

# "Estado del arte de la manufactura aditiva para su aplicación y estudio en la arquitectura"

Facultad de Arquitectura

Universidad De La Salle Bajío

León, Guanajuato

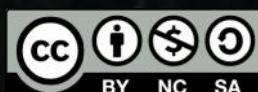
Tesis que presenta el alumno:

**Luis Arturo Pacheco Alcalá**

para obtener el grado de Licenciatura en Arquitectura



Director: Arq. José Alfredo López Padilla







## Índice

Protocolo.....	5
1. Introducción.....	9
2. Métodos de Impresión 3D.....	21
1. FDM.....	24
2. SL.....	27
3. PJ.....	29
4. SLS.....	31
5. Otros Métodos.....	32
3. Herramientas.....	35
1. Software Modelado.....	35
2. Librerías Digitales.....	46
3. Escáner 3D.....	51
4. Software de rebanado (slicing) .....	53
5. Materiales básicos de impresión FDM.....	56
6. Fabricación sustractiva .....	62
4. Aplicaciones en Arquitectura, Diseño y Construcción .....	64
1. Diseño procesal, paramétrico y generativo.....	64
2. Biomímesis/biomimética .....	73
3. Métodos constructivos mediante la impresión 3D.....	77
5. Conclusiones y recomendaciones.....	90
6. Anexos.....	92
7.-Bibliografía.....	102

## Protocolo

### Subtítulo:

"Aplicaciones de la Manufactura Aditiva como herramienta de fabricación y diseño en la arquitectura."

### Origen del proyecto:

- Durante la investigación realizada se encontró en México poca documentación del tema así como bibliografía actualizada y adecuada sobre la manufactura aditiva.
- Esta es una tecnología disruptiva que está cambiando los procesos de diferentes industrias.
- Cuento con la experiencia e interés de desarrollar y documentar esta tecnología para su propagación en México.
- Es una tecnología que avanza rápidamente, la construcción popular en México está retrasada tecnológicamente.

### Definición del problema:

La manufactura aditiva es una nueva tecnología, existen pocas fuentes en español que documenten su uso, esto dificulta y limita la aplicación y evolución de esta en la arquitectura.

### Justificación:

La manufactura aditiva evoluciona de forma exponencial y para poder competir como profesionistas en un mundo en el que la brecha de lo digital y lo físico se acorta, es importante tener el conocimiento de esta tecnología, sus aplicaciones, sus prácticas y su manejo.

La manufactura aditiva tiene la capacidad de cambiar los métodos y sistemas actuales de manufactura, comercialización y distribución, por lo que es importante conocer las implicaciones de esto para aprovecharlas en los procesos pertinentes a la arquitectura.

Esta investigación del estado del arte es el antecedente para el desarrollo de un método constructivo a partir de esta tecnología.

#### **Delimitación del problema:**

Al existir poca documentación en español de este tema se recurrirá a fuentes globales en diversos idiomas, principalmente por medios digitales.

La información recopilada es desde los inicios de esta, hasta el año 2014.

Se realizó una investigación mediante la recopilación de información de diversas fuentes, así como la documentación empírica de ejemplos prácticos sobre la tecnología de manufactura aditiva, sus aplicaciones, materiales, inicios y el proceso de esta.

**Objetivos:**

- Realizar una investigación del estado del arte de las tecnologías de manufactura aditiva.
- Determinar y explicar algunas de las aplicaciones de esta tecnología en los diferentes campos de la arquitectura y construcción.

**Hipótesis del trabajo:**

La construcción tradicional genera algunas limitaciones en el trabajo del arquitecto. Mediante la manufactura aditiva se puede hacer más eficiente, optimizar y facilitar el trabajo del arquitecto, también genera nuevas dinámicas, procesos y formas de hacer arquitectura.

**Agradecimientos:**

A mis padres, por su ejemplo, paciencia y determinación para educarme.

A incontables personas han contribuido con su experiencia y conocimiento para formarme profesionalmente.

## Capítulo I: Introducción

Según el diccionario de Oxford la impresión 3D "... es un proceso de fabricación de un objeto físico a partir de un modelo digital, frecuentemente mediante la adición de capas de algún material"<sup>1</sup>. Esta también es conocida como manufactura aditiva (AM), prototipado rápido (RP) o prototipado 3D.

Figura 0001  
Primera Impresora 3D inventada por Chuck Hull  
[http://www.pc当地滑板mag.com/slideshow\\_viewer/0,3253,l=289174&a=289174&po=1,00.asp](http://www.pc当地滑板mag.com/slideshow_viewer/0,3253,l=289174&a=289174&po=1,00.asp)  
21 /11 / 2013



La primera impresión 3D exitosa fue realizada el 9 de marzo de 1983<sup>2</sup> por Charles (Chuck) Hull, co-fundador de 3D Systems y actualmente vicepresidente ejecutivo y director de tecnología de dicha empresa. Chuck Hull desarrolló la tecnología de estereolitografía , uno de los métodos para imprimir en 3D, también reconocida por las siglas SL. Cabe resaltar que actualmente es la empresa líder en impresión 3D, por ingresos hasta por 90.5 millones de dólares en el tercer trimestre del 2012<sup>3</sup>.

1 Oxford Dictionary (<http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/3D-printing>)

2 Lipson, Hod 3D printing and additive manufacturing Journal <http://www.liebertpub.com/3dp>

3 <http://3dprintingindustry.com/2012/11/09/two-largest-3d-printer-manufacturers-in-comparison-for-q3-results/>



Figura 0002  
Primera Impresora 3D  
inventada por Bill Masters  
<http://www.3ders.org/articles/20131126-greenville-inventor-holds-patents-for-first-3d-printers.html>  
26 noviembre 2013

Aunque se le atribuye a Chuck Hull, Existe controversia en cuanto a la invención de la impresión 3D, ya que Bill Masters cuenta con una patente llamada "sistema y proceso de manufactura automatizado por computadora", esta patente fue presentada primero que la desarrollada por Chuck Hull, el 2 de Julio de 1984<sup>4</sup>. Este aparato funciona mediante un sistema, explicado por Masters, como algo similar a "bolitas de papel ensalivadas" disparadas de tal manera en la que una tras otra empiezan a formar un sólido<sup>5</sup>, Esto es conocido como Computer Aided Modeling Machine (CAMM3), este método de impresión no ha sido tan exitoso comercialmente como la estereolitografía y otros métodos de impresión 3D, tampoco hay registro de la primera impresión exitosa, probablemente estas son las razones por las que no se reconoce a Bill Masters como el inventor de la impresión 3D.

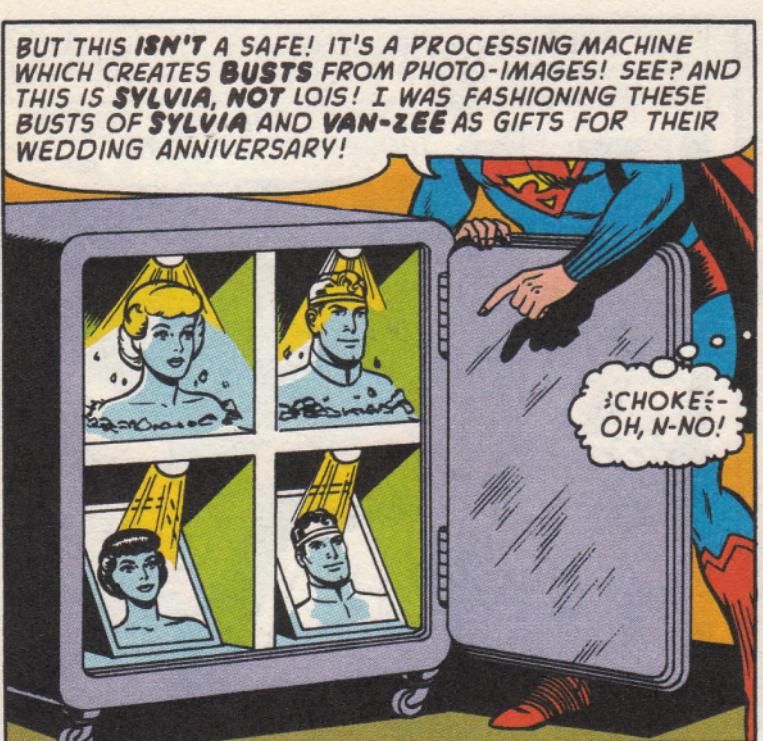


Figura 0003  
El primer "concepto" de impresión 3D y escaneo 3D fue concebido por "Superman" en un cómic de 1964  
<http://3dprintingsystems.com/who-invented-3d-printing/>  
[http://www.weirduniverse.net/blog/comments/superman\\_invents\\_3-d\\_printing/](http://www.weirduniverse.net/blog/comments/superman_invents_3-d_printing/)  
3/12/2013

4 Patente # US 4,665,492 (ANEXO 1)

5 Artículo : <http://www.3ders.org/articles/20131126-greenville-inventor-holds-patents-for-first-3d-printers.html>

Esta tecnología está evolucionando exponencialmente, tanto en su uso como en sus aplicaciones, y ya ha empezado a ganarle terreno a los métodos de fabricación tradicionales. La arquitectura puede aprovecharse del conocimiento que otras industrias generan en torno a esta, para aplicar este en los procesos que esta área aplica.



Figura 0004

Base Lunar diseñada por Foster+Partners utilizando impresión 3D, un proyecto de estas características requeriría la colaboración de múltiples disciplinas.  
<http://www.dezeen.com/2013/01/31/foster-partners-to-3d-print-buildings-on-the-moon/>  
10/12/2013

Algunas de las principales industrias que aprovechan esta tecnología y sus aplicaciones son:

- Aeroespacial, para la fabricación de modelos y herramientas más complejas, ligeras y durables.
- Arquitectura e ingeniería, para verificar estructuras, revisión del diseño, fabricación del modelo conceptual, fabricación de modelos a escala y fabricación de elementos constructivos
- Automotriz, para verificar el diseño, visualización del modelo y la fabricación de componentes, mecanismos y motores.

- Militar, para la fabricación de partes y mecanismos pequeños, reducción de inventarios en campo de batalla, fabricación de prototipos de armas, y construcción in situ de bases militares.
- Educación, para la fabricación y prototipo de proyectos, la experimentación práctica y fabricación de material didáctico.
- Entretenimiento, para la fabricación de juguetes y juegos, figuras de acción, prototipado de personajes, fabricación de instrumentos musicales y proyectos de robótica.
- Salud, para la fabricación y personalización de prótesis, aparatos auditivos, aparatos auxiliares para respirar, prototipo y fabricación de instrumentos médicos. Se prevé la fabricación de órganos y tejidos con la impresión 3D.
- Manufactura, para acelerar el ciclo de desarrollo del producto, fabricación de moldes, utilaje, prototipos y producto final.

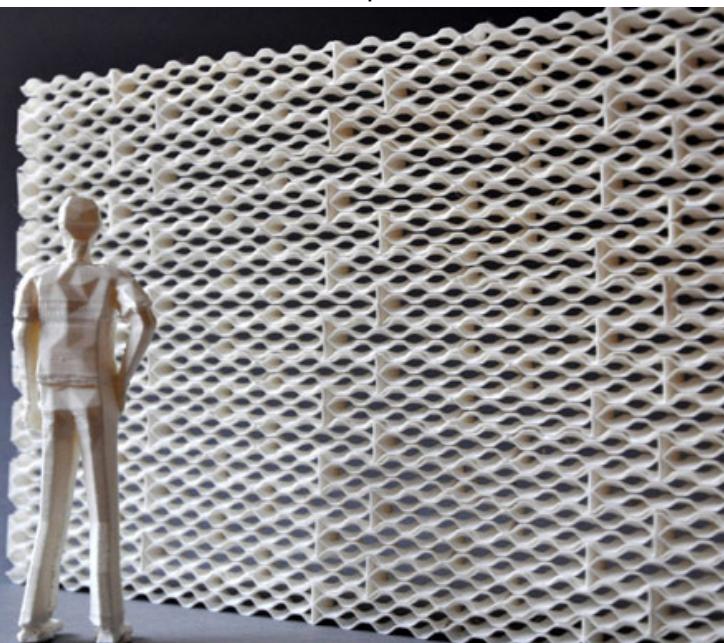


Figura 0005  
Bloques constructivos de cerámica impresos en 3D.  
<http://www.dezeen.com/2012/10/31/building-bytes-3d-printed-bricks-brian-peters/>  
11/12/2013

Figura 0006  
"Stone Spray"

Impresión en arena de una estructura "orgánica"  
fabricada por estudiantes del Instituto de  
Arquitectura Avanzada de Cataluña  
<http://www.dezeen.com/2012/08/22/stone-spray-robot-by-anna-kulik-inder-shergill-and-petr-novikov/>  
10/12/2013



Algunas de sus principales ventajas en comparación a otros métodos de manufactura son:

- Mayor grado de complejidad en la geometría del objeto, ya que la impresión 3D permite fabricar objetos que pueden ser muy costosos o imposibles de fabricar con los métodos tradicionales.
- Reducción en la cantidad de desperdicio, la impresión 3D reduce el desperdicio de materia prima hasta en un 100%, ya que si el objeto y el método seleccionado lo permite el desperdicio es nulo.
- Fabricación de objetos y mecanismos pre-ensamblados, depositar capa por capa el objeto, logra que este pueda ensamblarse en el proceso de fabricación, algunos de estos mecanismos son imposibles de fabricar con métodos tradicionales.



Figura 0007

"Emmet's Gear Bearing"

Este sistema de engranes de helicoidal doble interno pre-ensamblado es imposible de fabricar con métodos tradicionales de manufactura, sería imposible hacer un ensamble de los componentes si estos se fabricaran por separado.

<http://www.thingiverse.com/thing:53451>

22/02/2015

-Almacenamiento digital, permite la reducción de almacenes de utilaje y de productos terminados en su caso. Hace que la distribución y fabricación pueda ser realizada por el usuario o un distribuidor local del producto. Esto abarata los procesos de fabricación, comercialización y distribución de producto.

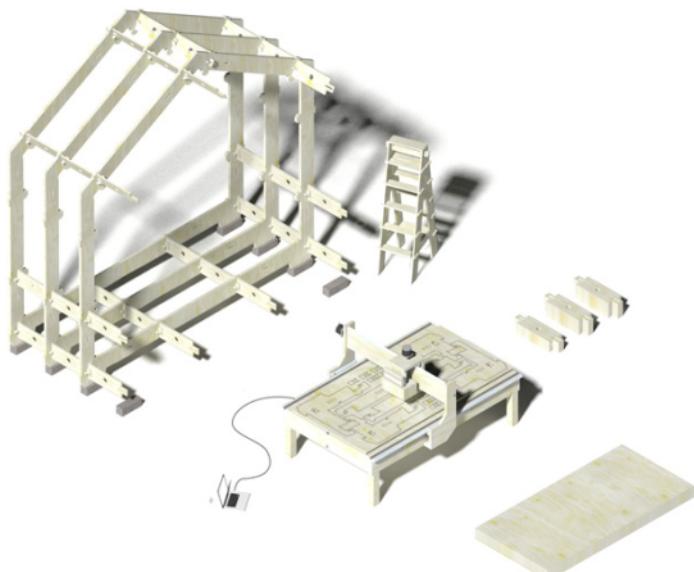


Figura 0008

WikiHouse cuenta con una librería digital abierta, en la que los usuarios pueden descargar diferentes modelos para su fabricación en corte láser o CNC, promoviendo el diseño colaborativo y la manufactura local de estos modelos.

<http://www.oi-london.org.uk/project/15002-wikihouse>

21/02/2015

La impresión 3D hace algunos años era exclusiva de centros de investigación, grandes empresas, universidades y personas con poder adquisitivo económico elevado, también influía el hecho de que los prototipos o impresiones estaban limitados a ser objetos costosos y únicamente útiles como prototipos no funcionales, es por esto que se le conocía en un principio como prototipado rápido (RP). En los últimos años el vencimiento de patentes clave, la reducción de costos y las nuevas aplicaciones han logrado impactar la popularidad de esta tecnología. Estas ya pueden ser adquiridas como impresoras 3D personales o de escritorio. En una encuesta realizada a una comunidad de usuarios de impresoras 3D el 31 de mayo del 2012, los resultados arrojaron que la mayor parte de esta comunidad utiliza una impresora 3D "RepRap", la cual posee un diseño libre y gratuito, esta utiliza el método de impresión de modelado por deposición fundida (FDM).

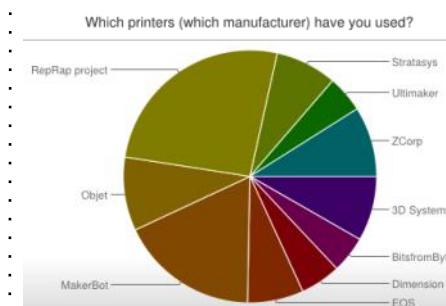
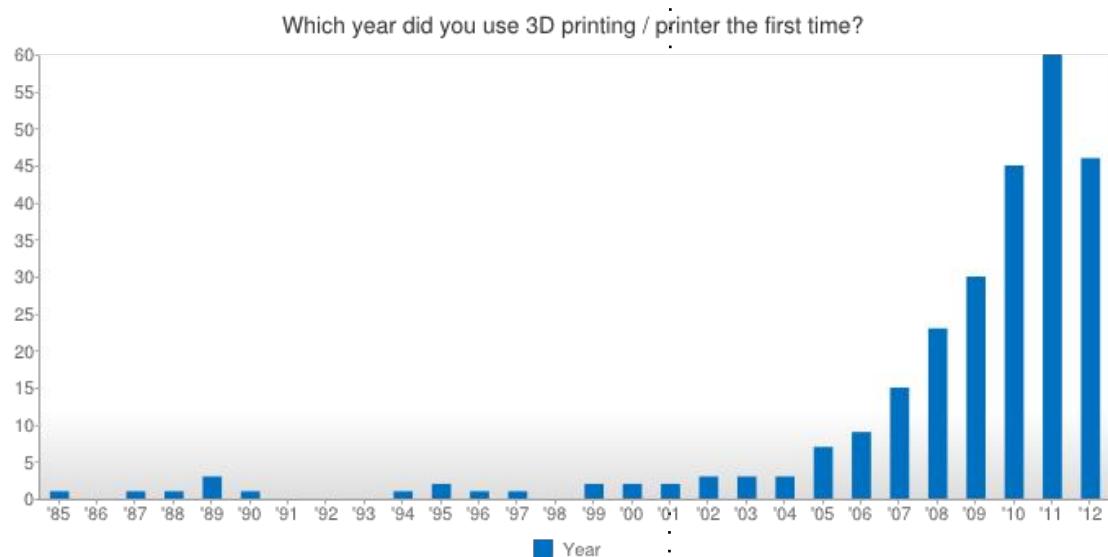


Figura 0009  
Encuesta realizada a la  
comunidad usuarios de  
Impresoras 3D en 2012 acerca del  
tipo de impresora 3D que utilizan  
<http://surveys.peerproduction.net/2012/05/manufacturing-in-motion/3/>  
28/11/2013

Figura 0010  
En la misma encuesta se les  
pregunto a los participantes en  
que año utilizaró por primera vez  
una impresora 3D, los  
resultados indican que la  
mayoría utilizo esta tecnología  
cuando algunas patentes que  
protegen esta tecnología  
comenzaron a vencer.  
<http://surveys.peerproduction.net/2012/05/manufacturing-in-motion/3/>  
28/11/2013



Este proyecto fue fundado por Adrian Bowyer en el 2007, y ha permitido grandes innovaciones así como el desarrollo de nuevas empresas como "MakerBot" que el 19 de junio del 2013 fue adquirida por Stratasys en 403 MDD<sup>7</sup>. RepRap es "la primera máquina autorreplicante de uso general de la humanidad"<sup>8</sup> con una licencia GNU General Public Licence<sup>9</sup> que permite al usuario modificar, copiar, estudiar y fabricar versiones de esta impresora 3D sin retribución económica al creador del proyecto. Este es un proyecto colaborativo que toma como ejemplo la teoría de la evolución de Darwin en la cual, la comunidad puede mejorar los diseños actuales permitiendo una evolución de la impresora 3D de manera iterativa con la colaboración de los usuarios, siendo estos los que general los cambios en los diseños. La impresión 3D es cada vez mas accesible económicamente, teniendo un precio de \$12,350.00 MXN en México<sup>10</sup>. Esto ha facilitado que esta tecnología sea accesible a un mayor número de usuarios.

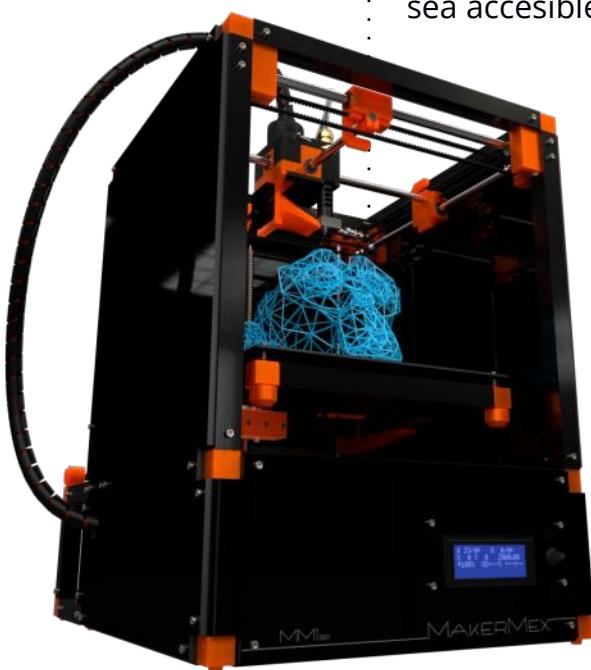


Figura 0009  
"Impresora 3D MM1"

Esta impresora 3D desarrollada y fabricada en México es parte del proyecto RepRap al ser de licencia "Open Source" y ser capaz de fabricar los componentes de otra impresora 3D. A diferencia de otras versiones de RepRap la MM1 permite mediante un sistema modular imprimir una mayor diversidad de materiales y opciones para personalizar la funcionalidad del equipo.

[www.makermex.com](http://www.makermex.com)

21/02/2015

7 Artículo <http://money.cnn.com/2013/06/19/technology/makerbot-stratasys-merger/>

8 Pagina oficial : <http://reprap.org/wiki/RepRap>

9 Pagina oficial <https://www.gnu.org/copyleft/gpl.html> (ANEXO 2)

10 Pagina oficial: [www.makermex.com](http://www.makermex.com)

Entre los encuestados más del 40% ha participado en proyectos Open Source con anterioridad, y del resto al 21% le gustaría participar en un proyecto de este tipo. Las impresoras 3D son comparadas a menudo con la revolución de la tecnología de las computadoras personales en 1980, y de como esta se fue democratizando y economizando al punto en que hoy en día es una herramienta de uso diario para la familia promedio.

La impresión 3D para uso personal, es principalmente utilizada de la siguiente manera<sup>11</sup>:

1. Realización de modelos funcionales.
2. Objetos artísticos.
3. Impresión de refacciones.
4. Investigación y educación.
5. Producción directa

También indica que esta tecnología todavía no es adoptada por el público general, siendo para artistas, investigadores, fabricantes y makers, estos últimos son personas interesadas en modificar y entender el funcionamiento de las cosas, y son participes del movimiento DIY (do it yourself) que hace referencia a personas que les gusta hacer las cosas ellos mismos. Entre las principales características que estos buscan mejorar son:

1. La calidad del objeto impreso.
2. La velocidad de impresión.
3. El costo de los materiales .
4. Desarrollar la impresión de metales.
5. El costo de las impresoras 3D.

Un obstáculo importante son los cuellos de botella que han impedido la popularización de esta tecnología, entre los que se encuentran:

- Las impresoras 3D económicas actuales, en su mayoría ofrecen impresión únicamente en plásticos, esto limita las aplicaciones del objeto.
- La calidad de estas es relativamente baja comparada con impresoras más costosas.
- Están dirigidas a un usuario con habilidades técnicas para ajustar la impresora y no a un consumidor final sin estas habilidades.
- El tiempo para ser productivo con el software de modelado es una barrera para los usuarios sin previa experiencia en estos.
- Es considerada una tecnología difícil de manejar lo cual desanima a nuevos usuarios para integrarla en el desarrollo de sus proyectos.
- Algunas patentes que limitan la experimentación y desarrollo de nuevos métodos y aplicaciones.

Muchos proyectos surgen día con día que atacan esta problemática y se espera que los próximos años sean muy importantes para el desarrollo y esparcimiento de la impresión 3D, en parte gracias al vencimiento de patentes que limitan la evolución de esta tecnología.

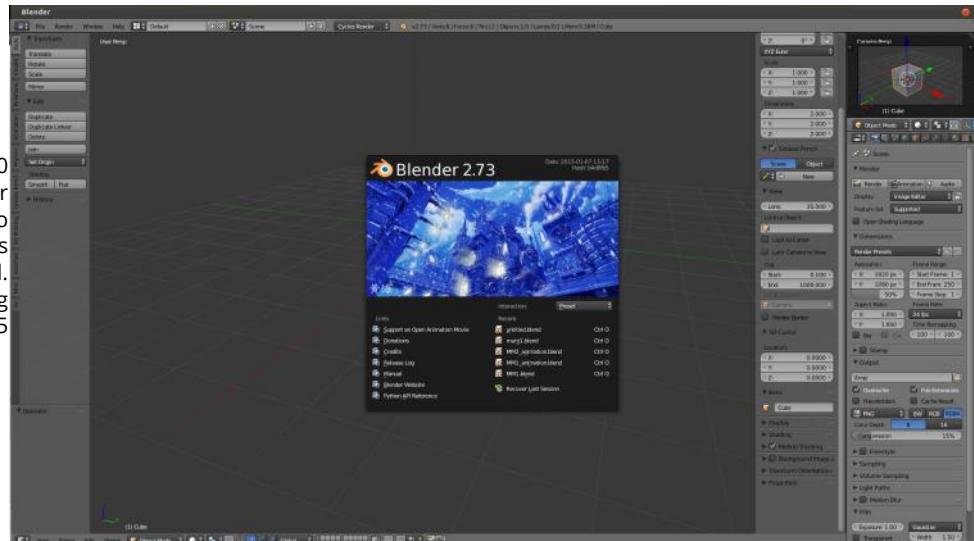


Figura 0010  
Blender

Software libre de modelado en 3D, al ser gratuito permite que un mayor número de usuarios puedan fabricar sus objetos de manera digital.  
[www.blender.org](http://www.blender.org)  
21/02/2015

Entre los proyectos que ya están atacando esta problemática sobresalen:

1. Impresoras 3D de precio menor a los 1500 USD que sean capaces de imprimir metales y aleaciones de estos <sup>11</sup>.
2. Impresoras 3D de alta resolución e incluyendo algunas de precios inferiores a los 500 USD<sup>12</sup>.
3. Las herramientas de modelado 3D cada vez son más económicas e incluso gratuitas, libres y fáciles de utilizar<sup>13</sup>, están surgiendo librerías de modelos 3D comerciales y gratuitas<sup>14</sup>.
4. El surgimiento y popularización de cursos masivos en linea y abiertos (MOOC por sus siglas en inglés) que facilitan la educación abierta y gratuita<sup>15</sup>.
5. Surgimiento de empresas que ofrecen diversos servicios como la comercialización de modelos 3D y la impresión 3D de estos a precios muy accesibles y con diversidad de materiales<sup>16</sup>.

11 Artículo: <http://gigaom.com/2013/11/12/meet-the-mini-metal-maker-a-basic-sub-1000-3d-printer-that-prints-metal/> - [http://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2013-12/mtu-sba112613.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2013-12/mtu-sba112613.php) - [http://metalbot.org/metalbot-wiki/index.php?title=Main\\_Page](http://metalbot.org/metalbot-wiki/index.php?title=Main_Page)

12 Pagina Oficial <http://www.peachyprinter.com/>

13 Pagina oficial: <http://www.blender.org/>

14 Pagina oficial: <https://www.youmagine.com>

15 Pagina oficial: <https://www.edx.org/>

16 Pagina oficial :<http://www.shapeways.com/>

La impresión 3D es, sin lugar a dudas, una tecnología disruptiva que cambiará la dinámica de la vida cotidiana, en palabras del Ing. Juan Carlos Orozco Arena, co-fundador de MakerMex, la primera empresa en fabricar y desarrollar esta tecnología en México: "Actualmente la mayoría de las impresoras 3D manejan plásticos, a mediano plazo, con la maduración de la impresión 3D en diferentes materiales, se hará posible que se utilice esta tecnología en industrias como la médica, electrónica, alimenticia, textil, automotriz, electrodomésticos, etc. Pasará de ser una tecnología para fabricación de prototipos a la fabricación en masa. Que disminuirá los pasos necesarios para fabricar un producto. Las posibilidades que la impresión 3D pueda lograr están limitadas únicamente por la imaginación de sus usuarios, entre más personas utilicen esta tecnología, más innovaciones podremos ver en la forma en que resuelven diferentes necesidades. Si una persona quiere una funda de teléfono puede imprimirla, si otra persona requiere un empaque para su tarjeta electrónica diseñada por él, también puede imprimirla". En el futuro si alguien requiere de un nuevo órgano , cocinar un platillo extranjero o construir una casa que responda a sus necesidades personales, podrán imprimirla en una impresora 3D . Por estas razones es importante conocer los procesos y métodos de la manufactura aditiva para saber ¿cómo? y ¿cuándo? aplicarlos de manera correcta en nuestros proyectos.

## Capítulo II: Métodos de impresión 3D

El desarrollo de esta tecnología en los últimos años ha sido causa del surgimiento de una gran diversidad de materiales y métodos para la impresión 3D. También ha reducido considerablemente el costo de operación de algunos métodos. En general la impresión 3D consiste en fabricar a partir de un modelo digital un objeto tangible, añadiendo capas de algún material. Según Hod Lipson, autor del libro "Fabricated: the world of 3D printing" la impresión 3D se puede dividir en dos familias<sup>17</sup>.

1.- Deposición selectiva , son aquellas que depositan, extruyen o inyectan capas de materia prima una sobre la otra para crear objetos.

Figura 0011  
Deposición selectiva de barro mediante el modulo de pastas de la impresora 3D MM1 (FDM)  
[www.makermex.com](http://www.makermex.com)  
10/12/2014



2.-Pegado selectivo, son aquellas que pegan o funden partículas de material mediante algún pegamento, láser, fuente de calor, radiación, entre otros. para generar el objeto.

Figura 0012  
Pegado selectivo mediante el método de sinterizado láser selectivo de metal  
[www.makermex.com](http://www.makermex.com)  
24/02/2015



17 Lipson, Hod. "Fabricated: the new world of 3d printing". Wiley. EUA. 2013 pg. 68

Según la ASTM (American Society for Testing and Materials) la manufactura aditiva comprende diferentes tecnologías que a su vez se definen en siete grupos principales<sup>18</sup>:

1.-VAT Photopolymerization

-SLA Stereolithography

-DLP Digital Light Processing

2.-Material Jetting

-MJM – Multijet modeling

3.-Material Extrusion

-FDM- Fused Deposition Modeling

-FFF- Fused Filament Fabrication

4.-Powder Bed Fusion

-EBM- Electron Beam Melting

-SLS- Selective Laser Sintering

-SHS - Selective Heat Sintering

-DMLS - Direct Metal Laser Sintering

5.-Binder Jetting

-PBIH- Powdered Bed Inkjet Head 3D Printing

-PP – Plaster Based 3D printing

6.-Sheet Lamination

-UC- Ultrasonic Consolidation

-LOM -Laminated Object Manufacturing

7.-Directed Energy Deposition

-LMD Laser Metal Deposition

En general los métodos de manufactura aditiva siguen el mismo proceso:

1.- CAD .- este es el desarrollo del modelo 3D digital mediante diferentes métodos o digitalizado por un escáner 3D.

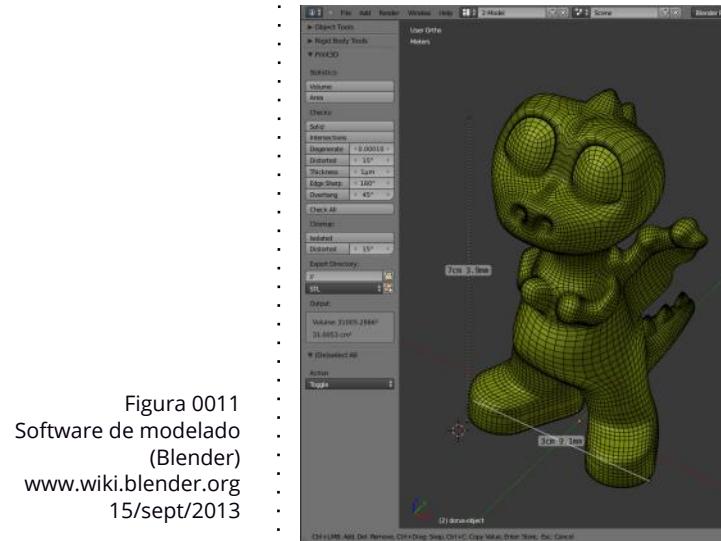


Figura 0011  
Software de modelado  
(Blender)  
[www.wiki.blender.org](http://www.wiki.blender.org)  
15/sept/2013

2.-Corte o rebanado de capas (Slicing).- El software genera el recorrido que la cabeza de impresión 3D realizará mediante un sistema de coordenadas en el espacio, comúnmente en forma de un código G. Este es similar al recorrido generado para una máquina de control numérico que realiza el recorrido en el volumen negativo para desbastar un bloque (CNC).

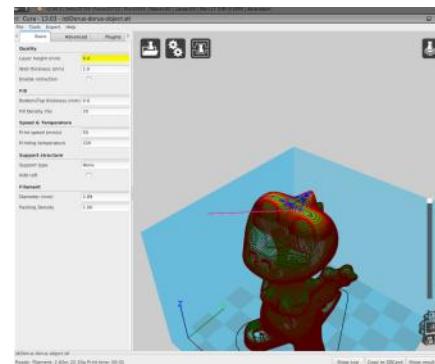


Figura 0012  
Software de "rebanado"  
(Cura).  
[www.wiki.blender.org](http://www.wiki.blender.org)  
15/sept/2013

3.- Codificador, este es el controlador de la impresora, que decodifica el código G y lo ejecuta mediante los diversos componentes de la impresora como sensores, motores, imanes, resistencias, etc. para generar el objeto impreso.



Figura 0013  
Objeto impreso  
[www.wiki.blender.org](http://www.wiki.blender.org)  
15/sept/2013

## 2.1 Modelado por deposición fundida (FDM)

### Fused Deposition Modeling

Patente # US 5121329 (ANEXO 3)

El Modelado por deposición fundida o FDM pertenece a la familia de deposición selectiva y es uno de los métodos mas utilizados y difundidos de impresión 3D, en parte debido a la relativa sencillez de su funcionamiento, la variedad de posibilidades en cuanto a los materiales que se pueden utilizar y el costo relativamente bajo de estos.

Este método fue desarrollado por S. Scott Crump y la patente fue presentada el 30 de octubre de 1989, Scott Crump es Co-Fundador de Stratasys y actualmente director de dicha empresa.

Esta tecnología contiene una cabeza extrusora móvil en los ejes "X" , "Y" y "Z", esta es suministrada de un material que se solidifica a una temperatura predeterminada y los patrones del movimiento de esta cabeza y la extrusión del material generan el objeto. Los patrones son generados y controlados por computadora. Cada capa se deposita sobre la capa inferior inmediata, esta tiene forma del corte en sección vertical del modelo y el grosor de estas capas lo determina el movimiento en el eje vertical, este se realiza cuando cada corte en sección es terminado y así deposita sucesivamente una nueva sección sobre la anterior .

Los materiales más comunes del método FDM suelen estar en presentación de filamento de 2.85mm y 1.75 mm de los cuales los mas utilizados son:

-Ácido Poliláctico (PLA). Este es un polímero biodegradable producto del ácido láctico y que puede ser creado a partir de cultivos como el maíz. Su temperatura de impresión es de 180 °C a 215°C. No genera emisiones tóxicas al ser utilizado en este rango de temperatura.

-Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS). Reconocido por su alta resistencia al impacto y por su uso en juguetes LEGO, su temperatura de impresión normalmente va de los 200°C a 240°C, este presenta un ligero olor que puede llegar a ser peligroso en altas cantidades para pequeñas mascotas o personas con dificultades respiratorias, es recomendable que el área de trabajo esté bien ventilada<sup>19</sup>.

Algunos otros materiales son:

- Termoplásticos y compuestos.
- Nylon
- Resinas
- Concreto
- Cerámica
- Barro
- Metales extruidos
- Pastas
- Cera
- Alimentos (chocolate, pasta, betún, etc)
- Células madre y Bio-Tinta
- Otros materiales que puedan ser extruidos y sean autoportantes en el proceso de impresión.

19 Página web <http://reprap.org/wiki/ABS> 15/09/2013

Tabla 0001.  
Ventajas y desventajas del  
FDM,  
elaboración propia:  
14/03/2015.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>-Gran variedad de materiales</li><li>-Funcionamiento relativamente sencillo</li><li>-Materiales económicos</li><li>-Puede fabricar modelos funcionales</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Puede requerir material de soporte, regla de los 45°</li><li>-Resolución baja-media</li><li>-Puede requerir lijado y limpieza del objeto</li></ul>

## 2.2 Estereolitografía (SL)

### Stereolithography

Patente # US 4575330 (ANEXO 4)

Este fue el primer método de impresión 3D exitoso, desarrollado por Charles Hull en 1984, a diferencia del FDM la estereolitografía esta limitada a materiales fotosensibles, regularmente un fotopolímero en estado líquido, que cuando es sometido a radiación, bombardeo de partículas o una reacción química, se solidifica y capa por capa genera el modelo.

El método es muy similar al aplicado en el FDM se genera una sucesión de secciones del objeto, pero en este caso la materia prima cubre completamente la cama de impresión y únicamente se solidifica la huella de la sección del modelo, siendo este el principio de la impresión por pegado selectivo, la materia prima sobrante en la mayoría de los casos puede ser reutilizada.

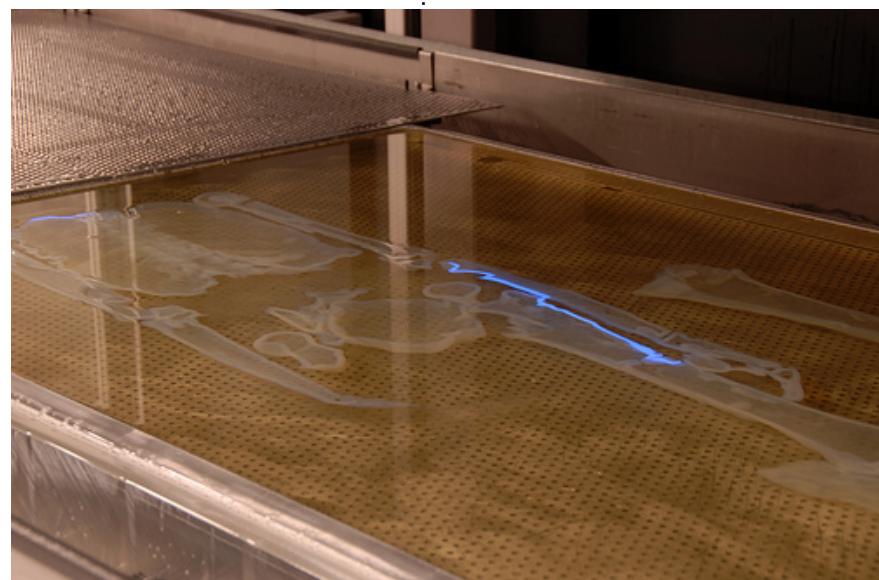


Figura 0014

Impresión por estereolitografía

<http://i.materialise.com/blog/entry/the-tv-show-bones-science-on-tv-the-largest-3d-printers-in-the-world>

14/03/2015

Las primeras impresoras 3D comerciales utilizaban este método<sup>20</sup>. Es común que el funcionamiento de estas sea mediante un láser dirigido en los ejes "X" y "Y", y una vez concluida la sección el modelo se "sumerge" en el eje "Z" para generar la tercera dimensión del modelo.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alta resolución (10 micrómetros)</li> <li>-Existen fotopolímeros con diferentes propiedades .</li> <li>-Opción de impresoras económicas actualmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Algunos fotopolímeros pueden ser tóxicos.</li> <li>-Puede requerir terminado manual como limpieza del modelo y lijado.</li> <li>-Algunos fotopolímeros requieren curado en un horno de luz UV.</li> <li>-Los fotopolímeros pueden perder rigidez y resistencia con el tiempo y suelen ser más débiles que los termoplásticos.</li> <li>-Los fotopolímeros son más costosos que los termoplásticos.</li> <li>-Actualmente únicamente se imprime con un solo material por impresión en este método.</li> </ul>

Tabla 0002  
Ventajas y desventajas de SL  
elaboración propia  
14/03/2015

20 Lipson, Hod. "Fabricated: the new world of 3d printing". Wiley.EUA.2013 pg. 73

## 2.3 Impresión Multijet (MJM/PJ)

### Multijet Modeling/Polijet

Patente # US 6259962 B1 (ANEXO 5)

Este método fue desarrollado por Hanan Gothait de Object Geometries Ltd en 1999 y utiliza uno o varios atomizadores de fotopolímero que por medio de una lámpara UV fragua el fotopolímero y solidifica las delgadas capas que llegan a ser de hasta 16 micrones de alto<sup>21</sup>. Al tener diferentes cabezales permite tener objetos hechos con diferentes tipos de fotopolímeros que a su vez tienen diferentes propiedades como transparencia, flexibilidad, dureza, etc. Esto permite que un mismo modelo este compuesto de diferente consistencia y texturas. Esta es una de las tecnologías mas costosas tanto en su mantenimiento como en materia prima, sin mencionar que los fotopolímeros están muy limitados en sus aplicaciones en objetos funcionales.

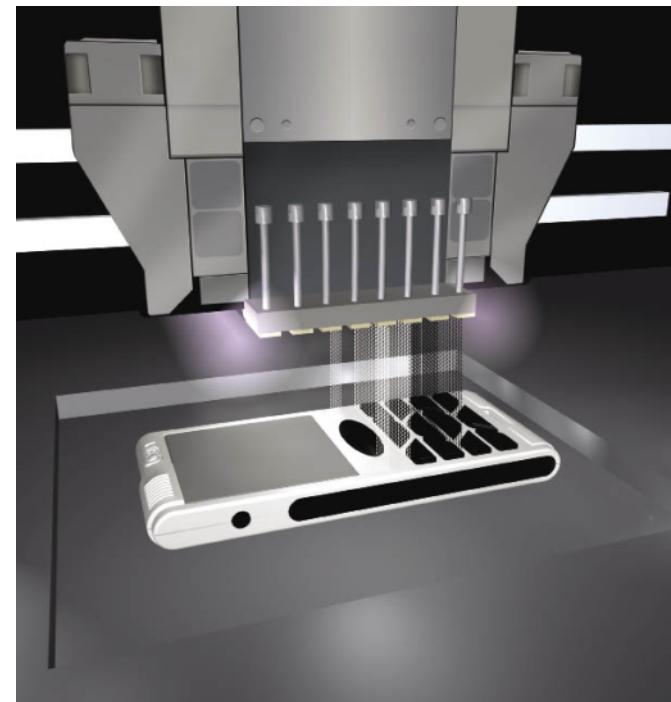


Figura 0015  
Impresión por MJM  
<http://www.makepartsfast.com/2012/05/3746/creating-materials-on-the-fly-with-multi-jet-3d-printers/>  
15/03/2015

21 Lipson, Hod. "Fabricated: the new world of 3d printing". Wiley.EUA.2013 pg. 70

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alta resolución (16 micrómetros).</li> <li>-Fotopolímero con diferentes propiedades.</li> <li>-Diferentes propiedades de fotopolímeros en un modelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Algunos fotopolímeros pueden ser tóxicos.</li> <li>-Puede requerir terminado manual como limpieza del modelo y lijado.</li> <li>-Tiempo de curado del fotopolímero.</li> <li>-Los fotopolímeros pueden perder rigidez y resistencia con el tiempo y suelen ser mas débiles que los termoplásticos.</li> <li>-Costo elevado del equipo, consumibles, mantenimiento y reparación.</li> </ul>

Tabla 0003  
 Ventajas y desventajas del  
 MJM  
 elaboración propia  
 14/03/2015

## 2.4 Sinterización Selectiva por Láser (SLS)

### Selective Laser Sintering

Patente # US 4863538 (ANEXO 6)

Este método fue inventado por Carl Deckard y Joe Beaman en 1986 dentro de la Universidad de Texas y es muy similar a la estereolitografía, pero a diferencia de esta, en lugar de utilizar un fotopolímero, utiliza un polvo comúnmente metálico que es fundido por un láser de alta potencia y capa por capa funde únicamente el área de la sección del modelo para posteriormente colocar una nueva capa de polvo que igualmente será fundida y así el proceso se repite hasta que se termina de fabricar el objeto. (ver figura 0012)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>-Impresión de metales.</li><li>-No requiere de material de soporte.</li><li>-Impresión de objetos de uso industrial.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Porosidad del objeto final.</li><li>-Un solo material por modelo</li><li>-Costo elevado del equipo, consumibles, mantenimiento y reparación.</li><li>-Requiere de entrenamiento especializado para su uso.</li></ul>

Tabla 0004  
Ventajas y desventajas del  
SLS  
elaboración propia  
14/03/2015

## 2.5 Otros métodos

### Formación de redes mediante ingeniería por láser (LENS/LMD)

#### Laser Engineered Net Shaping

Patente # US 6476343 B2 (ANEXO 7)

Desarrollado por un grupo de científicos de la corporación Sandia en Albuquerque Nuevo México en 1998, este método “sopla” polvo comúnmente metálico junto con un láser de alto poder directamente del cabezal, que al encontrarse se funde el material y se empieza a acumular formando un sólido. Esta tecnología se utiliza actualmente para generar objetos de metal de alta resistencia como aspas para turbinas de titanio con canales de enfriamiento para la industria aeroespacial<sup>22</sup>.

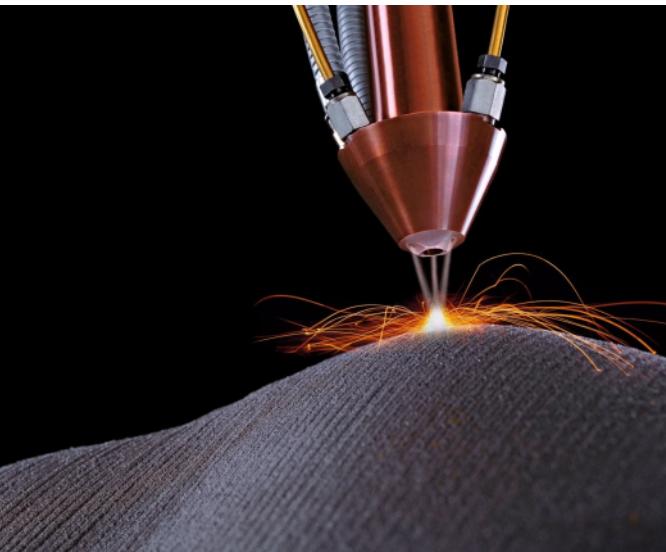


Figura 0016  
Impresión por LENS/LMD  
<http://inside3dprinting.com/3d-printing-with-metal-the-final-frontier-of-additive-manufacturing/>  
15/03/2015

22 Lipson, Hod. "Fabricated: the new world of 3d printing". Wiley. EUA. 2013 pg. 75

## Manufactura de Objetos por Laminado (LOM)

### Laminated Object Manufacturing

Patente # US 5730817 (ANEXO 8)

Desarrollado por un grupo de científicos de Helisys Inc. en 1996, este método genera un objeto mediante el súper posicionamiento de secciones a partir de láminas previamente cortadas, por ejemplo, con láser, para posteriormente ser pegadas o fundidas una sobre otra y así generar un objeto.

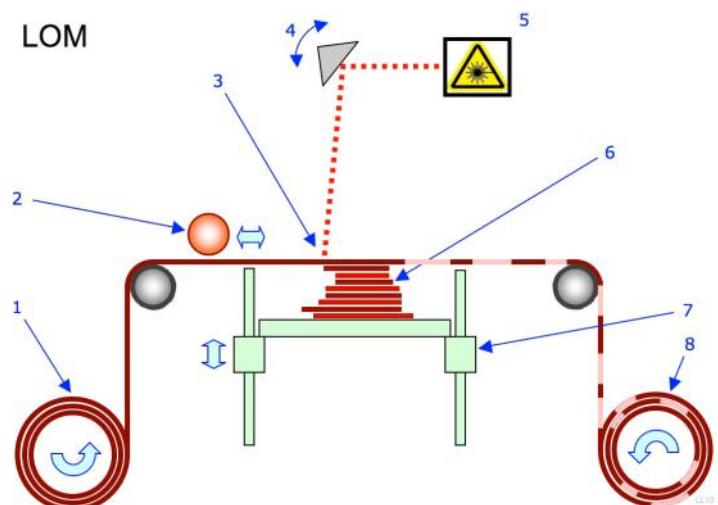


Figura 0017  
Impresión por LOM

1.- Rollo laminado, 2.- Rodamiento caliente, 3.-Objetivo del láser,  
4.- Reflector, 5.-Láser, 6.-Capas, 7.-Plataforma, 8.- Rollo desperdicio  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Laminated\\_object\\_manufacturing#media/File:Laminated\\_object\\_manufacturing.png](http://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing#media/File:Laminated_object_manufacturing.png)  
15/03/2015

## Impresión 3D por Inkjet (PBIH)

### Powder bed and inkjet head 3D printing

Patente # US 5204055 (ANEXO 9)

Desarrollado en 1989 en el MIT por el estudiante Paul Williams y su profesor Emanuel M. Sachs<sup>23</sup>. Esta técnica es casi igual a la Sinterización Selectiva por Láser pero en lugar de depositar camas de polvo metálico y fundirlas, utiliza un material

23 Lipson, Hod. "Fabricated: the new world of 3d printing". Wiley.EUA.2013 pg. 76

propietario, que por medio de un adhesivo pega las partículas de polvo para generar un modelo, al terminar una sección deposita una capa nueva de polvo para comenzar con la nueva sección, el proceso se repite hasta terminar el modelo, regularmente se requiere de un tiempo de fraguado, a continuación se procede a aspirar el remanente de polvo para ser reutilizado en otra impresión. Este material por lo regular es mas frágil que los utilizados en otros métodos y se puede colocar un barniz para endurecer el objeto.

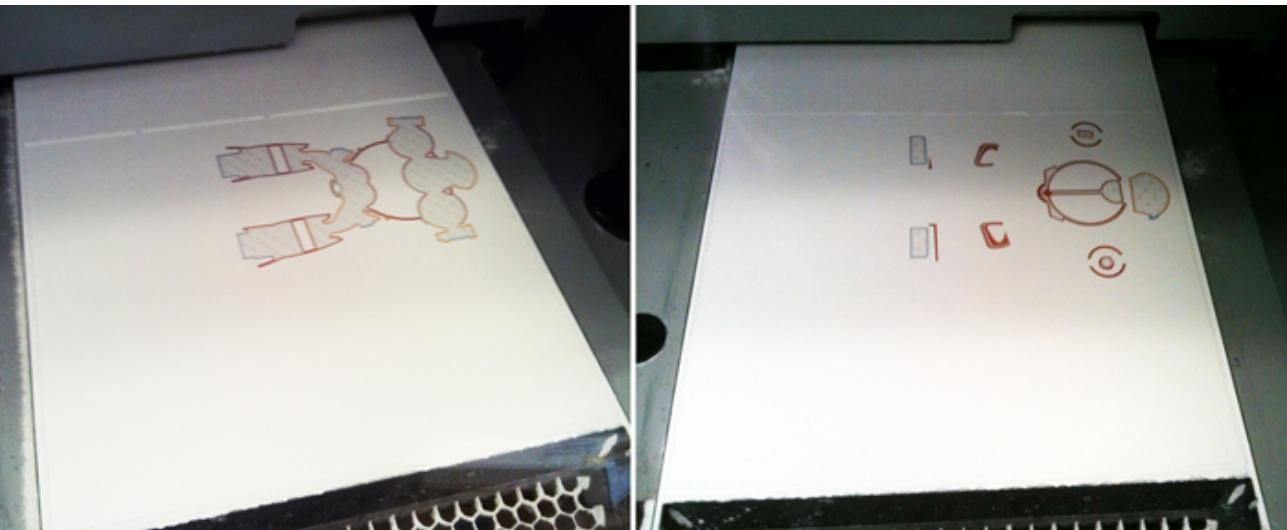


Figura 0018  
Impresión por PBIH  
<http://blog.ponoko.com/wp-content/uploads/2011/07/color3dp2.jpg>  
15/03/2015

Según el método de manufactura aditiva que utilicemos, estos tendrán ciertos requerimientos que los modelos deberán cumplir para su correcta fabricación y aplicación.

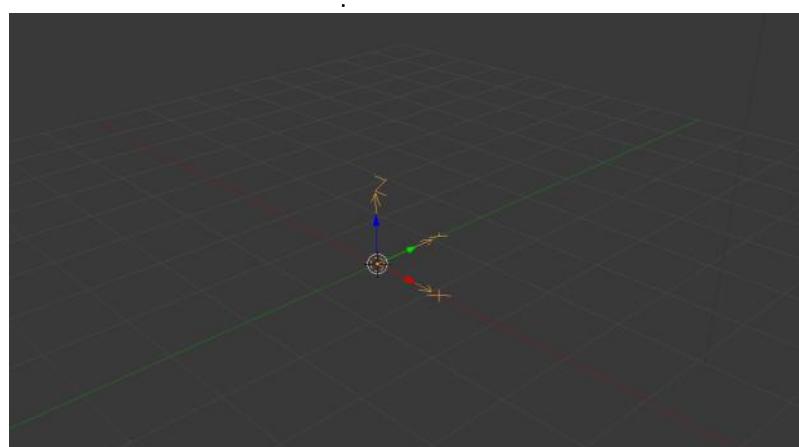
## Capítulo III

### Herramientas de apoyo para la impresión 3D

#### 3.1 Software de Modelado

Por definición la impresión 3D es un método de fabricación que parte de un modelo digital, esto quiere decir que es almacenable en una computadora. Así como la realidad física tiene tres dimensiones largo, ancho y alto; estas se representan en la realidad virtual con un sistema cartesiano de coordenadas de X, Y y Z. En este sistema el origen es donde se intersectan los tres ejes dimensionales y puede ser considerado como el centro del nuestro universo digital en el que cada punto es representado por una coordenada (X,Y,Z) el origen se encuentra en la coordenada (0,0,0). Estos puntos son llamados vértices y la unión de dos vértices es representada por una línea llamada arista así como la unión de tres o más vértices conectados entre si es llamada una cara. Una malla es el conjunto de caras que componen el modelo digital<sup>24</sup>. En este capítulo se comentarán las características que debe tener esta malla para su impresión 3D.

Figura 0019  
Representación del origen en Blender.  
Elaboración propia  
10/01/2014



24 Pan, Mike. "Game Development with Blender". Cengage Learning. EUA. 2013. pg 8

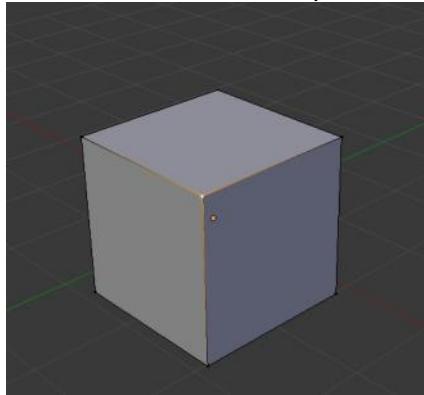


Figura 0020  
Selección de vértice en Blender  
Elaboración propia  
10/01/2014

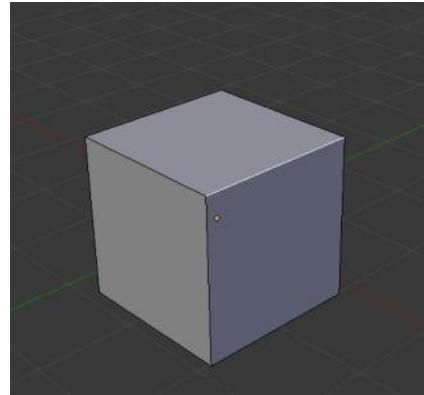


Figura 0021  
Selección de arista en Blender  
Elaboración propia  
10/01/2014

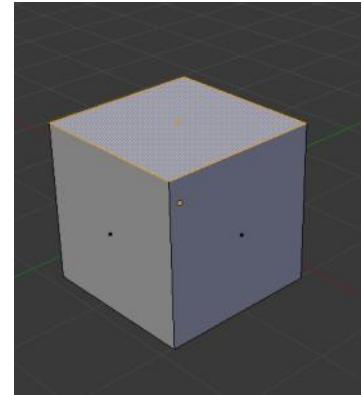


Figura 0022  
Selección de cara en Blender  
Elaboración propia  
10/01/2014

Dependiendo del modelo puede ser recomendado utilizar; triángulos, cuando la cara está compuesta por tres vértices, quads cuando la cara esta compuesta de cuatro vértices o eneágonos, cuando la cara esta compuesta por cinco o más vértices.

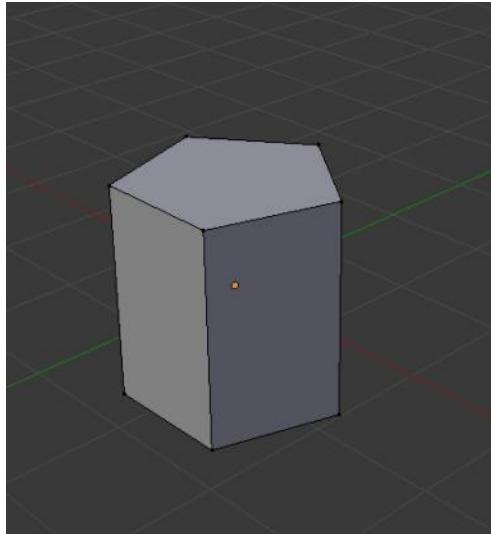


Figura 0023  
Prisma pentagonal compuesto de "quads" y  
"eneágonos"  
Elaboración propia

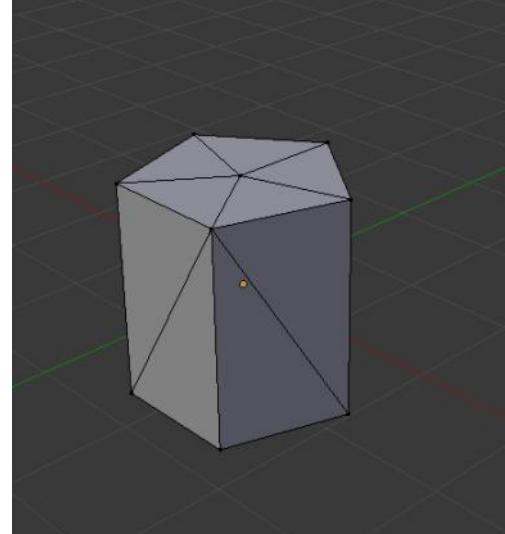


Figura 0024  
prisma pentagonal compuesto de triángulos  
Elaboración propia  
10/01/2014

Cuando se modela con quads y eneágonos estas caras pueden no siempre ser planas, a esto se le llama distorsión, esta se puede corregir triangulando las caras de nuestro modelo, aunque es común que esto se corrija automáticamente cuando es exportado del software de modelado o importado en el software que prepara la impresión 3D, aunque esto puede generar una variación en la manera que se triangula el modelo.

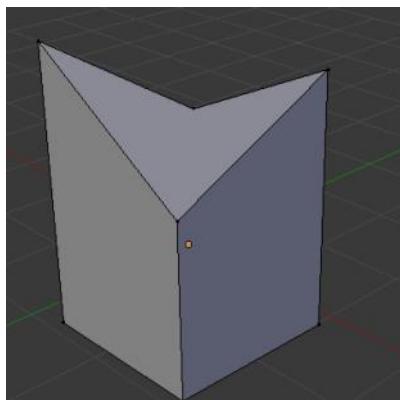


Figura 0025  
Elaboración propia  
10/01/2014

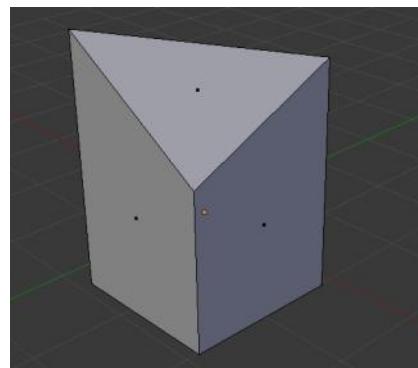


Figura 0026  
Elaboración propia  
10/01/2014

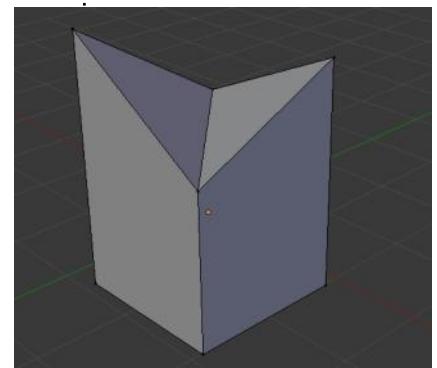


Figura 0027  
Elaboración propia  
10/01/2014

Cara rectangular "Quad" que presenta distorsión, para triangularla se selecciona y se llama al comando Ctrl + T (Triangulate Faces) en Blender. Esta triangulación puede tener dos variantes, en caso de no obtener la variante deseada (figura 0026) se puede utilizar el comando K (Knife) que nos permite dibujar la arista deseada seleccionando los vértices que queremos unir.

Un error común, es un modelo 3D que no está cerrado, esto puede causar errores cuando se imprime en 3D. Para que un modelo sea considerado cerrado, tiene que ser una superficie en la que todos los vértices estén unidos o soldados entre si y todos los vértices sean compartidos por lo menos por tres caras.

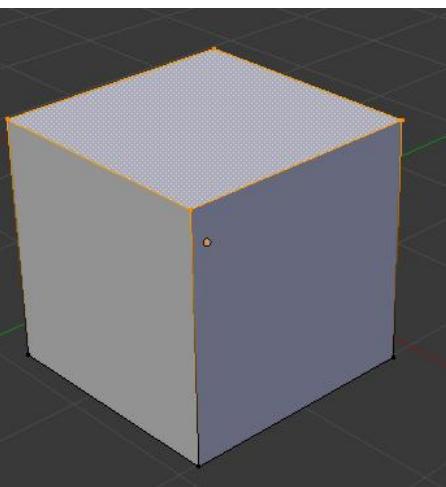


Figura 0028:  
Elaboración propia.  
10/01/2014

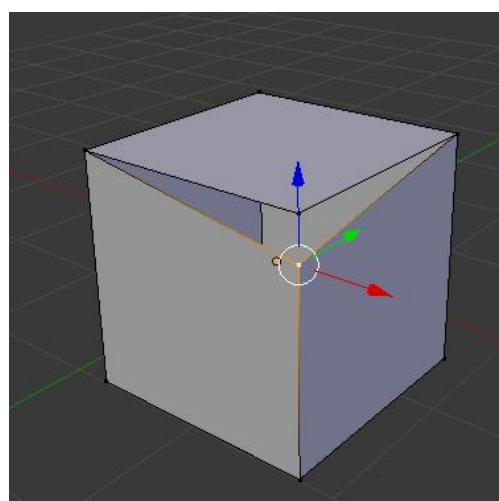


Figura 0029  
Elaboración propia  
10/01/2014

Malla no cerrada seleccionada por el comando shift+ctrl+alt+m (select non-manifold) en Blender. El error se detecta cuando los vértices de la cara superior no están "soldados" con los vértices de las caras laterales. Esto se puede ver en la figura 0029 cuando uno de estos vértices se traslada en el eje "Z". La forma mas sencilla de reparar este error es mediante el comando "remover vértices dobles", ya que estos se encuentran en la misma coordenada, sin embargo se encuentran uno sobre el otro.

Para determinar el interior del volumen estas caras definen hacia donde esta el interior y el exterior mediante una dirección llamada normal que se representa como un eje perpendicular al plano de la cara. La dirección del eje define el exterior del contenedor formado por la superficie que compone el modelo. Cuando las caras de un modelo se intersectan entre si generan un volumen negativo que puede ser interpretado como un error.

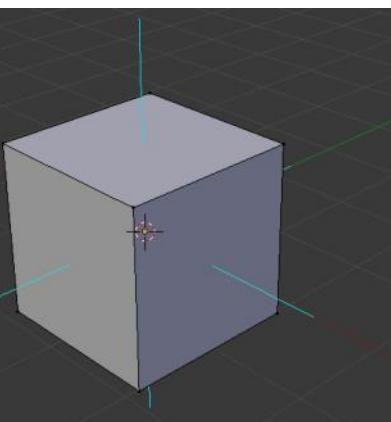


Figura 0030  
Normales activadas en un modelo, la linea surge perpendicularmente desde el centro geométrico de la cara.  
Cuando las normales se tienen su dirección hacia el interior del modelo se puede llamar al comando Recalculate Normals CTRL+N (Blender) para que automáticamente estas cambien a la dirección correcta, en caso de que este comando no corrija la dirección, se puede llamar la función Flip Normals en la ventana de herramientas.  
15/03/2015

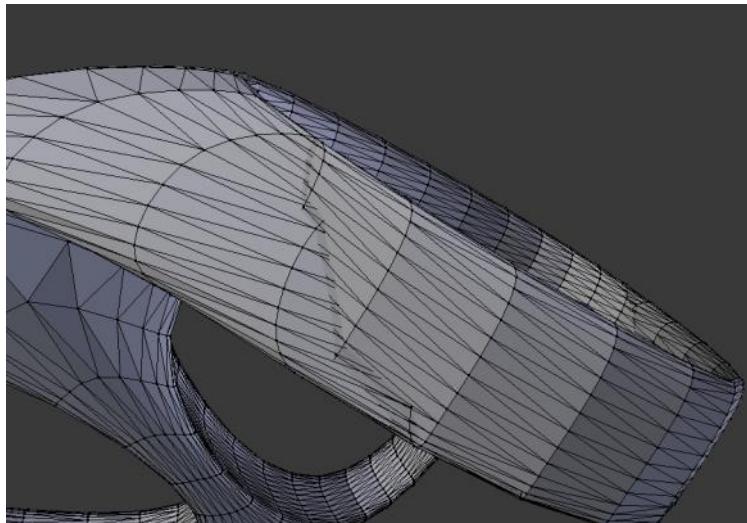


Figura 0031  
Elaboración propia  
10/01/2014

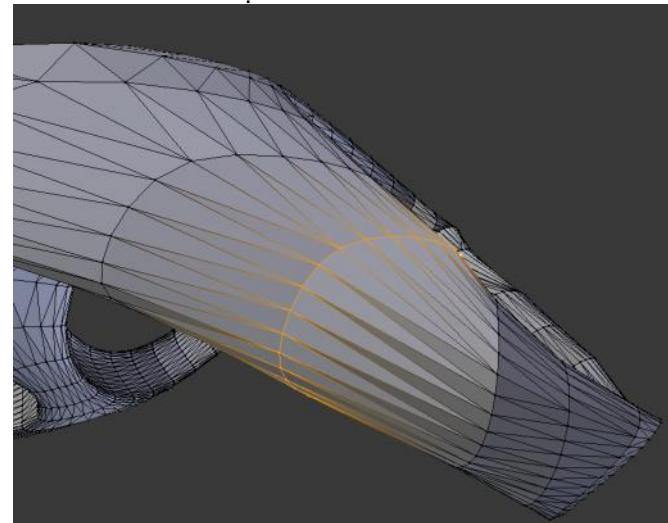


Figura 0032  
Elaboración propia  
10/01/2014

Intersección de un modelo importado a Blender modelado con Rhino y Grasshopper, se re-acomodan dichos vértices para evitar la intersección en la figura 0032 (modelo cortesía de Unassigned Pattern <http://unassignedpattern.com/projects/02/>)

Dependiendo del material y método que utilicemos para imprimir en 3D existen diferentes condiciones que el modelo debe contener. Entre estas especificaciones esta el grosor mínimo de las “paredes”, está es la distancia interior entre una cara y la cara frente a esta.

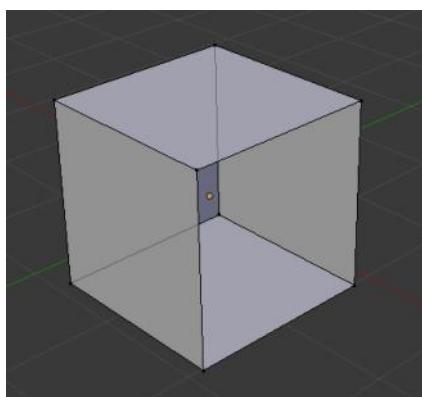


Figura 0033  
Elaboración propia  
10/01/2014

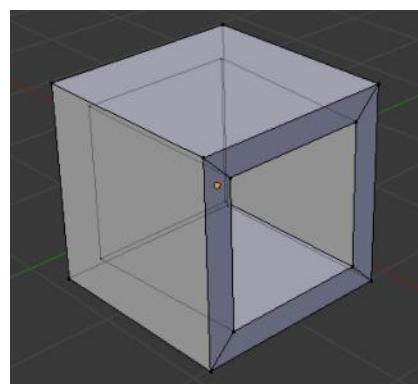


Figura 0034  
Elaboración propia  
10/01/2014

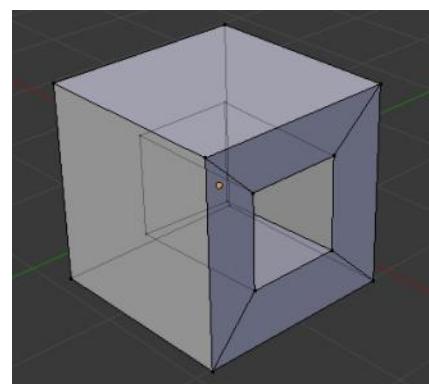


Figura 0035  
Elaboración propia  
10/01/2014

En la figura 0033 las caras no tienen profundidad por lo que el objeto no tiene volumen, todos los objetos físicos tienen un grosor mínimo, virtualmente se puede representar un objeto sin volumen pero esto no puede ser fabricado como un objeto en el mundo físico.

En la figura 0034 y 0035 se aprecia que existe un volumen incremental en el objeto, sin modificar las dimensiones del objeto como tal, este es conocido como grosor de “pared”, según el método y material utilizado para realizar una impresión 3D este grosor mínimo puede ser variable, ya sea por la dimensión de boquilla de extrusión, que el modelo resista el mismo proceso de fabricación o que este pueda ser auto-portante en el proceso.

Material	Método (especificado por la empresa)	Detalle Mínimo	Grosor Mínimo de Pared
Plástico Flexible.	SLS	0.2 mm	0.7 mm
Alumide	SLS	0.7 mm	0.8 mm
White Detail	Polyjet	0.2 mm	1 mm
Frosted Detail	Mutijet Modeling (MJM)	0.2 mm	0.5 mm
Frosted Ultra Detail	Mutijet Modeling (MJM)	0.1 mm	0.3 mm
Elasto Plástico	SLS	1.0 mm	0.8 mm
Acero	Metal 3D printing	1.0 mm	3.0 mm
Plata	Impresión 3D en Cera (Molde)	0.3 mm	0.6mm
Latón	Impresión 3D en Cera (Molde)	0.3 mm 0.4 mm pulido o con chapa de oro	0.6 mm 0.3 mm 0.4 mm pulido o con chapa de oro
Bronce	Impresión 3D en Cera (Molde)	0.3 mm 0.4 mm pulido	0.3 mm 0.4 mm pulido
Cerámica	Ceramics 3D printing	2.0 mm	3.0 mm
Full Color Sandstone	Zcorp (3DP)	1.0 mm	0.8 mm

Tabla 005

Tabla obtenida de las especificaciones para el servicio de impresión en [www.shapeways.com](http://www.shapeways.com), algunos de los métodos de impresión no están especificados o son llamados de diferente manera a la utilizada en este documento. Estos son especificados para servicio de impresión 3D que ofrece esta empresa y no determinan la capacidad máxima de los equipos.

Cuando se utiliza el Modelado por Deposición Fundida (FDM por sus siglas en inglés) el grosor de muro puede llegar a ser de hasta el diámetro de la boquilla de extrusión, que dependiendo del material que se utiliza este puede ser variable, en el caso de una impresora 3D personal de termoplásticos (PLA o ABS) este diámetro suele estar entre los 0.3 mm y 0.6 mm.

En algunos casos como en el Modelado por Deposición Fundida (FDM) con algún termoplástico hay que tomar en cuenta que al colocar una capa sobre la capa inferior, esta debe tener la capacidad de soportar la capa superior, de otra manera se requiere de material de soporte o de alguna estructura temporal que podamos retirar una vez que termine la impresión, esto implica mayor desperdicio y probablemente requiera de un proceso de acabado. Para evitar el uso de este material se aplica algo que se llama la regla de 45 grados, en la que la pendiente del modelo deberá tener mínimo 45 grados en relación con el plano horizontal, de otra forma la calidad final del modelo o incluso su integridad de sostenerse se vería afectada.

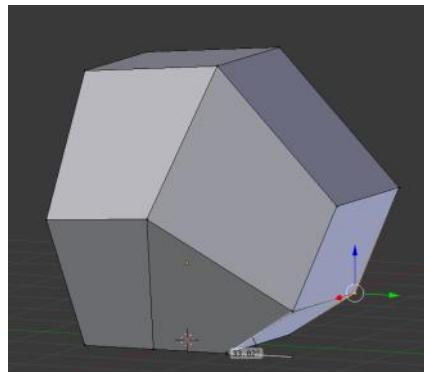


Figura 0036  
Elaboración propia  
10/01/2014

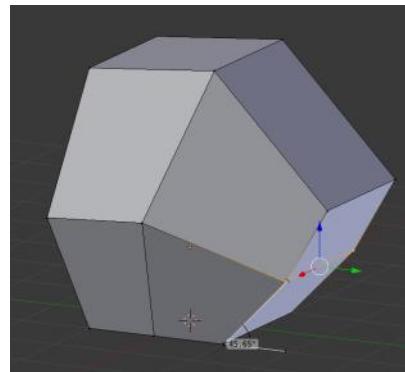


Figura 0037  
Elaboración propia  
10/01/2014

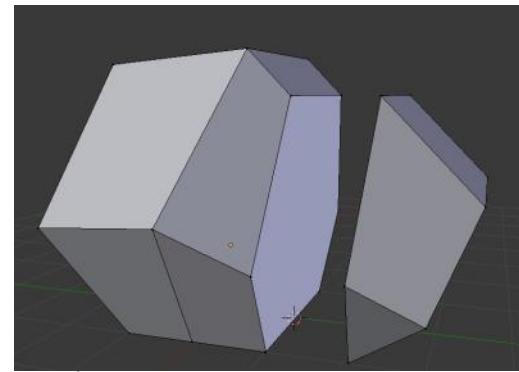


Figura 0038  
Elaboración propia  
10/01/2014

El modelo en la figura 0035 presenta un ángulo menor a 45 grados en una de sus caras en relación al plano horizontal, este se puede reparar, ya sea modificando este angulo para que sea mayor o igual a 45 grados ( figura 0037), o seccionandolo en partes y rotar estas para realizar la impresión de manera que no tengan ángulos menores a 45 grados y posteriormente pegarlas.

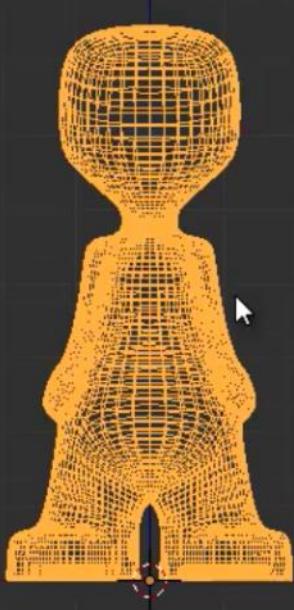


Figura 0039  
DVD Training 12: Blender for 3D printing  
10/01/2014

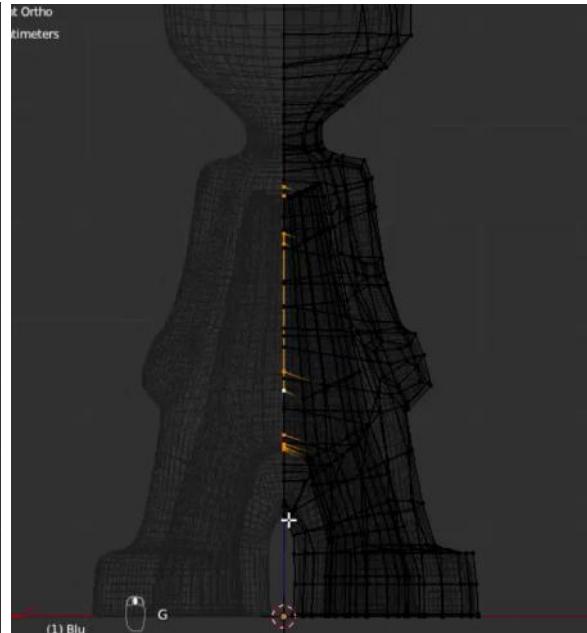


Figura 0040  
DVD Training 12: Blender for 3D printing  
10/01/2014

El modelo sin cavidad interna y orificio de salida, tiene un volumen aproximado de  $21 \text{ cm}^3$  (Figura 0039), en cambio el modelo con la cavidad interna y el orificio de salida permite reducir este volumen a  $18 \text{ cm}^3$  (Figuras 0040 y 0041).

Cuando tenemos nuestro modelo listo en el software de nuestra preferencia es importante determinar en qué formato lo vamos a “transferir” al software de corte (slicer), que genera el código que la impresora 3D puede interpretar. El formato más utilizado actualmente es el .STL que es conocido como STereoLitography o Standard Tessellation Format.

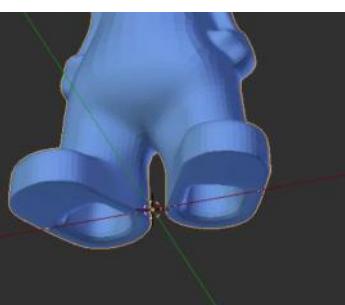


Figura 0041  
DVD Training 12: Blender for  
3D printing  
10/01/2014

Este formato extrae los elementos básicos del modelo, conteniendo únicamente la malla triangulada y sus normales, eliminando cualquier información irrelevante para la impresión 3D, como animación, iluminación, cámaras, etc. La simplicidad de este formato es también su principal problema ya que por ejemplo, modelos complejos como un órgano humano, un muro con instalaciones internas y la variedad de estructuras, sistemas y materiales que los componen, no pueden ser empacados en este formato. En base a estas limitantes existe la propuesta de un nuevo formato llamado AMF (Additive Manufacturing File) que aparte de no ser propietario permite tener triángulos curvados, estos permiten que los objetos curvos puedan tener un menor error en comparación con el formato .STL, ya que se tiene una menor cantidad de triángulos para representar una curva, haciendo este un archivo más pequeño y de mayor precisión. Este también permite la definición de múltiples materiales, materiales con colores degradados, micro-estructuras, propiedades de los materiales, referencia de texturas (imágenes), y constelaciones de objetos para su impresión, entre otras ventajas<sup>25</sup>. Este formato no es tan común como el .STL y no todos los software de modelado lo incluyen, sin embargo, se espera que este sea el estándar conforme las exigencias de la impresión 3D aumenten.

25 Web oficial del formato AMF, presentación de PPT de Hod Lipson en <http://amf.wikispaces.com/home>

File Size of STL vs AMF File Formats

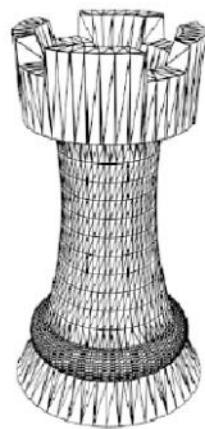
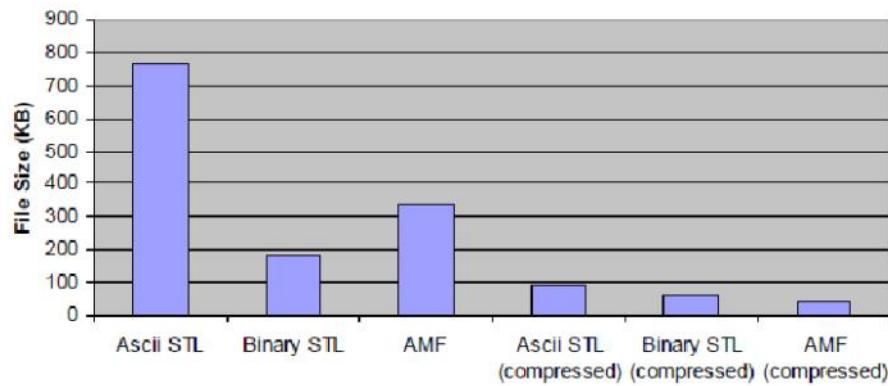


Figura 0042  
Comparación del tamaño de un archivo entre .STL y .AMF en sus diferentes formatos.  
Presentación PPT de la Web Oficial del AMF de Hod Lipson  
<http://amf.wikispaces.com/home>  
12/01/2014

En el año de 1957 aparece el primer software CAD (Computer Aided Design) desarrollado por la empresa General Motors. En la década de 1960 estos eran utilizados por centros de investigación, grandes empresas e instituciones educativas ya que las licencias tenían un costo aproximado de \$500,000 USD<sup>26</sup>. Posteriormente en la década de 1970 comenzaron a surgir los primeros programas que utilizaban tres dimensiones, pero no fue hasta el surgimiento de las primeras computadoras personales que Autodesk desarrollo el primer software CAD accesible, este representaba aproximadamente un 20% del costo de productos similares y era llamado MicroCad. Posteriormente, MicroCad fue renombrado AutoCad, lanzado por primera vez en diciembre de 1982. Con el éxito de las computadoras personales este tipo de software empezó a popularizarse. Actualmente existe una gran variedad de programas de diseño por computadora y la diversidad de su funciones es cada vez mayor.

26 Lipson, Hod. "Fabricated: the new world of 3D printing". Wiley.EUA.2013 pg. 86

A continuación se presenta una tabla comparativa que incluye algunos paquetes de software ampliamente utilizados en México:

	Autodesk 3DS Max	Autodesk Maya	Autodesk Revit	Google Sketch Up	Rhinoceros 3D	Blender
Precio al público	\$3,675 USD	\$3,675 USD	\$6,825 USD	Gratis \$590 USD (Pro)	\$995 USD \$195 USD estudiante	Gratis (Open Source)
Plataformas	Windows	Windows Mac OSX	Windows	Windows Mac OSX	Windows Mac OSX (Beta)	Linux Windows Mac OSX
Mercado meta	Cine Juegos	Cine Juegos	Arquitectura Ingeniería Construcción	Arquitectura	Diseño Industrial Arquitectura Diseño naval Joyería Fabricación	Cine / Video Juegos Arquitectura Diseño Industrial Impresión 3D
Principales ventajas	Diversidad de funciones	Valorado en muchas industrias	Arquitectura y construcción	Fácil de aprender	NURBS Grasshopper	Gratis, diversidad de funciones
Principales desventajas	Precio, poca evolución entre versiones.	Precio	Limitado para otro tipo de modelado	Limitado	Animación Renderizado Texturas	Poco valorado
Versión prueba	SI	SI	SI	N/A	SI	N/A
Curva de aprendizaje para ser productivo	3 Meses	3 meses	4 meses	1 mes	2 meses	3 meses
Impresión 3D	Medio	Alto	Muy Bajo	Bueno	Muy Alto	Muy Alto
Animación	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bajo	Muy Bajo	Bajo	Bueno
Modelado 3D	Bueno	Muy Bueno	Bajo	Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno
Render	Bueno +V-ray \$1230 USD Muy Bueno	Bueno + V-ray \$1230 USD Muy Bueno	Bajo	Medio +V-Ray \$355 USD Muy Bueno	Bajo +V-Ray \$960 USD Bueno	Medio -Muy Bueno (Cycles)
NPR	Medio	Medio	Bajo	Muy Bueno	Bueno	Muy Bueno (Freestyle)
NURBS	Bajo	Medio	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bueno	Medio
Paramétrico	Bueno	Bueno	Bueno	Muy Bajo	Muy Bueno (GrassHopper)	Bueno
Generativo	Bueno	Bueno	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bueno (GrassHopper)	Bueno (Python)
Sculpting	Muy Bajo	Medio	Muy Bajo	Muy bajo	Muy Bajo	Bueno
Comentario final	Base muy sólida, pero no presenta una evolución concorde a su costo. Puede ser utilizado para impresión en 3D si se maneja correctamente	Muy buena herramienta de animación y modelado, aunque es muy costoso. Buena opción para impresión 3D .	Excelente herramienta para BIM, no recomendable para otros usos.	Buena herramienta para principiantes, muy limitado en otras áreas incluyendo Impresión 3D.	Excelente herramienta de diseño en NURBS y modelado paramétrico y generativo, incluye módulo de impresión 3D y reparación de modelos .	Excelente herramienta, muy recomendado, cuenta con muchas herramientas de modelado 3D, incluye un módulo para Impresión 3D y reparación de Modelos. Es gratis

Tabla 006: Comparativa de programas de modelado 3D según entrevista realizada a algunos usuarios.

<http://www.autodesk.com/products/autodesk-3ds-max/buy> 22/02/2014

<http://www.autodesk.com/products/autodesk-maya/buy> 22/02/2014

<http://www.autodesk.com/products/autodesk-revit-family/buy> 22/02/2014

<http://www.sketchup.com/products/sketchup-pro> 22/02/2014

[www.rhino3d.com/](http://www.rhino3d.com/) 22/02/2014

[www.blender.org](http://www.blender.org) 22/02/2014

### 3.2 Librerías Digitales

Para imprimir en 3D no se tiene que ser un experto en modelado o saber modelar, es por esto que existen plataformas en las que es posible descargar modelos digitales para su fabricación, descargar estos puede tener un costo, o no. En algunas de estas se puede contratar a un diseñador para que realice el objeto que necesitamos, otras cuentan con modelos paramétricos que, cambiando algunas propiedades, se puede ajustar el modelo a nuestras necesidades. Ya existe la posibilidad de que podamos adquirir productos digitales de manera similar a la que se puede adquirir música, películas, libros etc. por iTunes o Amazon. Esta herramienta pudiera llegar a cambiar la forma en la que compramos productos, al grado en el que algún día se puedan tener tiendas virtuales de todo tipo de objetos y productos. Estas plataformas pueden imprimir mediante diferentes métodos y materiales, de esta forma métodos muy costosos pueden ser accesibles a más personas. La tendencia es poder adquirir productos que se adapten a más usuarios y que estén hechos a la medida. Así se podrían adquirir objetos diseñados específicamente a nuestras necesidades. Esto puede ir desde un par de zapatos ortopédicos, hasta un desayuno que tenga los nutrientes y el balance necesario para nuestro cuerpo. Una ventaja de estas librerías es que permitirían que un producto diseñado en Italia pueda ser impreso en México, ahorrando costos de envío para el cliente y el proveedor. También reduciríamos el impacto ambiental del transporte de productos y esto generará nuevos empleos en diferentes áreas del diseño, tecnología y salud.

Entre las librerías que existen actualmente, destacan:

**www.thingiverse.com**, esta fue creada en el 2008<sup>27</sup> y pertenece a la empresa MakerBot. En esta que los usuarios pueden subir diferentes tipos de archivos para compartir diseños “fabricables”. Es una de las librerías más populares debido a que cuenta con un mayor numero de usuarios y probablemente el mayor número de modelos “imprimibles”. Recientemente fue agregada la aplicación Customizer, que a partir de un modelo realizado en OpenSCAD, un software de modelado paramétrico, permite a los usuarios modificar los diseños paramétricamente para que se ajusten a sus necesidades. En septiembre del 2013 recibió criticas de sus usuarios, incluyendo a Josef Prusa, creador de la impresora RepRap Prusa i2 e i3, debido al cambio de los términos y condiciones de uso, en el que Thingiverse se apropió del contenido de sus usuarios.

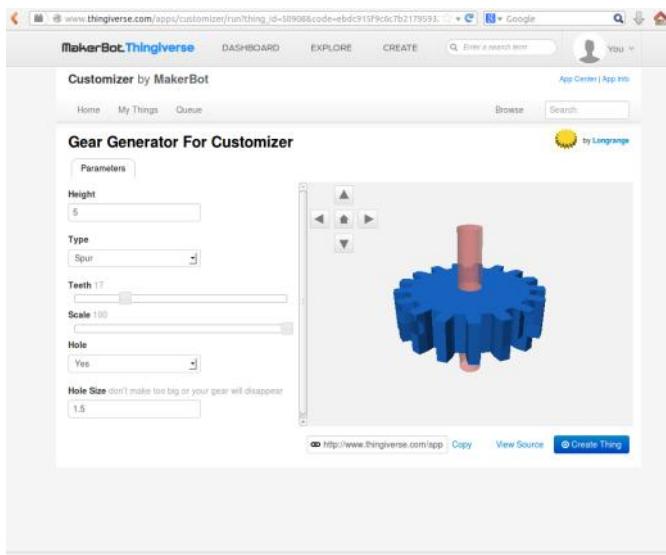


Figura 0043  
Customizer by MakerBot  
26/02/2014

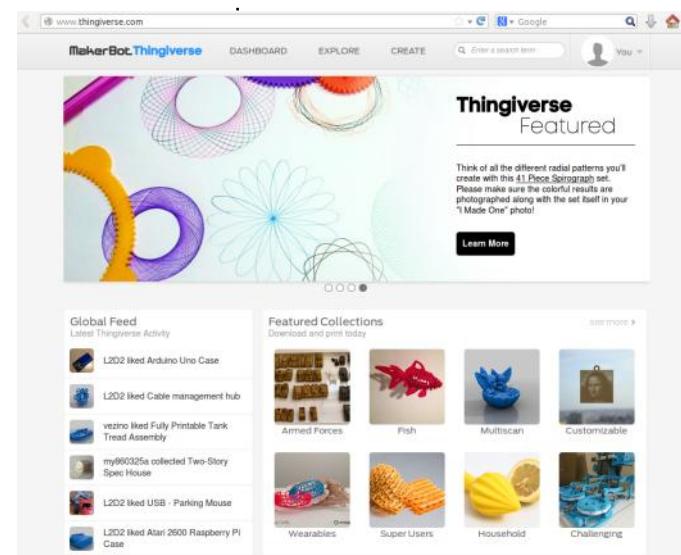


Figura 0044  
thingiverse.com  
26/02/2014

27 <http://www.makerbot.com/blog/2013/01/18/design-unique-things-easily-with-makerbot-customizer/>

www.youmagine.com, esta es una de las mejores alternativas a Thingiverse y es controlada por Ultimaker, una empresa que a diferencia de MakerBot continua siendo Open Source, su mercado principal se encuentra en la Unión Europea y a diferencia de Thingiverse busca compartir los archivos fuente (source files). Destaca por que respeta la propiedad intelectual de los autores y promoviendo que este sea libre y gratuita<sup>28</sup>. Esta librería tiene mejores estándares de calidad en sus archivos para impresión 3D.

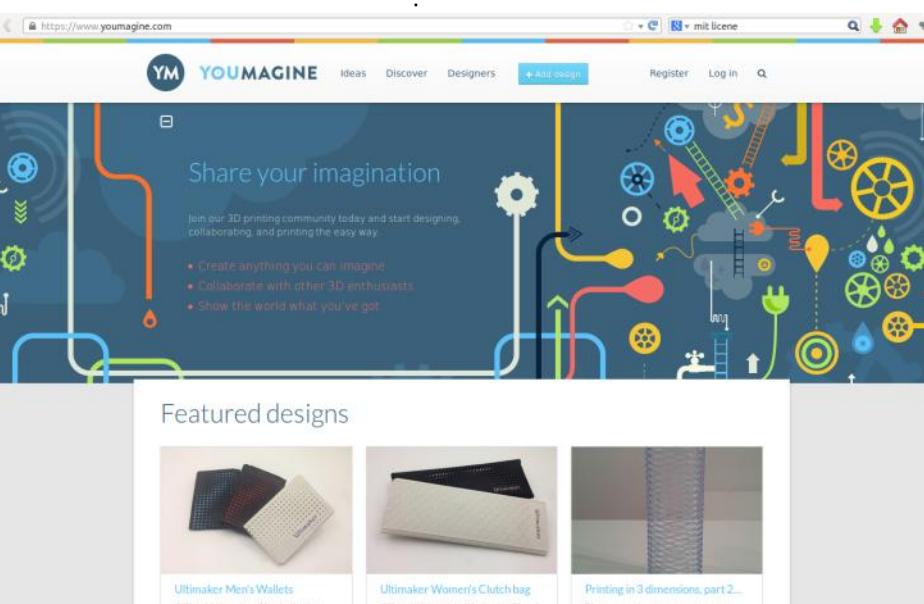


Figura 0045  
youmagine.com  
02/03/2014

www.cubehero.com es una pagina relativamente nueva, que se basa en la filosofía de GitHub, una pagina para el desarrollo colaborativo de proyectos. Una de sus principales ventajas es el control de versiones y su formato de repositorio descentralizado. La libertad del usuario para escoger la licencia que quiera, ya sea propietaria o abierta, permite una mayor variedad de usuarios. Lamentablemente cuenta con muy pocos modelos para competir con sus contrapartes anteriores.

28 Entrevista a Erik de Brujin [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1319700](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1319700)

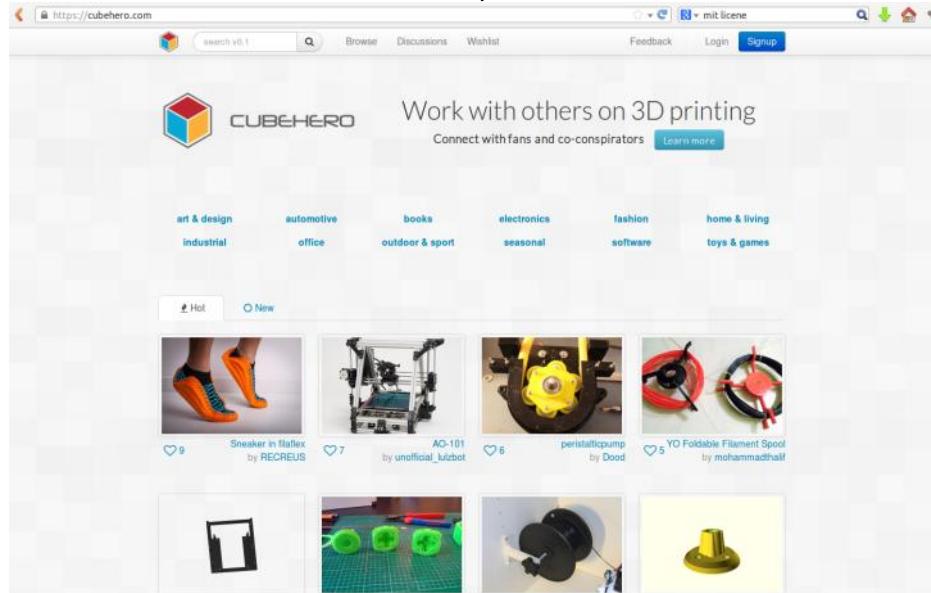


Figura 0046  
cubehero.com  
02/03/2014

[www.yeggi.com](http://www.yeggi.com) es un motor de búsqueda desarrollado en abril del 2013, el cual indexa múltiples librerías digitales. Busca ser una solución de búsqueda que recopile la información de todas las comunidades y tiendas de modelos para impresión 3D. Actualmente cuenta con mas de 93,500 modelos indexados.

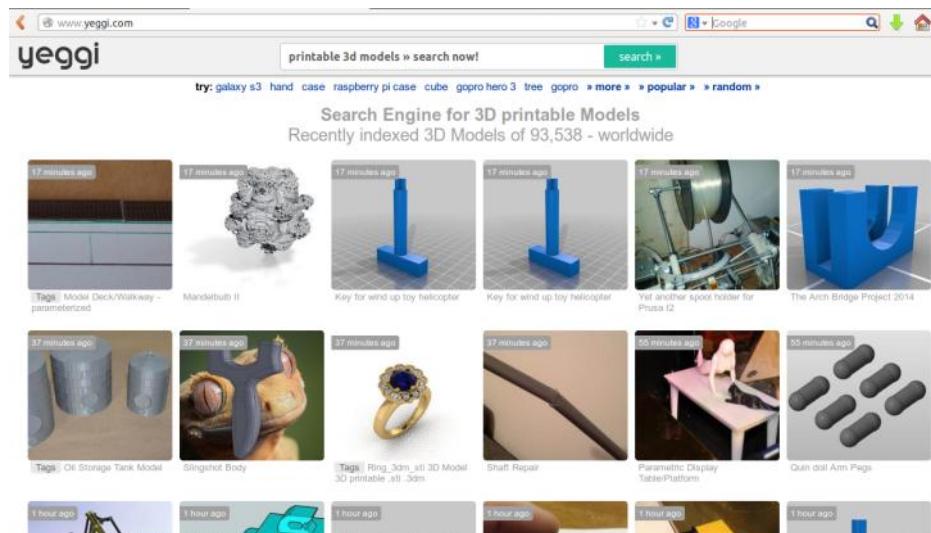
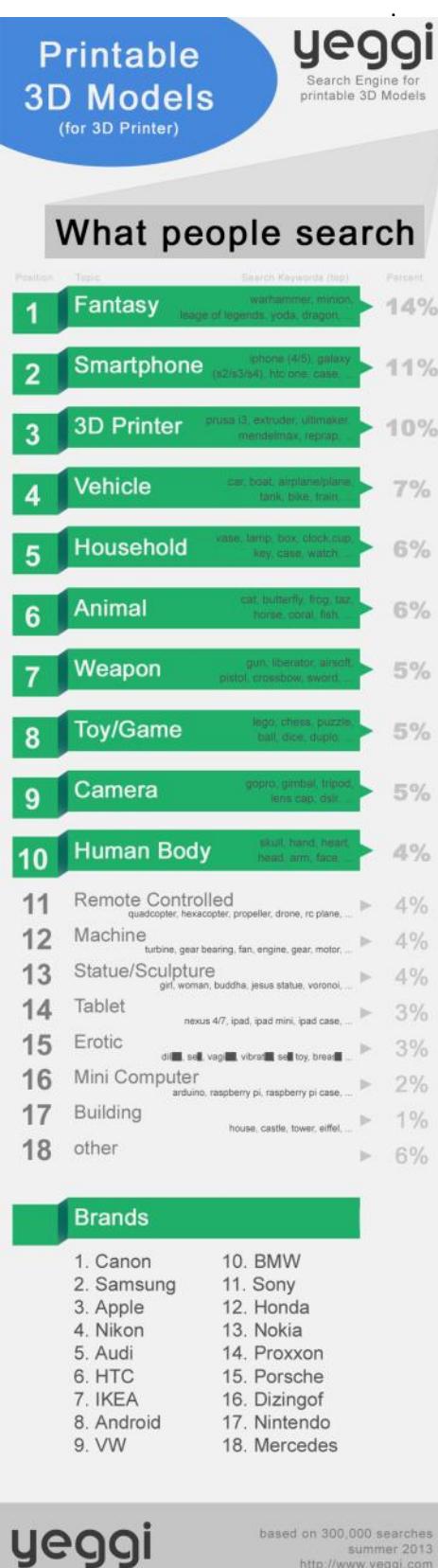


Figura 0047  
yeggi.com  
02/03/2014



Según un infográfico de yeggi.com los principales tópicos de búsqueda para impresión 3D son; fantasía, smartphone, impresora 3D, vehículos y uso doméstico. Puede apreciarse la tendencia que existe de empezar a imprimir objetos de uso diario por los usuarios de estas comunidades, incluso la idea de descargar refacciones de automóviles comienza a ser cada día mas cercana a la realidad. La búsqueda de "edificios" se encuentra en el lugar número diecisiete. Con esta tendencia podemos concluir que pronto podremos descargar modelos de muebles, casas o incluso secciones urbanas, no solo para su impresión directa, sino también teniendo la posibilidad de editar y adecuar estos modelos al sitio, condiciones climáticas y materiales locales, el diseño se puede adecuar para ser una arquitectura adaptable a diversas condiciones bioclimáticas y usuarios. Esto o solo reduce la huella de carbono de la construcción, también acerca el diseño arquitectónico y "sustentable" a regiones y personas que no tenían acceso a un arquitecto.

Figura 0048  
infográfico de búsquedas en yeggi.com  
[http://www.yeggi.com/images/infografics/yeggi\\_2013\\_summer\\_1400.png](http://www.yeggi.com/images/infografics/yeggi_2013_summer_1400.png)  
02/03/2014

### 3.3 Escáner 3D

Un escáner 3D es la tecnología inversa a la impresión 3D, ya que este nos permite digitalizar un objeto en un modelo 3D. Existen diferentes técnicas para digitalizar un objeto, puede ser mediante la definición de puntos de toque, en el que un mecanismo capaz de determinar la ubicación de la punta de una aguja, define las coordenadas de estas ubicaciones, otros mediante la triangulación de puntos proyectados por un láser, en los que un receptor calcula la distancia de estos puntos, incluso se puede digitalizar un objeto mediante su silueta y a partir de esta recrear el modelo conociendo su ángulo de rotación, incluso mediante una fotometría que es capturada por dos o mas cámaras que determinan la geometría del objeto a partir de la perspectiva desde diferentes ángulos del objeto. Esto funciona de manera similar a la que los humanos detectamos la profundidad de un objeto. Existen técnicas más complejas que se utilizan en el ámbito medico como una tomografía. Según el objeto, sus dimensiones y propiedades se tiene que valorar que técnica puede ser la más adecuada realizar la tarea.

Un escáner 3D suele generar una nube de puntos que puede convertirse a un modelo 3D, si este presenta errores en el modelo o simplemente no une esta nube de puntos de manera correcta podemos utilizar algún software de modelado 3D para reparar esta malla e incluso ajustar estos modelos para re-diseñarlos o adecuarlos a nuestras necesidades.

Gracias a estas dos tecnologías es posible que podamos digitalizar esculturas, objetos prehistóricos, y obras de arte para preservarlos digitalmente para el futuro. Incluso podemos recrearlos para interactuar con replicas de estos objetos. En la industria permiten la digitalización de productos hechos a mano, así como las posibilidades de aprender mediante la ingeniería inversa de otros objetos, lo cual puede ser invaluable. Algun día podremos escanear partes de nuestro cuerpo para generar e imprimir objetos y productos hechos a la medida de cada persona, e incluso prótesis e implantes específicamente diseñados para nuestro cuerpo.

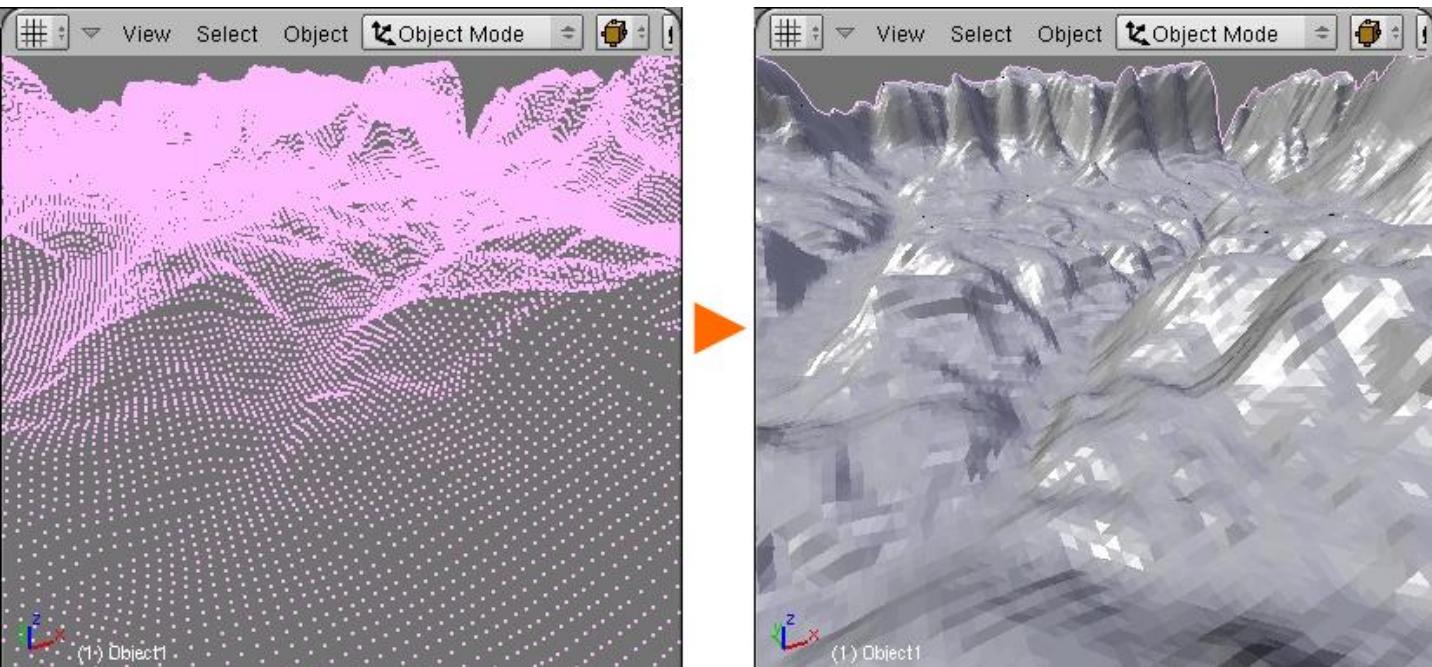


Figura 0049  
Nube de puntos y Malla mediante un script de Blender. ( Point Cloud Skinner)  
<http://blenderartists.org/forum/showthread.php?241950-A-Script-to-Skin-a-Point-Cloud-%28for-Blender-2-6x-or-Later%29>  
02/03/2014

### 3.4 Software de rebanado (Slicing)

En el proceso de impresión 3D actual, existe una tarea vital que traduce un modelo tridimensional digital en un formato capaz de ser interpretado mecánicamente por una impresora 3D. Este proceso define la sección de las capas y por consiguiente la calidad de estas. Dependiendo del método utilizado pueden variar los parámetros que podemos definir para el resultado final. En este caso se utilizará un software dirigido al método de Deposición Fundida (FDM), mediante una impresora RepRap de filamento plástico. Existen diferentes paquetes de software para realizar esta tarea, cada uno de estos puede ofrecer diferentes opciones o parámetros para personalizar la forma de realizar una impresión, así como la dificultad de uso puede variar de uno a otro. El lenguaje más común para transmitir estas instrucciones a la impresora 3D es conocido como Código G, que es comúnmente también utilizado en máquinas CNC y cortadoras láser. Este código se compone principalmente de instrucciones y coordenadas que coordinan los movimientos, sensores y datos que la impresora tendrá que interpretar.

Los parámetros definidos por estos programas nos permitirán ajustar algunas opciones de cómo se realizará la impresión, en este caso utilizaremos el software Cura 13.10 desarrollado por David Braam y la empresa Ultimaker<sup>29</sup>, este está dirigido al método por deposición fundida (FDM) y es uno de los más utilizados por la comunidad RepRap.

29 Revista Make Edición Especial: Ultimate Guide to 3D Printing 2014 pg. 35

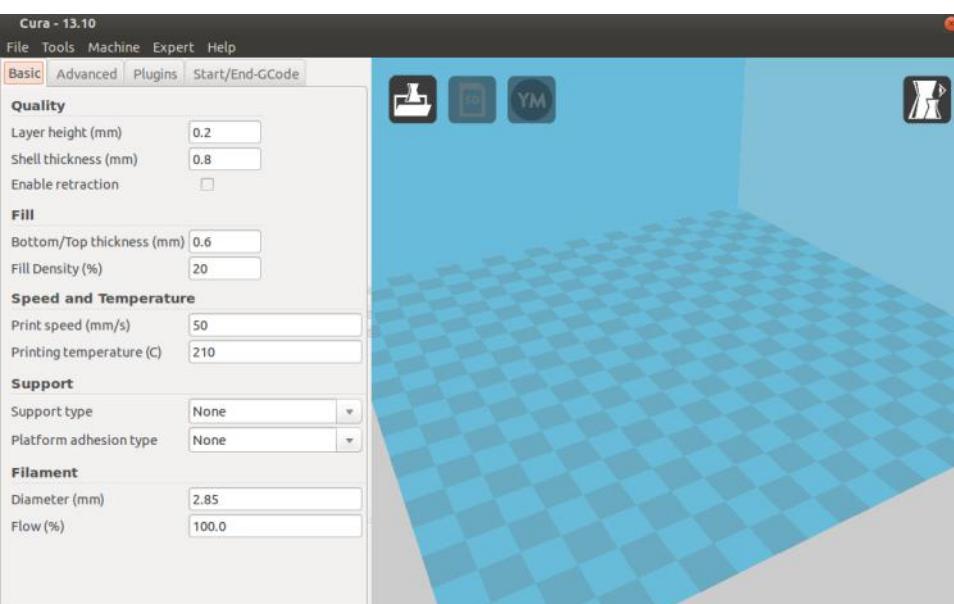


Figura 0050  
Cura 13.10  
Elaboración Propia  
13/03/2014

Los principales elementos que componen un modelo impreso

son:

Layer (capa): Es cada una de las secciones en las que se rebana un modelo y la suma de estas genera el modelo tridimensional.

Raft/Brim (opcional): son las primeras capas que permitirán al usuario retirar de forma mas fácil la impresión, puede también ayudar a aumentar la superficie de contacto del modelo para evitar que este se despegue durante la impresión. Este material es retirado de la impresión y puede ser considerado como desperdicio.

Tapas (Top/Bottom) : Son las capas que se encuentran ya sea en la parte mas baja o alta del modelo y “cierran” la superficie o base de este.

Paredes (wall): son las superficies en contacto con el exterior del modelo.

Densidad de relleno: es la cantidad de material en porcentaje que tendrá el objeto dentro de sus paredes y tapas.

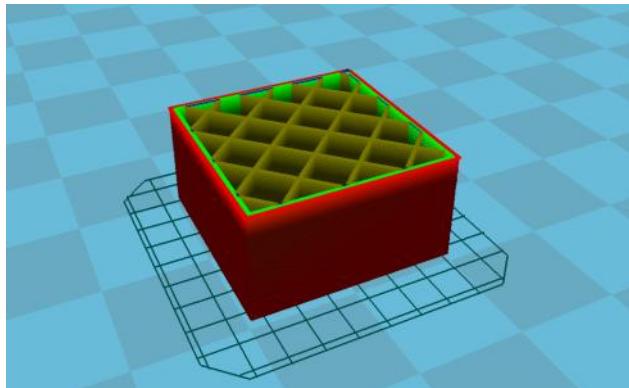


Figura 0051  
Elaboración Propia  
13/03/2014

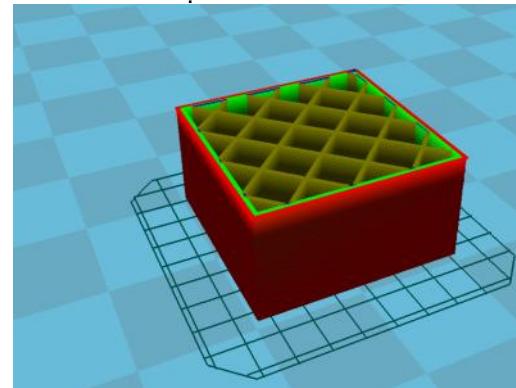


Figura 0052  
Elaboración Propria  
13/03/2014

En las figuras 0047 y 0048 se puede apreciar el Raft en color azul y las paredes en color rojo y verde. El color Amarillo en la figura 0047 representa la densidad de relleno mientras que en la figura 0048 representa la tapa superior.

**Cura - 13.10**

**File Tools Machine Expert Help**

**Basic Advanced Plugins Start/End-GCode**

**Quality**

- Grosor de las paredes: Define el grosor de las paredes del modelo, dependiendo de la boquilla este podrá pasar varias veces.
- Grosor de las Tapas : Determina el numero de capas que se aplicarán con un relleno del 100% en las tapas superior inferior. El numero de capas es igual al grosor de estas entre la altura de objeto.
- Velocidad de impresión: determina la velocidad a la que se realizarán los movimientos de la impresora
- Temperatura de impresión : dependiendo del material que se utilice esta puede variar.
- Policarbonato 265°C+  
Nylon 240°C – 250°C  
ABS 215°C-250°C  
HIPS 220°C-230°C  
PET 212°C-224°C  
PLA 160°C-220°C  
PVA 180°C-200°C  
PCL 120°C-150°C

**Fill**

- Altura de las capas: Define la altura de cada una de las capas que componen el modelo. Entre menor es el numero mayor es la resolución del modelo.
- Retracción: retrocede el filamento para evitar un exceso de material cuando se hace un traslado sin impresión.
- Densidad de relleno: Permite determinar la cantidad de material interno del objeto. Un valor del 100% es totalmente sólido, 0% es totalmente hueco (manteniendo los muros y tapas).

**Speed and Temperature**

- Print speed (mm/s)
- Printing temperature (C)

**Support**

- Selección del Diámetro del Filamento
- Permite ajustar el porcentaje de extrusión en relación a la densidad del material
- Tipo de Soporte: en caso de requerir soporte permite escoger entre exterior únicamente, e interior y exterior.
- Tipo de adhesión a la plataforma: Permite seleccionar el tipo de interfase entre la impresión y la placa de impresión.

**Filament**

- Diámetro (mm)
- Flow (%)

**Machine**

- Diámetro de la boquilla : Permite establecer el diámetro de salida de la extrusora.
- Retracción : permite ajustar la velocidad en la que la impresora regresa el material para evitar un exceso de este cuando hace un viaje "sin impresión" y evitar rebaba. Se puede ajustar la velocidad a la que se hace el movimiento y la distancia que se retracta del material en milímetros. Una velocidad alta funciona mejor pero si es muy alta puede desbastar el material.
- Calidad: tiene tres parámetros; grosor de la primera capa, para una mejor adhesión es más grande. Recortar la base del modelo, permite hacer un corte horizontal a una altura determinada para tener una base plana. Dual extrusion Overlap, en el caso de tener dos colores en una impresión, permite una mejor adhesión entre estos.
- Velocidad: permite ajustar la velocidad de viaje de no impresión, que puede ser más alta que cuando se está imprimiendo, la velocidad de la primera capa permite que esta se imprima más lento para una mejor adhesión, y la velocidad de relleno permite hacer la impresión más rápida.
- Enfriamiento: permite activar (PLA) o desactivar (ABS) el ventilador para realizar la impresión, tiempo mínimo por capa permite que todas las capas tengan un tiempo de enfriamiento mínimo para recibir la capa superior ya endurecida.

**Advanced**

- Nozzle size (mm)
- Retraction Speed (mm/s)
- Distance (mm)
- Initial layer thickness (mm)
- Cut off object bottom (mm)
- Dual extrusion overlap (mm)
- Travel speed (mm/s)
- Bottom layer speed (mm/s)
- Infill speed (mm/s)
- Minimal layer time (sec)
- Enable cooling fan

Figura 0053  
Principales parámetros y propiedades del Cura 13.10  
Elaboración Propria

### 3.5 Materiales Básicos de Impresión para una RepRap (Prusa i3).

En este apartado se usará una impresora RepRap Prusa i3, de una boquilla con diámetro de 0.4 mm debido a que es un producto accesible a la mayor parte de la sociedad y permite utilizar diferentes filamentos de diversos materiales. Únicamente se tomarán en cuenta algunos de los materiales termoplásticos más comunes para este apartado y se dejarán de lado materiales pastosos y de impresión en frío.

Antes de realizar una impresión es recomendable revisar la calibración de la cama de impresión, esta deberá ser paralela al los ejes XY. Según el material que utilicemos habrá diferentes parámetros para tomar en cuenta en el software de rebanado (Slicing) estos valores son aproximados y es importante tomar en cuenta las recomendaciones del proveedor del material ya que este puede tener variaciones.

Estos parámetros son:

**Velocidad de Impresión**, compuesto por la velocidad recomendada para realizar la impresión y tener una buena adhesión a la superficie de la cama y entre las diferentes capas del objeto.

**Rango de Temperatura de extrusión**, compuesto por la temperatura mínima y máxima recomendada para utilizar el material.

**Rango de Temperatura de la cama de impresión**: Temperatura de la cama de impresión para tener una mejor adhesión a la cama y evitar efectos como el wrapping (encogimiento) y facilitar la separación del objeto con la cama.

## **Material recomendado para la cama de impresión:**

Dependiendo del material podremos determinar que tipo de superficie de nuestra cama puede tener mejores propiedades para la adhesión del objeto con la cama y evitar que este se despegue durante la impresión.

### PLA

Actualmente es el material de impresión más común para las impresoras personales por FDM, es un compuesto a base de materiales orgánicos, este es muy recomendado para principiantes debido a su facilidad de uso.

Velocidad de impresión	1 - 150 mm/s
Temperatura de impresión	185-235 °C
Temperatura de cama de impresión	Ambiente - 60°C
Superficie de la cama	Cinta kapton, vidrio (60°C), cinta de pintor azul, vinil

Tabla 0007  
Tabla Parámetros recomendados para impresión de PLA. Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 95.

### PLA Flexible

La variedad de colores es más limitada que el PLA y tiene una consistencia más flexible.

Velocidad de impresión	1 - 50 mm/s
Temperatura de impresión	210-240 °C
Temperatura de cama de impresión	Ambiente - 60°C
Superficie de la cama	Vidrio (60°C), cinta de pintor azul.

Tabla 0008  
Tabla Parámetros recomendados para impresión de PLA flexible. Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 95.

### LayWoo-D3

Este material parece y huele como madera ya que está compuesto en un 40% de madera reciclada, según la temperatura de impresión el resultado final puede tener un tono más claro (baja temperatura) o mas oscuro (alta temperatura).

Tabla 0009  
Tabla Parámetros recomendados para impresión de LayWoo-D3.  
Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 95.

Velocidad de impresión	1 - 50 mm/s
Temperatura de impresión	175-250 °C
Temperatura de cama de impresión	Ambiente
Superficie de la cama	Cinta de pintor azul

### LayBrick

Tiene una textura arenosa similar al yeso, una temperatura baja permite un acabado más liso, una temperatura alta tiene un acabado mas rugoso.

Tabla 0010  
Tabla Parámetros recomendados para impresión de LayBrick.  
Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 96.

Velocidad de impresión	1 - 50 mm/s
Temperatura de impresión	165-230 °C
Temperatura de cama de impresión	Ambiente
Superficie de la cama	Cinta de pintor azul

### ABS

Es utilizado para fabricar los bloques de Lego y uno de los materiales más utilizados en la impresión 3D. Existe una gran variedad de colores y aleaciones de este material.

Velocidad de impresión	1 - 150 mm/s	
Temperatura de impresión	215-250 °C	
Temperatura de cama de impresión	100 °C	
Superficie de la cama	Cinta Kapton.	

#### Poliestireno de Alto Impacto (HIPS)

Este puede ser utilizado tanto para objetos finales como para material de soporte ya que es soluble en limoneno, sustancia natural que se extrae de la cáscara de los cítricos, este es más económico que el PVA y puede tener un terminado más liso que otros materiales de impresión.

Velocidad de impresión	1 - 80 mm/s	
Temperatura de impresión	220-235 °C	
Temperatura de cama de impresión	115 °C	
Superficie de la cama	Cinta Kapton	

#### Nylon (Nylon)

Este polímero artificial presenta mayor warpping que otros materiales y puede ser mas difícil de trabajar que otros plásticos, aunque los objetos impresos en Nylon pueden tener una mayor resistencia a la flexión y a fricción.

Velocidad de impresión	1 - 80 mm/s	
Temperatura de impresión	235-260 °C	
Temperatura de cama de impresión	Ambiente	
Superficie de la cama	Hoja de nailon, garolite (fibra de vidrio).	

Tabla 0011  
Tabla Parámetros  
recomendados para impresión de ABS. Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 96.

Tabla 0012  
Tabla Parámetros  
recomendados para impresión del HIPS . Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 96.

Tabla 0013  
Tabla Parámetros  
recomendados para impresión del Nailon . Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 96.

Tabla 0014 Tabla Parámetros recomendados para impresión de PET Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 96.	Tereftalato de Polietileno (PET)	Este termoplástico transparente es muy fuerte y resistente al impacto, al imprimir en capas mas gruesas ofrece una mayor claridad del objeto.
	Velocidad de impresión	N/D
	Temperatura de impresión	210-220 °C
	Temperatura de cama de impresión	Ambiente - 65 °C
Tabla 0015 Tabla Parámetros recomendados para impresión del HDPE Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 96.	Superficie de la cama	Cinta azul de pintor, cinta Kapton o vidrio
	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Tiene poca adhesión a la superficie de impresión, actualmente se utiliza muy poco, es un material experimental.
	Velocidad de impresión	N/D
	Temperatura de impresión	280-305°C
Tabla 0016 Tabla Parámetros recomendados para impresión del Policarbonato Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 97.	Temperatura de cama de impresión	90 °C
	Superficie de la cama	Cinta Kapton.
	Policarbonato (PC)	Este material requiere de una extrusora de alta temperatura, es un material experimental.
	Velocidad de impresión	N/D
	Temperatura de impresión	225-230°C
	Temperatura de cama de impresión	Ambiente
	Superficie de la cama	Hoja de polipropileno.

### Policaprolactona (PCL)

Es un polímero biodegradable flexible tiene un punto de fusión muy bajo y esto permite que pueda ser deformado con facilidad. También es conocido como "Polimorph" e "InstaMorph"

Velocidad de impresión	N/D
Temperatura de impresión	100°C
Temperatura de cama de impresión	Ambiente
Superficie de la cama	Acrílico

Tabla 0017  
Tabla Parámetros recomendados para impresión del PCL . Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 97.

### Alcohol Polivinílico (PVA)

Este material es regularmente utilizado como material de soporte, es costoso y difícil de manejar.

Velocidad de impresión	50-80 mm/s
Temperatura de impresión	180-200°C
Temperatura de cama de impresión	50 °C
Superficie de la cama	Cinta de pintor azul.

Tabla 0018  
Tabla Parámetros recomendados para impresión del PCL . Fuente: Kaziunas-comp,2013 pg 97.

### 3.6 Fabricación Sustractiva.

La impresión 3D es un método de fabricación por adición, y existe su contraparte sustractiva. Mientras que la impresión 3D sumamos capas o moléculas de material en la fabricación sustractiva restamos material de un bloque o elemento, de manera similar a como algunos escultores van tallando y picando un bloque de mármol para darle la forma deseada. Un centro de maquinado CNC es la contraparte sustractiva de la impresión 3D, de manera similar a esta tiene un cabezal que va cortando o desbastando el material en tres ejes para obtener la forma deseada y utiliza un código similar al utilizado en la impresión 3D llamado Código G, que proporciona las rutas que este cabezal tiene que seguir para tallar la pieza. Entre otros métodos de fabricación sustractiva se encuentra el corte a láser, corte de vinil, sierras, tornos, etc. El maquinado en CNC puede ser tomado como un ejemplo que acumula las características más importantes de la fabricación sustractiva . Algunas desventajas del maquinado por CNC en comparación con la impresión 3D son:

- Genera mayor cantidad de desperdicio.
- De no ser controlado el “polvo” que resulta de este método puede ser nocivo para la salud humana o para algunos componentes electrónicos.
- Es más peligroso para el usuario que la impresión 3D, cuchillas y otros elementos giran a grandes velocidades (hasta 20,000 RPM) y pudiera disparar fragmentos de este elemento que puede ocasionar daños al usuario.

-Una máquina CNC es comúnmente más pesada y tiene mayor volumen que una impresora 3D, haciéndola mas difícil para transportar.

-Preparar los “trayectos” para maquinado CNC es más complejo que preparar los trayectos de una impresora 3D (Código G) ya que este requiere ubicación y dimensiones del bloque a tallar, dimensión de la fresa y velocidad de las rotaciones de esta según el material.

- Objetos de geometría compleja son difíciles y algunas veces imposibles de fabricar en una máquina CNC.

-En el maquinado CNC algunas veces hay que modificar el trayecto (código G) para evitar que la fresa colisione con el objeto que estamos tallando.

Al escribir este documento la principal ventaja del maquinado CNC en cuanto a la impresión 3D, es que esta es una tecnología mucho mas madura y documentada que la impresión 3D y es utilizada en un mayor número de aplicaciones, aunque, es importante recordar que la impresión 3D evoluciona muy rápidamente y seguramente pronto esta alcance y supere las aplicaciones del maquinado CNC.

## Cápitolo IV: Aplicación Arquitectura, Diseño y Construcción.

### 4.1 Diseño procesal, paramétrico y generativo

La metodología y/o proceso del diseño es variable según la época, autor, geografía, etc. Sin embargo es un proceso del raciocinio humano. La metodología de la programación digital, es una técnica que emula el proceso del pensamiento humano. En esta podríamos definir que existen tres elementos indispensables para el proceso de datos que tiene como objetivo resolver un problema u obtener un resultado.



Diagrama 0001  
bloques del computador  
digital (Broadbent pg.281)

Si hacemos una analogía entre el proceso de diseño y la programación e intentamos situar las etapas del diseño en alguno de estos elementos, según diversos autores de la Teoría de diseño, podríamos caracterizarlos de la siguiente manera:

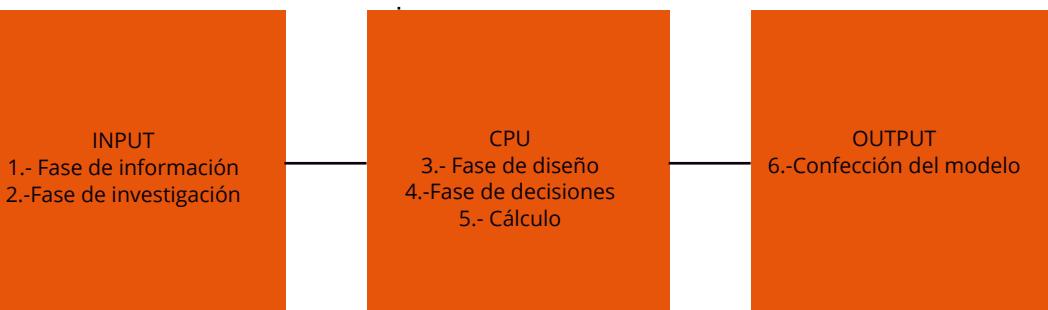
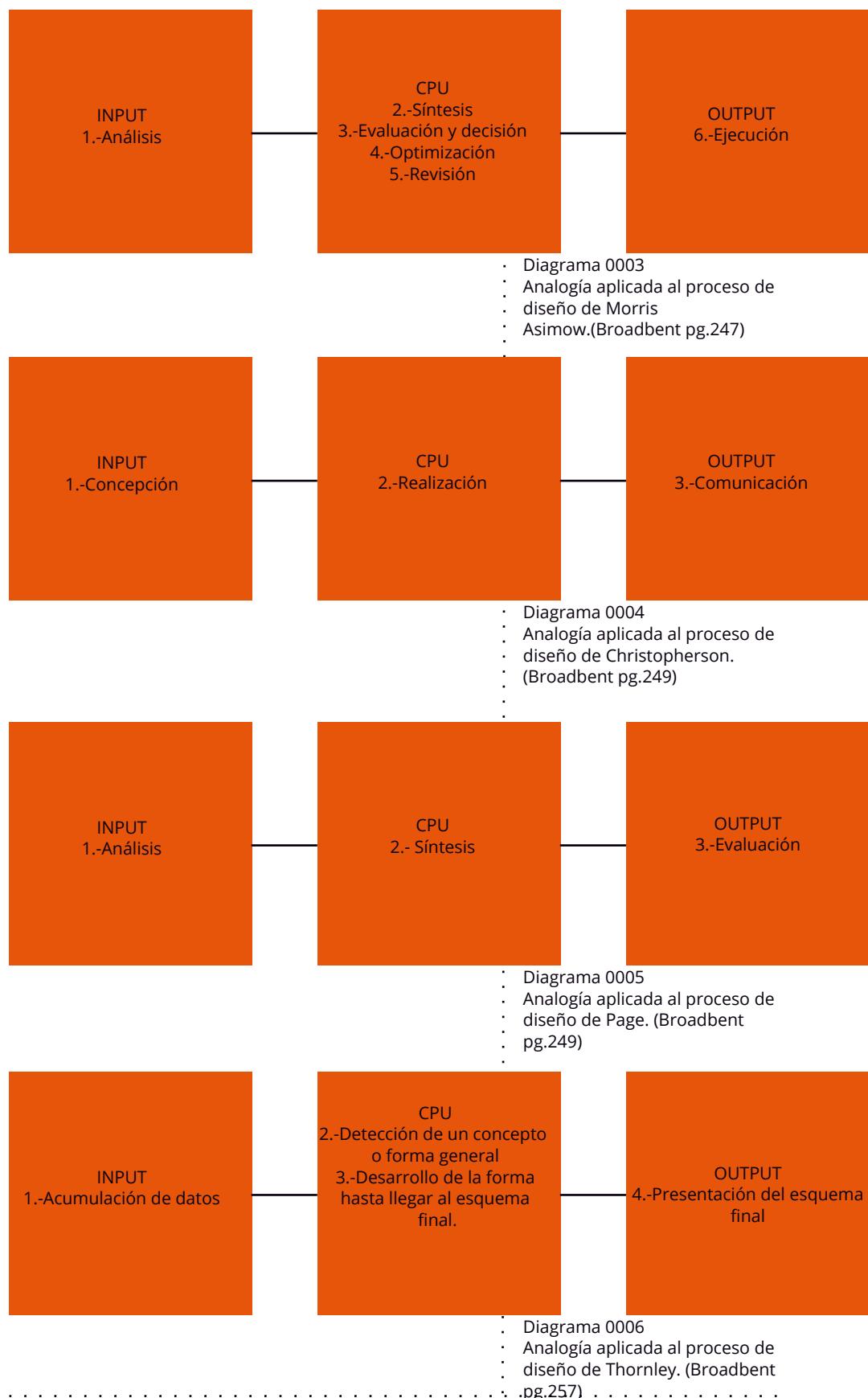


Diagrama 0002  
Analogía aplicada al la  
metodología de diseño de Hans  
Gugelot (Broadbent pg.246)



De esta forma el proceso de diseño siendo comparado con el proceso del razonamiento humano y la programación digital puede estar comprendido en las siguientes etapas.

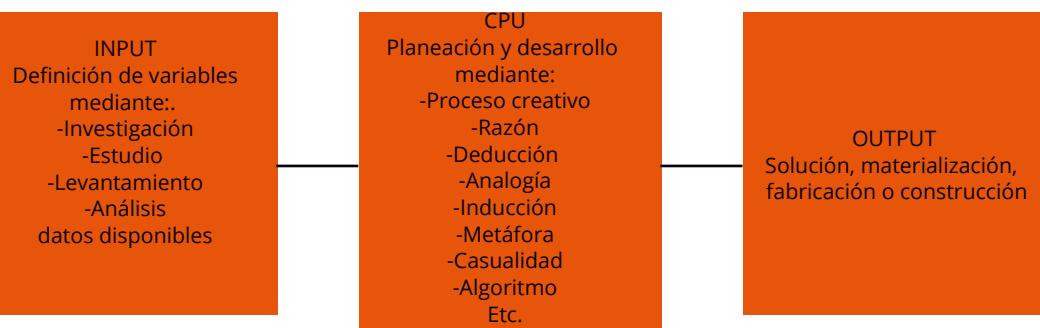


Diagrama 0007  
Conclusión de analogía del  
método de diseño.

Según la Real Academia Española, la palabra proceso se define como un “conjunto de fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial”. Podríamos deducir por definición que el diseño procesal es aquel que para llegar al resultado se basa en una serie de instrucciones predefinidas, sin embargo, la definición de variables y el como se siguen estas instrucciones pueden tener resultados diversos, ya que estas dependen de cómo el diseñador interpreta y aplica estas instrucciones.

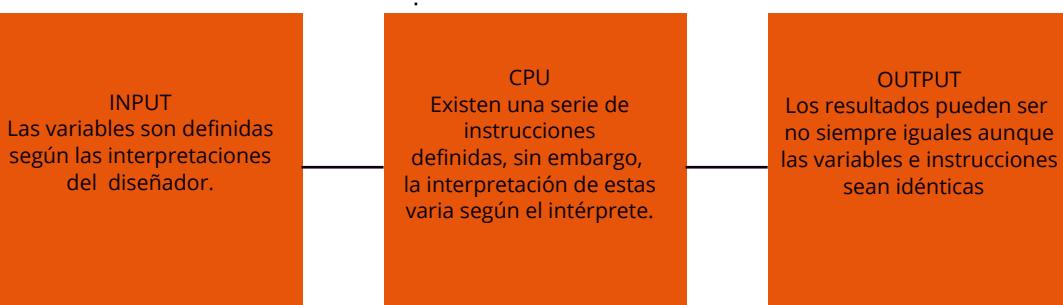
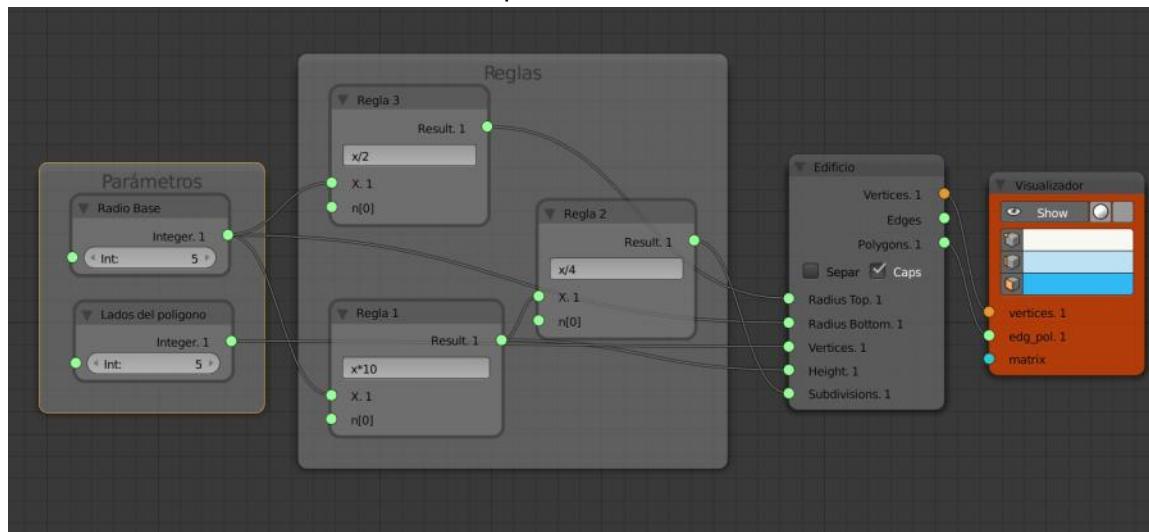


Diagrama 0007  
Interpretación propia del diseño  
Procesal.

El diseño paramétrico ha estado más ligado al diseño mediante sistemas CAD o dibujo auxiliado por computadora. Entre las variables existen parámetros que son una parte indispensable para el resultado final, según Nick Easton en el Design Community Architecture Forum<sup>30</sup> un parámetro “es una variable a la que otras variables están relacionadas, y estas otras variables son obtenidas por medio de una ecuación paramétrica”, esto permite que los resultados puedan ser recalculados rápidamente cuando cambiamos los valores de estos parámetros.



Un ejemplo es el caso de un edificio en el que podríamos parametrizar algunos de sus elementos, para obtener diferentes resultados según los parámetros y reglas definidas:

Reglas:

1. La altura del edificio deberá ser 10 veces el diámetro de la base
2. La altura entre pisos no podrá ser menor a 4 metros de altura
3. La losa superior del edificio sera la mitad del radio de la base
4. La base deberá ser un polígono regular.

<sup>30</sup> <http://www.designcommunity.com/discussion/25136.html>

Figura 0054  
Definición en Sverchok para generar la forma del edificio con las reglas asignadas.  
Elaboración propia

Tanto las variables como las ecuaciones o fórmulas entre estas siempre tendrán un resultado esperado por el diseñador, ya que estas están predefinidas previamente y no dejan lugar a interpretaciones del diseñador, incluso puede computarse una variable aleatoria, que aunque genere variaciones en el resultado, esta será siempre controlada por la ecuación. Según A.A. Markov, un algoritmo “es una prescripción exacta que define un proceso computacional que conduce desde diversos datos iniciales al resultado deseado”<sup>31</sup>.

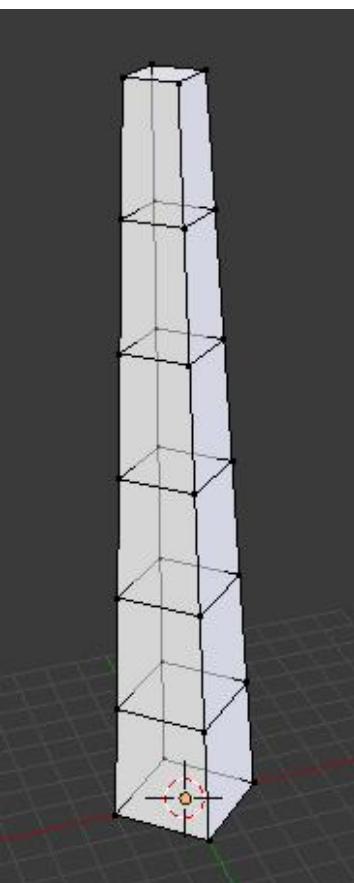


Figura 0055  
Resultado con parámetros:  
Radio de la base = 2  
Lados del Polígono = 4  
Elaboración propia

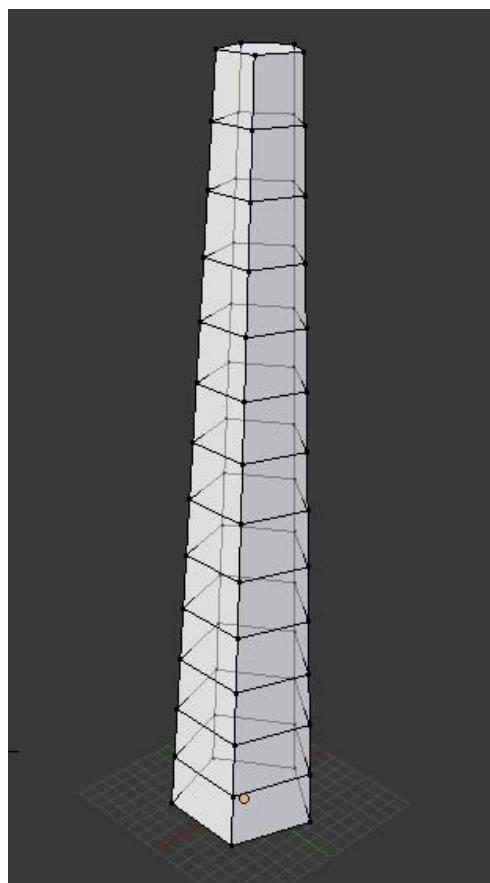


Figura 0055  
Resultado con parámetros:  
Radio de la base = 5  
Lados del Polígono = 4  
Elaboración propia

31 Broadbent 1982

Con esta definición se concluye que el Diseño Paramétrico puede consistir en diseñar algoritmos para resolver problemas referentes al diseño. El diseño Paramétrico puede aprovechar la capacidad computacional para optimizar en el diseño variables complejas de computar por el ser humano como:

- Asoleamientos
- Cargas Estructurales
- Vientos
- Aprovechamiento energético
- Confort
- Área

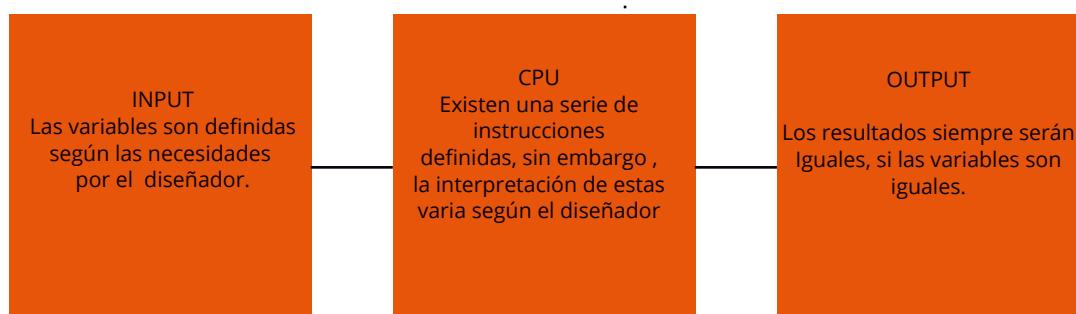


Diagrama 0008  
Interpretación propia del diseño Paramétrico

La cantidad de variables puede ser tan grande como se requiera. Según la complejidad de las variables este proceso podría llevarle al hombre mucho tiempo para llegar al resultado deseado o tal vez únicamente llegar a un resultado aproximado, sin embargo, para una computadora estas operaciones pueden hacerse en segundos y en tiempo real actualizar el modelo digital que estamos generando, en el caso de utilizar un software BIM (Building Information Modeling) podríamos generar los planos y dibujos de proyectos complejos, de manera automatizada y en poco tiempo.

Este tipo de modelos digitales puede llegar a tener una complejidad tan grande que fabricarlos pudiera ser imposible con métodos de construcción tradicionales, sin embargo, así como las computadoras facilitan el diseño , las impresoras 3D pueden hacer posible la construcción de prototipos iteracionales de estos modelos, o incluso la fabricación final del objeto.

El diseño Generativo según Sivam Krish<sup>32</sup> “no es acerca del CAD, si no de utilizar el CAD para generar diseño, es acerca de incorporar inteligencia al CAD y utilizar este de manera inteligente, haciendo el mejor uso de sus capacidades heredadas”.

Segun Lars Hesellgren “ El diseño generativo no se trata de diseñar el edificio, se trata de diseñar el sistema que diseña edificios.”<sup>33</sup>

Aunque parece similar al diseño paramétrico, el diseño generativo se refiere a incorporar la inteligencia de diversos factores, disciplinas, reglas o teorías, y a partir de esto permitir que el software CAD genere los resultados mas óptimos posibles o deseados.

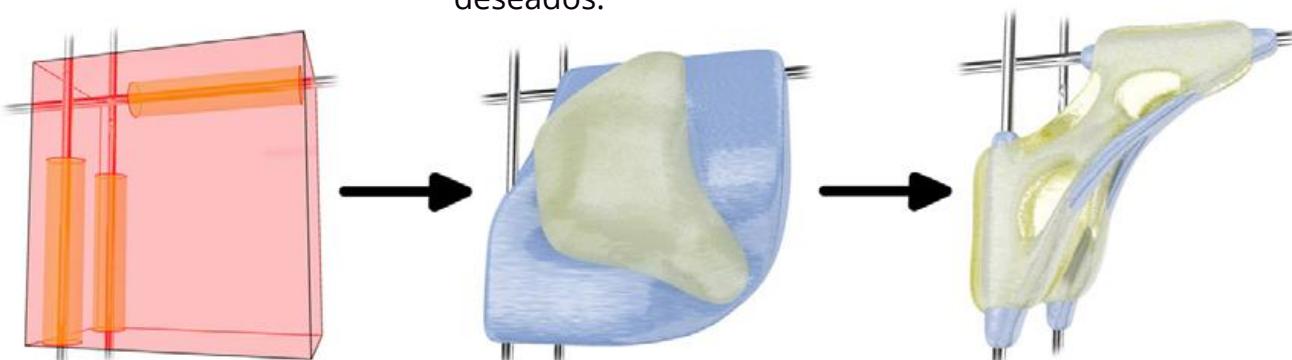


Figura 0056

El diseño generativo facilita desarrollar componentes que optimizan la relación materia prima-resistencia mecánica  
Lipson, Hod. 2013 pg. 248

32 <https://generativedesign.wordpress.com/2010/04/08/why-generative-design-needs-to-be-open-cad-independant/> rev. 14/05/2014  
33 <https://generativedesign.wordpress.com/2011/01/29/what-is-generative-desing/#more-1314> 2011 rev. 01/06/2014

En este caso las variables serán determinadas por el mismo software, que para determinarlas podrá utilizar diferentes metodologías incorporadas por el programador (diseñador). Por ejemplo hacer una serie de iteraciones para determinar la forma óptima del objeto tomando en cuenta reglas definidas para factores como gravedad, peso, resistencia del material, vientos , etc.

Incluso se puede emular computacionalmente las deformaciones que ejerce la gravedad sobre un textil para determinar la forma en que las cargas son mejor transmitidas al suelo, esto es similar al método utilizado por Antonio Gaudi para diseñar la Sagrada Familia, sin embargo este no puede ser considerado Generativo debido a que intervino de manera constante en la "estética" de la forma y este fue realizado manualmente utilizando la fuerza de gravedad. Igualmente se puede utilizar un modelo evolutivo generativo para que mediante un algoritmo, que emule las condiciones, seleccione el diseño mejor adaptado a estas.

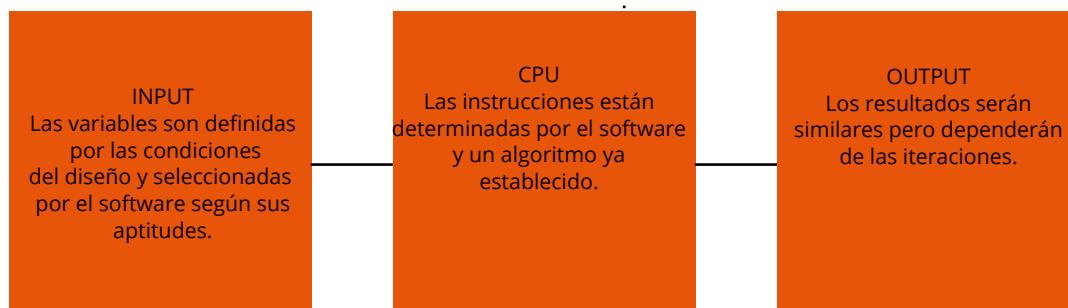


Diagrama 0009  
Interpretación propia del diseño generativo.

La impresión 3D puede aplicarse de manera directa en dos de estas tres etapas, tanto en el procesamiento de datos, como en la materialización, en cada uno de estos de manera completamente diferente.

Ambas de estas etapas se han visto limitadas por las herramientas tecnológicas disponibles. El desarrollo tecnológico ha facilitado tanto la etapa del proceso creativo como la fabricación del resultado de esta, sin embargo, la creatividad humana y poder computacional superan la capacidad tecnológica actual para llevar acabo la fabricación de los diseños más complejos. En los últimos años, las computadoras personales han permitido una sinergia entre el diseño y la implementación de procesos y algoritmos en las etapas de este, estos ayudan a resolver problemas de manera más rápida y eficaz que el ser humano, y así como el proceso de diseño está evolucionando a una digitalización, la impresión 3D es la contraparte en la fabricación, que permite la materialización de estas nuevas tendencias del diseño. Cada diseño es altamente personalizable, y cada elemento de este suele ser único, esto dificulta y encarece la fabricación tradicional de dichos componentes. Mediante el uso de la impresión 3D, el costo y dificultad de fabricación de elementos idénticos o diferentes suelen ser iguales, siempre y cuando estos tengan la misma masa volumétrica.

## 4.2 Diseño Biomimético

"Los investigadores del diseño han ignorado el proceso de diseño por excelencia, un método que ha tomado billones de años y sigue en proceso, que al parecer no solo ha resuelto el problema de diseño, lo ha estado afinado a su perfección. Las raíces de los procesos del diseño actual están basadas en una práctica medieval y el diseño es demasiado divertido y tan apagado al ego del diseñador, que difícilmente estos lo entregaran a las maquinas."<sup>34</sup>

En el origen de las especies, Charles Darwin se explica la teoría de la selección natural, y se compara con la selección artificial realizada por el hombre, en el proceso de cruce de especies se busca obtener una o varias características en especial<sup>35</sup>. Esta ha derivado en millones de especies diferentes, de las cuales las que sobreviven son aquellas que mejor se adaptan al entorno. Estudiar estas características definidas por naturaleza en problemas aplicados al diseño, por ejemplo la capacidad de carga de un tallo, lograría eficientar y optimizar el resultado generado por el diseñador. Las capacidades de la impresión 3D y la manera en que esta genera objetos permiten que podamos emular formas, estructuras, elementos y sistemas, que serían imposibles de fabricar de otra manera.

La arquitecta y diseñadora Neri Oxman del laboratorio de medios del MIT, ha estudiado el biomimetismo y su implementación en el diseño mediante la impresión 3D. Ella afirma que "La forma de la materia está ligada a las influencias de las fuerzas que actúan sobre ella, la materia se concentra en las

34 <https://generativedesign.wordpress.com/2009/10/28/nature-design-process/> Sivam Krish 2009 rev. 15/05/2014

35 <http://blogs.the451group.com/opensource/2010/10/13/a-darwinian-theory-of-open-source-development/> Mattew Aslett 2010 rev. 01/06/2014.

regiones de mayor esfuerzo y se dispersa en las áreas donde la rigidez no es necesaria". También explica que las implicaciones estructurales heterogéneas en la naturaleza permite un espacio casi ilimitado en términos de variación geométrica y topográfica, que promueve altos niveles de integración funcional entre las propiedades de los materiales y la distribución de estos, incluso llegando a permitir la posibilidad de adaptación responsiva o crecimiento real en el diseño.<sup>36</sup>

En su publicación Functionally Graded Rapid Prototyping (FGRP), propone un método para imprimir en 3D con concreto de densidad controlada y un fotopolímero para explorar sus variables de elasticidad<sup>37</sup>. En este propone que similar a una palmera que tiene una densidad radial variable, especifica para las necesidades estructurales y repuesta a las flexiones a las que se someten la palmeras, una columna de concreto es volumétricamente homogénea solo por que esto facilita la fabricación de dicha columna.



Figura 0057  
Densidad radial del  
tronco de una  
palmera.  
Nery Oxman  
Publicación FGRP

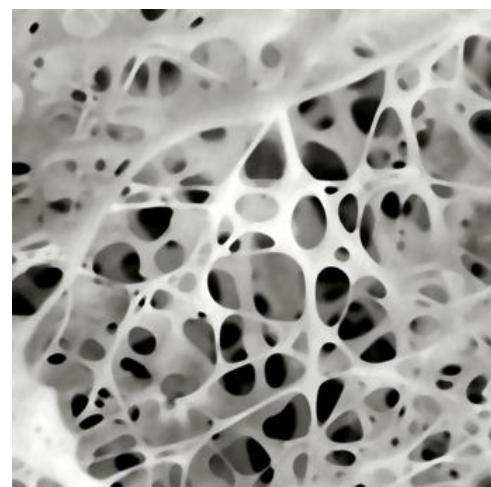


Figura 0058  
Densidad variable en  
un hueso esponjoso  
Nery Oxman  
Publicación FGRP

36 Manufacturing the bespoke:making and prototyping Architecture. Sheil Bob,Neri Oxman, Whiley, 2012 pg 257  
37 Neri Oxman [http://www.materialecology.com/assets/pdf/Publications\\_FGRP.pdf](http://www.materialecology.com/assets/pdf/Publications_FGRP.pdf) rev. 20/06/2014



Figura 0059  
Densidad y grosor variable  
demostrado por una Piel Carpal  
prototipo de entablillado.  
2008.Boston Museum of  
Science.  
Nery Oxman Publicación FGRP

“Fabricar por métodos de adición columnas con un material de densidad “graduable” ofrecería mejoras en el eficiencia estructural y ambiental, así como economizar los materiales y la distribución de estos”<sup>38</sup>. Esto tiene potencial en fabricar elementos constructivos de propiedades variables como densidad, elasticidad, translucidez, etc. Entre las funciones de estas propiedades se encuentra aumentar la capacidad de carga y permitir la ventilación e iluminación natural por medio del elemento, entre otros.

38 Neri Oxman [http://www.materialecology.com/assets/pdf/Publications\\_FGRP.pdf](http://www.materialecology.com/assets/pdf/Publications_FGRP.pdf) rev. 20/06/2014

Mediante un experimento realizado con una “espuma” de concreto, mezclando Cemento Portland tipo III y agregando a la mezcla polvo de aluminio y limón, que reaccionan y producen burbujas de hidrógeno. La cantidad de polvo de aluminio y limón permite controlar la porosidad del concreto. Dichas pruebas demostraron que un cilindro sometido a la flexión puede tener 9% menos masa que un cilindro de las mismas dimensiones y soportar el mismo esfuerzo optimizando la resistencia a la flexión en relación al peso del cilindro. En este se propone el uso de una impresora 3D montada en un brazo robótico de seis ejes para ofrecer completo control en la posición y ángulo de la cabeza de extrusión.<sup>39</sup>



Figura 0059  
Densidad radial del  
cilindro de concreto  
Nery Oxman  
publicación FGRP



Figura 0060  
Densidad lineal en un bloque  
de concreto  
Nery Oxman Publicación FGRP

39 Neri Oxman [http://www.materialecology.com/assets/pdf/Publications\\_FGRP.pdf](http://www.materialecology.com/assets/pdf/Publications_FGRP.pdf) rev. 20/06/2014

## 4.3 Métodos constructivos mediante la impresión 3D

La manufactura aditiva evoluciona diariamente, en el ámbito de la construcción se pueden implementar diversos métodos de impresión 3D para diferentes elementos, un edificio está compuesto por una gran diversidad de materiales, sistemas y elementos, cada método de impresión 3D puede resolver diferentes elementos de la construcción actual, por ejemplo una impresora de Modelado por Deposición Fundida de concreto podría hacer los muros de un edificio, sin embargo requeriríamos una impresora de Sinterización Láser para complementar el acero estructural o las instalaciones que corren dentro del muro, así mismo podríamos tener diversos métodos para cada elemento que compone el edificio. Actualmente no existe una impresora 3D capaz de "Imprimir" una casa por completo, sin embargo, existen varias propuestas que ofrecen diferentes aproximaciones para resolver esta problemática. Considero que todas estas aproximaciones pueden dividirse en tres grupos principales:

1. Impresoras 3D de bloques y elementos constructivos
2. Mega Impresoras 3D.
3. Cuadrillas de pequeñas impresoras.

En el primer grupo tenemos la posibilidad de realizar los elementos por partes, similar al proceso de fabricación de los prefabricados de diversos materiales, puede ir desde pequeños tabiques que conforman un muro, elementos de concreto para mega-estructuras o nodos de conexión para estructuras.

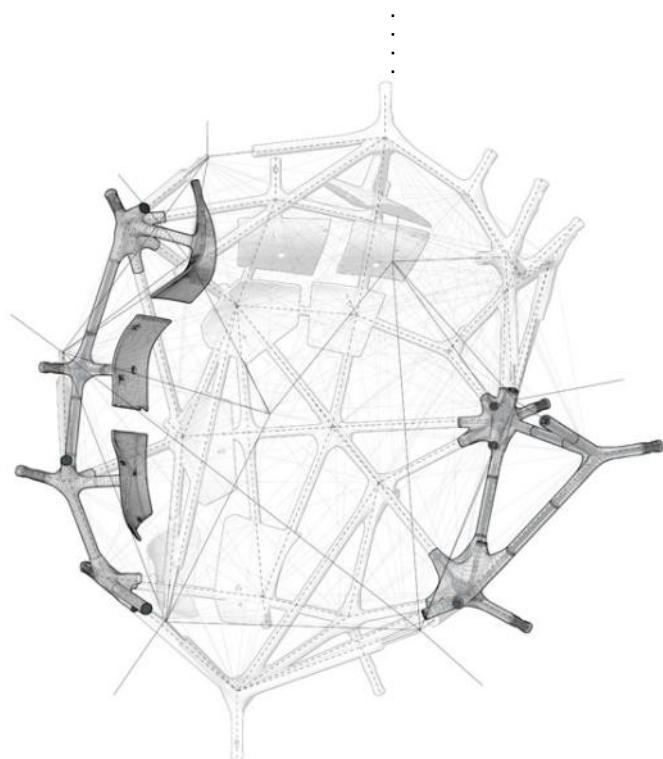


Figura 0061  
Modelo de un sistema biológico  
[labstudio.org](http://labstudio.org)

Este tipo de sistema puede utilizarse para optimizar las conexiones en estructuras metálicas, permitiendo que cada nodo sea diferente y de esta manera optimizar el transporte de carga mediante una estructura optimizada para los esfuerzos a los que esta será sometida.



Figura 0062  
Impresión 3D de los nodos en cerámica  
[labstudio.org](http://labstudio.org)

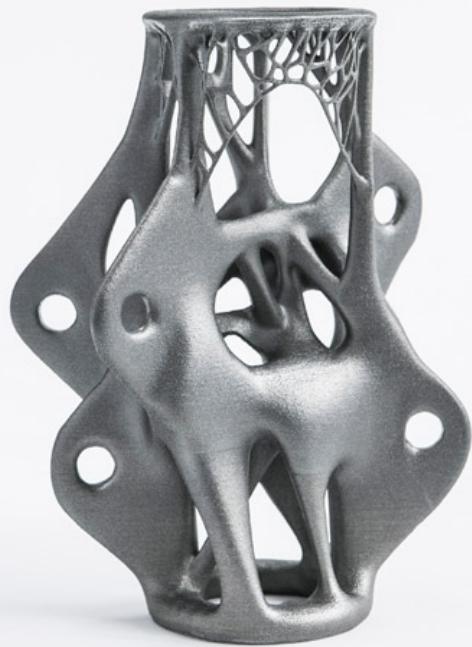


Figura 0063

Impresión 3D de un componente crítico para una estructura de acero a tensión diseñada por la firma ARUP  
<http://www.dezeen.com/2014/06/11/arup-3d-printed-structural-steel-building-components/>

La mampostería es sin duda uno de los primeros sistemas constructivos y probablemente el más utilizado en el mundo. Este sistema suele limitar las posibilidades constructivas del objeto arquitectónico, las formas no rectilíneas suelen ser muy difíciles de conseguir y puede aumentar considerablemente el costo de la materia prima como de la mano de obra. Brian Peters, creador del proyecto Building Bytes, predice que las impresoras 3D se convertirán en económicas fábricas portátiles de tabique para la construcción.<sup>40</sup>

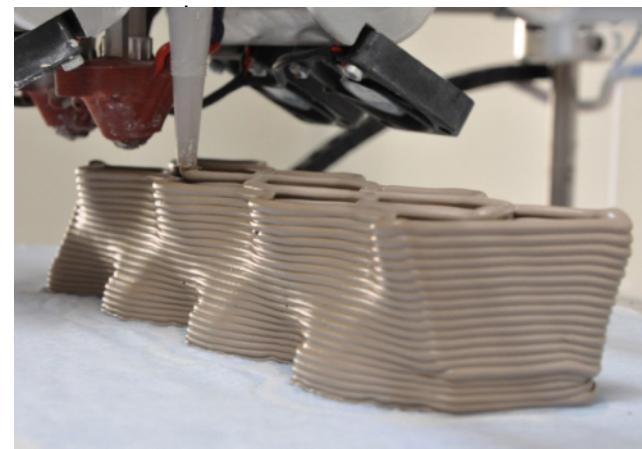


Figura 0064  
Impresión de tabiques de cerámica  
[buildingbytes.info](http://buildingbytes.info)

40 Dezeen Magazine <http://www.dezeen.com/2012/10/31/building-bytes-3d-printed-bricks-brian-peters/>



Figura 0062  
Arco Impreso en 3D formado por  
bloques de cerámica  
[labstudio.org](http://labstudio.org)

El resultado del artículo PolyBrick: Variegated Additive Ceramic Component Manufacturing<sup>41</sup>, son una serie de herramientas digitales para facilitar el acomodo de un sistema de muros a base tabiques de cerámica que puede ser ensamblado de manera fácil y sencilla. Que en contraste con otros sistemas tradicionales requieren de múltiples materiales y mano de obra intensiva. Estas herramientas digitales subdividen la geometría de un objeto de grandes dimensiones en pequeños bloques más fáciles de imprimir y automáticamente determina la mejor ubicación del machihembrado para cada uno de sus elementos, generando que cada uno de estos elementos tenga una ubicación y orientación “inteligente” que permita unir cada uno de estos con sus contrapartes adyacentes a manera de formar un rompecabezas, en el que la misma geometría mantiene cada uno de los elementos en su lugar. Esto evita el uso de mortero o adhesivos para mantener los elementos unidos.

41 Jenny E. Sabin <http://online.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2014.0012>

Figura 0063  
Modelo a escala de un muro con sistema  
Polibrick  
Jenny E. Sabin

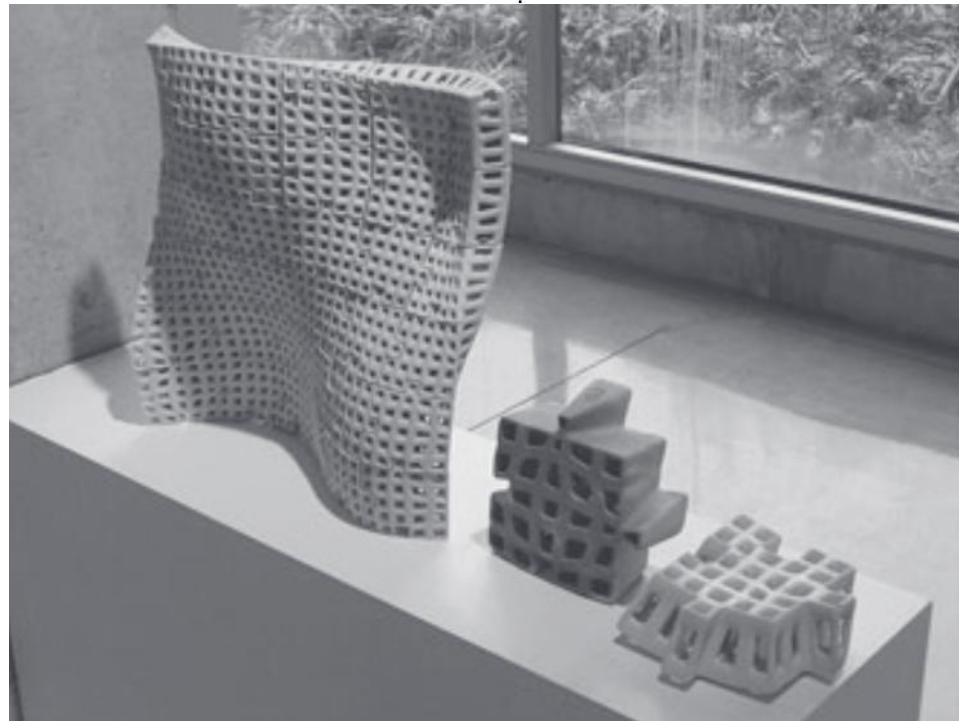
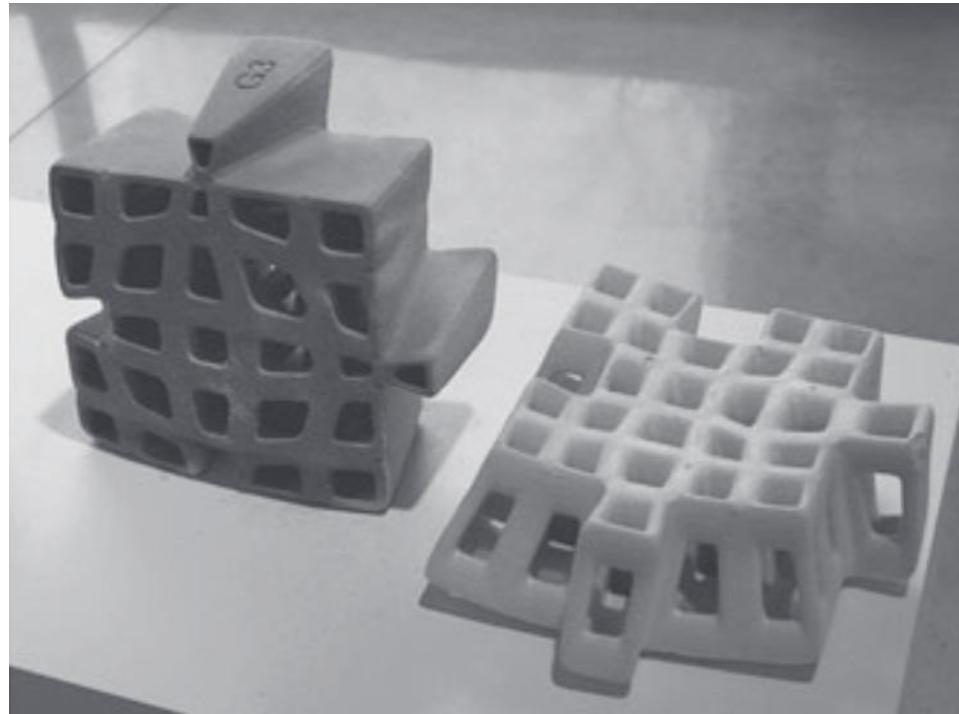


Figura 0064  
Tabiques de cerámica impreso en 3D  
Jenny E. Sabin



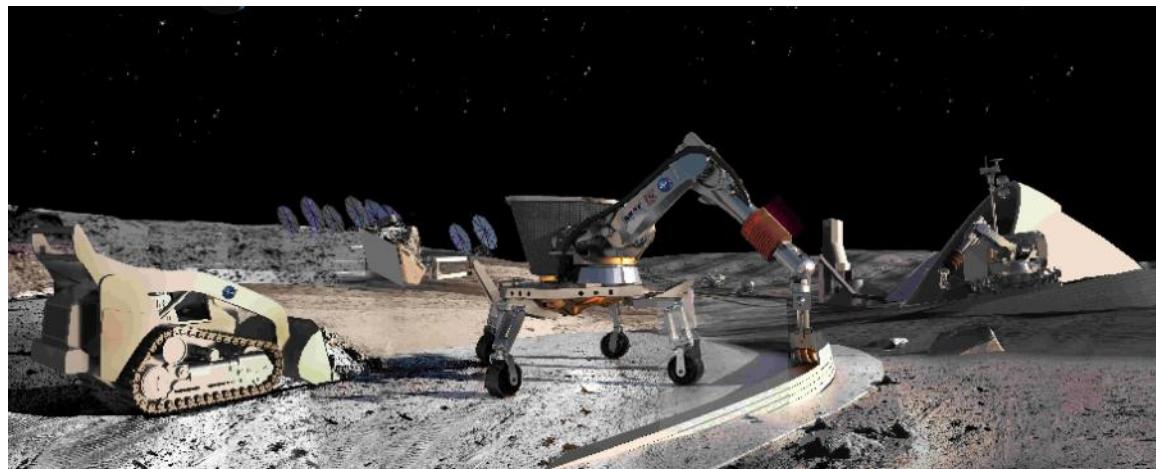
En el segundo grupo encontramos impresoras de grandes dimensiones, que requieren de estructuras montadas en el sitio para imprimir el objeto arquitectónico. Uno de los principales proyectos estudiando estas posibilidades es Countour Crafting, un proyecto de la Universidad del Sur de California, donde una de sus propuestas propone una “ensambladora” de casas, en donde uno de sus componentes es una impresora 3D. Esto es similar a la manera en la que un automóvil es ensamblado por robots automatizados, la diferencia es que el robot se monta en sitio y complementa el trabajo de la impresión 3D, con, por ejemplo, grúas que posicionan vigas prefabricadas en sitio, reduciendo la mano de obra considerablemente.



Figura 0065  
Contour Crafting Robotic  
Construction System  
[www.countourcrafting.org](http://www.countourcrafting.org)

Entre las soluciones que este sistema propone se encuentran:

- Construcción extra-terrestre y lunar.
- Construcción de caminos y calles.
- Construcción en Adobe.



Parte del análisis ecológico realizado en este estudio arroja que en comparación con mampostería de concreto, este sistema permite<sup>42</sup>:

- Utilizando el 75% del ciclo de vida, reduce el gasto total de energía hasta en un 50%.
- El desperdicio generado por este método representa 1/7 de su contraparte en mampostería durante la etapa de manufactura y construcción.
- Menos necesidad de transporte de materiales.
- Menor cantidad de mano de obra.

Figura 0066  
Propuesta para construcción lunar por Contour Crafting  
[www.contourcrafting.org](http://www.contourcrafting.org)

Otros proyectos que estudian una metodología similar son:

- D-Shape de Enrico Dini (<http://www.d-shape.com/>)
- Betabram impresora 3D de casas (<http://betabram.com/>)

42 Mansour Rahimi, Crafting Technologies Coverstory, [www.contourcrafting.org](http://www.contourcrafting.org)

En el tercer grupo se compone de pequeñas o medianas impresoras 3D y drones que trabajan en conjunto, pero cada uno de estos desarrolla un trabajo en específico. Similar a la forma de trabajar de las cuadrillas de albañiles en la obra, cuando uno de estos robots ha terminado su trabajo permite que otro tome su lugar para desarrollar la siguiente actividad, un ejemplo de estos es el proyecto MiniBuilders de la universidad de arquitectura avanzada de Cataluña. Estos pequeños robots trabajan en grupo para fabricar grandes estructuras. Actualmente se dividen en cuatro etapas de la construcción<sup>43</sup>:

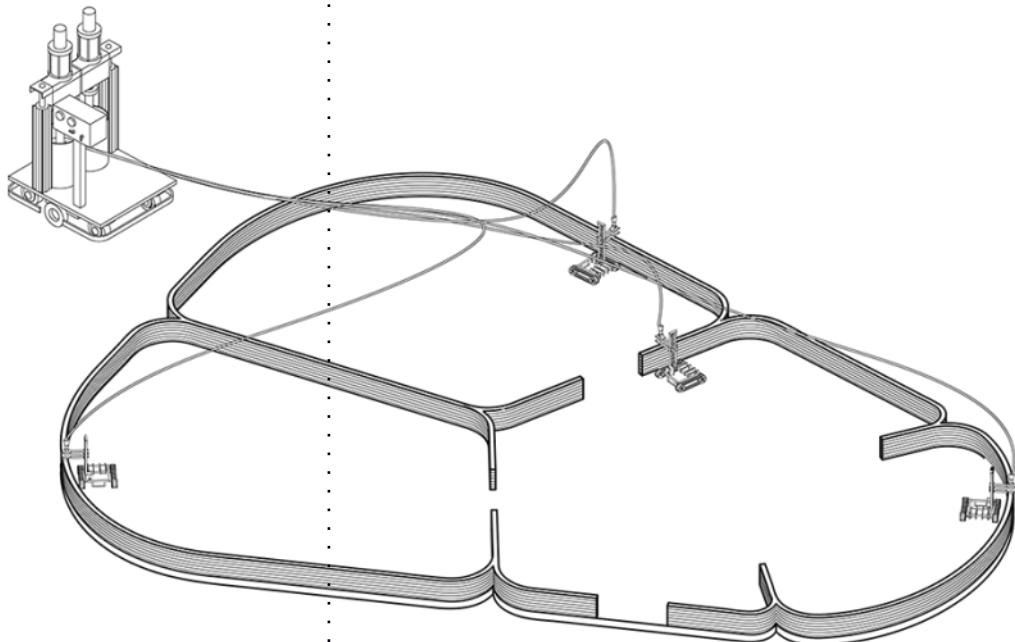


Figura 0067  
"Footprint printing robots"  
<http://iaac.net/printingrobot>  
s/  
22/06/2014

Base: Es la etapa inicial en donde uno o más robots imprimen las primeras 20 capas de la estructura y se mueven según el recorrido preestablecido por la computadora, estos se conectan al otro robot-bomba que los abastece de material.

43 <http://iaac.net/printingrobots/>

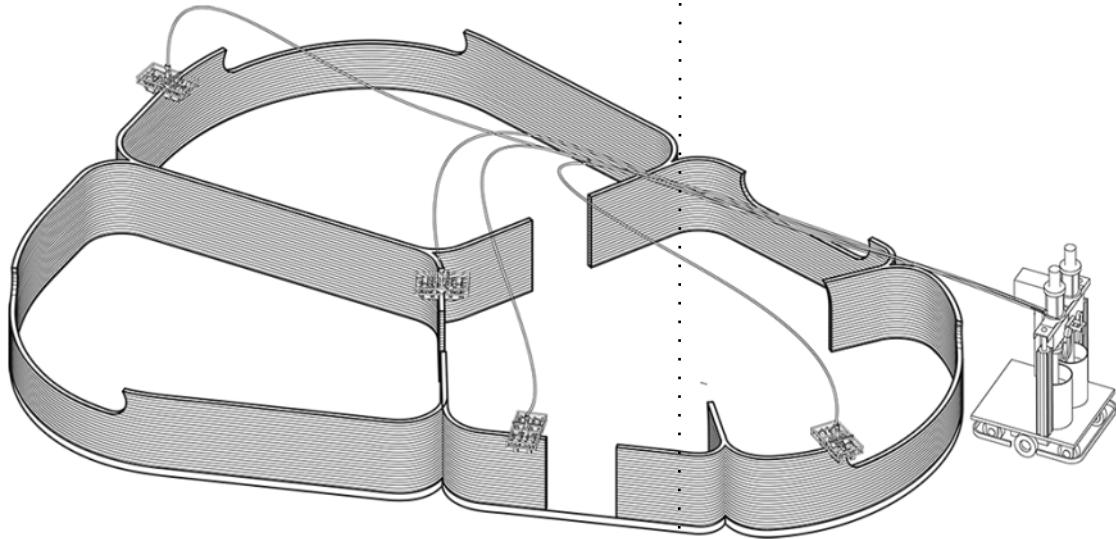


Figura 0068  
"Wall Printing Robots"  
<http://iaac.net/printingrobots/>  
22/06/2014

Muro: cuando la base esta termina, el siguiente grupo de robots se monta sobre esta para aumentar la altura del muro, estos se sostienen de las capas inferiores para seguir aumentando la altura.

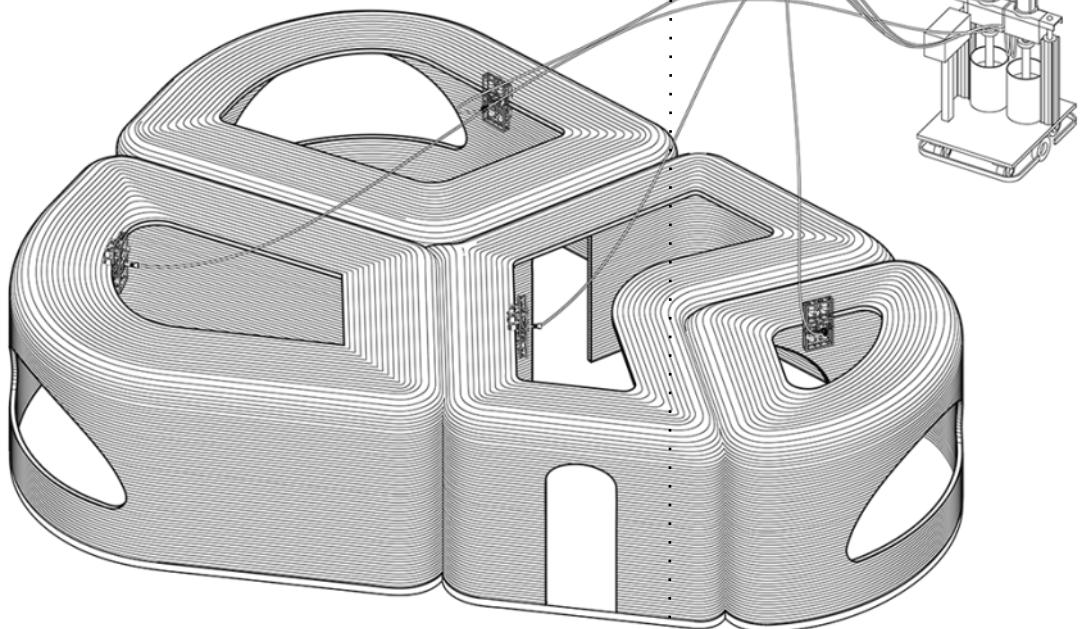


Figura 0069  
"Ceiling Printing Robots"  
<http://iaac.net/printingrobots/>  
22/06/2014

Losa: El agarre de estos robots es lo suficientemente fuerte y la velocidad de fraguado del material lo suficientemente rápida para imprimir horizontalmente, esto permite la impresión de la losa y de los cerramientos de puertas y ventanas.

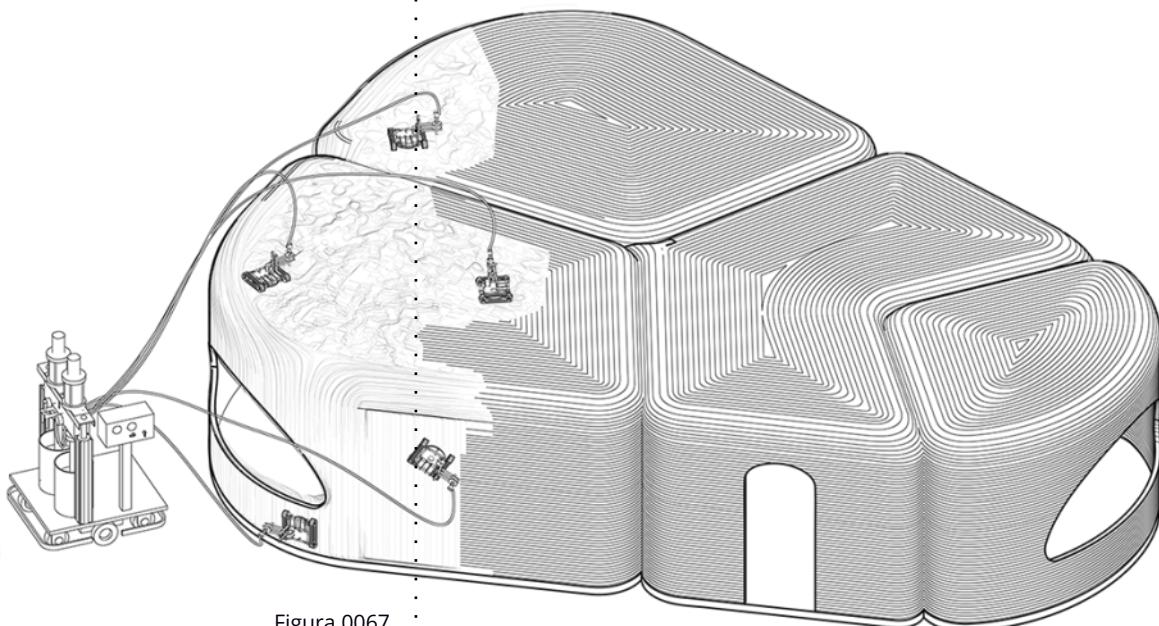


Figura 0067  
"Footprint printing robots"  
<http://iaac.net/printingrobot>  
s/  
22/06/2014

Refuerzo: para reforzar la carcasa que ya esta impresa, estos robots, capaces de adherirse a la superficie, imprimen capas adicionales sobre esta. Estas no necesariamente tienen que ser paralelas a las capas de la impresión previa y permite reforzar la estructura.

La construcción no está limitada al uso de FDM para estos tres grupos, pudiendo utilizarse métodos de pegado o fundición selectiva para sustituir los elementos que componen diferentes sistemas dentro de la construcción.

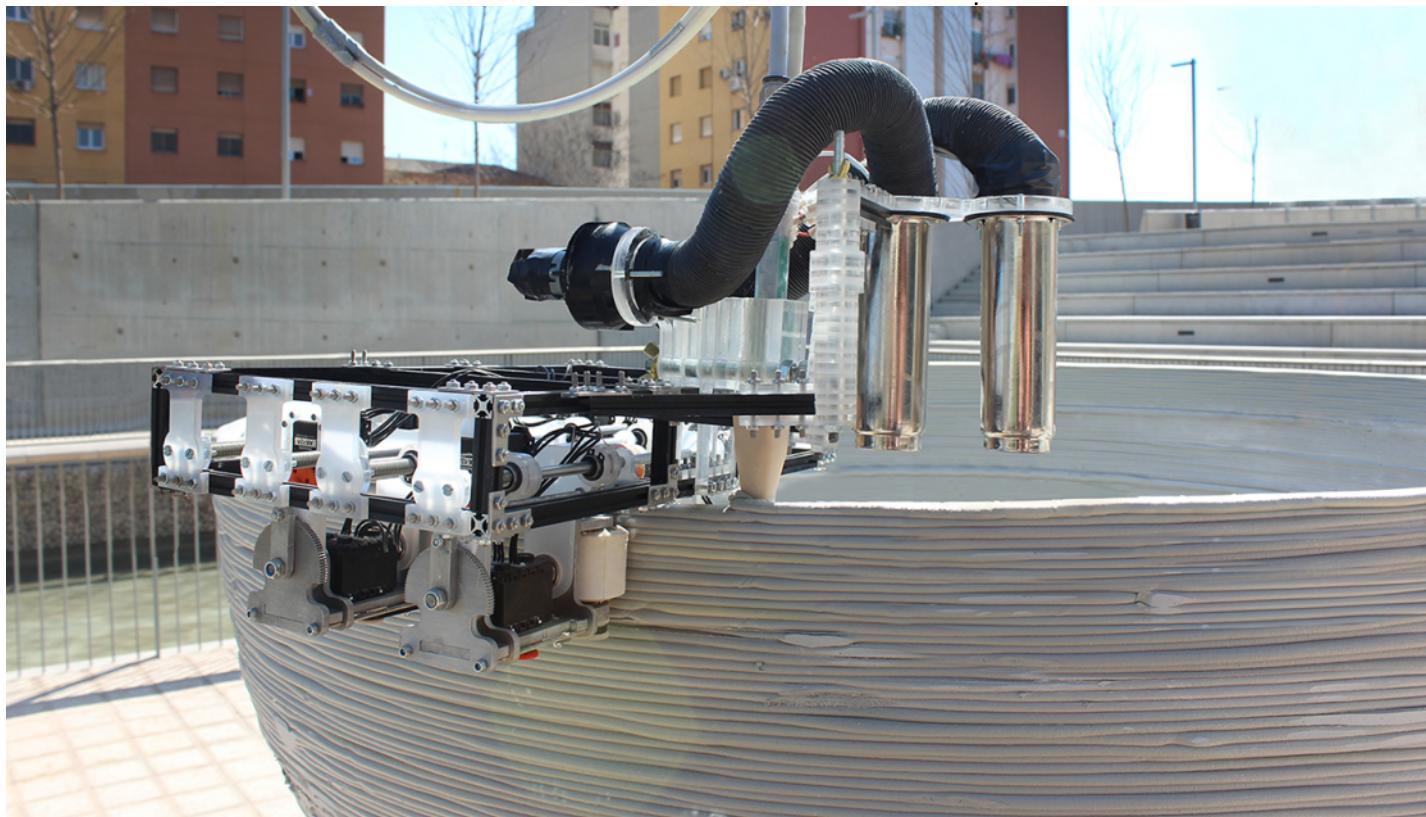


Figura 0068  
MiniBuilders en acción  
<http://iaac.net/printingrobots/>  
22/06/2014

Algunos otros proyectos que destacan por su aplicación a la construcción son:

Sinterizador Solar de Markus Kayser<sup>44</sup>, este proyecto parte de la idea de que existen dos grandes recursos en los desiertos, sol y arena. Este sistema enfoca los rayos solares para fundir la sección del objeto a imprimir en una cama de arena, todo el movimiento mecánico de este sistema es alimentado por un panel solar, por lo que es un sistema independiente. Una de las propuestas que propone es utilizar este método para hacer carreteras en el desierto, incluso la posibilidad de generar casas de arena fundida. Las ventajas ecológicas de este sistema pueden ser enormes ya que ambos recursos son muy abundantes.

44 <http://www.markuskayser.com/work/solarsinter/> 22/06/2014

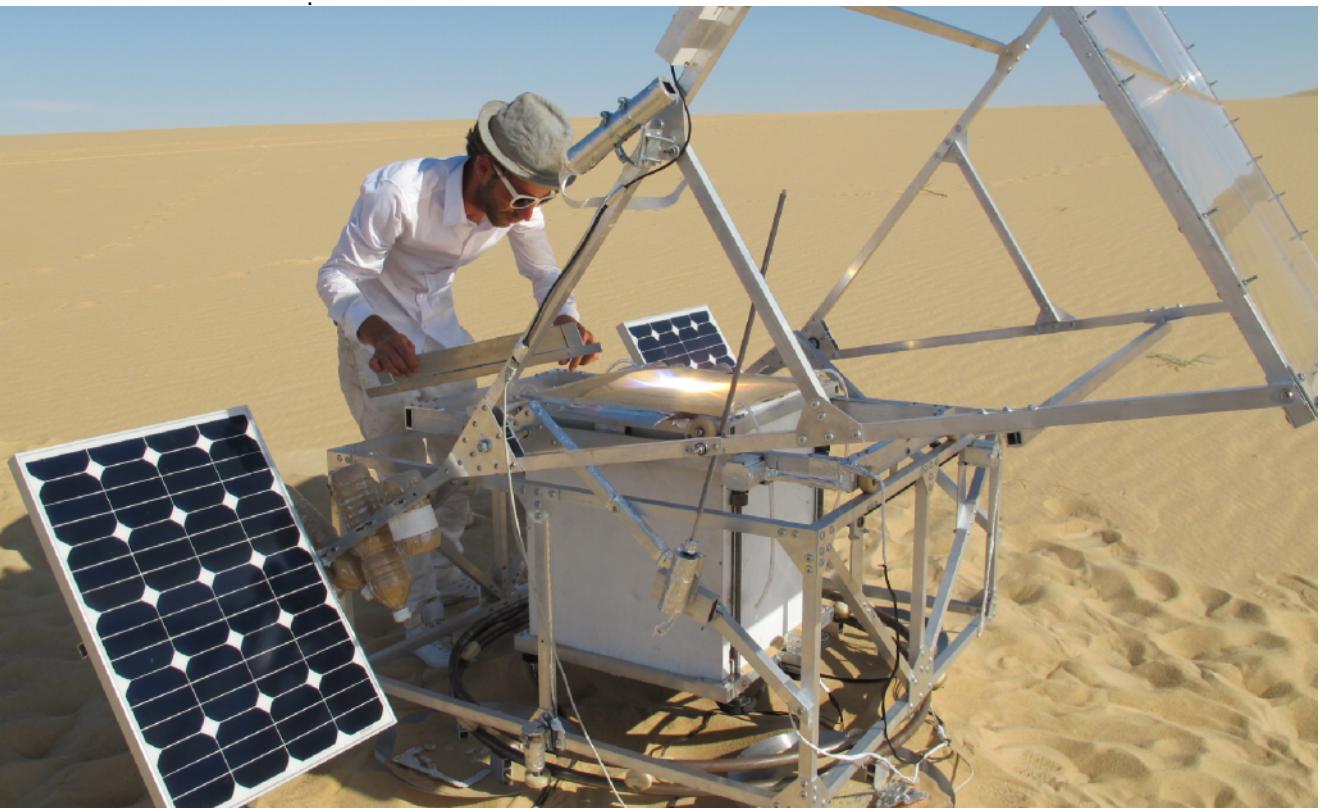


Figura 0069

Markus imprimiendo en el  
desierto del Sahara  
<http://www.markuskayser.com/work/solarsinter/>  
22/06/2014



Figura 0070

Resultado de una impresión  
por sinterización selectiva  
solar  
22/06/2014

Stone Spray es otro proyecto del Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña, que mediante un brazo robótico capaz de arrojar tierra granulada mediante un atomizador hace una mezcla de tierra con adhesivo para construir formas arquitectónicas<sup>45</sup>.



Figura 0068  
Stone Spray formando un puente (montaje)  
<http://www.petrnovikov.com/stone-spray.html>  
22/06/2014

Figura 0068  
Objetos impresos con Stone Spray  
[http://issuu.com/stonespray/docs/stone\\_spray\\_project](http://issuu.com/stonespray/docs/stone_spray_project)



45 Kullik, Anna. Digital Thesis:[http://issuu.com/stonespray/docs/stone\\_spray\\_project](http://issuu.com/stonespray/docs/stone_spray_project)

## Capítulo V: Conclusiones

- La manufactura aditiva no solo es aplicable como un método de prototipado rápido para las etapas del diseño como lo fue en sus inicios.
- La manufactura aditiva acelera el proceso iterativo del diseño ya sea mediante el arquitecto o algoritmos generados por computadora.
- La manufactura aditiva se está convirtiendo en una herramienta tan disruptiva como lo fueron las computadoras personales hace algunas décadas, poco a poco empezará a permear diferentes disciplinas, industrias y servicios. Así como las computadoras han cambiado las dinámicas para “hacer” arquitectura, y han generado nuevos nichos de trabajo como es la representación visual digital arquitectónica, la impresión 3D generará nuevas áreas de desarrollo en la arquitectura.
- La arquitectura es una disciplina que busca generar los espacios más adecuados para cada caso, la diversidad que esto ocasiona hace que la capacidad de la manufactura aditiva de generar personalización en masa sea perfecta para su implementación en la fabricación de diferentes elementos constructivos y espacios.
- La eficiencia de los procesos de manufactura aditiva permite optimizar el consumo de materia prima en los procesos de fabricación de elementos constructivos.
- La capacidad de la manufactura aditiva para fabricar objetos de geometría compleja permitirá que los arquitectos diseñen sin las limitaciones que actualmente genera la construcción tradicional. Igualmente será posible que tanto la geometría como la dosificación de los diferentes materiales que constituyen los elementos constructivos estén optimizados para soportar las diferentes cargas que influyan en estos.

-La manufactura aditiva a gran escala permitirá acelerar el proceso de construcción, la complejidad de la geometría dejará de estar ligada al costo y tiempo de construcción.

- Las instalaciones de un edificio podrán fabricarse embebidas en los elementos que los contienen, el concepto de edificios inteligentes tomará un nuevo significado cuando los diferentes elementos de un edificio estén interconectados y permitan la transmisión de datos para que realmente el edificio pueda reconfigurarse según los cambios en el entorno y el usuario.

-Las diferentes tecnologías de manufactura aditiva y la diversidad de materiales permiten que estas se implementen en más etapas de la construcción y el diseño.

-El uso de software de diseño para arquitectura y el conocimiento de este, facilita el uso de la manufactura aditiva como método constructivo.

- La arquitectura es una de las industrias que más se ha tardado en automatizar sus procesos, con esta tecnología esta disciplina podrá estar al nivel tecnológico de industrias como la aeroespacial.

## Anexos

## ANEXO 1

**United States Patent [19]**  
**Masters**

[11] Patent Number: **4,665,492**  
[45] Date of Patent: **May 12, 1987**

[54] COMPUTER AUTOMATED  
MANUFACTURING PROCESS AND SYSTEM

[76] Inventor: William E. Masters, 313 Dogwood La., Easley, S.C. 29640

[21] Appl. No.: 627,221

[22] Filed: Jul. 2, 1984

[51] Int. Cl.<sup>4</sup> ..... G06F 15/46

[52] U.S. Cl. ..... 364/468; 264/24;  
264/40.1; 364/191; 364/474; 425/145;  
425/174.8 E

[58] Field of Search ..... 364/468, 191-193,  
364/474, 475; 264/40.1, 22, 24; 425/174, 174.8  
R, 174.8 E, 145; 29/900

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

1,382,978	6/1921	Hopkins	156/58
3,576,928	4/1971	Barker et al.	264/24
3,660,547	5/1972	Ruekberg	264/24
3,930,061	12/1975	Scharfenberger	264/24 X
3,988,520	10/1976	Riddle	428/15
4,347,202	8/1982	Henckel et al.	264/24
4,400,705	8/1983	Horike	346/75
4,408,211	10/1983	Yamada	346/75
4,430,718	2/1984	Hendren	364/191 X

OTHER PUBLICATIONS

"Ink Jet Printers—Automatic Coding on Almost Any Package"—*Modern Material Handling*, May 6, 1983—pp. 46-49.

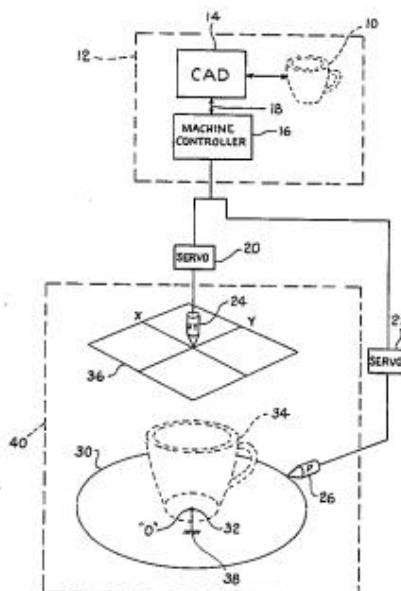
Clark—"Designing Surfaces in 3-D"—Communications of the ACM—Aug. 1976—vol. 19, No. 8, pp. 454-460.  
Staley et al.—"Computer-Aided Design of Curved Surfaces with Automatic Model Generation"—ASME Design Engineering Conf. & Show, Chicago, Ill.—Feb. 8, 1980—pp. 1-9.

Primary Examiner—Joseph Ruggiero  
Attorney, Agent, or Firm—Cort Flint

[57] ABSTRACT

A computer automated manufacturing process and system (CAMPS) is disclosed which includes a computer system (12) which consists of a computer aided design computer (14) and a machine controller (16) which receives a file of coordinate information (18). An article (10) is designed by means of the computer aided design subsystem (14) and a data file of three-dimensional coordinate information is compiled. The coordinate information is input to the machine controller (16) which controls servos (20) and (22) in a polar coordinate system. The servos (20) and (22) further control the position of a working head (24) and working head (26) so that mass particles are injected to arrive at predetermined coordinate points in the coordinate system to form an article (34). An origination seed (32) is fixed at an origin of the coordinate system and the article (34) is built up around the origination seed (32). Other coordinate systems and apparatus for locating the mass particles at the coordinates of a three-dimensional article are disclosed so that the article may be built up in a number of coordinate systems, and controlled environments.

28 Claims, 8 Drawing Figures



## ANEXO 2

GNU General Public License, version 2

### Preamble

The licenses for most software are designed to take away your freedom to share and change it. By contrast, the GNU General Public License is intended to guarantee your freedom to share and change free software--to make sure the software is free for all its users. This General Public License applies to most of the Free Software Foundation's software and to any other program whose authors commit to using it. (Some other Free Software Foundation software is covered by the GNU Lesser General Public License instead.) You can apply it to your programs, too.

When we speak of free software, we are referring to freedom, not price. Our General Public Licenses are designed to make sure that you have the freedom to distribute copies of free software (and charge for this service if you wish), that you receive source code or can get it if you want it, that you can change the software or use pieces of it in new free programs; and that you know you can do these things.

To protect your rights, we need to make restrictions that forbid anyone to deny you these rights or to ask you to surrender the rights. These restrictions translate to certain responsibilities for you if you distribute copies of the software, or if you modify it.

For example, if you distribute copies of such a program, whether gratis or for a fee, you must give the recipients all the rights that you have. You must make sure that they, too, receive or can get the source code. And you must show them these terms so they know their rights.

We protect your rights with two steps: (1) copyright the software, and (2) offer you this license which gives you legal permission to copy, distribute and/or modify the software.

Also, for each author's protection and ours, we want to make certain that everyone understands that there is no warranty for this free software. If the software is modified by someone else and passed on, we want its recipients to know that what they have is not the original, so that any problems introduced by others will not reflect on the original authors' reputations.

Finally, any free program is threatened constantly by software patents. We wish to avoid the danger that redistributors of a free program will individually obtain patent licenses, in effect making the program proprietary. To prevent this, we have made it clear that any patent must be licensed for everyone's free use or not licensed at all.

The precise terms and conditions for copying, distribution and modification follow.

## ANEXO 3



US005121329A

**United States Patent** [19]  
**Crump**

[11] **Patent Number:** **5,121,329**  
[45] **Date of Patent:** **Jun. 9, 1992**

[54] **APPARATUS AND METHOD FOR CREATING THREE-DIMENSIONAL OBJECTS**

[75] Inventor: S. Scott Crump, Minnetonka, Minn.

[73] Assignee: Stratasys, Inc., Minneapolis, Minn.

[21] Appl. No.: 429,012

[22] Filed: Oct. 30, 1989

[51] Int. Cl.<sup>5</sup> ..... G06F 15/46[52] U.S. Cl. ..... 364/468; 364/474.24;  
364/477; 264/239; 264/25; 425/174.4[58] Field of Search ..... 364/472, 473, 477;  
264/308, 113; 425/174.4; 427/8, 52; 164/94;  
239/75, 82, 83, 84, 132[56] **References Cited**

## U.S. PATENT DOCUMENTS

1,934,891	11/1933	Taylor	239/83
3,749,149	7/1973	Paton et al.	164/94
4,071,944	2/1978	Chuss et al.	427/8
4,247,508	1/1981	Housholder	264/221
4,293,513	10/1981	Langley et al.	264/308
4,545,529	10/1985	Tropicanco et al.	239/75
4,575,330	3/1986	Hull	364/473
4,595,816	6/1986	Hall et al.	364/477
4,665,492	5/1987	Masters	364/474.02
4,681,258	7/1987	Jenkins et al.	239/83
4,863,538	9/1989	Deckard	
4,938,816	7/1990	Beaman et al.	
4,944,817	7/1990	Bourell et al.	

## OTHER PUBLICATIONS

Article entitled "Instant Gratification", High Technology Business Author-Gregory T. Pope-Jun. 1989.

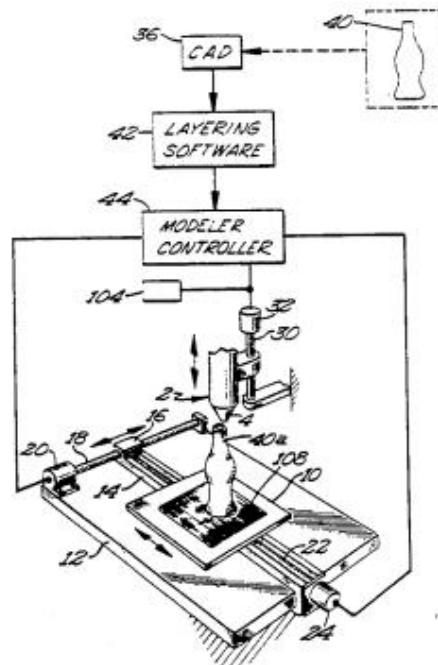
Asymtek Brochure, "Benchtop Automation" May 1988.

Primary Examiner—Joseph Ruggiero  
Assistant Examiner—Patrick D. Muir  
Attorney, Agent, or Firm—Moore & Hansen[57] **ABSTRACT**

Apparatus incorporating a movable dispensing head provided with a supply of material which solidifies at a predetermined temperature, and a base member, which are moved relative to each other along "X," "Y," and "Z" axes in a predetermined pattern to create three-dimensional objects by building up material discharged from the dispensing head onto the base member at a controlled rate. The apparatus is preferably computer driven in a process utilizing computer aided design (CAD) and computer-aided (CAM) software to generate drive signals for controlled movement of the dispensing head and base member as material is being dispensed.

Three-dimensional objects may be produced by depositing repeated layers of solidifying material until the shape is formed. Any material, such as self-hardening waxes, thermoplastic resins, molten metals, two-part epoxies, foaming plastics, and glass, which adheres to the previous layer with an adequate bond upon solidification, may be utilized. Each layer base is defined by the previous layer, and each layer thickness is defined and closely controlled by the height at which the tip of the dispensing head is positioned above the preceding layer.

44 Claims, 3 Drawing Sheets



## ANEXO 4

## United States Patent [19]

Hull

[11] Patent Number: 4,575,330

[45] Date of Patent: Mar. 11, 1986

## [54] APPARATUS FOR PRODUCTION OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS BY STEREOLITHOGRAPHY

[75] Inventor: Charles W. Hull, Arcadia, Calif.

[73] Assignee: UVP, Inc., San Gabriel, Calif.

[21] Appl. No.: 638,905

[22] Filed: Aug. 8, 1984

[51] Int. Cl.<sup>4</sup> ..... B29D 11/00; G03C 00/00

[52] U.S. Cl. ..... 425/174.4; 425/174; 425/162; 264/22; 430/269; 156/58; 365/119; 365/120

[58] Field of Search ..... 425/162, 174, 174.4, 425/425; 264/22, 183, 40.1; 430/269; 156/38, 58, 275.5; 365/107, 119, 127

## [56] References Cited

## U.S. PATENT DOCUMENTS

2,708,617	5/1955	Magat et al.	264/183 X
2,908,545	10/1959	Tejja	264/22 X
3,306,835	2/1967	Magnus	425/174.4 X
3,635,625	1/1972	Voss	425/162 X
3,775,036	11/1973	Winning	425/174.4
3,974,248	8/1976	Atkinson	425/162 X
4,041,476	8/1977	Swainson	365/119
4,078,229	3/1978	Swainson et al.	365/107
4,081,276	3/1978	Crivello	430/269
4,238,840	12/1980	Swainson	365/119

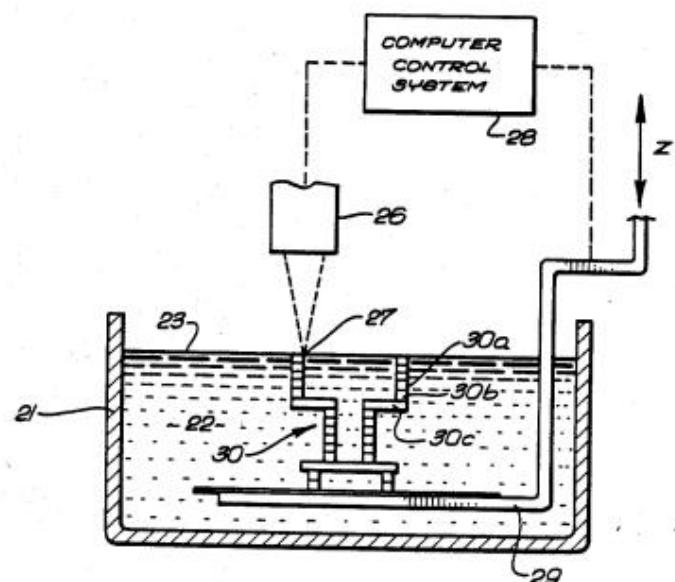
4,252,514	2/1981	Gates	425/162
4,288,861	9/1981	Swainson et al.	365/127
4,292,015	9/1981	Hritz	425/162 X
4,329,135	5/1982	Beck	425/174
4,333,165	6/1982	Swainson et al.	365/127 X
4,374,077	2/1983	Kerfeld	264/22
4,466,080	8/1984	Swainson et al.	365/127 X
4,471,470	9/1984	Swainson et al.	365/127

*Primary Examiner—J. Howard Flint, Jr.**Attorney, Agent, or Firm—Fulwider, Patton, Rieber,  
Lee & Utecht*

## [57] ABSTRACT

A system for generating three-dimensional objects by creating a cross-sectional pattern of the object to be formed at a selected surface of a fluid medium capable of altering its physical state in response to appropriate synergistic stimulation by impinging radiation, particle bombardment or chemical reaction, successive adjacent laminae, representing corresponding successive adjacent cross-sections of the object, being automatically formed and integrated together to provide a step-wise laminar buildup of the desired object, whereby a three-dimensional object is formed and drawn from a substantially planar surface of the fluid medium during the forming process.

47 Claims, 8 Drawing Figures



## ANEXO 5



US006259962B1

**(12) United States Patent**  
**Gothait**

**(10) Patent No.: US 6,259,962 B1**  
**(45) Date of Patent: Jul. 10, 2001**

**(54) APPARATUS AND METHOD FOR THREE DIMENSIONAL MODEL PRINTING**

5,902,537 \* 5/1999 Almquist et al. .... 264/401  
6,030,199 \* 2/2000 Tseng ..... 425/132

**(75) Inventor:** Hanan Gothait, Rehovot (IL)

**FOREIGN PATENT DOCUMENTS**

WO 97/31781 9/1997 (WO).

**(73) Assignee:** Objet Geometries Ltd., Rehovot (IL)

**OTHER PUBLICATIONS**

**(\*) Notice:** Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

*Three Dimensional Printing: What is 3DP?, see <http://web.mit.edu/afs/athena/org/t3dp/www>.*  
Z Corporation, News Release, "Z Corp. Debuts Robust New Materials System", Apr. 2, 1998.

**(21) Appl. No.: 09/259,323**

\* cited by examiner

**(22) Filed:** May 3, 1999

*Primary Examiner—William Grant*

**(51) Int. Cl.<sup>7</sup>** G06F 19/00

*Assistant Examiner—Kidest Bahta*

**(52) U.S. Cl.** 700/119; 700/118; 700/182

**(58) Field of Search** 700/98, 120, 103, 700/118, 119, 182; 156/158; 425/379.1

*(74) Attorney, Agent, or Firm—Eitan, Pearl, Latzer & Cohen-Zedek*

**(56) References Cited**

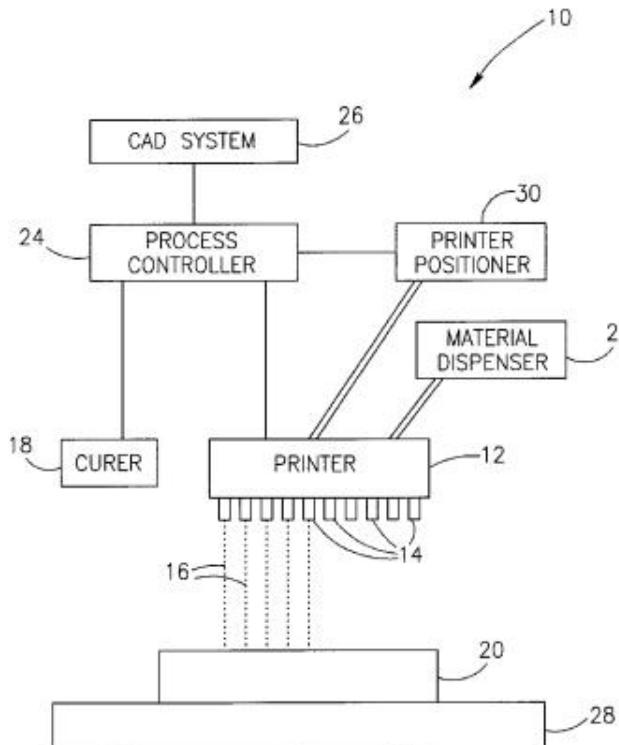
**ABSTRACT**

**U.S. PATENT DOCUMENTS**

Apparatus and a method for three-dimensional printing of a three-dimensional model is provided. The apparatus includes a printing head having a plurality of nozzles, a dispenser connected to the printing head for selectively dispensing interface material in layers and curing means for optionally curing each of the layers deposited. The depth of each deposited layer is controllable by selectively adjusting the output from each of the plurality of nozzles.

- |             |        |                     |            |
|-------------|--------|---------------------|------------|
| 4,575,330 * | 3/1986 | Hull                | 425/174.4  |
| 5,204,055 * | 4/1993 | Sachs et al.        | 419/2      |
| 5,287,435   | 2/1994 | Cohen et al.        |            |
| 5,340,433 * | 8/1994 | Crump               | 156/578    |
| 5,387,380   | 2/1995 | Cima et al.         |            |
| 5,594,652 * | 1/1997 | Penn et al.         | 364/468.26 |
| 5,717,599   | 2/1998 | Menhenett et al.    |            |
| 5,784,279   | 7/1998 | Barlage, III et al. |            |

**8 Claims, 10 Drawing Sheets**



## ANEXO 6

**United States Patent [19]**  
**Deckard**

[11] Patent Number: **4,863,538**  
[45] Date of Patent: **Sep. 5, 1989**

[54] **METHOD AND APPARATUS FOR PRODUCING PARTS BY SELECTIVE SINTERING**

[75] Inventor: **Carl R. Deckard, Austin, Tex.**

[73] Assignee: **Board of Regents, The University of Texas System, Austin, Tex.**

[21] Appl. No.: **920,580**

[22] Filed: **Oct. 17, 1986**

[51] Int. Cl.<sup>4</sup> ..... B27N 3/00; B32B 31/00;  
B23K 9/00; B29C 67/00

[52] U.S. Cl. ..... 156/62.2; 156/272.8;  
219/121.66; 219/121.8; 219/121.85; 264/58;  
264/113; 264/125

[58] Field of Search ..... 219/121 LE, 121 LF,  
219/121 LC, 121 LD, 121 LW, 121 LM;  
419/5, 8; 427/53.1; 428/548; 156/630, 643, 345,  
272.8, 62.2; 264/56, 58-67, 113, 122, 125, 126,  
127

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

- |           |         |               |       |              |
|-----------|---------|---------------|-------|--------------|
| 2,076,952 | 4/1957  | Kratky        | ..... | 75/137       |
| 3,848,104 | 11/1974 | Locke         | ..... | 219/121 LE   |
| 3,985,995 | 10/1976 | Brandi et al. | ..... | 219/76       |
| 4,117,302 | 9/1978  | Earle et al.  | ..... | 219/121 LM   |
| 4,135,902 | 1/1979  | Oehrle        | ..... | 219/121 LF   |
| 4,270,675 | 6/1981  | Wicks et al.  | ..... | 222/156      |
| 4,300,474 | 11/1981 | Livsey        | ..... | 118/641      |
| 4,323,756 | 4/1982  | Brown et al.  | ..... | 219/121 LF   |
| 4,474,861 | 10/1984 | Ecer          | ..... | 219/121.65 X |
| 4,540,867 | 9/1985  | Ackerman      | ..... | 219/121 LN   |
| 4,575,330 | 3/1986  | Hall          | ..... | 425/174      |
| 4,752,352 | 6/1988  | Feygin        | ..... | 428/548 X    |

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

- |           |         |                      |   |
|-----------|---------|----------------------|---|
| 0209366   | 1/1987  | European Pat. Off.   | . |
| 2263777   | 7/1973  | Fed. Rep. of Germany | . |
| 137951    | 10/1979 | Fed. Rep. of Germany | . |
| 57-156959 | 3/1984  | Japan                | . |
| 57-185536 | 5/1984  | Japan                | . |
| 1215184   | 12/1970 | United Kingdom       | . |

OTHER PUBLICATIONS

Takei et al., Journal of Applied Physics, "Rhenium Film Preparation By Laser Melting", May 1980, pp. 2903-2308.

"Sculpting Parts with Light", Machine Design (Mar. 6, 1986) pp. 102-106.

Chicago Enterprise, vol. I, No. II (May 1987).

Crain's Chicago Business (1987).

Machine and Tool Blue Book "Laser-Cut Laminations For Complex Parts" (4/87).

Laser Focus/Electro-Optics, p. 41 (Jun. 1987).

Inside R&D The Weekly Report on Technical Innovation, vol. 16, No. 19 (5/13/87).

Immediate Production of 3-D Objects, Hydronetics, Inc.

Lasers Carve Complex 3-D Parts (pp. 1-11).

Sample Cover Letter from Hydronetics, Inc.

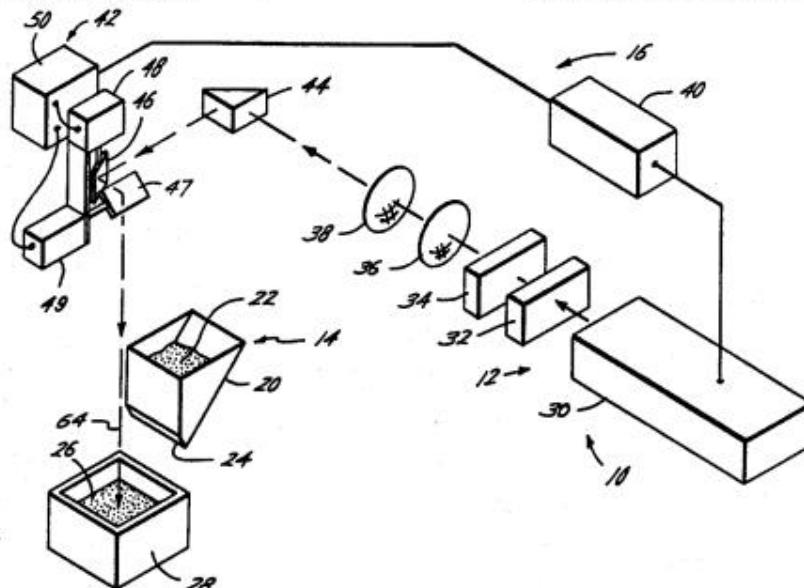
Electronic Engineering Times, Issue 430 (Apr. 20, 1987).

Primary Examiner—William A. Powell  
Attorney, Agent, or Firm—Arnold, White & Durkee

[57] ABSTRACT

A method and apparatus for selectively sintering a layer of powder to produce a part comprising a plurality of sintered layers. The apparatus includes a computer controlling a laser to direct the laser energy onto the powder to produce a sintered mass. The computer either determines or is programmed with the boundaries of the desired cross-sectional regions of the part. For each cross-section, the aim of the laser beam is scanned over a layer of powder and the beam is switched on to sinter only the powder within the boundaries of the cross-section. Powder is applied and successive layers sintered until a completed part is formed. The powder can comprise either plastic, metal, ceramic, or polymer substance. In the preferred embodiment, the aim of the laser is directed in a continuous raster scan and the laser turned on when the beam is aimed with the boundaries of the particular cross-section being formed.

31 Claims, 4 Drawing Sheets



## ANEXO 7



US006476343B2

(12) United States Patent  
Keicher et al.(10) Patent No.: US 6,476,343 B2  
(45) Date of Patent: \*Nov. 5, 2002

- (54) ENERGY-BEAM-DRIVEN RAPID FABRICATION SYSTEM
- (75) Inventors: **David M. Keicher**, Albuquerque, NM (US); **Clinton L. Atwood**, Albuquerque, NM (US); **Donald L. Greene**, Corrales, NM (US); **Michelle L. Griffith**, Albuquerque, NM (US); **Lane D. Harwell**, Albuquerque, NM (US); **Francisco P. Jeantette**, Albuquerque, NM (US); **Joseph A. Romero**, Albuquerque, NM (US); **Lee P. Schanwald**, Albuquerque, NM (US); **David T. Schmale**, Albuquerque, NM (US)
- (73) Assignee: **Sandia Corporation**, Albuquerque, NM (US)

(\*) Notice: This patent issued on a continued prosecution application filed under 37 CFR 1.53(d), and is subject to the twenty year patent term provisions of 35 U.S.C. 154(a)(2).

Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

- (21) Appl. No.: **09/066,623**  
(22) Filed: **Apr. 24, 1998**  
(65) Prior Publication Data

US 2001/0008230 A1 Jul. 19, 2001

## Related U.S. Application Data

- (63) Continuation-in-part of application No. 08/676,547, filed on Jul. 8, 1996, now Pat. No. 6,046,426.

- (51) Int. Cl.<sup>7</sup> ..... B23K 26/20  
(52) U.S. Cl. ..... 219/121.63; 219/121.84  
(58) Field of Search ..... 219/121.63, 121.64, 219/121.65, 121.84, 121.85; 427/596

## (56) References Cited

## U.S. PATENT DOCUMENTS

- |             |   |         |                 |       |            |
|-------------|---|---------|-----------------|-------|------------|
| 5,038,014 A | * | 8/1991  | Pratt et al.    | ..... | 219/121.64 |
| 5,134,569 A | * | 7/1992  | Masters         | ..... | 700/182    |
| 5,147,999 A | * | 9/1992  | Dekumbis et al. | ..... | 219/121.63 |
| 5,208,431 A | * | 5/1993  | Uchiyama et al. | ..... | 219/121.63 |
| 5,245,155 A | * | 9/1993  | Pratt et al.    | ..... | 219/121.63 |
| 5,321,228 A | * | 6/1994  | Krause et al.   | ..... | 219/121.84 |
| 5,453,329 A | * | 9/1995  | Everett et al.  | ..... | 219/121.66 |
| 5,837,960 A | * | 11/1998 | Lewis et al.    | ..... | 219/121.63 |

\* cited by examiner

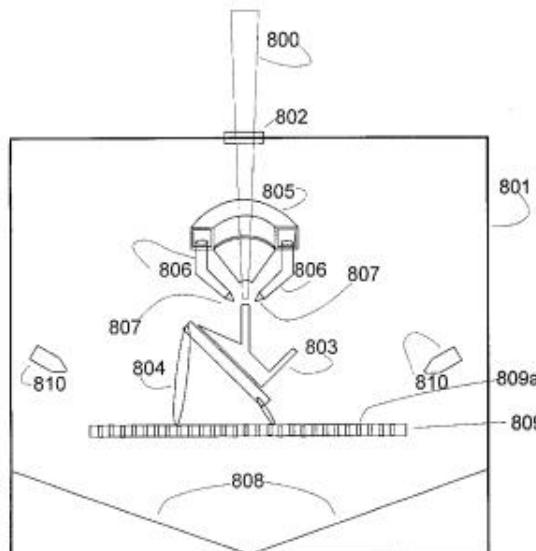
Primary Examiner—Geoffrey S. Evans

(74) Attorney, Agent, or Firm—Brian W. Dodson

## (57) ABSTRACT

An energy beam driven rapid fabrication system, in which an energy beam strikes a growth surface to form a molten puddle thereon. Feed powder is then injected into the molten puddle from a converging flow of feed powder. A portion of the feed powder becomes incorporated into the molten puddle, forcing some of the puddle contents to freeze on the growth surface, thereby adding an additional layer of material. By scanning the energy beam and the converging flow of feed powder across the growth surface, complex three-dimensional shapes can be formed, ready or nearly ready for use. Nearly any class of material can be fabricated using this system.

10 Claims, 16 Drawing Sheets



## ANEXO 8



US005730817A

**United States Patent [19]**  
**Feygin et al.**
**[11] Patent Number:** 5,730,817  
**[45] Date of Patent:** Mar. 24, 1998

**[54] LAMINATED OBJECT MANUFACTURING SYSTEM**

[75] Inventors: **Michael Feygin**, Rancho Palos Verdes; **Alexandr Shkolnik**, Los Angeles; **Michael N. Diamond**, Torrance; **Emmanuel Dvorskiy**, Los Angeles, all of Calif.

[73] Assignee: **Helisys, Inc.**, Torrance, Calif.

[21] Appl. No.: 635,506

[22] Filed: Apr. 22, 1996

[51] Int. Cl.<sup>6</sup> ..... B32B 31/00; B44C 3/02

[52] U.S. Cl. ..... 156/64; 156/256; 156/264; 156/267; 156/358; 156/359; 156/512; 156/516; 156/517

[58] Field of Search ..... 156/64, 358, 264, 156/512, 517, 516, 359, 256, 267

**[56] References Cited**
**U.S. PATENT DOCUMENTS**

702,615	6/1902	Barden .
1,524,972	2/1925	Hampson et al. .
2,138,024	11/1938	Cheesman .
2,242,631	5/1941	Stillman .
2,556,798	6/1951	Concordet .
3,137,080	6/1964	Zang .
3,280,230	10/1966	Bradshaw, Jr. et al. .
3,301,725	1/1967	Frontera .
3,534,396	10/1970	Hart et al. .
3,539,410	11/1970	Meyer .
3,551,270	12/1970	Sharkey .
3,589,507	6/1971	Greenberg .

(List continued on next page.)

**FOREIGN PATENT DOCUMENTS**

906643	8/1972	Canada .
491355	6/1992	European Pat. Off. .
2368101	6/1978	France .
2263777	7/1973	Germany .
2743544	3/1979	Germany .
60-102234	6/1985	Japan .
60-102236	6/1985	Japan .

23709 of 1901 United Kingdom .  
652969 5/1951 United Kingdom .  
0938455 10/1963 United Kingdom .

**OTHER PUBLICATIONS**

Plastics World, (Aug. 1992) "Latest wrinkle in fast prototyping," p. 23.  
News Release (4 Apr. 1991) "New Laser Prototyping System Goes into Production," p. 1.  
Photonics Spectra, (May 1992) "Laser Sheet Material Creates 3D Models," pp. 22-24.  
Incropera, et al., "Fundamentals of Heat Transfer," John Wiley & Sons, NY 1981 p. 544.

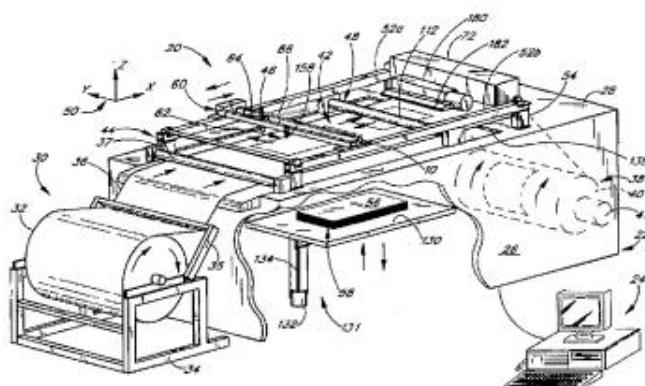
(List continued on next page.)

*Primary Examiner*—Jeff H. Aftergut  
*Attorney, Agent, or Firm*—Knobbe, Martens, Olson & Bear, LLP

**[57] ABSTRACT**

A laminated object manufacturing (LOM) system for forming a plurality of laminations into a stack to create a three-dimensional object. The system includes an X-Y plotter device positioned above a work table, the work table being vertically movable. The X-Y plotter device includes a forming tool for forming a layer from a sheet of material positioned on the work table. The layers are bonded to each other with heat sensitive adhesives provided on one side thereof. A bonding tool or fuser is mounted to translate across the work table and apply a lamination force and heat to each of the layers. The X-Y plotter device and bonding tool are mounted to translate along rails mounted on a common reference frame. The reference frame includes two rigid beams positioned on a base frame. A sensor is provided between the bonding tool and the reference frame to sense the force applied by the bonding tool to the laminations and adjust the height of the work table in response thereto. An infrared sensor senses the temperature of the layers to also provide feedback to a control device for adjusting the speed of the bonding tool. The forming tool may be a laser system which includes a laser mounted to the reference frame, a plurality of mirrors, and a lens mounted on the X-Y plotter device.

41 Claims, 10 Drawing Sheets



## ANEXO 9



US005204055A

**United States Patent [19]**

Sachs et al.

[11] Patent Number: **5,204,055**[45] Date of Patent: **Apr. 20, 1993**[54] THREE-DIMENSIONAL PRINTING  
TECHNIQUES

[75] Inventors: Emanuel M. Sachs, Somerville; John S. Haggerty, Lincoln; Michael J. Cima, Lexington; Paul A. Williams, Concord, all of Mass.

[73] Assignee: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.

[21] Appl. No.: **447,677**

[22] Filed: **Dec. 8, 1989**

[51] Int. Cl.<sup>5</sup> ..... B22F 7/02; B29C 35/02;  
B29C 67/02; C04B 35/64

[52] U.S. Cl. ..... 419/2; 264/23;  
264/25; 264/60; 264/69; 264/71; 264/113;  
264/128; 419/5; 419/10

[58] Field of Search ..... 427/57, 197-199,  
427/203-205, 14.1, 265, 266, 201, 202; 264/23,  
25, 113, 128, 60, 71, 69; 419/2, 5, 10

## [56] References Cited

## U.S. PATENT DOCUMENTS

4,247,508	1/1981	Housholder	..... 264/219
4,575,330	3/1986	Hull	..... 425/174.4
4,665,492	5/1987	Masters	..... 364/468
4,791,022	12/1988	Graham	..... 427/203 X
4,818,562	4/1989	Arcella et al.	..... 427/197 X
4,863,538	9/1989	Deckard	..... 156/62.2
4,929,402	5/1990	Hull	..... 264/22
5,121,329	6/1992	Crump	..... 264/25 X
5,147,587	9/1992	Marcus et al.	..... 264/22

## FOREIGN PATENT DOCUMENTS

226377 7/1973 Fed. Rep. of Germany .  
WO90/03893 4/1990 World Int. Prop. O. .

## OTHER PUBLICATIONS

Deckard, C. and Beaman, J., "Solid Freeform Fabrication and Selective Powder Sintering", NAMRAC Proceedings, Symposium #15, undated.

Kodama, H., "Automatic Method for Fabricating a Three-Dimensional Plastic Model with Photo-Hardening Polymer", Review of Scientific Instruments, vol. 52, No. 11, Nov. 1981.

Wohlers, Terry, "Creating Parts by the Layers", Cadence, Apr., 1989, pp. 73-76.

Primary Examiner—Evan Lawrence  
Attorney, Agent, or Firm—Robert F. O'Connell

## [57] ABSTRACT

A process for making a component by depositing a first layer of a fluent porous material, such as a powder, in a confined region and then depositing a binder material to selected regions of the layer of powder material to produce a layer of bonded powder material at the selected regions. Such steps are repeated a selected number of times to produce successive layers of selected regions of bonded powder material so as to form the desired component. The unbonded powder material is then removed. In some cases the component may be further processed as, for example, by heating it to further strengthen the bonding thereof.

42 Claims, 6 Drawing Sheets

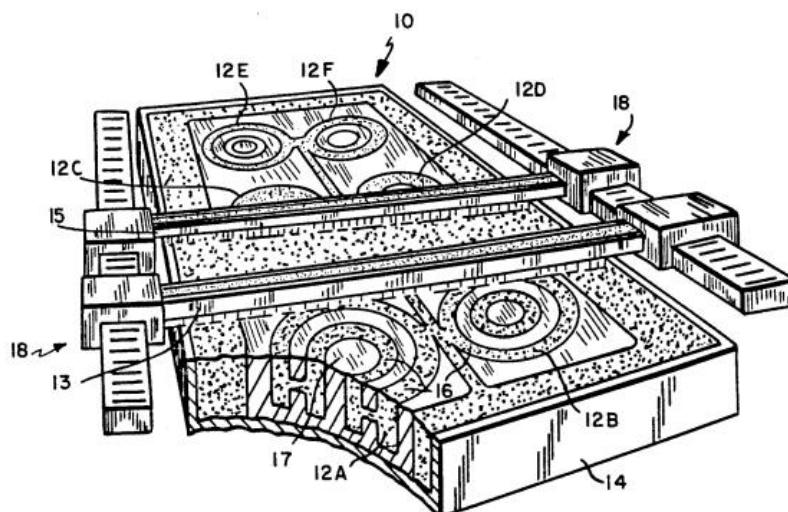


FIG. 1

## Bibliografía

Lipson, Hod. "Fabricated: the new world of 3d printing". Wiley. EUA. 2013. 302 pags.

Pan, Mike. "Game Development with Blender". Cengage Learning. EUA. 2013. 428 pg.

Comp. Kaziubas, Anna. "Make: 3D Printing. MakerMedia. 2013. 213 pg.

Broadbent, Geoffrey. "Diseno Arquitectonico arquitectura y ciencias humanas". GG. 1982. 524 p.

Manufacturing the bespoke: making and prototyping Architecture. Sheil Bob, Neri Oxman, Whiley, 2012. 280 pgs.

Evans, Brian. "Practical 3D Printers The Science and Art if 3D Printing. Apress. 2012. 306 Pg.

Council, Aaron. "3D Printing: Rise of the Third Industrial Revolution. gyges3d.com. 2014. 116 pg

Patentes:

# US 4,665,492 #US 5968561

# US 5121329 #US 20020158054

# US 4575330 #EP 0556291B1

# US 6259962 B1 #EP 0703036B1

# US 6476343 B2 #US 7128866

# US 4863538 #EP 2199068B1

#US5730817 #US 6850334

# US 5204055 #US 6259962

#US 5134569 #US 6143378

#US 8575258 #US 4323756

#US 5546313 #US 6046426

#US 5694324 #EP 0431924B1

**OTROS:**

DVD Training 12: Blender for 3D printing. Blender Foundation

Revista Make Edición Especial: Ultimate Guide to 3D Printing 2014

Lipson, Hod "3D printing and additive manufacturing Journal".Mary Ann Liebert, Inc. 2014

Publicación. Oxman, Neri "Functionally Graded Rapid Prototyping",MIT.

Publicación. Sabin, Jenny. "Polybrick: Variegated Additive Ceramic Component Manufacturing (ACCM).Mary Ann Liebert, Inc. 2014

RepRap Magazine Issue 1

RepRap Magazine Issue 2

RepRap Magazine Issue 3

Publicación.Khoshnevis, Behrokh "Automated Construction by Countour Crafting".Journal of automation in construction.2004

AMF presentación de PPT de Hod Lipson en <http://amf.wikispaces.com/home>

**WEB:**

[www.3dprintingindustry.com](http://www.3dprintingindustry.com)

<http://www.liebertpub.com/3dp>

[www.3ders.org](http://www.3ders.org)

<http://3dprintingsystems.com/who-invented-3d-printing/>

[http://www.weirduniverse.net/blog/comments/superman\\_invents\\_3-d\\_printing/](http://www.weirduniverse.net/blog/comments/superman_invents_3-d_printing/)

<http://3dprintingsystems.com>

[http://www.weirduniverse.net/blog/comments/superman\\_invents\\_3-d\\_printing](http://www.weirduniverse.net/blog/comments/superman_invents_3-d_printing)

[www.dezeen.com \(revista digital\)](http://www.dezeen.com)

<http://surveys.peerproduction.net/2012/05/manufacturing-in-motion/>

<http://www.wikihouse.cc/>

<http://money.cnn.com/2013/06/19/technology/makerbot-stratasys-merger/>

<http://reprap.org/wiki/RepRap>

<https://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>

<http://makermex.com>

<http://gigaom.com/2013/11/12/meet-the-mini-metal-maker-a-basic-sub-1000-3d-printer-that-prints-metal/>

[http://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2013-12/mtu-sba112613.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2013-12/mtu-sba112613.php)

[http://metalbot.org/metalbot-wiki/index.php?title=Main\\_Page](http://metalbot.org/metalbot-wiki/index.php?title=Main_Page)

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

<http://printrbot.com/>

<http://www.blender.org/>

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

<https://www.edx.org/>

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

<http://unassignedpattern.com/projects/02/>

<http://www.autodesk.com/products/autodesk-3ds-max/buy> 22/02/2014

<http://www.autodesk.com/products/autodesk-maya/buy> 22/02/2014

<http://www.autodesk.com/products/autodesk-revit-family/buy> 22/02/2014

<http://www.sketchup.com/products/sketchup-pro> 22/02/2014

<http://www.sketchup.com/products/sketchup-pro> 22/02/2014

<http://www.rhino3d.com/> 22/02/2014

<http://www.blender.org> 22/02/2014

<http://www.makerbot.com/blog/2013/01/18/design-unique-things-easily-with-makerbot-customizer/>

<http://www.youimagine.com>

<http://www.cubehero.com>

<http://www.yeggi.com>

<http://www.blenderartists.org>

<http://www.designcommunity.com/discussion/25136.html>

<https://generativedesign.wordpress.com/>

<http://blogs.the451group.com/opensource/2010/10/13/a-darwinian-theory-of-open-source-development/>

[http://www.materialecology.com/assets/pdf/Publications\\_FGRP.pdf](http://www.materialecology.com/assets/pdf/Publications_FGRP.pdf)

<http://www.labstudio.org>

<http://www.buildingbytes.info>

[www.contourcrafting.org](http://www.contourcrafting.org)

<http://www.d-shape.com/>

<http://betabram.com/>

<http://iac.net/printingrobots/>

<http://www.markuskayser.com/work/solarsinter/>

<http://www.petrnovikov.com/stone-spray.html>

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





