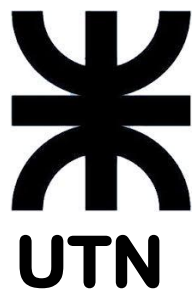
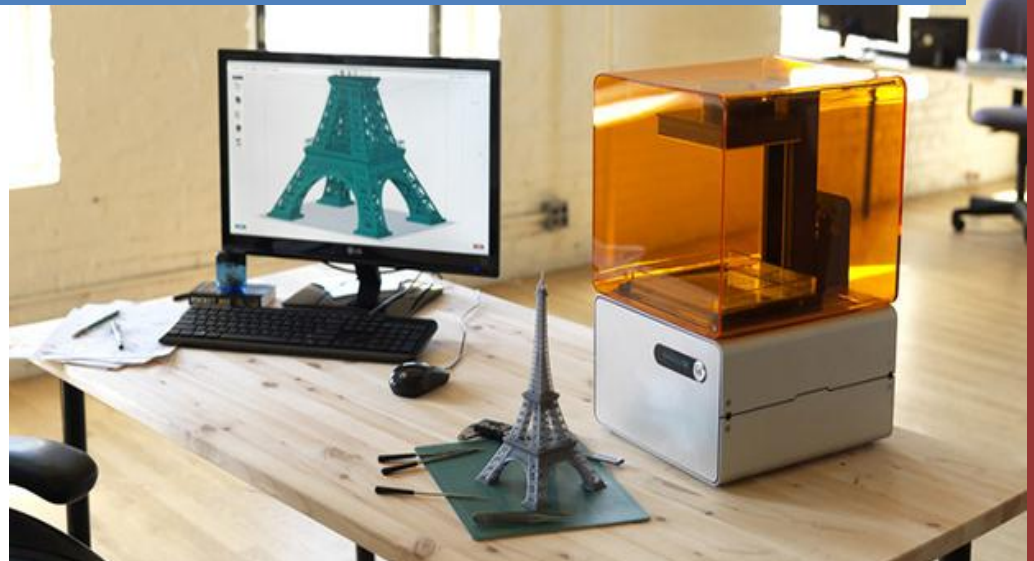
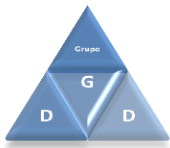


**Grupo Diseño,
Gestión y Desarrollo
de Nuevos Productos**

Prototipado Rápido



**Facultad Regional
San Francisco**



Índice

A - Sistemas de prototipado rápido	2
A.1 Nociones Generales	2
A.2 Aplicaciones del prototipado rápido.....	2
A.3 Fases generales de los procesos	4
A.4 Técnicas más difundidas de Prototipado	5
A.4.1 SLA: Estereolitografía	5
A.4.2 Polimerización térmica de líquidos	6
A.4.3 SGC: Fotopolimerización por luz UV.....	7
A.4.4 FDM: Deposición de hilo fundido.....	8
A.4.5 Shape melting.....	9
A.4.6 SPI: Inyección solida por impresión.....	9
A.4.7 SLS: Sinterización selectiva láser	10
A.4.8 LOM: Fabricación por corte y laminado.	11
A.4.9 3DP: Impresión 3D.....	12
A.4.10 MJM: Thermojet.....	13
A.4.11 BPB: Fabricación mediante balística de partículas.....	14
A.4.12 HIS: Solidificación por interferencia holográfica	15
A.4.13 Estratoconcepción.....	15
A.4.14 Prototipado virtual	16
A.5 Aplicaciones del PR	16
A.6 Ventajas generales del prototipado.....	18
A.7 Limitaciones del PR	18
B. Ingeniería inversa	19
B.1. Introducción a la Ingeniería Inversa	19
B.2. Escaner 3D.....	20
B.2.1 Modelos de malla de polígonos.....	21
B.2.2 Modelos de superficies.....	21
B.2.3 Modelos sólidos CAD	22
Anexo A: Proyecto RepRap.....	23
Anexo B: Prototipado en sistema FDM	23
Bibliografía	26

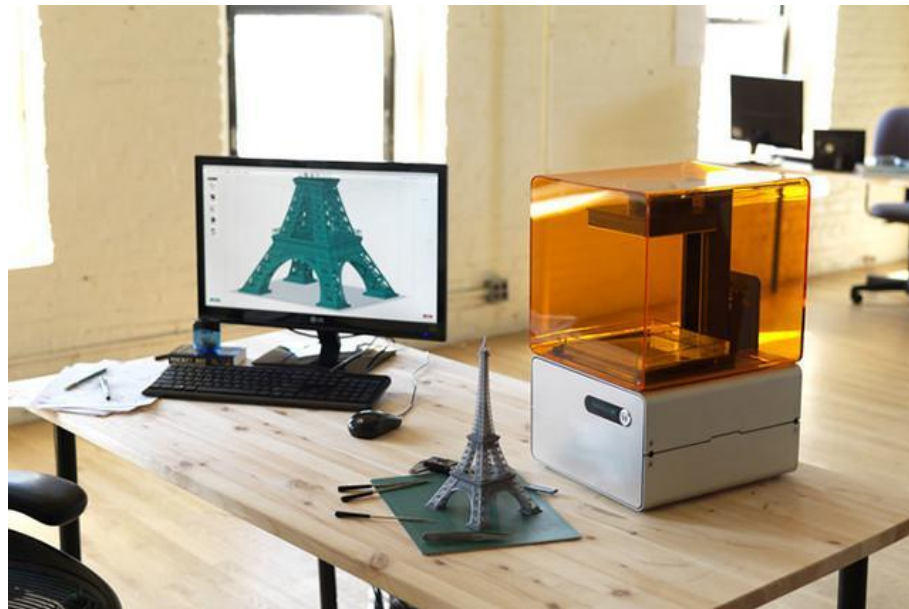
A - Sistemas de prototipado rápido

A.1 Nociones Generales

El Prototipado Rápido podemos definirlo como un conjunto de tecnologías que permiten la obtención de prototipos, machos, moldes de inyección para plásticos, electrodos de erosión, etc., en menos de 24 horas, a partir de un fichero CAD. Consecuencia de esta rapidez de respuesta es que el tiempo de desarrollo de un producto puede reducirse drásticamente.

El prototipado rápido (**RP** por sus siglas inglesa de **"Rapid Prototipe"**) da la posibilidad de efectuar, en un tiempo relativamente corto, diversas pruebas de geometrías distintas para una pieza, validar la geometría definitiva y acometer la producción en serie rápidamente, con unos costes de desarrollo lo más ajustados posibles. La complejidad de las piezas o la confidencialidad de los prototipos son también argumentos frecuentes a la hora de optar por el RP.

Dentro de la denominación de "prototipado rápido" no se suele incluir al Mecanizado de Alta Velocidad (MAV).

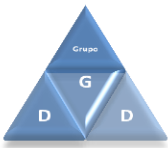


Fuente: <http://www.xataka.com>

Figura 1

A.2 Aplicaciones del prototipado rápido

El **objetivo principal** del Prototipado Rápido es obtener de manera rápida, y más o menos exacta, una réplica tridimensional de los diseños que han sido generados mediante aplicaciones CAD en 3D.



Estos modelos físicos pueden ser únicamente estéticos o útiles para el estudio de formas y el análisis de la aceptación por el mercado potencial al que van dirigidos. En algunos casos, los prototipos tienen características tales que existe la posibilidad de realizar pruebas funcionales.

Estas técnicas pueden ser aplicadas a las más diversas áreas tales como, automoción, aeronáutica, marketing, restauraciones, educación, medicina, arqueología, paleontología y arquitectura.

De acuerdo a la función a cumplir se establece una clasificación de los modelos o prototipos:

- **Modelos volumétrico-dimensionales:** no son más que una aproximación volumétrica, una caracterización formal que facilita la percepción sensorial (aspecto, peso, textura) del objeto pero que no tiene porqué ser una réplica perfecta y/o a escala del producto final.
- **Modelos funcionales:** permiten la comprensión de objetos compuestos por múltiples piezas, elementos modulares, etc.

Los dos tipos anteriores corresponden al término inglés **“Mock-Up”**.

- **Modelos experimentales:** permiten realizar sobre ellos ensayos y pruebas para verificar si las especificaciones que se le suponían realmente se cumplen. También se pueden utilizar para la obtención de moldes.
- **Modelos orientados a la fabricación:** se utilizan para simular el proceso de fabricación y evidenciar posibles cuellos de botella o problemas que pudieran surgir durante el mismo.
- **Modelos ergonómicos:** son aquellos que permiten conocer la interacción del objeto con el usuario. Es muy recomendable realizarlos a escala 1:1.

Las tres tipologías anteriores se pueden identificar con la denominación inglesa de **“Prototype”**.

- **Modelos estéticos, maquetas o “Models”:** son aquellos que se van a utilizar para dar a conocer el objeto a personas ajenas al proceso de diseño y que por lo tanto deben ser agradables a la vista ya que contribuyen a la promoción y venta del mismo.
- **Modelos para la obtención de moldes prototipo o “Masters”:** son aquellos que se emplean para el diseño de moldes a partir de los cuales se pueden obtener pequeñas series (10 – 15 elementos) y verificar el diseño de los mismos.
- **Modelos para la obtención de moldes de pre series de fabricación llamados “Patterns”:** estos modelos están a medio camino entre el prototipado y la producción ya que en función del material empleado se pueden obtener moldes para producir entre 100 y 10.000 piezas que permiten comprobar si el mercado acepta o no el producto antes de invertir en un molde más caro y duradero.

A.3 Fases generales de los procesos

A continuación trataremos de manera general los pasos a seguir para realizar los prototipos

- 1) El diseñador define su idea y genera un modelado en 2D que luego deberá exportar a un software de modelado 3D, o bien, lo crea directamente en éste último.
- 2) El modelo 3D permitirá comprobar zonas de curvatura crítica y realizar correcciones desde esta misma fase del proyecto. Además, este modelo permite crear una representación fotorealista del producto, con sus dimensiones, volumen, texturas, etc. (rendering).
- 3) Una vez que se aprueba el diseño exterior se procederá a comprobar el montaje y funcionamiento de las piezas que componen el producto.
- 4) Ya aprobado el diseño y de ser verificado el correcto funcionamiento, los datos 3D se utilizan para la fabricación del prototipo o molde rápido.
- 5) Podría ser necesario, en el caso general, introducir modificaciones para mejorar la fabricación de estas piezas y obtener el prototipo final. Por ejemplo, en algunos casos se procede a lijar o limar asperezas superficiales producidas por el sistema de prototipado elegido.
- 6) Terminado el prototipo y verificadas las propiedades o características de interés se procede a la generación del programa de producción, en caso de cumplir con las expectativas o se rediseña, en el caso de no cumplir los requisitos.

La mayor o menor similitud que pudiera existir entre el modelo definitivo y el obtenido mediante las técnicas de prototipado rápido dependerán básicamente del sistema utilizado para su generación y de limitaciones dimensionales, de complejidad y de postprocesos aplicados.



Figura 2
Fuente: Elaboración propia

A.4 Técnicas más difundidas de Prototipado

Bajo el nombre de prototipado rápido se agrupan a una serie de tecnologías distintas de construcción de sólidos. Todas ellas parten del corte en secciones o capas horizontales paralelas de piezas representadas en CAD. Estas secciones caracterizan a todas las tecnologías de prototipado rápido, que construyen las formas sólidas a partir de la superposición de las capas horizontales.

Las tecnologías más difundidas son en la actualidad:

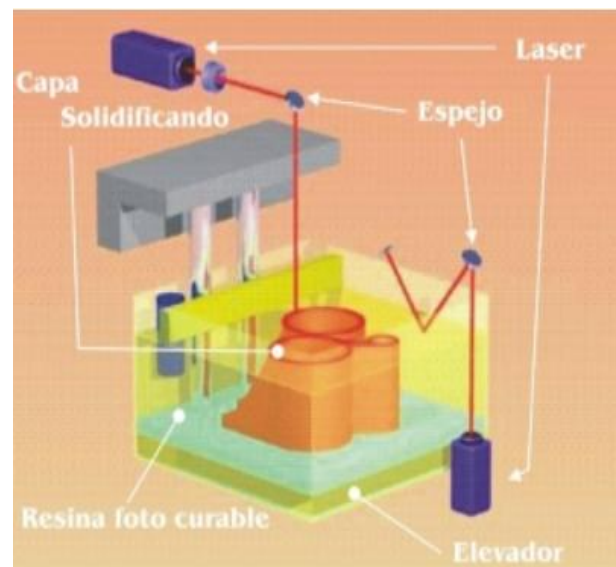
SLA: ESTEREOLITOGRAFÍA
POLIMERIZACIÓN TÉRMICA DE LÍQUIDOS
SGC: FOTOPOLIMERIZACIÓN POR LUZ UV
FDM: DEPOSICIÓN DE HILO FUNDIDO
2SHAPE MELTING
SPI: INYECCIÓN SOLIDA POR IMPRESIÓN
SLS: SINTERIZACIÓN SELECTIVA LÁSER
LOM: FABRICACIÓN POR CORTE Y LAMINADO.
3DP: IMPRESIÓN 3D
MJM: THERMOJET
BPB: FABRICACIÓN MEDIANTE BALÍSTICA DE PARTÍCULAS
HIS: SOLIDIFICACIÓN POR INTERFERENCIA HOLOGRÁFICA
ESTRATOCONCEPCIÓN
PROTOTIPADO VIRTUAL

En general se reserva la fabricación de precisión a la estereolitografía y cuando se valoran más las prestaciones mecánicas del modelo (prototipos funcionales) se prefiere el sinterizado, que ofrece más variedad de materiales: resinas fotosensibles, materiales termofusibles, metales, cerámica, papel plastificado.

A.4.1 SLA: Estereolitografía

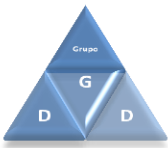
Esta técnica se basa en la posibilidad de solidificar una resina en estado líquido mediante la proyección de un haz láser de una frecuencia y potencia muy concretas.

El proceso empieza con la plataforma o mesa



Fuente: <http://undoprototipos.com>

Figura 3



situada a una distancia de la superficie del líquido igual al grosor de la primera sección a imprimir. El láser sigue la superficie de la sección y su contorno mientras el líquido expuesto a la radiación ultra-violeta se va solidificando debido a sus características de fotopolímero. Una vez solidificada esta sección, el elevador baja la plataforma para situarse a la altura de la siguiente lámina y se repite dicha operación hasta conseguir la pieza final.

En este tipo de sistemas la creación de los prototipos se inicia en su parte inferior y finaliza en la superior. El hecho de que la resina inicialmente se encuentre en estado líquido, conlleva la necesidad de generar, no sólo la geometría correspondiente a la pieza a crear, sino además, una serie de columnas que permitan soportar la pieza a medida que ésta se va generando. De no ser así las distintas capas o voladizos que son necesarios, caerían al no ser autosoportados por la resina líquida no solidificada.

Para obtener unas características mecánicas óptimas en las piezas generadas, los prototipos son sometidos a un post-curado en un horno especial de rayos UVA.

Ventajas complementarias:

- Los prototipos son translúcidos, lo cual puede ser especialmente ventajoso para determinados proyectos, o para detectar interferencias interiores en conjuntos complejos.
- Tiene una precisión dimensional y un acabado superficial especialmente destacable.
- Esta técnica suele ser recomendable para piezas de dimensiones reducidas o que contengan pequeños detalles que han de definirse de manera muy clara.

Desventajas:

- Uso de resinas caras, de mal olor y tóxicas que deben ser protegidas de la luz para evitar una prematura polimerización
- Los modelos resultan frágiles y traslúcidos
- Necesidad de soportes que pueden afectar al acabado superficial

Esta técnica es útil para la obtención de modelos volumétricos, funcionales y estéticos así como para la fabricación de “masters” para la obtención de moldes prototipo.

A.4.2 Polimerización térmica de líquidos

Se trata de una técnica análoga a la estereolitografía diferenciándose en el polímero utilizado (térmico en lugar de fotopolímero) y por tanto la solidificación se produce por calor en vez de por luz.

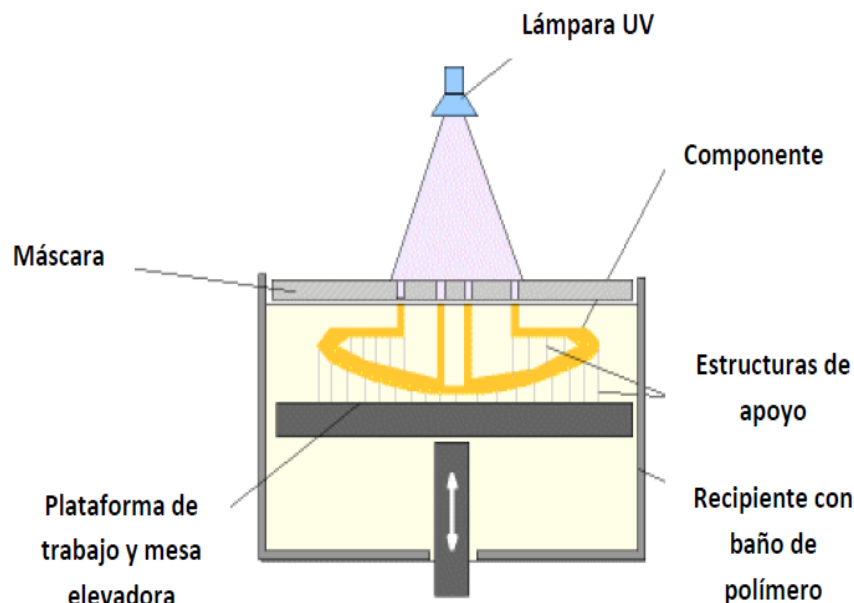
El principal inconveniente de esta técnica es la dificultad para controlar las contracciones térmicas causadas por los diferentes e inevitables cambios de temperatura.

A.4.3 SGC: Fotopolimerización por luz UV

Al igual que en la estereolitografía, esta tecnología se basa en la solidificación de un fotopolímero o resina fotosensible. En la fotopolimerización, sin embargo, se irradia con una lámpara de UV de gran potencia todos los puntos de la sección simultáneamente.

El proceso consiste en espolvorear una lámina cargada electrostáticamente, de tal forma que contiene el negativo de la capa a fabricar. A continuación, se sitúa dicha máscara sobre la superficie de soporte en a que previamente se ha depositado una fina capa de fotopolímero líquido. Posteriormente se activa una fuente de radiación que solidifica la zona deseada quedando el resto en forma líquida, lo que permite su recogida y reutilización.

Finalmente, se aplica una capa de cera a la superficie formada para tapar los huecos que haya podido quedar, se mecaniza dicha superficie y se vuelve a repetir el proceso.



Fuente: <http://www.custompartnet.com>

Figura 4

Ventajas:

- Menor tiempo de construcción del modelo que en SLA
- Mayor resistencia que el SLA ya que las distintas capas se generan de una sola vez
- No se requiere postcurado
- No son necesarios soportes

Desventajas:

- Uso de resinas caras, de mal olor y tóxicas que deben ser protegidas de la luz para evitar una prematura polimerización

- Los modelos resultan frágiles y traslúcidos
- Necesidad de soportes que pueden afectar al acabado superficial

Esta técnica permite crear modelos estéticos y dimensionales, y sólo en algunos casos modelos funcionales y experimentales.

A.4.4 FDM: Deposición de hilo fundido

El sistema FDM es la tecnología de prototipado más usada después de la estereolitografía.

Consiste en un filamento de plástico que se desenrolla de una bobina y abastece de material a una boquilla de extrusión que calienta el material hasta dejarlo en un estado líquido-pastoso. A medida que la boquilla se desplaza por la mesa deposita una fina capa de plástico extruido (cuyo grosor puede regularse) siguiendo la geometría indicada. El plástico se endurece inmediatamente después de salir de la boquilla y se adhiere a la capa de abajo. De esta manera el cabezal va imprimiendo por capas hasta completar los prototipos.

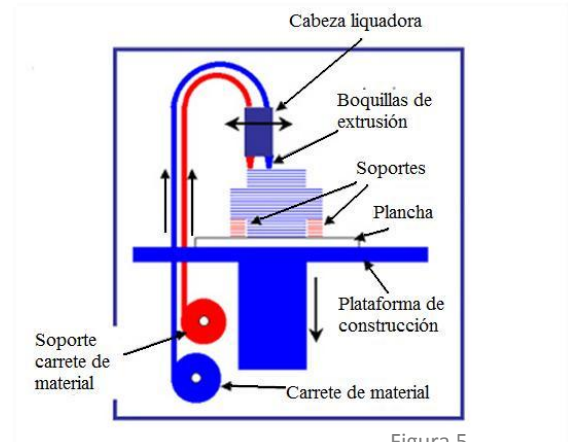


Figura 5

Fuente: <http://tfmrimuned.wordpress.com>

Cuando la pieza tiene voladizos, la maquina extruye un segundo material de soporte (por una segunda boquilla) que se elimina fácilmente. El sistema puede tener múltiples boquillas con distintos materiales como: ABS, de buena resistencia y PLA, material de soporte.

Los prototipos obtenidos por este proceso son mayormente para conceptualizaciones o presentaciones. En cuanto a las características de la pieza, éstas pueden resultar muy precisas y livianas, aptas para pruebas funcionales. Además, el acabado superficial no es demasiado bueno pero el material se puede lijar, mecanizar y pintar. Por último, tienen bajo coste pero puede tomar mucho tiempo su generación.

Ventajas:

- La máquina de prototipado puede estar en la oficina de diseño, ya que los materiales que usa son baratos, no tóxicos, inodoros y medioambientalmente seguros.
- Permite el uso de una gran variedad de materiales.
- Proceso rápido cuando las piezas son pequeñas y huecas y con generación nula de residuos.
- Los modelos presentan una gran estabilidad.
- Proceso adecuado para fabricar pequeños detalles.

Desventajas:

- El acabado superficial no es demasiado bueno
- Son necesarios soportes
- Lentitud en piezas grandes o gruesas
- Escasa consistencia vertical

Esta técnica permite obtener modelos de casi todos los tipos excepto los experimentales.

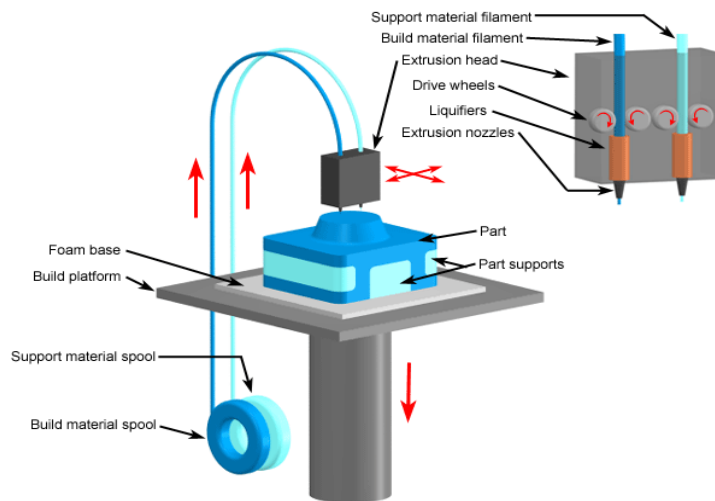


Figura 6

Fuente: <http://www.custompartnet.com>

A.4.5 Shape melting

Variante de la técnica anterior en la que permite obtener piezas metálicas. Las bandas o cintas de meta se derriten y depositan mediante arco voltaico.

Ventajas:

- Producción de modelos con buenas características mecánicas.

Desventajas:

- No es posible obtener precisiones inferiores a 1 mm.
- Es problemática la construcción de piezas menores de 7 mm.

A.4.6 SPI: Inyección solida por impresión

En esta técnica dos cabezales eyectores recorren cada una de las capas depositando material en estado líquido que se va solidificando al enfriarse. Uno de los eyectores deposita el termoplástico que construirá el prototipo y el otro la cera que servirá como soporte.

Ventajas:

- Producción de modelos con buenas características geométricas
- Posibilidad de obtener modelos con paredes estrechas

Desventajas:

- Gran desperdicio de cera

A.4.7 SLS: Sinterización selectiva láser

En este caso, en lugar de utilizar un fotopolímero, se utilizan polvos de diferentes materiales. Un láser sinteriza las áreas seleccionadas causando que las partículas se fusionen y solidifiquen. El modo de generación de las piezas es similar al que se explica en la sección dedicada a la estereolitografía, en el que los elementos son generados de capa en capa, iniciando el proceso por las cotas más bajas y terminados por las superiores.

Puede decirse que constituye el primer proceso de aglomeración con importancia industrial, desarrollado para la industria siderúrgica, ya que permite la conversión de una gran variedad de materiales, tales como finos de mineral de hierro.

El proceso se lleva a cabo en una cadena móvil (dividida en compartimientos) que recibe la mezcla de materiales que contienen hierro junto con un combustible, generalmente coque fino, los cuales deben estar homogéneamente mezclados para garantizar un “quemado” uniforme.

Antes de comenzar con el proceso, un rodillo nivela la superficie de material sólido en el compartimiento de trabajo para que luego el láser sinterice la primera capa de la pieza. Una vez que se completa el primer plano, la base de la caja de trabajo desciende y el rodillo vuelve a nivelar el material, arrastrando al mismo desde otro compartimiento. De este modo, el láser realiza la segunda capa y el proceso continúa hasta completar la pieza.

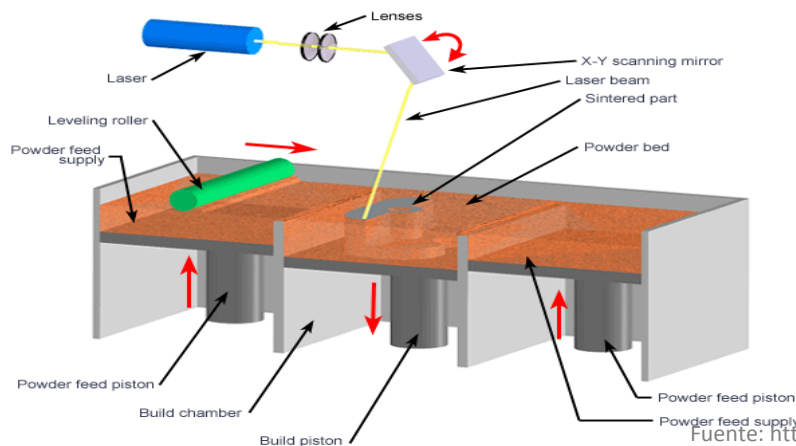
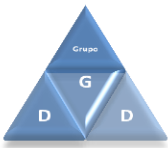


Figura 7

Fuente: <http://www.custompartnet.com>

Dado que la materia prima se encuentra en estado sólido (se trata de microesferas), no es necesario generar columnas que soporten al elemento mientras éste se va creando, por lo que no existen limitaciones de rotación de pieza como consecuencia de ello, ni la necesidad de eliminarlas posteriormente.



En contrapartida, la cámara en la que se generan las piezas se encuentra a una temperatura elevada, por lo que es necesario ser cuidadoso con la orientación de las piezas a generar, con el fin de evitar gradientes térmicos importantes que podrían torsionarlas. Para obtener unas características mecánicas óptimas de las piezas generadas los prototipos son sometidos a un post-curado en un horno especial de rayos UVA.

Ventajas:

- Al tratarse de una poliamida, sus características mecánicas, en muchas ocasiones, son próximas a las que corresponderían al material definitivo.
- Son elementos especialmente indicados para conjuntos en los que se prevé un montaje y desmontaje en la fase de prueba.
- Soportan temperaturas más elevadas que en el caso de la Estereolitografía.
- Puede utilizar una gran variedad de materiales que proporcionan buenas características mecánicas, son inodoros y de menor precio que las resinas.
- El láser que se utiliza es relativamente poco potente (50 W).
- No se precisa de proceso de postcurado, ni soporte, ni de eliminación de material sobrante.
- Buenas precisiones.

Desventajas:

- Los polvos sobrantes necesitan ser tamizados para eliminar glóbulos gruesos
- Se requiere una atmósfera inerte rica en nitrógeno
- Se precisa acabado superficial
- Es un proceso lento
- Técnica novedosa poco contrastada
- Emplea un equipamiento complejo y de difícil mantenimiento

A.4.8 LOM: Fabricación por corte y laminado.

Esta tecnología pega y recorta láminas plásticas o de papel. La parte inferior del papel tiene una capa adhesiva que cuando es presionada y se le aplica calor hace que se pegue con el folio anterior. Cada uno de los folios es recortado siguiendo el contorno de las secciones o laminas en que la pieza fue cortada en el programa de prototipado.

Las principales características de esta técnica son la velocidad, que no requiere otro material de soporte y que permite superar la habitual limitación de tamaño.

Ventajas:

- Posibilidad de utilizar un amplio rango de materiales relativamente baratos
- Los modelos pueden ser de gran tamaño

- El proceso es entre 5 y 10 veces más rápido que otros
- No se necesitan soportes ni postcurado
- Buena precisión
- Características mecánicas aceptables

Desventajas:

- Baja calidad superficial
- Dificultad para trazar huecos internos
- Gran cantidad de material desperdiciado
- Se pueden producir deformaciones térmicas del modelo por acción del láser
- Sensibilidad a la humedad

Esta técnica se emplea para obtener modelos estéticos y dimensionales, permitiendo en ocasiones los funcionales y experimentales. También es posible utilizarla para construir “masters” y “patterns”.

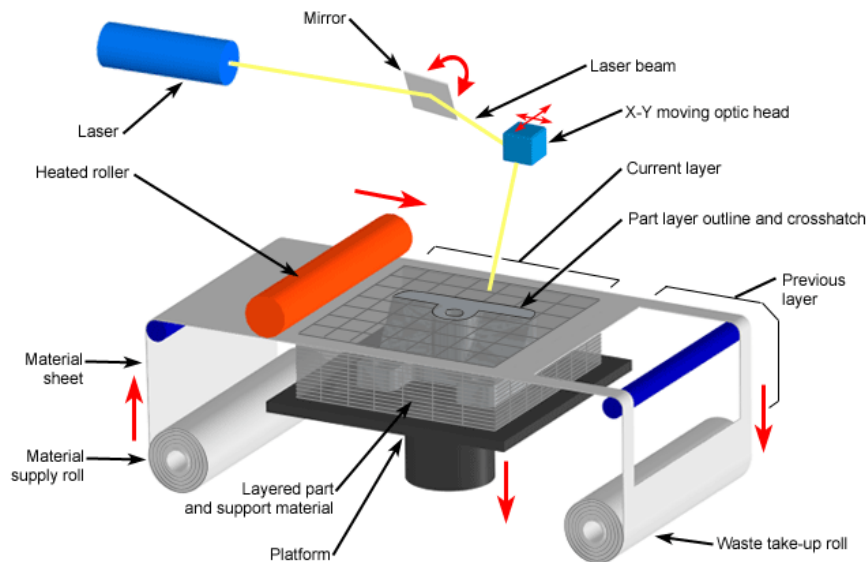


Figura 8

Fuente: <http://www.custompartnet.com>

A.4.9 3DP: Impresión 3D

El proceso de obtención de la pieza comienza con la deposición de una capa de polvos de material cerámico o metálico y la compresión de los mismos. Tras ello, unos cabezales similares a los de las impresoras imprimen con un líquido aglutinante la imagen de la primera de las capas.

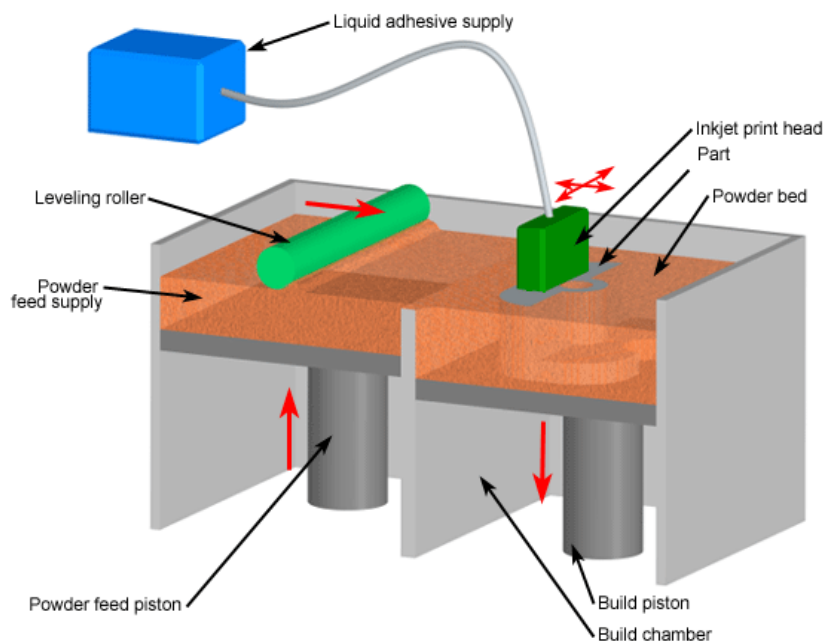
Así sucesivamente con el resto de las capas que utilizan como soporte el material sobrante de la capa anterior. Las buenas características mecánicas del material resultante permiten su utilización como molde.

Ventajas

- No se precisan soportes
- Materiales baratos
- Gran precisión

Desventajas

- Dificultad para eliminar el polvo de algunas cavidades
- La pieza final puede ser frágil y porosa
- Es necesario un postcurado



Fuente: <http://www.custompartnet.com>

Figura 62

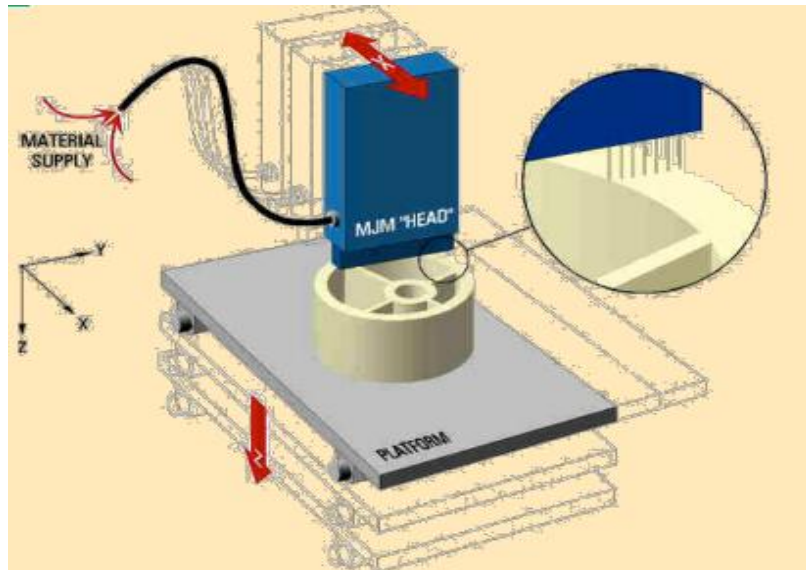
Permite la construcción de prototipos estéticos y funcionales.

A.4.10 MJM: Thermojet

Es una tecnología de **adición capa a capa** en la que el material se inyecta a través de unas **boquillas** en forma de micro gotas y éstas solidifican al contactar en la superficie depositada.

Las piezas se van construyendo capa a capa y el material utilizado para construir las piezas es **cera**, por lo que las piezas construidas de esta forma se utilizan como **modelos perdidos para micro fusión**.

Cuando las piezas a construir tienen contrasalidas o zonas en voladizo el algoritmo de la máquina genera una especie de hilos (soportes) que no forman parte de la piezas y que una vez se ha terminado de construir las piezas se eliminan.



Fuente: <http://www.custompartnet.com>

Figura 63

Ventajas

- Rapidez y calidad en el prototipo
- Permite su uso en una oficina

Desventajas

- Sólo permite es uso de un reducido número de materiales.

Esta técnica permite confeccionar modelos dimensionales, funcionales y orientados a la fabricación.

A.4.11 BPB: Fabricación mediante balística de partículas

Consiste en ir pulverizando el material en capas, a través de una atmósfera de vacío o rica en nitrógeno para evitar la oxidación y/o la dispersión de las gotas.

Es posible el empleo de cualquier material que se derrita y solidifique fácilmente, desde los termoplásticos al aluminio.

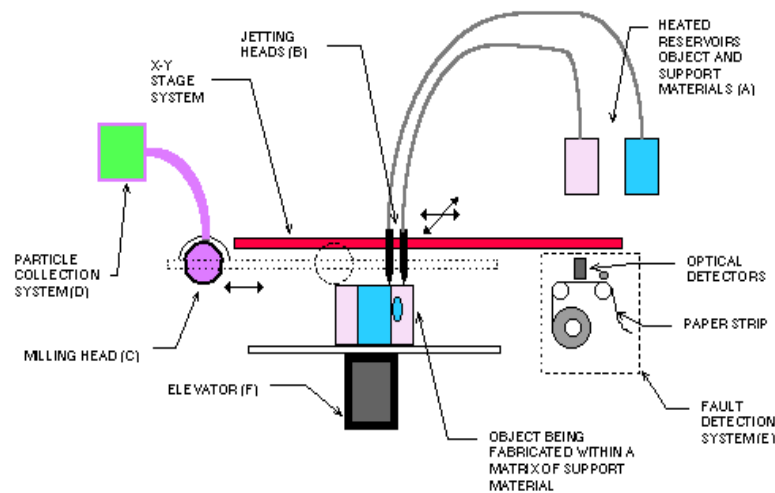
Ventajas:

- Se trata de una técnica barata y respetuosa con el medio ambiente.
- No son necesarios soportes ni post- procesado.

- El equipo puede trabajar en oficina.
- Permite aplicar diferentes materiales y colores en una misma pieza.

Desventajas

- Sólo permite el uso de un reducido número de materiales.
- Es necesario elegir entre velocidad y precisión.
- Piezas frágiles.
- Técnica poco contrastada debido a su novedad.
- Precisa de atmósfera inerte rica en nitrógeno.



Fuente: <http://www.custompartnet.com>

Figura 64

Debido a su fragilidad, los modelos obtenidos mediante BPM únicamente tienen una función estética y poco duradera en el tiempo.

A.4.12 HIS: Solidificación por interferencia holográfica

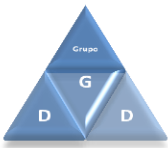
Consiste en solidificar una superficie tridimensional proyectando una imagen holográfica en una cubeta de líquido fotosensible. Entre las aplicaciones más frecuentes de esta técnica se encuentran la producción de modelos para la cera perdida y electrodos de cobre para electroerosión.

A.4.13 Estratoconcepción

En esta técnica se divide la pieza a fabricar en capas o estratos que se fabrican con alguna de las técnicas anteriores y posteriormente se ensamblan para construir el prototipo final.

Ventajas:

- Se pueden obtener piezas de gran tamaño sin limitación de formas



- Uso de materiales económicos

Desventajas:

- Se trata de un sistema lento, caro y que requiere de postprocesado

A.4.14 Prototipado virtual

No está de más recordar que una de las metodologías de “prototipado” que más se utiliza en los trabajos cotidianos consiste en el denominado “prototipado virtual”, que no es más ni menos que el máximo exponente de las aplicaciones de CAD/CAM.

Por prototipado virtual se entiende el disponer del modelado sólido en el ordenador que nos permita hacer simulaciones y cálculos y diversas pruebas según materiales, condiciones de trabajo, modificación de cotas y formas, Elementos Finitos, renderizados virtuales con distintas texturas y materiales, animaciones, etc , pruebas que nos permitirán depurar los modelos antes de su ejecución material.

A.5 Aplicaciones del PR¹

Los modelos de Prototipado Rápido pueden ser utilizados en:

- **Ingeniería.** La ingeniería precisa continuas pruebas de calidad y de ensamblaje. Mediante archivos CAD el resultado es mucho más complejo que teniendo físicamente el modelo al que poder realizarle todas las pruebas necesarias.
- **Arquitectura.** Las técnicas de creación de maquetas manufacturadas son muy restrictivas. Para determinados proyectos, es posible imprimir varias copias de la maqueta o modelo para compartir con diferentes clientes o con distintos segmentos del mercado de usuarios finales. El Prototipado Rápido permite la producción de múltiples piezas con un gasto razonable.
- **Topografía.** En propuestas de construcciones complejas de superficies terrestres, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales el Prototipado Rápido proporciona una maqueta 3D para cada diseño. Estas maquetas se pueden usar como herramienta para explicar el alcance y concepto del proyecto.
- **Packaging.** Las empresas que diseñan y producen envases de cristal y plástico para industrias relacionadas con el cuidado corporal, la salud y el cuidado del hogar están usando prototipos 3D para acelerar y mejorar su proceso de diseño. Asimismo, el



¹ Fuente de Imágenes Punto 5 : <http://www.protorapido.es>

packaging de las industrias químicas, de la automoción o de los fabricantes de bebidas también obtiene grandes beneficios del Prototipado Rápido.

- **Electrodomésticos.** El diseño de electrodomésticos para el hogar requiere no sólo maquetas precisas en 3D para comunicar conceptos de diseño a clientes internos y externos, sino también una serie de tests funcionales de piezas para evaluar atributos de actuación importantes en el inicio del ciclo de diseño. La exposición a temperaturas elevadas, la humedad, el flujo de aire y las vibraciones deben combinarse para presentar condiciones exigentes de entorno que muchas maquetas conceptuales de primera fase no pueden soportar.



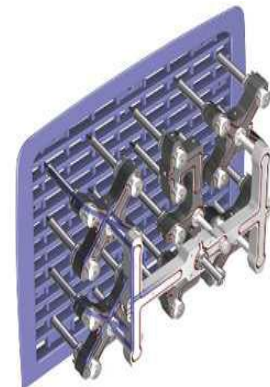
- **Educación.** El prototipado rápido permitiría desarrollar objetos hechos a medida para satisfacer las necesidades especiales dependiendo de los casos, pudiéndose construir cualquier objeto, como por ejemplo, utensilios pedagógicos para niños con visión reducida o ciegos. En muchas áreas es imprescindible que los alumnos tengan acceso a maquetas físicas de sus diseños en etapas tempranas del proceso de diseño. De ese modo pueden llegar a comprender y experimentar completamente el ciclo de diseño del producto.

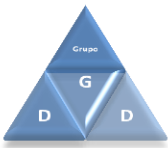


- **Modelado molecular.** La forma y la geometría lo son todo en química molecular. Se pueden producir de forma rápida y económica docenas de iteraciones moleculares que pueden manipularse físicamente para entender sus interacciones. Gracias a la velocidad y efectividad de coste del sistema, se pueden disponer de manera rutinaria de modelos reales en espacio físico para los trabajos de investigación.



- **Automoción.** El Prototipado Rápido permite a los equipos de diseño cambiar de forma efectiva el diseño conceptual en las fases tempranas del proceso de diseño, comprobar el ensamblado de piezas. Planificar la producción y realizar maquetas de presentación y réplicas exactas de los modelos de producción para solicitar feedback en reuniones de grupos de discusión sobre proposición de nuevas características. **Diseño de interiores, muebles, calzado...** Una comunicación clara entre diseñadores y fabricantes durante el proceso de diseño es crucial, ya que es imprescindible que haya consenso en un diseño antes de invertir en él recursos valiosos





- **Diseño de interiores, muebles, calzado...** Una comunicación clara entre diseñadores y fabricantes durante el proceso de diseño es crucial, ya que es imprescindible que haya consenso antes de invertir en recursos valiosos. Además, es crucial reducir tiempo de ciclo de diseño para llegar al mercado antes que la competencia y con nuevas ideas.



- **Modelado para medicina.** La capacidad de usar modelos para planificación prequirúrgica reduce tiempo de quirófano, abarata los costes y permite ensayos de procedimiento. Además, los modelos mejoran la capacidad del médico de comunicarse con sus pacientes, lo que aumenta la confianza de estos en el éxito de la operación.



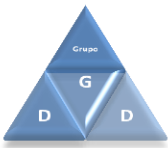
A.6 Ventajas generales del prototipado

Las ventajas que ofrece la utilización sistemática de esta tecnología dentro del proceso global del lanzamiento de un nuevo producto, y/o en el de modificación y/o mejora de productos ya existentes, abarca a casi todos los departamentos que, directa o indirectamente están involucrados en él. Se destacarán las siguientes ventajas:

- Disponer de una herramienta de comunicación física que no ofrece ningún tipo de duda, no permitiendo en consecuencia interpretaciones distintas y/o erróneas.
- Permite realizar determinadas pruebas funcionales, de montajes e interferencias.
- Facilita extraordinariamente la relación entre clientes y proveedores. Facilita, y en muchos casos estimula, la aportación de mejoras ya sea en el diseño y su funcionalidad, ya sea en el proceso productivo.
- Dado que permite visualizar la pieza se detectan en las primeras etapas de diseño los posibles errores estéticos, de concepto o de funcionalidad. Además se evitan incorrectas interpretaciones de los planos.
- Comercialización, estudios de mercado: la compañía puede saber cuál será la acogida del producto por parte de los clientes antes de realizar una fuerte inversión.
- Mejora de los procesos de fabricación, dado que permite planificar los utillajes y los procesos de fabricación, así como ayudar a establecer analogías entre a forma de creación del modelo y el proceso de fabricación real para introducir mejoras en éste.

A.7 Limitaciones del PR

La principal limitación es que los materiales con lo que se realizan los prototipos tienen unas características mecánicas que en ocasiones distan mucho de las de las piezas reales. Así es frecuente que las propiedades mecánicas y las temperaturas máximas sean limitadas y los modelos relativamente frágiles. Otras restricciones importantes son:



- El tamaño de las piezas a fabricar suele ser reducido.
- Los materiales son caros.
- El ritmo de producción es relativamente lento.

Finalmente, cabe comentar que el proceso de intercambio de la información de la geometría de la pieza desde el programa CAD al fichero neutro STL de la máquina de prototipado rápido suele ser problemático. En este proceso, consistente en el fraccionamiento de la pieza en secciones planas (slicing) definidas por un conjunto de triángulos, es frecuente la aparición de errores.

B. Ingeniería inversa

B.1. Introducción a la Ingeniería Inversa

El objetivo de la **ingeniería inversa** es obtener información o un diseño a partir de un producto accesible al público, con el fin de determinar de qué está hecho, qué lo hace funcionar y cómo fue fabricado.

Hoy en día (principios del siglo XXI), los productos más comúnmente sometidos a ingeniería inversa son los programas de computadoras y los componentes electrónicos, pero, en realidad, cualquier producto puede ser objeto de un análisis de Ingeniería Inversa.

El método se denomina así porque avanza en dirección opuesta a las tareas habituales de ingeniería, que consisten en utilizar datos técnicos para elaborar un producto determinado.

La ingeniería inversa de un componente mecánico requiere un modelo digital preciso de los objetos a ser reproducido. Antes que un conjunto de los puntos que un modelo digital preciso es



Figura 9
Fuente: <http://www.accendi.es>

representado típicamente por un conjunto de superficies tal como un conjunto de superficies triangulares planas, un conjunto de la planicie o superficies curvas de NURBS, o idealmente para componentes mecánicos un sólido de CAD que se compone de un subconjunto de CAD de superficies de NURBS.

Un escáner 3D se puede usar para digitalizar forma libre o componentes formados gradualmente cambiantes de geometrías así como también prismáticas mientras que una CMM es usada generalmente sólo para que determine las dimensiones sencillas de un modelo sumamente prismático. Estos puntos de datos entonces se procesan para crear un usable modelo digital.

B.2. Escáner 3D

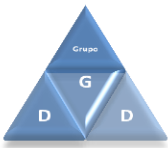
Un **escáner 3D** es un dispositivo que analiza un objeto o una escena para reunir datos de su forma y ocasionalmente su color. La información obtenida se puede usar para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones. Desarrollados inicialmente en aplicaciones industriales (metrología, automóvil), han encontrado un vasto campo de aplicación en actividades como la arqueología, arquitectura, ingeniería, y entretenimiento (en la producción de películas y videojuegos).



El propósito de un escáner 3D es, generalmente, el de crear una nube de puntos a partir de muestras geométricas en la superficie del objeto. Estos puntos se pueden usar entonces para extrapolar la forma del objeto (un proceso llamado reconstrucción). Si la información de color se incluye en cada uno de los puntos, entonces los colores en la superficie del objeto se pueden determinar también.

Los escáneres 3D son distintos a las cámaras. Al igual que éstas, tienen un campo de visión en forma de cono, pero mientras una cámara reúne información de color acerca de las superficies dentro de su campo de visión, los escáneres 3D reúnen información acerca de su geometría. El modelo obtenido por un escáner 3D describe la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado.

Si se define un sistema esférico de coordenadas y se considera que el origen es el escáner, cada punto analizado se asocia con una coordenada ϕ y θ y con una distancia, que corresponde al componente r . Estas coordenadas esféricas describen completamente la posición tridimensional de cada punto en el modelo, en un sistema de coordenadas local relativo al escáner.



Para la mayoría de las situaciones, un solo escaneo no producirá un modelo completo del objeto. Generalmente se requieren múltiples tomas, incluso centenares, desde muchas direcciones diferentes para obtener información de todos los lados del objeto. Estos escaneos tienen que ser integrados en un sistema común de referencia mediante, un proceso que se llama generalmente alineación, y que transforma las coordenadas locales de cada toma en coordenadas generales del modelo. El proceso completo que va de las tomas individuales a un modelo completo unificado define el flujo de captura de modelo 3D.

Las nubes de puntos producidas por los escáneres 3D pueden ser utilizadas directamente para la medición y la visualización en el mundo de la arquitectura y la construcción. No obstante, la mayoría de las aplicaciones utilizan modelos 3D poligonales, modelos de superficies NURBS, o modelos CAD basados en las características (modelos sólidos).

B.2.1 Modelos de malla de polígonos

En una representación poligonal de una forma, una superficie curva es modelada como muchas pequeñas superficies planas (al igual que una esfera es modelada como una bola de discoteca). El proceso de convertir una nube de puntos en un modelo poligonal 3D se llama reconstrucción. La reconstrucción de modelos poligonales implica encontrar y conectar los puntos adyacentes mediante líneas rectas con el fin de crear una superficie continua.

Los modelos poligonales, también llamados modelos de malla, son útiles para la visualización o para algunas aplicaciones CAM, pero son, en general, "pesados" (archivos de datos muy grandes), y son relativamente difíciles de editar en este formato.

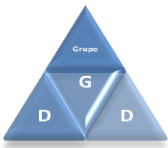
Existen muchas aplicaciones, tanto libres como propietarias, destinadas a este fin: MeshLab, cyclone, kubit PointCloud para AutoCAD, JRC 3D Reconstructor, PhotoModeler, ImageModel, PolyWorks, Rapidform, Geomagic, ImageWare, Rhino, etc.

B.2.2 Modelos de superficies

El siguiente nivel de sofisticación en la modelización implica el uso de un conjunto de pequeñas superficies curvas que unidas entre sí modelan nuestra forma. Estas superficies pueden ser NURBS, T-Splines u otras representaciones de curvas. Utilizando NURBS, nuestra esfera es una esfera matemática verdadera.

Estas superficies tienen la ventaja de ser más ligeras y más fácilmente manipulables cuando se exportan a CAD. Los modelos de superficie son algo más modificables, pero sólo en un sentido escultórico de empujar y tirar para deformar la superficie. Esta representación se presta bien al modelado de formas orgánicas o artísticas.

Algunas aplicaciones sólo ofrecen un diseño manual de las curvas, pero las más avanzadas ofrecen tanto manual como automático. Aplicaciones usadas para este modelado son: Rapidform, Geomagic, Rhino, Maya, T Splines, etc.



B.2.3 Modelos sólidos CAD

Desde el punto de vista de la ingeniería y la fabricación, la representación fundamental de una forma digitalizada es el modelo CAD, totalmente editable. Después de todo, el CAD es el "lenguaje común" de la industria para describir, editar y producir la forma de los bienes de una empresa. En CAD, nuestra esfera está descrita por parámetros que son fácilmente editables mediante el cambio de un valor (por ejemplo, el centro de la esfera o su radio).

Estos modelos CAD no describen simplemente el envoltorio o la forma del objeto, sino que también incorporan la "intención del diseño" (es decir, las características fundamentales y su relación con otras funciones). Un ejemplo de la intención del diseño más allá de la forma por sí sola podrían ser los tornillos de un freno de tambor, que deben ser concéntricos con el agujero en el centro del tambor. Este conocimiento podría guiar la secuencia y el método de creación del modelo CAD: Un diseñador con el conocimiento de esta relación, no diseñaría los tornillos referenciados al diámetro exterior, sino que lo haría depender del centro del tambor. Por tanto, un diseñador creando un modelo CAD, incluirá tanto la forma como la finalidad del diseño en el modelo CAD completo.

Distintos enfoques se ofrecen para llegar al modelo CAD. Algunos exportan las superficies NURBS tal cual y dejan que sea el diseñador el que complete el modelo en CAD (por ejemplo, Geomagic, ImageWare, Rhino). Otros utilizan el análisis de los datos para crear un modelo editable basado en las características que se importa en CAD con el árbol de características intacto, produciendo un modelo completo y nativo de CAD, recogiendo tanto la forma como la finalidad del diseño (Geomagic, Rapidform). Mientras que otras aplicaciones de CAD son lo suficientemente robustas como para manipular modelos de un número limitado de puntos o polígonos dentro del entorno CAD (por ejemplo, Catia).

Anexo A: Proyecto RepRap

RepRap es la primera máquina auto-replicante de uso general de la humanidad, tiene la forma de una impresora 3D libre capaz de imprimir objetos plásticos. Como muchas de las partes de esta están hechas de plástico, RepRap imprime esas partes y puede auto-replicarse haciendo un kit de sí misma, un kit que cualquier persona puede ensamblar si cuenta con el tiempo y los materiales. Esto también significa que si usted tiene un RepRap usted puede imprimir un sinnúmero de cosas útiles.

El proyecto RepRap es una iniciativa creada con el propósito de crear una máquina de prototipado rápido libre que sea capaz de replicarse a sí misma. Una máquina de este tipo puede fabricar objetos físicos a partir de modelos generados por sistemas CAD 3D e imprimirlos a base de plástico. El proyecto RepRap fue iniciado en febrero del 2004 por Andrian Bowyer en Inglaterra, pero actualmente hay personas colaborando en otras partes del mundo.

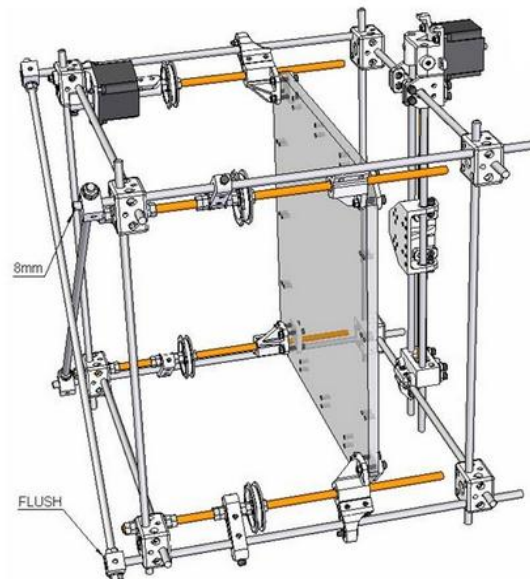
RepRap está disponible bajo la licencia GNU GPL . Esta licencia permite que podamos copiar, estudiar, distribuir y mejorar sus diseños y código fuente. Tomando como una analogía la Teoría de Evolución de Darwin , la comunidad que trabaja alrededor del proyecto puede mejorar los diseños actuales permitiendo que la máquina evolucione con el tiempo.

El RepRap requiere de ensamblaje. Es allí donde entra en una relación simbiótica con el hombre muy similar a la relación entre flores y abejas: RepRap sería la flor y el humano la abeja. RepRap produce objetos para el hombre, así como la flor produce néctar para las abejas, y a cambio el hombre ayudará a RepRap a ensamblar sus partes y así reproducirse, tal como la abeja lleva el polen a otra flor con el mismo objeto.

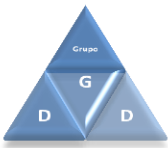
Entonces, si el proyecto tiene éxito, estaríamos hablando de que en cada casa o centro comunitario existiría un RepRap. Sólo sería necesario descargar de Internet el diseño del objeto que deseamos (o pagar a alguien para que lo haga), y la máquina lo construirá.

A nivel económico/social RepRap plantea grandes cambios: menos fábricas, menos necesidad de transporte de bienes, menos necesidad de dinero, más autonomía, más desarrollos tecnológicos locales, etc.

En los 70's acceder a un computador era exclusivo y limitado, ahora no lo es. Es así como RepRap plantea una nueva modelo de fabricación para todos, una fábrica que puede hacer más fábricas.



Fuente: <http://reprap.org/wiki/RepRap/es> Figura 11



Anexo B: Prototipado en sistema FDM

Para poder realizar un prototipo en el sistema FDM, a partir de un diseño de CAD, debemos contar con los programas:

- **Solidworks:** éste es el soporte CAD donde realizamos el diseño y modelamos la pieza.
- **Netfabb:** es un programa sencillo pero potente y con muchas prestaciones que permite editar las piezas en formato **.stl**.
- **Axon:** este programa convierte a los archivos de piezas del formato **.stl** a **.bfb**, que es el que la maquina interpreta. Este programa permite también editar las piezas en formato **.stl**, pero no tiene las cualidades del Netfabb el cual, a su vez, no permite guardar el archivo en **.bfb**.

Los pasos para realizar el prototipado en el sistema FDM desde su diseño hasta su obtención, se puede resumir del siguiente modo:

- 1) Realizamos el diseño en el programa CAD.
- 2) Finalizado el diseño, el archivo se guarda en formato **.stl** definiendo previamente la calidad entre las opciones de guardado.
- 3) Abrimos el archivo **.stl** de nuestra pieza en Netfabb y se nos abrirá la pieza en una posición cualquiera.
- 4) Si al abrir el archivo aparece, en el costado derecho-inferior, un símbolo de admiración en rojo, éste nos indica que la pieza tiene errores. Para repararlo debemos clicar la cruz roja que está en la parte derecha-superior y seleccionar la opción "Automatic Repair" y la ejecutamos.
- 5) Una vez que el programa termina el proceso debemos hacer clic en el botón "Apply Repair", que se encuentra en la misma ventana que "Automatic Repair", sino los problemas no se solucionarían.
- 6) Ya reparada, divisamos la mesa de trabajo en el ordenador, vamos a "Settings/Settings" y configuramos los valores del tamaño máximo admisible de la pieza para nuestra máquina. En el caso de la maquina instalada en la UTN las medidas son 275 x 230 x 210.
- 7) Comprobamos el tamaño de la pieza, la cual podemos cortar, trasladar, escalar, rotar, etc. de manera que entre dentro de la zona de trabajo delimitada por las boquillas y la mesa.
- 8) Editada la pieza, se guarda en formato **.stl**.
- 9) Se procede a abrir el programa Axon y configurar los datos de la siguiente manera:
 - **Printer Type** (Tipo de impresora): 3D Touch / BFB-3000 bed V2 black
 - **Extruders** (Extrusores): 2
 - **Extruder 1Material** (Material extrusor 1): ABS Write (material pieza)
 - **Extruder 2Material** (Material Extrusor 2): PLA red traslucent (material de soporte)

10) Luego de la configuración aparece, en la pantalla, la mesa de trabajo de la impresora y procedemos a abrir el archivo de la pieza y la acomodamos en la base.

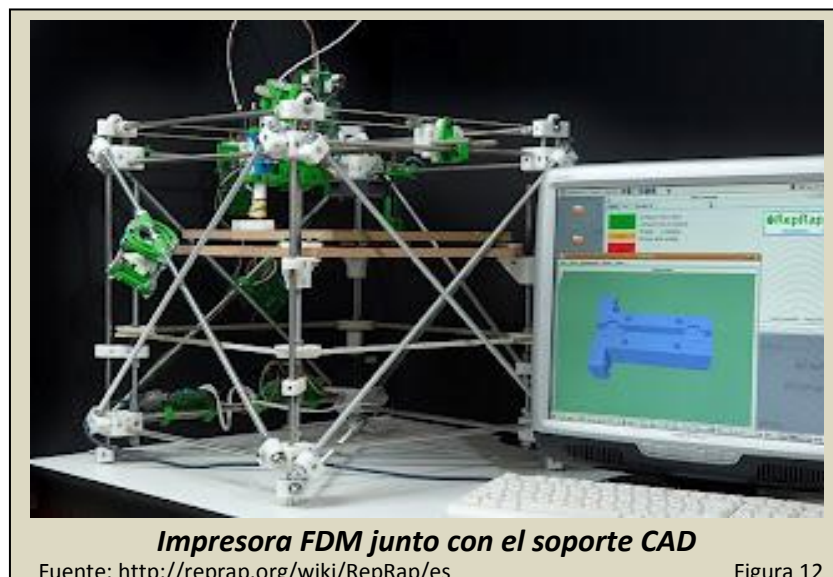
11) El siguiente paso consiste en generar el archivo para que la maquina lo interprete. Para ello vamos al botón “*Built*” y configuramos lo siguiente:

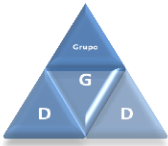
- **Build style profile** (Estilo de perfil): establece el perfil de impresión. Por lo general se deja seleccionada la opción “*default*”.
- **Layer thickness** (Espesor de capa): determina el espesor por capa. Piezas sin mucho detalle se utiliza 0.5 o 0.25 y para mayor precisión se usa 0.125.
- **Raft Material** (Material de base): material de la capa sobre la que comenzará a imprimir la pieza (conviene que sea del mismo material que la pieza).
- **Support Material** (Material de soporte): permite elegir el material de los soportes para voladizos o ángulos mayores a 60°.
- **Part Material** (Part Material): aquí seleccionamos el material de la pieza.
- **Fill Density** (Densidad del filamento): lo recomendado es 40%.
- **Fill Pattern** (Patrón de relleno): es el patrón con que la máquina rellena la pieza (rayado, cuadrículado, paneles, círculos).
- **Speed Multiplier** (Multiplicador de velocidad): permite aumentar la rapidez de impresión a costas de la calidad.
- **Advance settings** (Configuración avanzada): se pueden poner la cantidad de pieles o *skins* extra que la máquina realizará antes de empezar a rellenar la pieza.

12) Cuando se termina la configuración se *clikea* al botón “*Built*” y comienza un procesamiento de la pieza que, al finalizar, dé a conocer datos como el tiempo de trabajo, el precio, el volumen de material usado, el peso, etc.

13) El siguiente paso consiste en guardar el archivo bajo el formato **.bfb** y copiarlo en la raíz de un pendrive para poder llevarlo a la máquina de prototipado.

14) Por último, conectamos el dispositivo de memoria a la impresora 3D, abrimos el archivo de la pieza y le damos imprimir en el panel del sistema.





Bibliografía

- [1] José Antonio Alonso Rodríguez, “Sistemas de Prototipado Rápido” [En Línea] [Consultado el 25 de Mayo de 2013]. Disponible en < <http://webs.uvigo.es/disenoindustrial/docs/protorapid.pdf>>
- [2] “Impresoras 3D” [En línea]. CADdy, 2011 [Consultado 25 Mayo 2013]. Disponible en <<http://www.caddyspain.com/I3Dindex.htm>>
- [3] “Prototipado Rápido” Universidad de Vigo: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial [Consultado 15/03/2013]. Disponible en <<http://webs.uvigo.es/disenoindustrial/protorapid.html>>