detalle: 0.04-0.2 mm
- Tolerancia: +/- 0.02-0.05 mm (+/- 0.1-0.2%)
- Mínimo espesor de las capas: : 0.03 mm
- Densidad: hasta 99%

2.4.2 ELECTRON BEAM MELTING (EBM)



8.- Diagrama de la técnica Electron Beam Melting

2.4.2.1 ¿En qué consiste?

En el fundido de una fina capa de polvo metálico por un haz de electrones. Es similar a LASER MELTING (SLM) pero en lugar de usar un haz laser usa un haz de electrones. La plataforma de impresión va descendiendo para permitir esparcir la próxima capa de polvo y el fundido, de esta manera la pieza emerge capa por capa. Al igual que la técnica SLM requiere de estructuras auxiliares para que la pieza adquiriera su resistencia paulatinamente y evitar fatigas del material. La cámara en la que se imprimen las piezas se encuentra el vacío.

Las piezas que se obtienen tienen buena densidad (alrededor del 99%) y se pueden usar los metales corrientes pero es un proceso lento y costoso. En comparación con SLM las piezas presentan menos fatiga térmica y requieren menos estructura de soporte e incluso es más rápido que LM pero no se obtiene la misma terminación que con ésta.

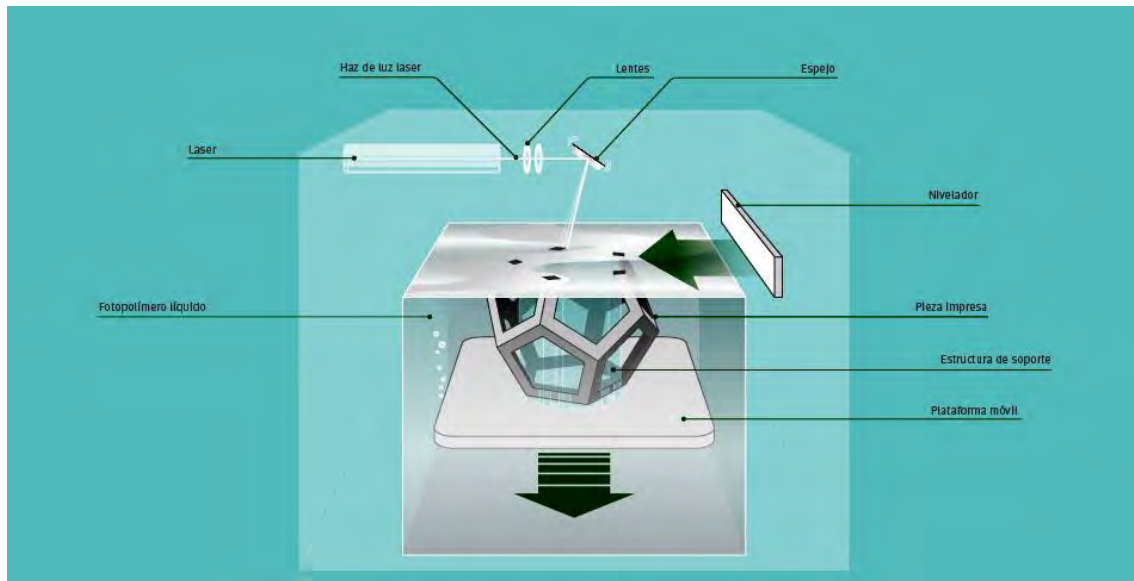
2.4.2.2 ¿En qué se aplica?

- Fabricación de productos únicos o en muy pequeñas series y necesita tratamiento posterior para mejorar la terminación
- Prototipos para testear forma y apariencia del producto
- Piezas auxiliares como plantillas, accesorios de colocación y armado

2.4.2.3 Características y restricciones

- Tamaño máximo de impresión: 350 x 350 x 380mm³
- Tamaño mínimo de detalle: 0.1 mm
- Tolerancia: +/- 0.2 mm (se puede mejorar con tratamiento posterior)
- Mínimo espesor de las capas: 0.05 mm
- Densidad: hasta 99.9%

2.4.3 STEREOLITHOGRAPHY (SL): ESTEREOLITOGRAFÍA



9.- Diagrama de la técnica Estereolitografía

2.4.3.1 ¿En qué consiste?

En la polimerización de un líquido (fotopolímero o resina fotosensible) a través de un láser UV. Las piezas se conforman capa a capa desde este líquido y mediante el recorrido del láser que lo va solidificando. La plataforma de impresión va bajando dentro del depósito de líquido y de esa manera el producto se va conformando. Se requiere estructura auxiliar para las partes salientes que se conforman en el mismo material.

Mediante esta técnica se obtienen piezas con buena definición y terminación superficial, sin embargo es una técnica que funciona solo con fotopolímeros los cuales no han demostrado estabilidad a lo largo del tiempo ni está bien definida su resistencia mecánica. Por su parte algunos fotopolímeros son costosos y la técnica en general lenta.

2.4.3.2 ¿En qué se aplica?

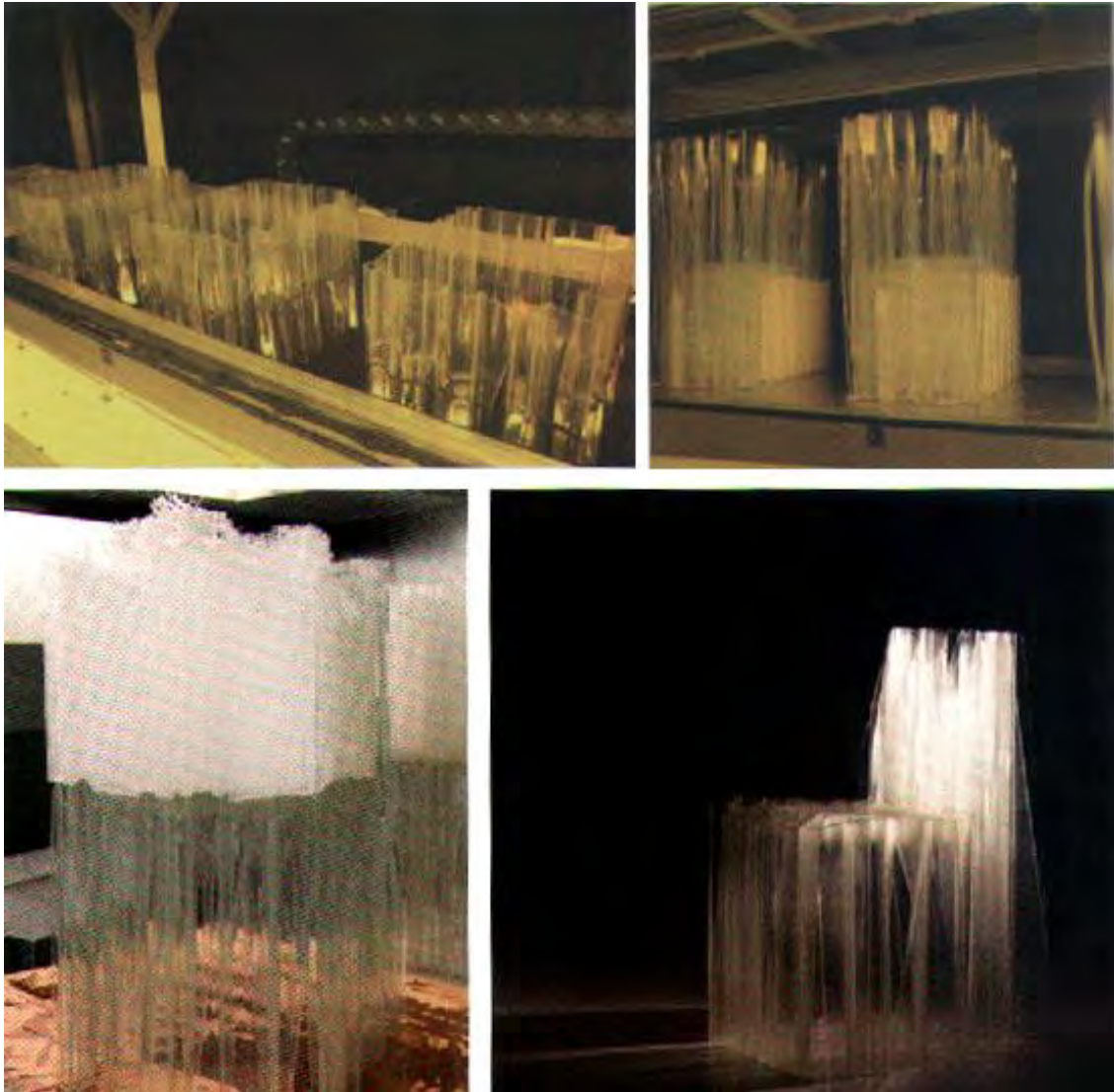
- Prototipos para prueba de forma o encastre y en algunos casos prototipos funcionales. Los materiales para esta técnica han sido diseñados para imitar propiedades de materiales complejos en el corto plazo como la resistencia a altas temperaturas para hacer pruebas con los prototipos

- Moldes para fundición con muy buena definición de detalle y fina terminación

2.4.3.3 Características y restricciones

- Tamaño máximo de impresión: 2100 x 700 x 800 mm³
- Tamaño mínimo de detalle: 0.1 mm
- Tolerancia: +/-0.15 mm
- Mínimo espesor de las capas: 0.016 mm

La estereolitografía es uno de los métodos más utilizados de fabricación 3D, sin ser el más preciso de todos es un método que ofrece una buena precisión y hay una buena variedad de polímeros para utilizar con diversas propiedades entre ellas la transparencia.



10.- Silla C1 de Patrick Jouin, en el proceso productivo: mientras va emergiendo del baño polimérico, a la derecha arriba e izquierda abajo la silla recién terminada con la estructura de soporte en el interior y por último la silla final con la transparencia que se aprecia una vez removida la estructura auxiliar de soporte

Tabla 2 Cuadro comparativo de las diferentes técnicas de impresión 3D

CARACTERÍSTICAS	MATERIAL JETTING	BINDER JETTING	PHOTOPOLYMER JETTING	FUSED DEPOSITION MODEL	SELECTIVE LASER SINTERING	SELECTIVE LASER MELTING	ELECTRON BEAM MELTING	STEREOLITHOGRAPHY
PRECISIÓN (mm)	0,1	0,1	0,15	0,18	0,15	0,02 - 0,04	0,1	0,1
TOLERANCIA (mm)	+/- 0,13	+/- 0,13	+/- 0,15	+/- 0,18	+/- 0,25	+/- 0,02 - 0,05	+/- 0,2	+/- 0,15
ESPESOR DE LA CAPA (mm)	0,09	0,09	0,016	0,018	0,1	0,03	0,05	0,016
TAMANO MAX. DE IMPRESIÓN (mm)*	4000*2000*1000	4000*2000*1000	1000*800*500	914*610*914	550*550*750	600*400*500	350*350*380	2100*700*800
OBSERVACIONES	PROCESO LENTO	PROCESO RAPIDO, ADMITE USO DE PIGMENTOS				PERMITE PIEZAS DE ALTA DENSIDAD	PERMITE PIEZAS DE ALTA DENSIDAD	GRAN VARIEDAD DE PLÁSTICOS DISPONIBLES, PROCESO LENTO



Imágenes del proceso de impresión de la pieza "VOLARE". Se realizó mediante FDM y fue posteriormente usada como molde para la realización de la pieza definitiva en aluminio que sirve de enlace entre la pata y la superficie de apoyo del mueble.

2.5 Ventajas y desventajas de la fabricación digital

Como toda técnica de producción, la fabricación digital tiene sus ventajas y también cuestiones a considerar al momento de evaluarlo como sistema para la obtención de un objeto.

Entre las ventajas podemos destacar:

Disminución de tiempos: el tiempo que pasa entre el diseño y la fabricación es mucho menor a cualquier proceso tradicional, el producto se ve rápidamente independientemente de su complejidad, no es necesario diseñar herramientas, ni moldes. El tiempo de entrega ya no se mide en semanas o meses sino horas o días. Se acelera el proceso de llegada al mercado, incluso se pueden hacer cambios o ajustes al diseño hasta último momento y aun así mantener la posibilidad de entregar rápidamente.

Capital inicial bajo: dado que la única herramienta necesaria es la propia impresora y el material para imprimir. Y con esta misma inversión inicial se pueden producir infinidad de productos diferentes incluso en pequeñas cantidades mientras que la producción tradicional necesita cierto volumen de producción para amortizar los costos y cada vez que quiere introducir un nuevo producto generalmente debe invertir en nuevas herramientas e incluso re-capacitar personal.

La complejidad del diseño no es una limitante, ni siquiera tiene mayor implicancia en los costos ya que la herramienta es la misma. En la fabricación digital se piensan las piezas para el mejor desempeño posible sin importar su complejidad. La fabricación digital quiebra varias de las reglas de diseño asociadas a la fabricación tradicional: diseñar para producir o diseñar para poder ensamblar ya no se aplican, no hay costo adicional por diseñar piezas complejas o intrincadas, se diseña pensando en el desempeño de la pieza ante todo y lo que antes era imposible o impracticable ahora se puede producir.

Libertad para rediseñar, se puede re diseñar el producto o cualquiera de sus partes en cualquier momento. Con los métodos tradicionales hay un punto en que el diseño queda “congelado” y se pasa a la producción, desde ese momento ya no se aceptan revisiones del producto o tiene un costo muy alto. Con la fabricación digital el diseño nunca se congela, fluye permanentemente y se adapta a las necesidades del producto, de la empresa y del consumidor. Las iteraciones en el ciclo de diseño y producción pueden tener la frecuencia que se desee y es sencillo realizar cambios o

ajustes en próximas partidas de producto si fuera necesario, es simplemente cuestión de modificar el archivo digital.

La disminución del tiempo de producción del producto es una de las más importantes ventajas de la FD, en el siguiente cuadro podemos verlo al respecto del prototipado y en la medida que éste es una parte del proceso de diseño el ahorro de tiempo en esta etapa implica un acortamiento del proceso de producción. Con la presión de tener rápidamente los productos en el mercado pero además poder tomar decisiones certeras en cuanto al diseño la FD gana terreno en el prototipado y cada vez más incluso las empresas optan por tener la impresora y no tercerizar el servicio de prototipado.

Tabla 3 Comparativo de tiempos entre impresión 3D y métodos tradicionales en diferentes ámbitos

Tipo de industria	Métodos tradicionales	Ahorro de tiempo
Diseño Industrial	Moldes de cerámica	96%
Educación	Maquinado (tercerizado)	87%
Industria aeroespacial	Corte laser 2 D	75%
Industria automotriz	Manufatura de aluminio	67%
Industria aeroespacial	Inyección de plásticos y CNC	43%

En la tabla se observa el ahorro de tiempo en prototipado con impresora 3D en la empresa vs. prototipado con métodos tradicionales en diferentes tipos de industria³ Conviene destacar el hecho de que en este comparativo las empresas o instituciones cuentan con impresora en la propia empresa, no tercerizan el servicio.

³ Datos extraídos de casos reales de clientes de la empresa STRATASYS y expresados en los siguientes artículos: “Bringing Imaginative Products to Market” (2011), “Rapid Learners” (2011), “Trial and Air” (2012), “3D Printing Wins Prototyping Time Trial” (2010), “Bird’s Eye View” (2011)

Como ejemplo, la empresa Graco INC (<http://www.graco.com/uy/es.html>): produce pinturas y equipamiento para pintar y dar texturas. Sus ingenieros experimentaron con varios modelos funcionales impresos en ABS para probar los punteros que dieran las texturas deseadas, la empresa estima que la impresión 3D redujo el proceso de desarrollo del producto en un 75%⁴

Consolidación de partes: cuando diseñamos pensando en poder ensamblar se busca que el ensamblaje sea rápido y fácil, que las piezas estén hechas de manera que no induzcan a errores de armado y que las herramientas sean las mínimas. Con la fabricación digital se puede llegar al ideal de eliminar el ensamblado ya que se pueden consolidar partes dentro de un mismo componente. Esto además de ahorrar tiempo y errores, reduce los inventarios y la necesidad de control de calidad de partes por separado.

Tiradas de producción pequeñas: en general, los métodos de producción tradicional tienen una cantidad mínima de producción por encima de la cual es eficiente económicamente y por debajo de la cual es riesgoso o inviable económicamente. Y en base a esta regla se estructura la producción de manera de obtener de la mayor cantidad de producto al más bajo costo. Con la fabricación digital las pequeñas cantidades no son un problema. Con cantidades pequeñas se simplifican los controles de inventario y disminuyen los costos de espacio necesario para almacenamiento, además es más fácil cambiar o adaptar un producto si no funciona, en definitiva el esquema de producción se vuelve más flexible.

Mayor posibilidad de innovar: la principal ventaja de la fabricación digital es la posibilidad de innovar y no solo en la propia fabricación del producto, como vimos anteriormente cuando la técnica se incorpora a la organización industrial lo puede cambiar todo, incluso el modelo de negocio.

La FD tiene varias características de sustentabilidad y respeto al medioambiente: no hay desperdicio de material ni residuos sólidos, líquidos o gaseosos; por otra parte la FD requiere poca energía eléctrica para la producción de un objeto y se trabaja en generar materiales que puedan usarse en FD y sean amigables con el medio.

La principal ventaja de la FD es que con ella se pueden evadir las limitaciones de métodos tradicionales como la inyección o la fundición. El tiempo nor-

⁴ “A new mindset in product design”, Stratasy

malmente destinado a confeccionar moldes ya no es necesario, el producto llega más rápido al mercado y la inversión inicial para la fabricación de un producto es menor.

El diseño del producto ya no está tan atado a la lógica diseñar para que sea "fabricable" o fácilmente armable. Productos complejos se pueden realizar sin gastos mayores ni con mayores tiempos que productos más simples.

Tampoco se está atado al diseño o mejora de herramientas. Esto se traduce también en que las empresas pueden producir con una sola herramienta, la impresora, reduciendo inventario, gestión de control y optimizando al máximo el uso del material. También el diseño puede ser ajustado cuando se desee y la brecha entre el diseño y la implementación se hace mucho más corta, se responde mucho más rápido a las demandas de los clientes y con un producto más ajustado.

Si se trata de la elaboración de productos finales, estas características hacen que la FD sea especialmente apropiada para compañías pequeñas y jóvenes. Al momento son una gran herramienta para las Start up, que producen sobre demanda y justo a tiempo, disminuyendo los costos de capital inicial y los riesgos en cuanto a que si el producto no funciona se ajusta rápidamente. En compañías más grandes o para una escala de producción masiva tal vez no sea apropiada pero si lo es para la producción de herramientas a medida que facilitan la producción como podrá verse en punto 2 de este trabajo.

2.6 Desventajas y consideraciones de la fabricación digital

Cantidades: en el estado actual de la tecnología no resulta una tecnología apropiada para grandes volúmenes de producción, si la demanda mayor al millón de unidades al año no se recomienda. Si la demanda llega hasta las 10000 unidades anuales es viable. Esto puede depender también del tamaño de la pieza, en piezas más pequeñas la cantidad puede ser mayor.

Calidad de terminación: si bien ha mejorado y se espera continúe mejorando, en el presente la calidad de terminación de las piezas puede ser inferior a la esperada en métodos tradicionales en varios aspectos a saber:

Exactitud dimensional, la fabricación digital ofrece una tolerancia de $\pm 0,005$ pulgadas en piezas de tamaño pequeño a medio mientras que la inyección llega a tolerancias de $\pm 0,001$ a $0,002$ pulgadas en todas las dimensiones de una pieza

Repetibilidad, tanto como en otras tecnologías también entre las piezas producidas mediante fabricación digital hay variación dimensional entre las diferentes partidas

Terminación, sin procesos adicionales la calidad de terminación que al momento ofrece la fabricación digital no tiene un alto valor estético y es más apropiada para componentes internos aunque esta cualidad debe evaluarse en cada producto en particular

Características materiales: el rango de materiales por ahora disponibles para fabricación digital es limitado en comparación con los cientos de plásticos o aleaciones de metales que pueden usarse con los métodos tradicionales. Por ahora es frecuente el uso de ABS, POLICARBONATO o mezclas de ambos. En el estado actual de la tecnología la fabricación digital conlleva ciertas concesiones con respecto a las propiedades mecánicas, eléctricas o térmicas de los materiales. Las piezas realizadas mediante fabricación digital no tienen las mismas propiedades físicas que aquellas iguales realizadas con métodos tradicionales. Por ejemplo una pieza de ABS hecha mediante deposición fundida (ver descripción de las técnicas) tiene un 80% de la resistencia que ofrece el ABS haciendo la pieza mediante inyección.

Como cualquier otra técnica de fabricación la FD tiene sus limitaciones, por ahora resulta apropiada para cantidades anuales pequeñas, sin altos requerimientos de terminación y posibilidad de aceptar las propiedades físicas de los materiales disponibles. Como se está investigando permanentemente es de esperar que en los próximos años las limitaciones de esta tecnología sean cada vez menores.

Tamaño: si bien los objetos pueden obtenerse por ensamblaje de partes, el tamaño de las piezas que se pueden obtener por fabricación digital puede ser una limitante en algunos casos. En esto se investiga con impresoras más grandes o que tienen la capacidad de moverse alrededor del objeto para evadir la limitante del tamaño aunque la técnica aún resulta más apropiada para piezas pequeñas o medianas.

3 La impresión 3D en el mundo de los objetos

“Una de las líneas dominantes en la innovación aplicada a las técnicas de producción es la del prototipado rápido. Ello se debe a que los diseñadores son cada vez más capaces de explotar el potencial que encierra la fabricación de objetos únicos a partir de un archivo informático”⁵

En el mundo de los objetos la impresión 3D se usa tanto para el prototipado como para la obtención del producto final. En este caso es que **se evidencia el cambio de paradigma que implica, ya no habría por qué pensar en ensamblaje de partes o mecanismos sino que se puede conceptualizar el objeto como un todo monomatérico resuelto en un solo acto técnico que es la impresión**. De esta manera pueden imprimirse puertas con bisagras o una forma cerrada pero que en su interior contiene un mecanismo motor por ejemplo.

Básicamente y ordenados en función de su intensidad de uso de mayor a menor, la FD a nivel industrial se utiliza en la actualidad para:

- Prototipar diseños
- Fabricar herramientas o piezas auxiliares como moldes o plantillas de colocación
- Fabricar productos finales o piezas que componen productos finales

De acuerdo a esto, a continuación se exponen algunos ejemplos reales de uso de la FD en el mundo de la producción industrial seleccionados con el fin, no de ser abarcativo porque sería imposible sino de dar una idea de la relevancia de la FD en la producción de objetos y cuan disruptiva puede ser.

3.1 Prototipar diseños

Es el uso más frecuente de la FD en las empresas, el prototipado que permite mejorar los diseños y sobre todo acorta los tiempos entre iteraciones del proceso de diseño acortando el proceso global de producción. El producto sale al mercado antes y por eso en los últimos años es cada vez más frecuente que las empresas incorporen la impresora en la empresa en lugar de tercerizar el servicio.

Así sucede por ejemplo en ADIDAS en el prototipado de los zapatos para correr y de fútbol entre otros. Cuentan con impresoras que les permiten mezclar materia-

⁵ Lefeteri, Chris; “Así se hace. Técnicas de fabricación para diseño de producto”

les y de esta forma obtener prototipos que no solo se usan para evaluar el aspecto del producto sino para realizar pruebas funcionales de resistencia o flexibilidad. En los casos de zapatos de fútbol se realizan ensayos de tracción en etapas tempranas del diseño.



11.- Prototipo de plantillas y zapatilla de futbol Adidas realizada con la tecnología Poly Jet de Stratasys (ver Photopolymer Jetting) con la particularidad que se pueden usar más de un material en la impresión de la pieza.

Esto en el presente y, a futuro plantean la posibilidad de un zapato deportivo adaptado a las necesidades del pie de quien lo calza, personalizado. Uno iría a la tienda, se tomaría una muestra de su pie en un scanneo de la forma y puntos de apoyo que junto con información previamente digitalizada generaría el archivo del zapato que luego se imprime en la propia tienda. Para hacerlo posible se continua investigando en el desarrollo de materiales plásticos de ingeniería para utilizar en impresión 3D que brinden confort térmico y postural y a la vez sean durables y livianos.



12 Prototipo del zapato deportivo Adidas Futurecraft, en la suela se puede ver uno de los materiales en desarrollo que es una especie de malla que permite flexibilidad y confort en el apoyo. Este tipo de estructuras se hacen con técnicas tipo SLS (sinterizado) La empresa Materialise trabaja junto con Adidas no solo en el material físicamente sino que en estos casos se debe generar el archivo que maneje tanto información CAD como STL para generar la malla que compone el material

También en el caso de las bicicletas TREK se imprimen prototipos para ensayos en túneles de viento. La posibilidad de crear materiales digitales, es decir, mezclar materiales con propiedades físicas y mecánicas diferentes con la propia impresora es especialmente importante para estos prototipos para aumentar la dureza por ejemplo.



13.- Piezas del cuadro de la bicicleta Trek en combinación de diversos plásticos de ingeniería para ensayos en túnel de viento con tecnología Poly Jet de Stratasys (ver Photopolymer Jetting)

“Los diseñadores tenían varias ideas para el diseño transversal aerodinámico en particular y deseaban ver el impacto sobre la resistencia del viento”, explica Zeigle⁶. “Así que imprimimos diversas piezas en la Objet Connex⁷ que se encajarían en el cuadro de la bicicleta principal y se sometería a prueba en el túnel de viento.” El equipo incluso produjo accesorios resistentes tales como botellas de agua hacer las condiciones de prueba más realistas.

“El hecho de poder imprimir rápidamente varias iteraciones ha permitido a los diseñadores experimentar más y seguir cumpliendo todos sus plazos”⁸

Anteriormente, los prototipos los fabricaban en aluminio o espuma densa mediante procesos de control numérico en su taller y en todo caso se hubiera mezclado con piezas de SLA encargadas a una empresa de servicios. *“El plazo, recalca Zeigle, habría sido muy diferente, ya que se tarda una semana o más en conseguir una pieza de control numérico y varios días en obtener una pieza de SLA. Por su parte, el plazo para una pieza fabricada internamente con la impresora 3D suele ser de menos de un día”⁹.*

3.2 Prototipado de asiento para Toyota

Este es un caso que es interesante entre otras cosas por tocar un aspecto importante que atañe a la fabricación digital y es el manejo de los archivos mediante los cuales se generan las formas. En este caso la empresa Toyota quería desarrollar un prototipo funcional de asiento que redujera liviano y con reducida transmisión de calor al conductor. Esto implicaba la construcción de una estructura tipo malla que provenía de estudios de la empresa acerca de las áreas que necesitaba con mayor y menor densidad de material para mejorar el peso y transmisión de calor. Fue necesaria la generación de un software que partiendo de esos datos que no eran CAD generara un archivo posible de ser impreso. Estos desarrollos si bien no son masivos existen y en definitiva ponen a disposición del diseñador más herramientas para llevar a cabo sus diseños.

⁶ Director del grupo de desarrollo de TREK <http://www.stratasys.com/es/resources/case-studies/consumer-goods/trek-wind-tunnel#sthash.0r5o84YT.dpuf>

⁷ Modelo de impresora de la marca Stratasys, acepta diversos materiales, usa tecnología tipo Polymer Jetting

⁸ Ídem 6

⁹ Ídem 6



14.- Prototipado de asiento para Toyota, similar a la suela del zapato deportivo Adidas Futurecraft se imprime mediante técnicas tipo SLS (Sinterizado Selectivo por Láser) y para la conformación del archivo de impresión se deben manejar datos CAD y datos que provienen por ej de la digitalización de zonas de mayor y menor calor de acuerdo al contacto del cuerpo con el asiento.

3.3 Fabricar herramientas o piezas auxiliares como moldes

En este sentido las aplicaciones son múltiples y muy particulares según el caso. Fabricar herramientas específicas o estructuras auxiliares para optimizar un proceso productivo no es nuevo, con la impresión 3D se vuelve más barato y rápido. Incluso podría pensarse en disminuir stocks de piezas o herramientas en las cadenas pro-

ductivas y en cambio tener una biblioteca de archivos de las mismas que se imprimen según e vaya necesitando. También está la posibilidad de ajustar la pieza, herramienta o plantilla de acuerdo al operario que la use. Este es el caso en BMW que utiliza la FD en la impresión de herramientas para el ensamblado de partes durante el proceso de armado de sus autos. Éstas agilitan el proceso, reducen errores y se diseñan para disminuir la fatiga del operario. En este caso pueden observarse algunas de las ventajas de la FD: ahorro de tiempo, posibilidad de ajustar cuantas veces sea necesario, posibilidad de hacer cada herramienta de armado para cada modelo de auto si quisieran y no tener que adaptar el diseño del objeto a las herramientas que se tengan, en este caso además se obtiene una pieza mucho más liviana que si se hubiera ejecutado en metal para mejorar el confort del operario.



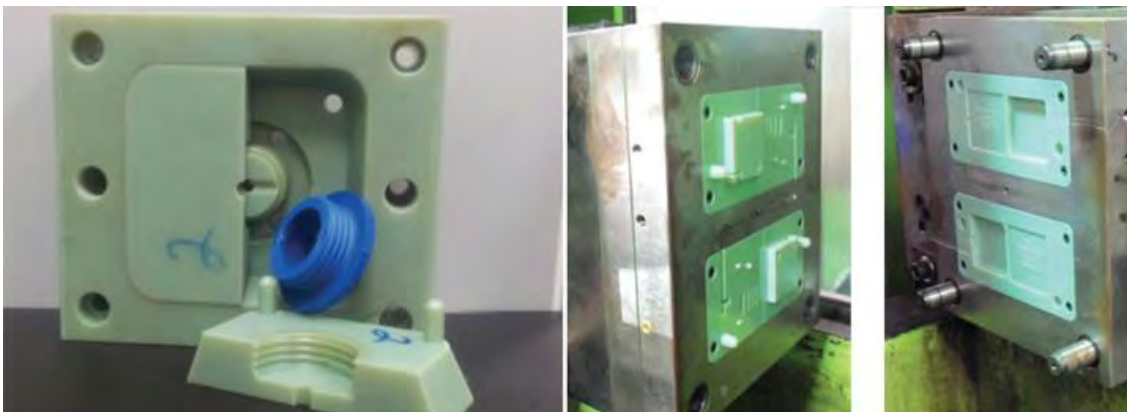
15.- Herramientas y plantillas de colocación realizadas en BMW mediante la técnica deposición fundida (ver FUSED DEPOSITION MODEL o FDM) de esta manera son livianas y adaptables incluso para la mano de cada operario.

En el proyecto de muebles VOLARE de esta licenciatura se recurrió a la impresión 3D para imprimir la pieza de unión entre la pata y el mueble. La misma se utilizó en pruebas funcionales y posteriormente se utilizó para la conformación del molde de tierra en el cual se realizaron las coladas de aluminio para obtener las piezas de toda la línea. Es interesante destacar que esta cualidad de la impresión 3D, la posibilidad de hacer moldes, ha venido a solucionar la falta de mano de obra u oficios perdidos como la moldería en la fundición. Además baja sustancialmente los costos ya que los moldes suelen ser caros de fabricar. Para la inyección de plásticos también se está recurriendo a moldes realizados mediante impresión 3D lo cual baja los costos y tiempos, sin embargo se debe considerar que los moldes obtenidos sirven más bien como prototipos o para la inyección de relativamente pocas piezas ya que si bien se ejecutan en termoplásticos de alta resistencia no tienen la misma duración de un me-

tal. Asimismo pueden requerir tratamiento posterior para mejorar la textura superficial del molde y trasladar irregularidades a la pieza final



16.- Prototipo de molde para inyección hecho mediante tecnología Poly Jet (ver Photopolymer Jetting) para inyección de plástico y pieza terminada



17.- A la derecha molde para inyección hecho en ABS y Nylon; a la izquierda moldes hechos mediante Poly Jet ya listos para inyección

3.4 Fabricar productos finales o piezas que componen productos finales:

3.4.1 Impresora FORTUS 900 MC de STRATASYS

Uno de los más importantes fabricantes de impresoras 3D, utiliza la técnica para imprimir piezas de algunos de sus modelos de impresora. Lo hace mediante FDM y se utiliza incluso en piezas que quedan a la vista como el panel de comando de la impresora. Particularmente esta pieza pasó un proceso de modificaciones que muestran cómo con la impresión el diseño nunca está “congelado”: el panel se ejecutó inicialmente en una sola pieza. Al poco tiempo se pudo observar que en caso de re-

paración o sustitución resultaba complicado de remover y colocar por lo cual se decidió ejecutar el panel en tres partes que se remueven independientemente. Este cambio no tuvo mayores consecuencias en la línea de producción de la empresa ya que no fue necesario rehacer moldes o cambiar herramientas.

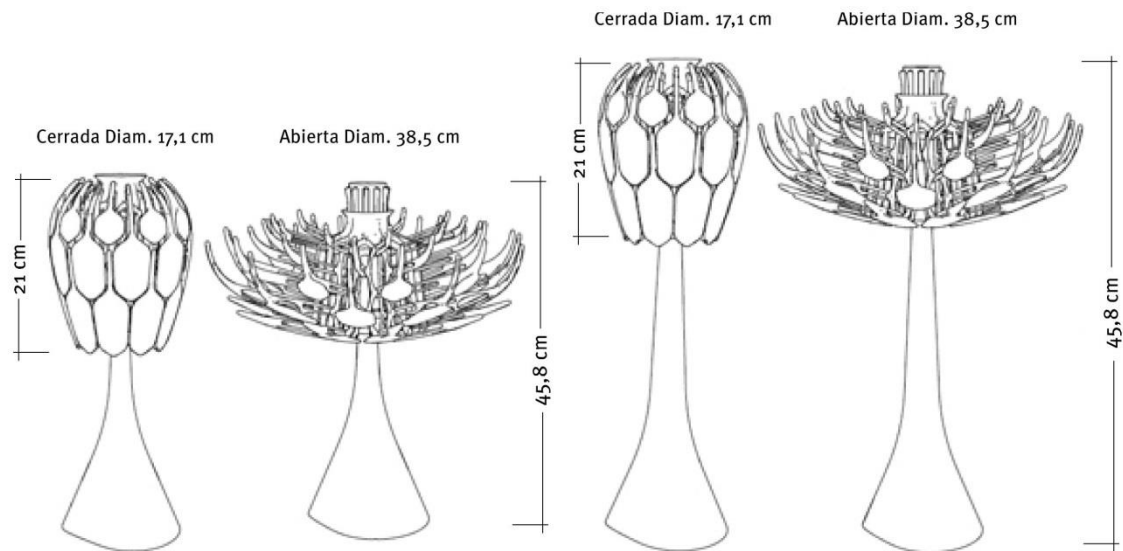


18.- Impresora Fortus 900mc de Stratasys, más de 30 piezas componentes de la impresora se producen mediante impresión 3D, a la derecha uno de esos componentes: el panel de comando impreso en otra impresora Fortus 900mc

3.4.2 Lámpara BLOOM de MGX by MATERIALISE

La propia web de la empresa ofrece una idea acabada del universo de la FD: ellos imprimen diseños para clientes de todo el mundo, brindan asesoramiento para la elección de técnicas y materiales de acuerdo al diseño e incluso asesoran en la digitalización de un diseño para que pueda imprimirse 3D. Una de las secciones de la empresa es MGX by MATERIALISE, en la cual ofrecen productos realizados mediante FD que se venden a consumidores finales como por ejemplo la lámpara BLOOM del diseñador Patrick Jouin. Al igual que el taburete ONE SHOT STOOL (ver página 42) se obtiene en un solo acto de fabricación con sus articulaciones y todo, y con una sola herramienta, la impresora, como trabajo posterior queda solamente el armado de la conexión eléctrica.

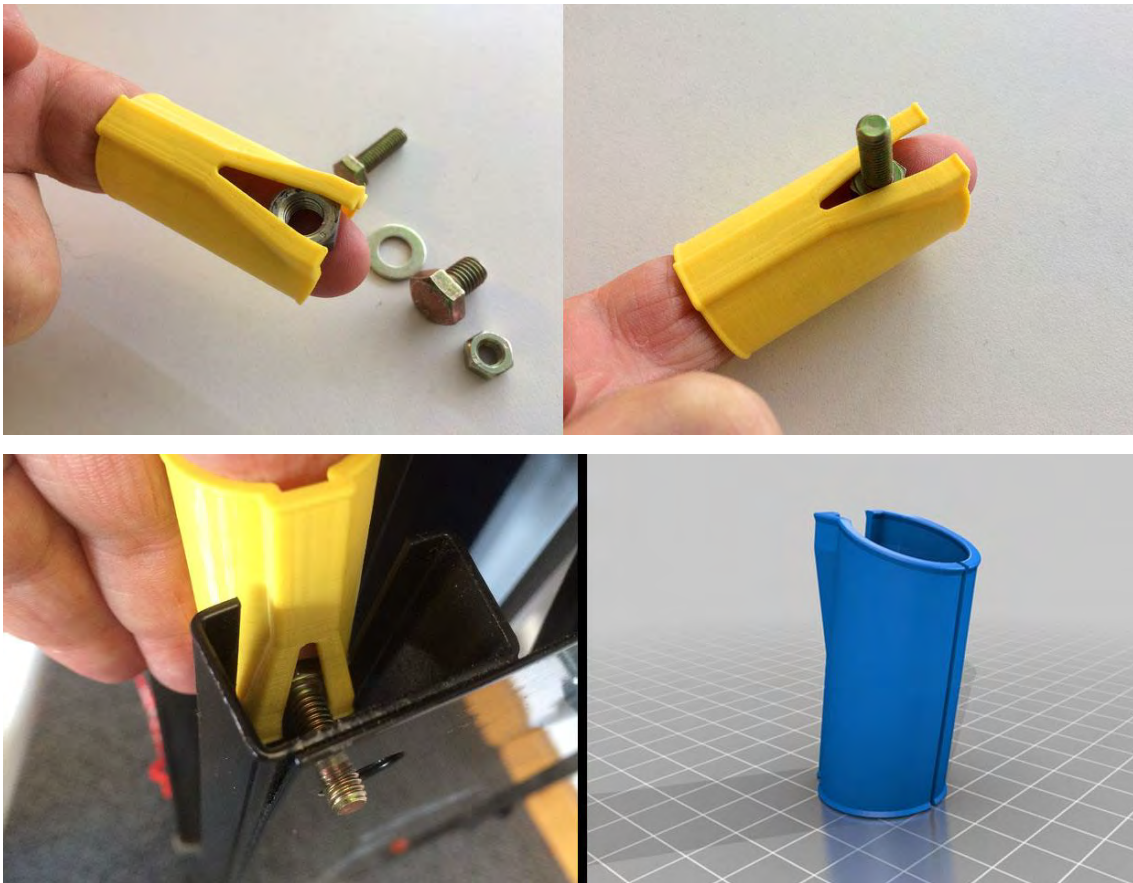
- Pantalla: Polyamide
- Base: PU
- Peso: 3 kg
- Premios: Red Dot Design Award Winner, 2011; Good Design Award Winner 2010



19.- Lámpara Bloom de MGX by Materialise. Diseñador: Patrick Jouin

3.4.3 Sujetador FINGER WRENCH de MAKERBOT

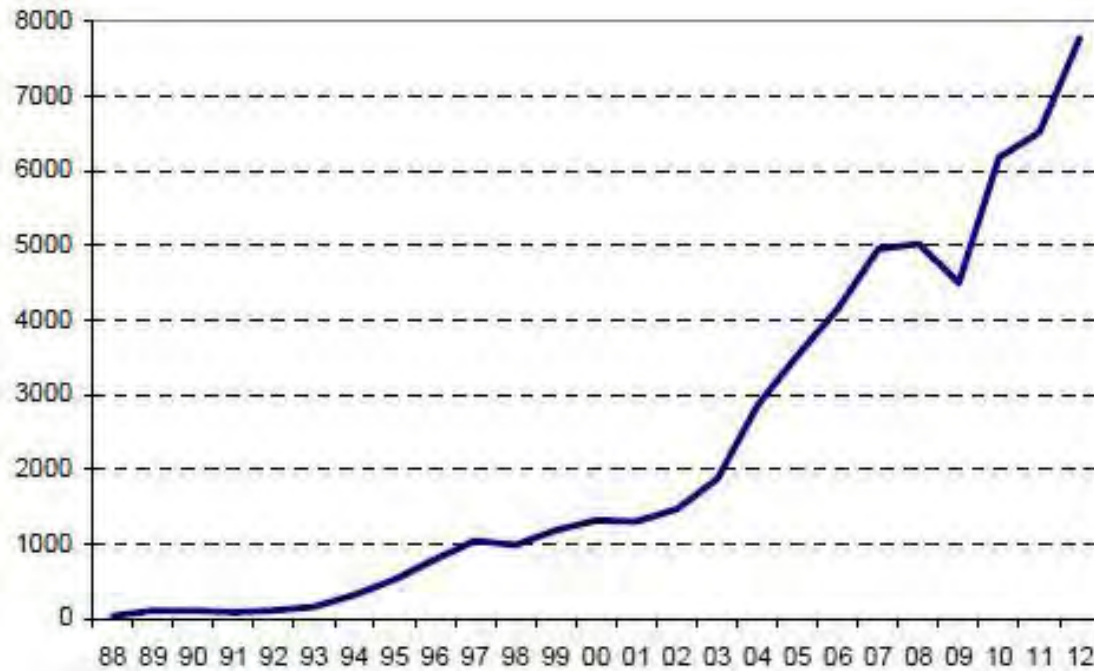
La empresa Makerbot ofrece impresoras para uso doméstico, educativo y para prototipos en la industria, en la sección THINGIVERSE se pueden encontrar una serie de diseños prontos para descargar gratuitamente e imprimir como el que acompaña este trabajo: “FINGER WRENCH”, accesorio para mejor sujetar con los dedos tuercas o tornillos cuando uno está realizando un trabajo. Esto podría prefigurar un futuro en el que ya no vamos a adquirir objetos sino descargar un archivo e imprimirlos en nuestro hogar o incluso diseñarlos y fabricarlos nosotros mismos de acuerdo a nuestras necesidades.



20.- Sujetador Finger Wrench, perspectiva digital y producto ya impreso y en uso

Es interesante observar que sea para el uso que sea lo cierto es que la FD va ganando terreno en la industria como lo muestra la gráfica de ventas de impresoras 3D para la industria:

Tabla 4



Venta global de impresoras 3D por año para uso en la industria de acuerdo al Reporte global Wohlers, año 2013, Fuente: Wohlers Associates¹⁰

Y lo más importante es que cada vez más empresas optan por la solución “in house” es decir incorporar la impresora 3D en la propia empresa y no tercerizar el servicio de impresión, de esta forma es que mejor se observan las ventajas de la FD en cuanto al ahorro de tiempo en la producción.

¹⁰ <http://wohlersassociates.com/growth2013.html>

Unit Sales Estimates of Industrial Machines for Additive Manufacturing

3.5 ¿Cómo debemos pensar nuestros diseños para la fabricación digital?

Las reglas de DESIGN FOR MANUFACTURABILITY (diseñar para fabricar) caen con la FD. En efecto las limitaciones de los métodos tradicionales no se aplican como se analiza en el cuadro siguiente:

Tabla 5 Cuadro comparativo de la FD con la inyección en moldes en cuanto a cuestiones de diseño a considerar¹¹

INYECCIÓN EN MOLDES	IMPRESIÓN 3D
Se debe prever juntas y disimular los puntos de inyección, desmolde o sujeción del molde	Como no hay moldes no hay por que tomar previsiones ni modificar el diseño para disimular uniones, puntos de inyección y demás
El espesor mínimo de pared se da por limitaciones de la herramienta constructiva más que por las necesidades funcionales del producto, además se recomienda un espesor constante de pared para evitar deformaciones o hundimientos	La única consideración respecto al espesor es que cumpla con los requisitos funcionales del producto, no hay limitantes de espesor derivadas de la impresora. Tampoco tiene por que ser uniforme, se puede jugar con adelgazamientos e incluso huecos para sacar material allí donde no se necesita y de esta forma se optimiza el uso del material
Se debe redondear ángulos para reducir la concentración de esfuerzos y optimizar el flujo de material plástico durante la inyección. Este redondeo se requiere tanto en la parte externa como interna de la pieza	Se pueden obtener ángulos tan “afilados” como las característica funcionales del producto lo permitan
Como cada material tiene un determinado coeficiente de retracción una vez hecho el molde para determinado material no es tan fácil utilizarlo para otro	Se puede cambiar de material cada vez que se imprime la pieza
La complejidad de la forma suma costos porque complejiza el molde o las herramientas o procesos necesarios para obtener la forma	Mayor complejidad de la forma no es necesariamente mayor costo porque no hay modificación de moldes u otras herramientas

Podemos observar con este comparativo el cambio que implica FD en el pensamiento del diseño de un objeto, en la cabeza del diseñador, por cuanto **las reglas con las que aprendimos a diseñar para construir caen**. Ya no hay por qué limitar los diseños por cuestiones de viabilidad constructiva ya que la construcción de las formas adquiere con la FD una libertad casi absoluta. La personalización o parametrización de los diseños para que sean a medida de cada persona no es algo lejano.

¹¹ Extraído del artículo “How to design your part for Direct Digital Manufacturing” de Jim Comb, de la empresa Stratasys

4 La impresión 3D en el ámbito del mobiliario

Al igual que en otras ramas de la industria el uso de las técnicas de FD viene creciendo también en la industria del mobiliario. Y también de la misma forma que en otras industrias se tiende a la fabricación de piezas finales mediante FD pero aún se está lejos de usar masivamente la técnica de la impresión 3D en particular, para la producción de piezas finales. Si, es corriente el uso para el prototipado de productos.

4.1 Silla RBM NOOR

Un ejemplo del uso de la FD para prototipado lo encontramos en la línea de sillas RBM NOOR de la empresa SCADINAVIAN BUSSINES SEATING. La intención de la empresa era no solamente evaluar el aspecto visual de la silla sino sobre todo los aspectos de confort: forma, tamaño, texturas. En este caso lo que se imprimió no fue la silla si no un molde en el cual luego se coló poliuretano para conformar la carcaza. Al tener el molde se pudieron hacer varias carcazas con diferentes texturas y terminaciones de manera de probar el producto lo más parecido a su versión final y así se pudieron decidir variantes no sólo de forma sino de terminaciones de la silla antes de su producción masiva.



21.- Silla RBM, prototipo del asiento en el proceso de terminación para pruebas funcionales



22.- Silla RBM terminada en variedad de colores y terminaciones

A continuación veremos ejemplos de muebles hechos íntegramente mediante impresión 3D:

4.2 RVR CHAIR de DICK VANDER KOOIJ

Es una silla impresa en 3D con una mezcla de materiales sintéticos reutilizados. Es apilable. Su peso es 9 kg. El tiempo de producción es de 1 semana y el costo es de 357 euros. El diseño fue premiado en la Dutch Design Award 2015. Si bien es un producto de alta tecnología su lógica es la del producto artesanal: se hace a pedido en el propio estudio-taller del diseñador que incluso construye sus propios robots de fabricación para dar el efecto final deseado al producto, en el caso de la silla los surcos subrayados por la diferencia de color hacen referencia a la falta de definición de las primeras impresoras 3D (continúa siendo así pero en menor medida, tendiéndose cada vez más a eliminar la evidencia de la construcción del objeto mediante superposición de capas). El propio autor no se manifiesta interesado en la producción masiva y por tanto la impresión 3D resulta apropiada para este producto.



23.- Silla RVR

4.3 ONE SHOOT STOOL de MGX MATERIALISE

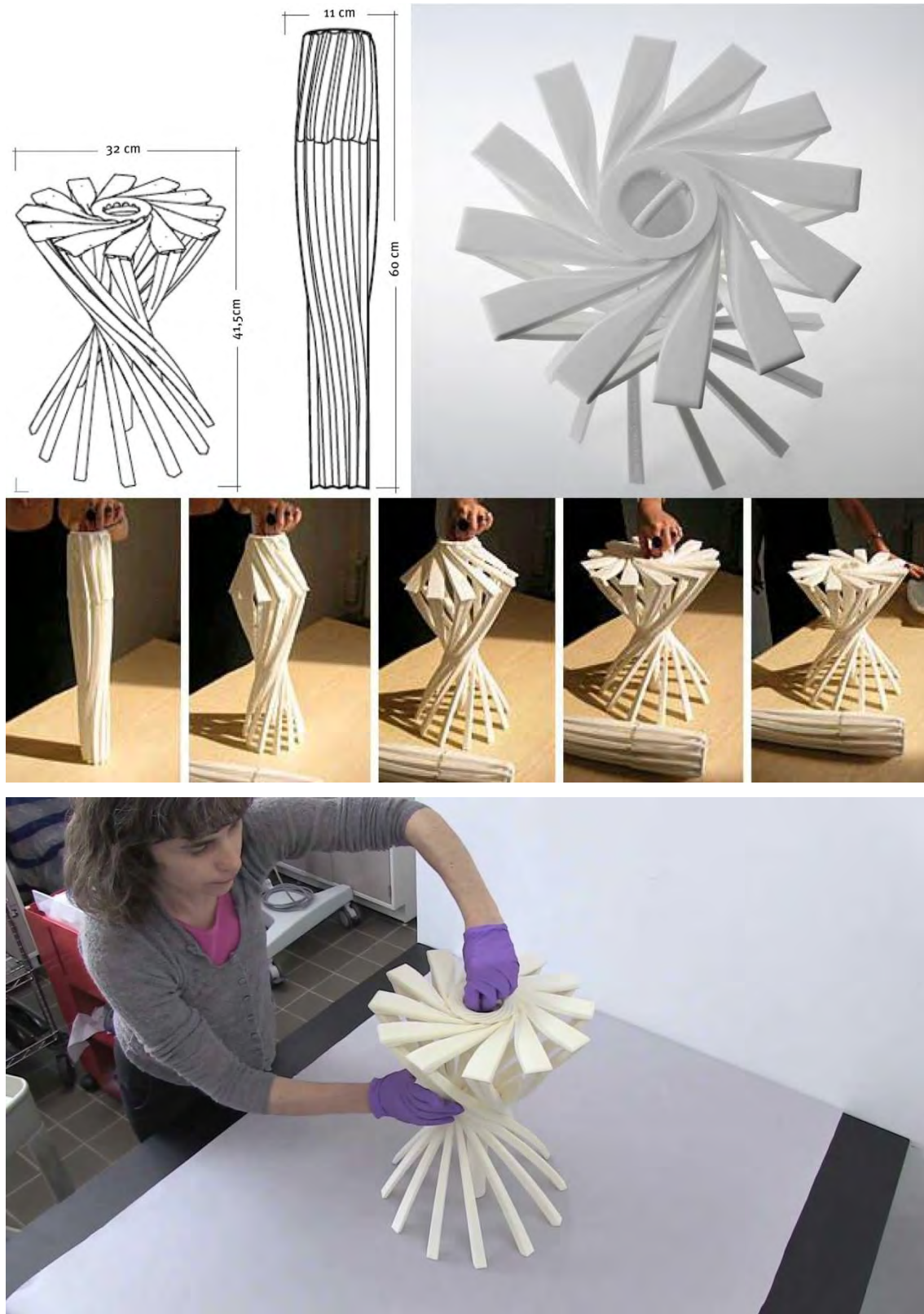
Es un banco plegable fabricado mediante la técnica SLS. Se imprime en un solo acto y sale de la impresora listo y con sus articulaciones incluidas. El diseño está pensado de manera que con un giro que acomoda las patas y la propia acción de la gravedad queda listo para usar.

Fue presentado en el Salón del Mueble de Milán y adquirido por el MoMA de Nueva York, es una pieza de diseño funcional y de gran interés visual. Sin ensamblaje requerido y máximo aprovechamiento del espacio para guardar con facilidad.



24.- One Shot Stool de Patrick Jouin

- Material: Poliamida, Peso: 3kg
- Costo: 2165 EUROS
- Premios: Good Design Award Winner 2008

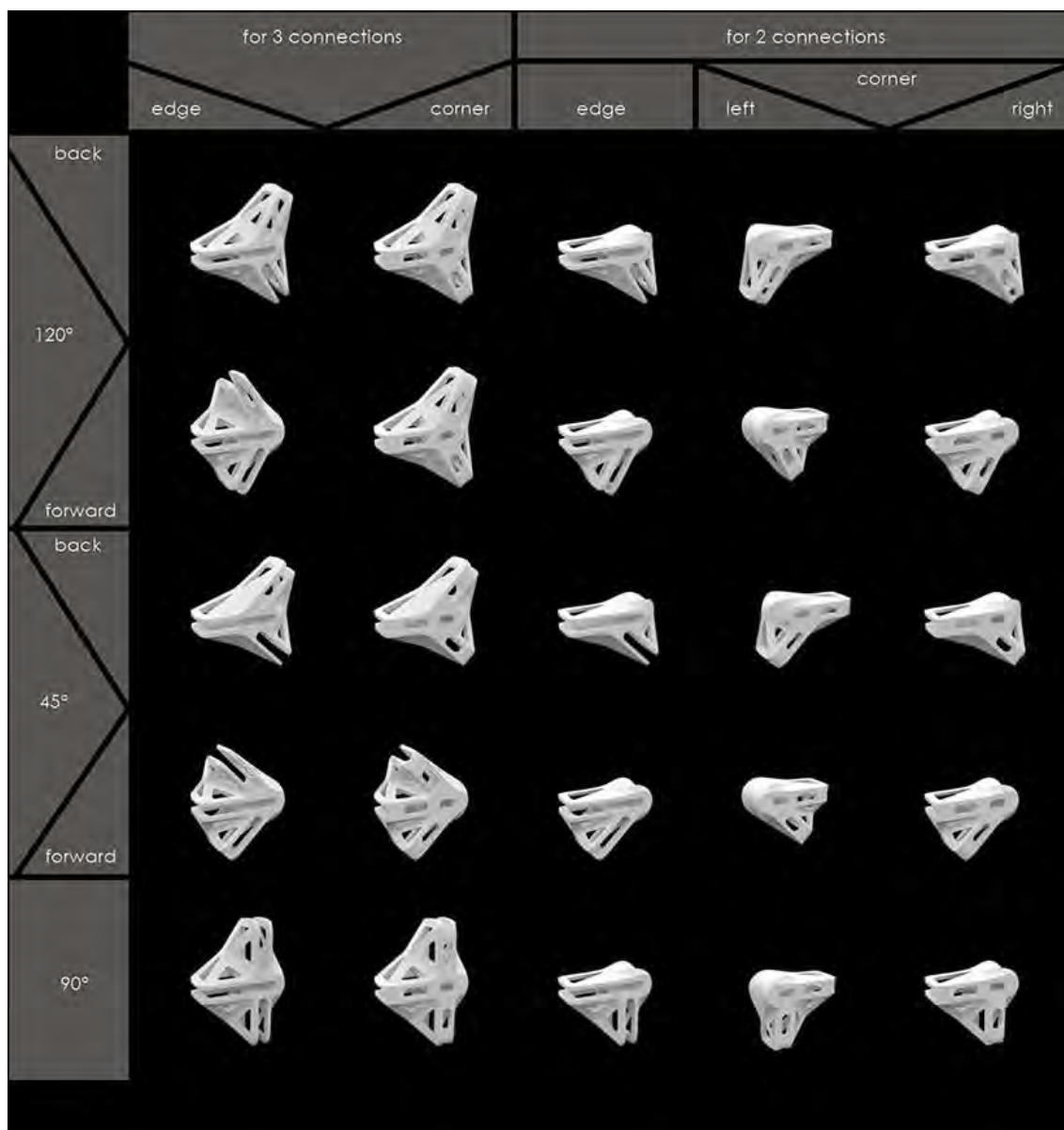


25.- One Shot Stool, arriba dimensiones y vista superior; centro: secuencia de despliegue; abajo recién impreso probando el sistema de giro de las patas.

Tanto RVR CHAIR como ONE SHOT STOOL son piezas únicas a pesar de estar construidas con una técnica que podría usarse para la producción masiva.

4.4 Proyecto BUILD TO PRINT

Por último veremos casos de mobiliario conformado con partes impresas, pensado para imprimir en una impresora doméstica. Justamente este desafío se planteó el diseñador industrial Olle Gellert, por el costo de los muebles hechos íntegramente mediante impresión 3D y las limitaciones de tamaño y materiales disponibles. De esta manera se genera el proyecto BUILD TO PRINT, un set de juntas con el cual se pueden construir desde mesas hasta bibliotecas. Lo interesante es la posibilidad de recurrir a elementos accesibles a un consumidor standard y la versatilidad de las formas que pueden obtenerse.



26.- Piezas del sistema Build to Print



27.- Piezas impresas en ABS del sistema Build to Print



28.- Ejemplo de mesa armada con piezas impresas del sistema y placa multilaminada



29.- Otro ejemplo de mobiliario que se puede ensamblar con las piezas del sistema Build to Print y placa de madera, en este caso una biblioteca

4.5 Mesa Keystones de Estudio Minale Maeda

Similar al sistema Build to Print, esta es una pieza que explora también el concepto de conectores y piezas “conectadas”. Los conectores se logran mediante la impresión 3D en poliamida y el resto de los elementos que forman el mueble están pensados para que puedan ser fabricados usando herramientas de taller muy simples.

El diseño del conector está pensado de manera de optimizar el uso del material quitando allí donde no se necesita y recargando en los puntos más exigidos.



30.- Detalles de la mesa Keystones, abajo a la derecha pieza del prototipo y arriba pieza final cuyas secciones debieron reforzarse. La pieza conectora está impresa mediante SLS

- PREMIOS: GRAND PRIZE INTERIEUR AWARDS 2014, KORTRIJK, BE

5 La impresión 3D en el Uruguay

Al igual que en el resto del mundo, las técnicas de fabricación digital vienen creciendo en popularidad también en nuestro país. Hay por lo menos tres empresas que brindan servicios de impresión 3D a las cuales se consultó para construir un panorama de la impresión 3D en el país. No solo es amplia la disponibilidad de técnicas sino que también se comercializan las impresoras que prácticamente desde su llegada al país se insertaron en ámbitos educativos secundario y técnicos de manera de familiarizarse con la herramienta desde etapas tempranas. Las experiencias de impresión 3D en la industria del mobiliario en el país son escasas debido al poco desarrollo de la industria local en este rubro.



31.- Pieza en ABS impresa mediante FDM en la empresa Cryos 3D; para la línea de mobiliario Volare de esta licenciatura. La pieza se utilizó para prototipos funcionales y posteriormente para el molde de la pieza definitiva en aluminio

Panorama de la impresión 3D en el Uruguay: CRYOS 3D – www.cryos3d.com

- Que técnicas y materiales ofrecen:

En CRYOS utilizamos impresoras basadas en la tecnología FDM. Tenemos una amplia gama de materiales disponibles para esta tecnología y cada vez se crean más, algunos de ellos son: PLA, ABS, NYLON, HIPS, LAYWOOD, POLICARBONATO, también estamos experimentando con algunos nuevos que tienen agregados de metales en polvo en el plástico, como acero inoxidable, metales magnetizados, plásticos flexibles, son algunos de lo nuevo en el mercado.

También realizamos post- proceso a algunas piezas que lo necesiten o que el cliente lo requiera, aplicando productos químicos básicos y también herramientas mecánicas tanto eléctricas como manuales.

-Cuál es el tamaño máximo y precisión de las piezas en cada una de ellas

Tenemos una base de 200 x 200 mm y una altura máximo de 110 mm. Siempre está la posibilidad de imprimir piezas por partes lo que dan el resultado de piezas mucho más grandes que la capacidad de impresión

- Ofrecen servicio de preparación o retoque del archivo para impresión:

Si, ofrecemos un servicio completo, si tenés una idea y no sabes cómo modelar, podemos hacerlo junto al cliente, por supuesto cuanto más info brinda el cliente más fácil se genera el modelo.

- De donde proviene mayormente la demanda?

La demanda es muy variada, se ve mucho cuando es época de entrega en alguna universidad, llega mucho estudiante en el correr de 1 mes, pero después hay tanto profesionales en diversos ámbitos desde diseño industrial, torneros, arquitectos, etc. que tratan de a poco implementar esta herramienta que no estamos explotando al máximo, las facilidades que nos brinda en el proceso de perfeccionamiento de una idea o manufactura de un producto final a través de diversos caminos. Los particulares también

se interesan pero menos, una persona nos contactó para hacer una máscara de Spiderman tamaño real, la que por fuera se le coloca la tela. Se fabricó por partes.

- **Venden también las impresoras? De donde proviene mayormente la demanda de impresoras?**

Si, la mayor demanda viene desde el sector profesional.

- **Como visualiza el futuro de la actividad en el Uruguay a mediano y largo plazo? Y en el mundo?**

En el mundo ya está haciendo muchísimo ruido la impresión 3D, en Uruguay llegan noticias de algo novedoso y todo el mundo se interesa, pero pasan los meses y ya nadie se acuerda de la nueva herramienta. La tecnología podrá avanzar, pero la herramienta ya está, lo que hay que hacer es comenzar a explotarla y salir de lo convencional, acortar tiempos y generar mejores productos y más baratos.

- **Conoce ejemplos en el país de uso de la técnica para la producción de mobiliario? Puede ser para la producción de la pieza final, de partes o de prototipo**

Hemos tenido un solo caso de diseño de mobiliario, la verdad no se ve mucha innovación en este campo, al menos en Uruguay, conozco decenas de casos en el exterior con muchísimos beneficios, tiempos cortos, menos intermediarios, más flexibilidad en la forma pudiendo mantener una estabilidad y posibilidad de repetición efectiva, menos dinero.



Prototipos de luminarias correspondientes a trabajos de estudiantes de diseño industrial

Panorama de la impresión 3D en el Uruguay: FABRIX - www.fabrix3d.com

- **Que técnicas y materiales ofrecen:**

SLA, SINTERIZADO (que se manda a hacer al exterior) Y GRANULADO CON YESO EN COLOR, FDM. Los materiales más utilizados son PLA, ABS, MATERIAL CON FIBRA CARBONO, YESO, RESINA LÍQUIDA

- **Cuál es el tamaño máximo y precisión de las piezas en cada una de ellas**

20*20*20 MM, piezas mayores se pueden conformar uniendo fragmentos

- **Ofrecen servicio de preparación o retoque del archivo para impresión:**

Si

- **De donde proviene mayormente la demanda:**

De estudiantes, y menor medida de profesionales, industria y particulares

- **Venden también las impresoras?**

De donde proviene mayormente la demanda de impresoras? Si, comercializan impresoras, quien más las demanda es la industria. También han suministrado impresoras para usos educativos en el marco del PLAN CEIBAL para UTU y algunos liceos públicos. Instituciones de enseñanza privada también han comprado impresoras e incluso la empresa brinda cursos en los colegios a estudiantes de primaria y secundaria. Se puede comprar una impresora doméstica desde U\$S 380.

- **Como visualiza el futuro de la actividad en el Uruguay a mediano y largo plazo? Y en el mundo?**

En crecimiento

- **Conoce ejemplos en el país de uso de la técnica para la producción de mobiliario?**

Si, alguna empresa de mobiliario ha demandado el servicio de impresión 3D sobre todo para maquetas.

- ***¿Es una demanda constante o han sido caso/s puntuales?***

Son todos casos puntuales pero cada vez llegan más y más.

- ***¿Conoces casos de muebles hechos en el país íntegramente impresos en 3D?***

No conozco. Solo prototipos y muestras.

- ***¿Conoces casos en que partes de una pieza de mobiliario, pieza final, se hayan hecho mediante impresión 3D? (pueden ser partes que queden ocultas como juntas o uniones)***

Si conozco. Se ha utilizado para insignias de marca, unión de partes tanto expuestas como ocultas. Es una oportunidad interesante para fabricar muebles únicos en su tipo.



Casco "Ironman" a escala 1:1, prototipo de luminarias y de soporte para cepillos de dientes

Panorama de la impresión 3D en el Uruguay: ROBTEC – www.robtec.com

- **Que técnicas y materiales ofrecen:**

Todas las que ofrece 3D SYSTEM marca que representan. Materiales: resina, nylon, metal, PLA, ABS, YESO

- **Cuál es el tamaño máximo y precisión de las piezas en cada una de ellas:**

*Hasta 150*750*550 mm, en resinas, en todos excepto metal se pueden hacer piezas más chicas y unir*

- **Ofrecen servicio de preparación o retoque del archivo para impresión:**

No

- **De donde proviene mayormente la demanda:**

De la industria automotriz y electrodomésticos pero para el mercado brasileño, en Uruguay algunos modelos médicos para planificar operaciones

- **Venden también las impresoras?**

Si, desde U\$S 1000 la doméstica.

- **Como visualiza el futuro de la actividad en el Uruguay a mediano y largo plazo? Y en el mundo?**

Por la poco desarrollo de la industria en el Uruguay la actividad es poca, puede crecer en lo doméstico y lo médico. En el mundo creo que se va a llegar a la producción a demanda y personalizada con las impresoras 3D.

- **Conoce ejemplos en el país de uso de la técnica para la producción**

de mobiliario?

Para estudiantes para prototipos, para sustitución de alguna pieza, por lo limitado de la producción nacional no es común.

- **Conoces casos en que partes de una pieza de mobiliario, pieza final, se hayan hecho mediante impresión 3D? (pueden ser partes que queden ocultas como juntas o uniones)**

Para sustitución de piezas como perillas pero es muy poco frecuente por los costos, solo se justifica en el caso de querer reponer una pieza o parte perdida tal cual era originalmente.



Pieza funcional (articulación) para prototipo; scanneo e impresión de apoyo para protección postural de mano

6 Conclusiones

Se ha pretendido a lo largo del presente trabajo contribuir a la reflexión de cómo impacta la fabricación digital en la forma en que diseñamos, producimos y comercializamos los objetos. El desarrollo futuro de la producción industrial estará cada vez en la fabricación digital y *“estas nuevas tecnologías van a provocar el mayor cambio en la naturaleza de la producción en masa desde la Revolución Industrial”*¹² Esto puede verse en los ejemplos mostrados a lo largo de este trabajo, sean estos prototipos o productos finales en cuanto a que:

- De la producción masiva se pasa a la masividad de productores, de la misma forma que se imprimió la pieza que acompaña este trabajo puede confeccionarse cualquier pieza que uno necesite para usos o necesidades específicas. Podríamos prefigurar un futuro en el que los objetos ya no se comercialicen físicamente sino que se adquiera o descargue un archivo desde la web y cada uno lo imprima en su hogar y lo adapte a sus necesidades. Lo mismo sucede a nivel industrial, por qué mantener grandes stocks de piezas con las consecuencias logísticas que esto implica si se puede ir produciendo a demanda, e incluso se pueden producir partes o herramientas a medida que se necesiten. Es por eso que la FD **no solo tiene implicancias en la construcción del objeto sino hasta en los modelos de negocios de las empresas**. Estas prefiguraciones pueden ser aún lejanas pero posibles y es por eso que se equipara la impresión 3D con la Revolución Industrial.
- Es cada vez más sencillo acceder a la impresión 3D, sea porque las impresoras (tanto domésticas como industriales) se abaratan para tener alcance masivo o porque el servicio se terceriza. Así como la técnica es nueva también las empresas que se dedican a ella se mueven en un mundo empresarial en que el alcance es global y por tanto uno puede acceder fácilmente a estos servicios vía web. Las empresas que se dedican a impresión 3D, suelen tener servicio de asesoramiento para la generación del archivo de impresión y recomendaciones de materiales a utilizar. Incluso a nivel local hay proveedores que brindan servicios de impresión 3D, venta de insumos e incluso de impresoras.

¹² Lefteri, Chris; “Así se hace. Técnicas de fabricación para diseño de producto ”

- Tal vez lo más resaltable de la FD es que estas técnicas brindan gran libertad de diseño, se puede imprimir casi cualquier forma que se haya generado por medios digitales. **Ya la forma física de los objetos no estará determinada por los tradicionales métodos de fabricación.** Esto implica para los diseñadores todo un cambio de paradigma en el que ya no tendremos que pensar en uniones, encastre, tolerancia entre las piezas porque el objeto íntegro hasta con articulaciones y movimiento puede obtenerse mediante FD. Objetos muy complejos como la lámpara Bloom (ver página 38) o el banco One Shot Stool (ver página 46) se obtienen en un solo acto de producción que es la impresión y no hay intervención de diversos oficios o técnicas como carpintería, herrería, etc sino solamente un archivo digital y una impresora. Aún es costoso y algo lento el proceso pero sin duda este será el camino de la producción industrial en el futuro.

Así como en su momento la imprenta fue hito en la producción, la línea de montaje o más cercano en el tiempo I-TUNES de APPLE modificó la industria de la música, la impresión 3D modificará profundamente la industria de la producción de objetos en general y entre ellos el mobiliario.

“...se evolucionará desde objetos únicos de exhibición hacia soluciones más prácticas y cotidianas lo cual resultará en ahorro de material y diseños con mayor conciencia ambiental”

Paul Loebach, diseñador industrial

Índice de ilustraciones

1.- Impresoras domésticas e industriales de MAKERBOT	4
2.- Diagrama de la técnica Material Jetting	10
3.- Diagrama de la técnica Binder Jetting	11
4.- Diagrama de la técnica Photopolymer Jetting	12
5.- Diagrama de la técnica Fused Deposition Modeling	14
6.- Diagrama de la técnica Selective Laser Sintering	16
7.- Diagrama de la técnica Selective Laser Melting	18
8.- Diagrama de la técnica Electron Beam Melting	20
9.- Diagrama de la técnica Estereolitografía	22
10.- Silla C1 de Patrick Jouin	24
11.- Prototipo de plantillas y zapatilla de futbol Adidas.	32
12 Prototipo del zapato deportivo Adidas Futurecraft	33
13.- Piezas del cuadro de la bicicleta Trek	33
14.- Prototipado de asiento para Toyota.	35
15.- Herramientas y plantillas de colocación realizadas en BMWo.	36
16.- Prototipo de molde para inyección	37
17.- A la derecha molde para inyección	37
18.- Impresora Fortus 900mc de Stratasys	38
19.- Lámpara Bloom de MGX	39
20 Sujetador Finger Wrench, perspectiva digital y producto ya impreso y en uso	40
21.- Silla RBM, prototipo del asiento en el proceso de terminación para pruebas funcionales	43
22.- Silla RBM terminada en variedad de colores y terminaciones	44
23.- Silla RVR	45
24.- One Shot Stool de Patrick Jouin	46
25.- One Shot Stool.	47
26.- Piezas del sistema Build to Print	48
27.- Piezas impresas en ABS del sistema Build to Print	49
28.- Ejemplo de mesa armada con piezas impresas del sistema	50
29.- Otro ejemplo de mobiliario que se puede ensamblar con las piezas del sistema Build to Print y placa de madera, en este caso una biblioteca	51
30.- Detalles de la mesa Keystones	52
31.- Pieza en ABS impresa mediante FDM	53

Bibliografía

Libros:

Lefteri, Chris, “Así se hace. Técnicas de fabricación para diseño de producto”. Editorial Blume, 2008.

Eco, Umberto; “Como se hace una tesis”. Editorial Gedisa, 2003

Artículos:

Crump, Scott; CEO Stratasys. “Direct digital manufacturing. Part one. What is digital manufacturing?”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Secure/White%20Papers/Rebranded/SSYS_WP_direct_digital_manufacturing_part_one_what_is.pdf?v=635334292812364577

Crump, Scott; CEO Stratasys. “Direct digital manufacturing. Part two. Advantages and considerations”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Secure/White%20Papers/Rebranded/SSYS_WP_direct_digital_manufacturing_part_two_advantages.pdf?v=635011144326894902

Crump, Scott; CEO Stratasys. “Direct digital manufacturing. Part three. How to identify opportunities”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Secure/White%20Papers/Rebranded/SSYS_WP_direct_digital_manufacturing_part_three_identify.pdf?v=635334289469047013

Crump, Scott; CEO Stratasys. “Direct digital manufacturing. Part four. Industries and applications”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Secure/White%20Papers/Rebranded/SSYS_WP_direct_digital_manufacturing_part_four_industries_and_applications.pdf?v=635011144452370076

Comb, Jim; Stratasys. “How to design your part for digital direct manufacturing”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Secure/White%20Papers/Rebranded/SSYS_WP_how_to_design_your_part_for_direct_digital_manufacturing.pdf?v=635011144378616300

Stratasys, “Application story: Dimension helps Noorgard bring home and office furniture to market faster”

http://www.technimoldsistemi.com/upload/files/articoli/17/Norgaard_technimoldsistemi.com.pdf

Hiemenz, Joe; Stratasys. “3D Printing jigs, fixtures and other manufacturing tools”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/White%20Papers/WP_FDM_3DPrintingJigsFixtures.pdf?v=635786234422824270

Zella, Nadav y Zonder, Lior. Precision prototyping. The role of 3D printed molds in the injection molding industry”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/White%20Papers/WP_PJ_PrecisionPrototyping.pdf?v=635786252716757192

Stratasys “Four Ways 3D Printing is Shaping Product Design and Manufacturing”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/White%20Papers/WP_FDM_FourWays.pdf?v=635786236822874538

Stratasys “In-House or Outsource?”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/White%20Papers/WP_DU_InHousevsOutsource.pdf?v=635786219435597843

Hoins, Chris; Stratasys “HOW TO JUSTIFY THE COST OF A RAPID PROTOTYPING SYSTEM”

<http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Secure/White%20Papers/SSYS-WP-JustifyingtheCostofanRPSsystem-08-14.pdf?v=635440434287974245>

Crump, Scott; CEO Stratasys. “Is now the time to try Direct digital manufacturing?”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/White%20Papers/WP_DU_TimetoTryDDM.pdf?v=635786232490045221

Schmid, Günter and Eidenschink, Ulrich; BMW Regensburg “Rapid Manufacturing WITH FDM IN JIG & FIXTURE CONSTRUCTION”

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/White%20Papers/WP_FDM_RapidManufacturing.pdf?v=635786996777338796

Materialise. “The RBM Noor, Tested to the Bone, Before it even Existed!”

<http://www.materialise.com/cases/the-rbm-noor-tested-to-the-bone-before-it-even-existed>

Materialise, estudio de casos: Adidas FutureCraft “The ultimate 3D printed personalized shoe” <http://www.materialise.com/cases/adidas-futurecraft-the-ultimate-3d-printed-personalized-shoe>

Materialise, estudio de casos: Toyota “Materialise slicing technology enables Toyota’s lightweight car seat” <http://www.materialise.com/cases/materialise-slicing-technology-enables-toyota-s-lightweight-car-seat>

Stratasys, estudio de casos de uso de bienes de consumo: Cool Gear “Bringing imaginative products to market” <http://www.stratasys.com/resources/case-studies/consumer-goods/cool-gear?returnUrl=http://www.stratasys.com/resources/case-studies?search=cool%20gear>

Stratasys, “A new mindset in product design. 3D printing can help bring better products to market faster” <http://www.stratasys.com/resources/white-papers/new-mindset-in-product-design>

Design Milk, Keystones by Studio Minale Maeda, <http://design-milk.com/keystones-studio-minale-maeda/>

Stratasys, estudio de casos de uso de bienes de consumo: Adidas <http://www.stratasys.com/es/resources/case-studies/consumer-goods/adidas>

Stratasys, estudio de casos de uso de bienes de consumo: “Trek acelera los ciclos de diseño con la impresora Object 3D” <http://www.stratasys.com/es/resources/case-studies/consumer-goods/trek-wind-tunnel>

Stratasys, estudio de casos de uso de bienes de consumo: Graco <http://www.stratasys.com/resources/case-studies/commercial-products/graco>

Stratasys, estudio de casos de bienes de consumo: SAP

<http://www.stratasys.com/resources/case-studies/commercial-products/sap>

Design and construct your own furniture with 3D printed joints, artículo de Piotr Boruslawski en <http://www.designboom.com/technology/olle-gellert-3d-printed-joints-07-29-2015/>

“Here´s why 3d printing needs more metal” artículo de Andrew Zalewski en <http://fortune.com/2015/11/11/metals-for-3d-printing/>

“3D Printed RvR Chair is a Finalist for Dutch Design Award”, artículo de Clare Scott en 3DPrint.com <http://3dprint.com/101500/dutch-design-award-rvr-chair/>

Additively, “Learn about 3D printing” <https://www.additively.com/en/learn-about/3d-printing-technologies>

Páginas web:

<http://www.dirkvanderkooij.com/collections/collection/products/rvr-chair>

<http://www.stratasys.com/>

<http://www.freedomofcreation.com/>

<http://www.wohlersassociates.com/press54.htm>

<https://www.thingiverse.com/>

<http://www.materialise.com/>

<https://mgxbymaterialise.com/>

<http://www.3dsystems.com/>

<http://cubify.com/>

<https://www.additively.com/en/>

Videos:

Entrevista al diseñador de RVR CHAIR, Dirk Van der Kooij en “Dutch design Daily”

<http://dutchdesigndaily.com/new/rvr-chair/>

<http://www.radform.com/products/rvr-chair.html>

One Shot Stool <https://i.ytimg.com/vi/V-C52QByz7k/maxresdefault.jpg>, Collections in Motion: One Shot.MGX - YouTube

Crédito de las imágenes

- 1.- <http://store.makerbot.com/>
<https://www.additively.com/en/learn-about/3d-printing-technologies>
- 2.- <https://www.additively.com/en/learn-about/material-jetting>
- 3.- <https://www.additively.com/en/learn-about/binder-jetting>
- 4.- <https://www.additively.com/en/learn-about/photopolymer-jetting>
- 5.- <https://www.additively.com/en/learn-about/fused-deposition-modeling>
- 6.- <https://www.additively.com/en/learn-about/laser-sintering>
- 7.- <https://www.additively.com/en/learn-about/laser-melting>
- 8.- <https://www.additively.com/en/learn-about/electron-beam-melting>
- 9.- <https://www.additively.com/en/learn-about/stereolithography>
- 10.- Tomado del libro “Así se hace” pág. 220. Autor: Chris Lefteri, Ed. Blume, primera edición en español, 2008
- 11.- <http://www.stratasys.com/es/resources/case-studies/consumer-goods/adidas>
- 12.- <http://www.materialise.com/cases/adidas-futurecraft-the-ultimate-3d-printed-personalized-shoe>
- 13.- <http://www.stratasys.com/es/resources/case-studies/consumer-goods/trek-wind-tunnel#sthash.0r5o84YT.dpuf>
- 14.- <http://www.materialise.com/cases/materialise-slicing-technology-enables-toyota-s-lightweight-car-seat>
- 15.- Tomado de Hiemenz, Joe; Stratasys. “3D Printing jigs, fixtures and other manufacturing tools”
- 16.- Tomado de Zella, Nadav y Zonder, Lior. Precision prototyping. The role of 3D printed molds in the injection molding industry”
- 17.- Tomado de Zella, Nadav y Zonder, Lior. Precision prototyping. The role of 3D printed molds in the injection molding industry”
- 18.- Tomado de Crump, Scott; CEO Stratasys. “Direct digital manufacturing. Part four. Industries and applications”
- 19.-
<https://mgxbymaterialise.com/limited-editions/mgxmodel/detail/detail/71>
<http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.materialise.com/blog/wp-con->

tent/uploads/2014/03/7781637608_4396b3fc14_b.jpg&imgrefurl=http://www.materialise.com/blog/montreal-museum-fine-arts-acquires-bloom/&h=768&w=1024&tbid=du6idu8mUtRoAM:&docid=ATFI8FMJF2IMqM&ei=pp9bVuaBE8zWmwHT15XYDQ&tbm=isch&ved=0ahUKEwjm7L2G-bbJAhVM6yYKHdNrBdsQMwgeKAQwBA,
<http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=https://victoriajjacksonglass.files.wordpress.com/2011/09/p1080970.jpg&imgrefurl=https://victoriajjacksonglass.wordpress.com/2011/09/28/teleporting-us-into-the-next-industrial-revolution/p1080970/&h=3648&w=2736&tbid=3Vx2Yi8RSjTPGM:&docid=P1euMg5ZStLU7M&ei=pp9bVuaBE8zWmwHT15XYDQ&tbm=isch&ved=0ahUKEwjm7L2G-bbJAhVM6yYKHdNrBdsQMwgfKAUwBQ>,
<http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=https://i.ytimg.com/vi/Pes3ZWjotFo/maxresdefault.jpg&imgrefurl=https://www.youtube.com/watch?v=3DPes3ZWjotFo&h=1080&w=1920&tbid=Z2OEtW8lZWfouM:&docid=0D2Z4c0aK5auUM&ei=pp9bVuaBE8zWmwHT15XYDQ&tbm=isch&ved=0ahUKEwjm7L2G-bbJAhVM6yYKHdNrBdsQMwgaKAAwAA>,
<https://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fassets.inhabitat.com%2Fwp-content%2Fblogs.dir%2F1%2Ffiles%2F2012%2F08%2FBloom-Table-Lamp-Patrick-Jouin-MGX-3.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Finhabitat.com%2Fpatrick-jouins-3d-printed-bloom-table-lamp-opens-like-a-flower%2F&docid=XrEzMXy0-uzq2M&tbid=qvBWZDbV1osdyM%3A&w=537&h=426&ved=0ahUKEwiF9fjN-bbJAhWFWSYKHQWkDclQxiAIBDAC&iact=c&ictx=1>
20.- <http://www.thingiverse.com/thing:947423/#files>
21.- http://www.materialise.com/sites/default/files/img_2705_0.jpg
22.- <http://www.materialise.com/sites/default/files/slide-1.jpg>
23.-
<http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.designindaba.com/sites/default/files/node/news/18566/dirk-van-der-kooijrvr2.jpg&imgrefurl=http://www.designindaba.com/articles/creative-work/printed-perfection&h=1000&w=1000&tbid=KGWrtQpRKR2hnM:&docid=p20Dfn8gpPOfM&ei=zaBbVtCUHoTImAG59bqYCA&tbm=isch&ved=0ahUKEwiQr56T-rbJAhUEJCYKHbm6DoMQMwghKAcwBw>,
<http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.theinteriordesign.it/img/articoli/>

[RvR-Chair-Natural-Dirk-Vander-Kooij-](#)

[021415961340.jpg&imgrefurl=http://www.theinteriordesign.it/en/article/rvr-chair-3d-design-at-its-](#)

[best/777&h=992&w=992&tbnid=rhBG8nXNa4L3rM:&docid=hVhbkglslN1JOM&ei=zaBbVtCUHoTImAG59bqYCA&tbm=isch&ved=0ahUKEwiQr56T-](#)

[rbJAhUEJCYKHbm6DoMQMwgiKAgwCA,](#)

[http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.radform.com/media/catalog/product/cache/1/thumbnail/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/s/t/stackable_rvr_chair_s_back.jpg&imgrefurl=http://www.radform.com/products/rvr-](#)

[chair.html&h=1200&w=800&tbnid=8Pie27SeBXfeyM:&docid=7dWYQNf-](#)

[b9fMvM&itg=1&ei=zaBbVtCUHoTImAG59bqYCA&tbm=isch&ved=0ahUKEwiQr56T-rbJAhUEJCYKHbm6DoMQMwgckAlwAg](#)

- 24.-

[http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=https://cdn.nostraforma.com/cache/1400x1400/881d88f6173d5ef9c7ada42de77d60b2.jpg&imgrefurl=https://www.nostraforma.com/en/mgx-one-shot-stool-p-](#)

[14914.html&h=1400&w=1400&tbnid=syGzTCOyn_y9IM:&docid=KVoG1VVnwra5XM&ei=1KFbVvKHIIPIImAH33IulDA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjywdSQ-7bJAhUDJCYKHxfuAsEQMwgaKAAwAA](#)

- 25.-

[http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=https://images.collection.cooperhewitt.org/51157_5fc6271c3eb36bb8_b.jpg&imgrefurl=https://collection.cooperhewitt.org/object/s/18705701/&h=1024&w=1024&tbnid=RKbtWP96xxKQIM:&docid=P-n-](#)

[erf6zrC52M&ei=1KFbVvKHIIPIImAH33IulDA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjywdSQ-7bJAhUDJCYKHxfuAsEQMwglKAswCw](#)

[http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.popsoci.com/sites/popsoci.com/files/styles/large_1x_/public/import/2013/images/2008/02/One_Shot_Stool.jpg%253Fitok%253Dml5BX7xf&imgrefurl=http://www.popsoci.com/entertainment-](#)

[gaming/article/2008-02/science-design-](#)

[art&h=616&w=2000&tbnid=Kr8twPJOWmW0_M:&docid=HKfyhh-](#)

[esi5CkM&ei=1KFbVvKHIIPIImAH33IulDA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjywdSQ-7bJAhUDJCYKHxfuAsEQMwgdKAMwAw](#)

[http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.patrickjouin.com/data/projets_2632c/fiche/92/visuel-emblematicue_one_shot_-_mgx_-_agence_patrick_jouin_id_-_credit_thomas_duval_3_d7830.jpg&imgrefurl=http://www.patrickjouin.com/en/projects/1326-one-](http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.patrickjouin.com/data/projets_2632c/fiche/92/visuel-emblematicue_one_shot_-_mgx_-_agence_patrick_jouin_id_-_credit_thomas_duval_3_d7830.jpg&imgrefurl=http://www.patrickjouin.com/en/projects/1326-one-shot.html&h=900&w=1600&tbnid=tc5IUqGCzMK83M:&docid=LXGcuxjEO9WT2M&ei=1KFbVvKHIIPImAH33luIDA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjywdSQ-7bJAhUDJCYKHxfuAsEQMwgckAlwAg)

[one-](http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.patrickjouin.com/data/projets_2632c/fiche/92/visuel-emblematicue_one_shot_-_mgx_-_agence_patrick_jouin_id_-_credit_thomas_duval_3_d7830.jpg&imgrefurl=http://www.patrickjouin.com/en/projects/1326-one-shot.html&h=900&w=1600&tbnid=tc5IUqGCzMK83M:&docid=LXGcuxjEO9WT2M&ei=1KFbVvKHIIPImAH33luIDA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjywdSQ-7bJAhUDJCYKHxfuAsEQMwgckAlwAg)

[shot.html&h=900&w=1600&tbnid=tc5IUqGCzMK83M:&docid=LXGcuxjEO9WT2M&ei=1KFbVvKHIIPImAH33luIDA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjywdSQ-](http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.patrickjouin.com/data/projets_2632c/fiche/92/visuel-emblematicue_one_shot_-_mgx_-_agence_patrick_jouin_id_-_credit_thomas_duval_3_d7830.jpg&imgrefurl=http://www.patrickjouin.com/en/projects/1326-one-shot.html&h=900&w=1600&tbnid=tc5IUqGCzMK83M:&docid=LXGcuxjEO9WT2M&ei=1KFbVvKHIIPImAH33luIDA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjywdSQ-7bJAhUDJCYKHxfuAsEQMwgckAlwAg)

[7bJAhUDJCYKHxfuAsEQMwgckAlwAg](http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.patrickjouin.com/data/projets_2632c/fiche/92/visuel-emblematicue_one_shot_-_mgx_-_agence_patrick_jouin_id_-_credit_thomas_duval_3_d7830.jpg&imgrefurl=http://www.patrickjouin.com/en/projects/1326-one-shot.html&h=900&w=1600&tbnid=tc5IUqGCzMK83M:&docid=LXGcuxjEO9WT2M&ei=1KFbVvKHIIPImAH33luIDA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjywdSQ-7bJAhUDJCYKHxfuAsEQMwgckAlwAg)

[https://mgxbymaterialise.com/principal-collection/families/mgxmodel/detail/detail/45](http://www.google.com.uy/imgres?imgurl=http://www.patrickjouin.com/data/projets_2632c/fiche/92/visuel-emblematicue_one_shot_-_mgx_-_agence_patrick_jouin_id_-_credit_thomas_duval_3_d7830.jpg&imgrefurl=http://www.patrickjouin.com/en/projects/1326-one-shot.html&h=900&w=1600&tbnid=tc5IUqGCzMK83M:&docid=LXGcuxjEO9WT2M&ei=1KFbVvKHIIPImAH33luIDA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjywdSQ-7bJAhUDJCYKHxfuAsEQMwgckAlwAg)

<https://i.ytimg.com/vi/V-C52QByz7k/maxresdefault.jpg>, Collections in Motion:

[One_Shot.MGX - YouTube](https://i.ytimg.com/vi/V-C52QByz7k/maxresdefault.jpg)

26.- <http://www.designboom.com/wp-content/uploads/2015/07/olle-gellert-3D-printed-joint-collection-designboom-04-818x866.jpg>

27.- <http://www.designboom.com/wp-content/uploads/2015/07/olle-gellert-3D-printed-joint-collection-designboom-05-818x1227.jpg>

28.- <http://www.designboom.com/wp-content/uploads/2015/07/olle-gellert-3D-printed-joint-collection-designboom-15-818x965.jpg>

29.- <http://www.designboom.com/wp-content/uploads/2015/07/olle-gellert-3D-printed-joint-collection-designboom-02-818x721.jpg>

30.- <http://www.deidigital.com/wp-content/uploads/2014/04/keystones-1.png>

<http://www.deidigital.com/wp-content/uploads/2014/04/keystones-1.png>

<http://www.deidigital.com/wp-content/uploads/2014/04/keystones-1.jpg>

<http://www.deidigital.com/keystones/keystones-5/>

31.- Propia, año 2014

Imágenes de trabajos de las empresas locales:

CRYOS 3D, pág.: 55

https://www.facebook.com/419207734867480/photos/pb.419207734867480.-2207520000.1448838906./512060008915585/?type=3&src=https%3A%2F%2Fcontent-mia1-1.xx.fbcdn.net%2Fhphotos-frc3%2Fv%2Ft1.0-9%2F1959600_512060008915585_468184373_n.jpg%3Foh%3Dea845dcd512288cfdc5d1efc0aaab3b1%26oe%3D56E44365&size=500%2C333&fbid=512060008915585

https://www.facebook.com/419207734867480/photos/pb.419207734867480.-2207520000.1448838906./512059995582253/?type=3&src=https%3A%2F%2Ffbcdn-sphotos-e-a.akamaihd.net%2Fhphotos-ak-xft1%2Fv%2Ft1.0-9%2F1779786_512059995582253_447494124_n.jpg%3Foh%3D092a46a581333b6725c7be5890f5e0f0%26oe%3D56DBED0F%26_gda_%3D1457029920_79906ba2c297b3e39321aedef2585feac&size=500%2C333&fbid=512059995582253
https://www.facebook.com/419207734867480/photos/pb.419207734867480.-2207520000.1448838998./426847480770172/?type=3&src=https%3A%2F%2Fcontent-mia1-1.xx.fbcdn.net%2Fhphotos-ash2%2Fv%2Ft1.0-9%2F1185462_426847480770172_109648006_n.jpg%3Foh%3D6550828f160c2441d5822e8114b55871%26oe%3D56DC43BD&size=690%2C518&fbid=426847480770172

FABRIX, pág.: 57

<https://www.facebook.com/fabrix3d/photos/pb.677009575702523.-2207520000.1448838573./932257600177718/?type=3&theater>

ROBTEC, pág.: 59

https://www.facebook.com/robtecbrasil/photos/pb.187833754594084.-2207520000.1448839229./1034012359976215/?type=3&src=https%3A%2F%2Fcontent-mia1-1.xx.fbcdn.net%2Fhphotos-xxp1%2Ft31.0-8%2F12265654_1034012359976215_1352801144359904954_o.jpg&smallsrc=https%3A%2F%2Fcontent-mia1-1.xx.fbcdn.net%2Fhphotos-xxp1%2Fv%2Ft1.0-9%2F11202863_1034012359976215_1352801144359904954_n.jpg%3Foh%3Da1836b22ca4a7db38cd5a5a65138ac5e%26oe%3D56F0CAA6&size=1936%2C1936&fbid=1034012359976215

https://www.facebook.com/robtecbrasil/photos/pb.187833754594084.-2207520000.1448839246./937076669669785/?type=3&src=https%3A%2F%2Fcontent-mia1-1.xx.fbcdn.net%2Fhphotos-xaf1%2Fv%2Ft1.0-9%2F11202956_937076669669785_1487094851025714410_n.jpg%3Foh%3D52a432b45c5c900492bfecf09e889239%26oe%3D56AD1030&size=704%2C960&fbid=937076669669785